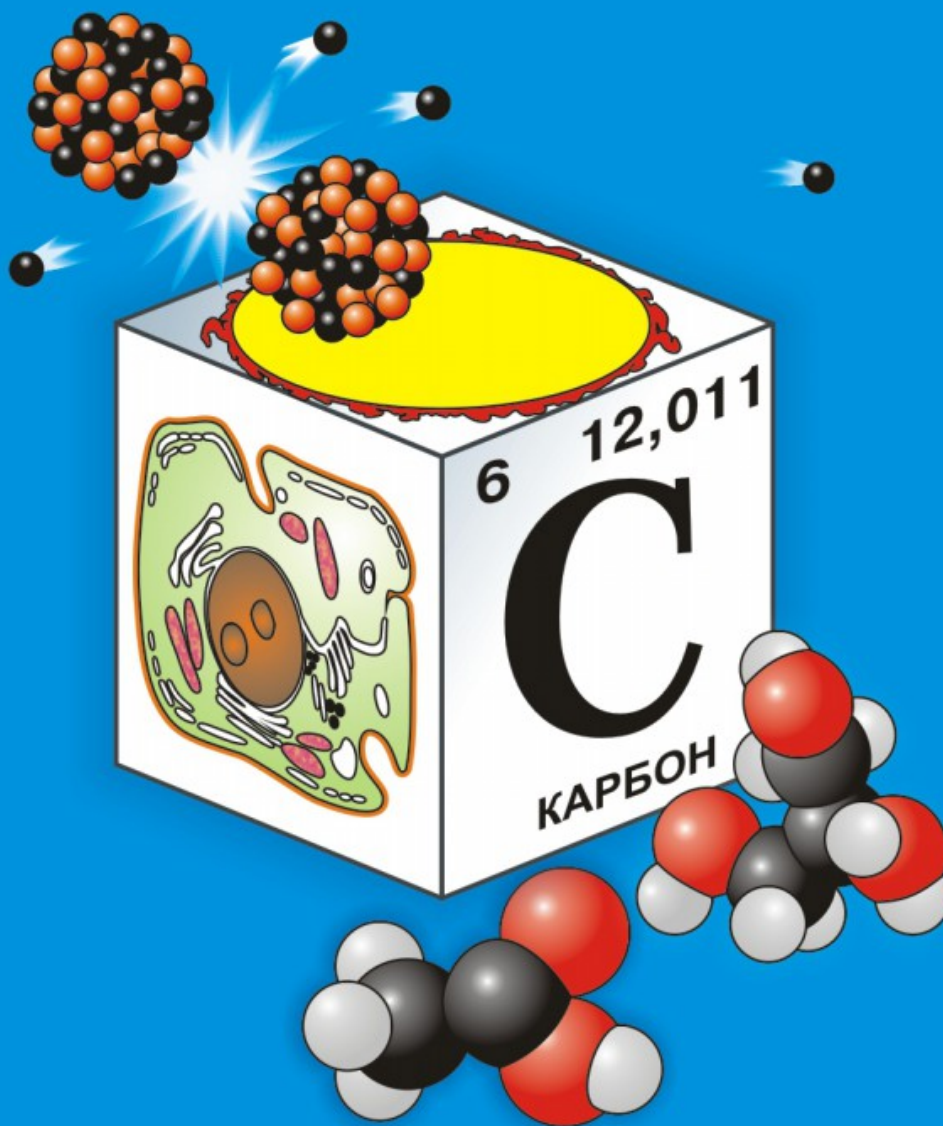


10

ПРИРОДОЗНАВСТВО



1. ЗАГАЛЬНОПРИРОДНИЧИЙ МОДУЛЬ

§1. Основні концепції та ідеї сучасного природознавства

Наука – природне явище. Вона в загальнообов'язковій формі пов'язує кожну людину зокрема і суспільство в цілому з ноосферою, біосферою.

В.І. Вернадський

Природознавство таке людяне, таке правдиве, що я бажаю удачі кожному, хто віддається йому.

Й.-В. Гете

Поняття «концепція» (від лат. conceptio «сукупність, система») означає сукупність переконань та уявлень про що-небудь. Концепція є результатом теоретичного, узагальненого обмірковування проблеми. Під концепціями природознавства розуміють такі загальні природничі ідеї, моделі і положення, які проявляють себе у всіх природничих науках.

Розглянемо деякі з цих положень. Усе, що оточує людину, є матерією в найрізноманітніших формах її прояву. Уся сукупність проявів матерії утворює єдину систему – Всесвіт. Знадобилися тисячоліття, щоб людина змогла науково осмислити своє буття у Всесвіті. На сучасному етапі розвитку наукового знання це призвело до уявлення про єдність матеріального світу.

Якщо Всесвіт – єдине ціле, то він і розвивається, й еволюціонує як ціле. У певний час в ньому з'являються структури, здатні пізнавати Всесвіт. Таким інструментом самопізнання є людина. І все, що доступно нашому спостереженню, в тому числі і розвиток суспільства, і ми самі – всього лише складові частини Всесвіту, етапи його еволюції. На кожному щаблі розвитку основні закономірності функціонування будь-яких підсистем мають зв'язок з усією системою – Всесвітом, із загальним його розвитком.

Світ єдиний, в ньому все пов'язано з усім і немає якихось ізольованих підсистем, в яких тече своє, автономне життя. Закони матеріального світу єдині для всього суцього. Тому, вивчаючи якесь одне явище, отримують, часто не підозрюючи про це, непрямі знання про цілий ряд інших.

Найважливішою концепцією природознавства є природничо-наукова картина світу (ПНКС) – система знань про природу. Звернувшись до термінів, які її виражають, можна побачити зміст поняття ПНКС. Термін «світ» вам відомий. За визначенням відомого філософа Сергія Кримського світ – це сфера прояву загальних закономірностей, що діють на всі його об'єкти. Термін «картина» асоціюється з наочною, яскравою картиною природи. Але тут під наочністю мається на увазі графік, креслення, формула та ін. Термін «наукова» означає та, яка має стосунок до науки. А наука починається там, де людська

думка спирається на закономірності. Об'єднавши всі терміни, можемо зробити висновок: ПНКС – система знань про природу, в основі якої лежать найзагальніші, спільні для всіх природних об'єктів закономірності. Вони пов'язані із фундаментальними ідеями природничих наук.

Особистісно значущу систему знань, яка утворюється в свідомості учня під час формування системи знань про природу (ПНКС), називають **образом природи**. В основі образу природи, як і в основі ПНКС, лежать загальні закономірності природи, загальні ідеї природничих наук. А знання для свого образу природи ви обираєте ті, які відповідають вашим інтересам.

Еволюція природничо-наукової картини світу і роль у цьому процесі фундаментальних ідей природничих наук. При еволюції ПНКС найзагальнішим компонентом знань виступають ідеї. Перша з них – ідея єдності знання. У давнину вона виражалася в пошуках першоелементів буття, єдиної основи природи, тобто як ідея збереження. Протягом століть людство намагалось зрозуміти, що є незмінним при якісному перетворенні тіл і чому можна ототожнювати те, що було, з тим, що стало. Осмислення подібних питань поступово призвело до уявлень про атоми, про збереження маси речовини, енергії, імпульсу, електричного заряду, про однорідність простору і часу, до математичного поняття інваріантності різних перетворень, до поняття хімічного елемента, що зберігається при різних хімічних реакціях, до поняття біологічного виду тощо.

При виявленні загального в різнорідних явищах ідея збереження виступала в єдності з ідеєю періодичності. У результаті осмислення законів збереження енергії і маси речовини сформувався ідея вічного колообігу матеріальних явищ, речовини і руху, яка стала першоосновою для ПНКС.

Ідея дискретності, стверджуючись у картині світу, була одночасно й вираженням ідеї збереження. Закон збереження маси речовини постав з уявлень про несотворенність і незнищенність частинок матерії. На основі таких же уявлень сформувався і закон збереження електричного заряду. Періодичний закон своїм виникненням також зобов'язаний ідеї дискретності і закону збереження маси речовини, а саме уявленню про те, що маса частинки разом з її швидкістю і координатою є основною характеристикою частинки речовини.

Загальнообов'язковість ідеї спрямованості процесів у природі була усвідомлена пізніше, ніж ідей збереження і періодичності. Першими універсальними законами природи були проголошені екстремальні (граничні, крайні) принципи, на які вона спирається. Серед них – принцип мінімуму енергії частинки в силовому полі та максимуму невпорядкованості частинок в системі, що складається з великої їх кількості (статистичної системи).

Визнання ролі екстремальних принципів у створенні ПНКС почалося з утвердження в науці другого закону термодинаміки і закону природного добору. Ідея спрямованості процесів до рівноважного стану утверджувалася в науці в двох протилежних формах. Другий закон термодинаміки виступав як еволюційний закон безперервної дезорганізації (руйнування) первинних структур і станів неживої природи. А закон природного добору обґрунтовував ускладнення структурної організації організмів у процесі їхньої еволюції. Але

обидва ці закони відображають екстремальні закономірності в природі: перший формулює принцип зростання неупорядкованості частинок у замкненій системі, другий можна сформулювати як принцип добору організмів і видів, максимально пристосованих до умов середовища.

Ідея спрямованості природних процесів слугувала основою для узагальнення знань про навколишній світ і залишається його основою до сьогодні. Вона стимулює розвиток нових галузей природознавства, наприклад синергетики. Однак вихідною концептуальною ідеєю сучасного наукового знання, що виявляє його єдність, була і є ідея збереження.

Методологія і методи природничо-наукового пізнання. Будь-яке природничо-наукове дослідження здійснюється з використанням певної методології та за допомогою набору конкретних методів. Під методологією розуміють систему методів пізнання.

З попередніх класів вам відомі методи пізнання природи. Повторимо їх:

- спостереження – цілеспрямоване й організоване сприйняття природи, що надає первинний матеріал для природничо-наукового дослідження;

- експеримент – дослідження будь-яких явищ шляхом активного впливу на них за допомогою створення нових умов, що відповідають цілям дослідження;

- опис – фіксація даних спостереження або експерименту за допомогою певних позначень;

- вимірювання – визначення основних характеристик об'єктів за допомогою відповідних вимірювальних приладів;

- аналіз і синтез – процеси мисленнєвого або фактичного розкладання цілого на складові частини і об'єднання частин в ціле;

- узагальнення – логічний процес переходу від часткового до загального, від менш загальних до більш загальних знань;

- моделювання – відтворення характеристики певного об'єкта на іншому об'єкті, спеціально створеному для його вивчення;

- класифікація – поділ усіх досліджуваних предметів на певні групи відповідно до значущих для даного дослідження ознак.

Під концепціями природознавства розуміють загальні ідеї природничих наук, моделі і закономірності, які проявляються в усіх природничих науках.

Серед них – природничо-наукова картина світу, образ природи, загальні природничі ідеї і відповідні закономірності – збереження, спрямованості самочинних процесів до рівноважного стану, періодичності процесів у природі.

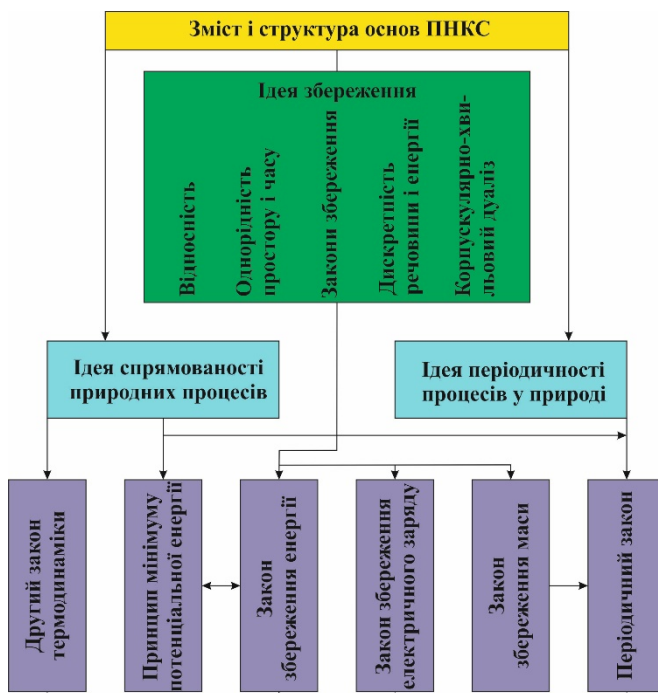
Будь-яке природничо-наукове дослідження здійснюється з використанням певної методології – системи способів організації та побудови теоретичної і практичної діяльності.

Перевірте себе

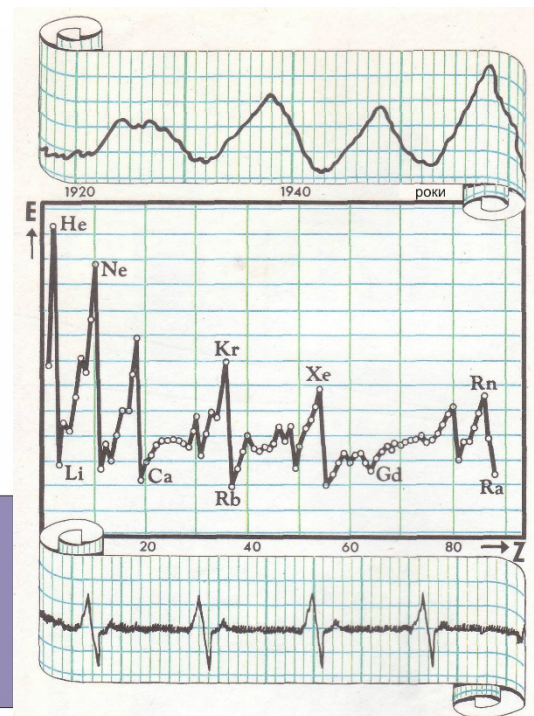
1. Що таке концепції сучасного природознавства? Наведіть приклади концепцій.
2. Якими методами ви користувалися під час вивчення природничих предметів у початковій і основній школах?

3. Розгляньте *мал. 1*, на якому зображено зміст і структуру загальних ідей природничих наук – загальних закономірностей природи. Згадайте зміст кожного із загальних законів природи. Визначте закони й поняття, зміст яких вам потрібно уточнити чи, можливо, ви ще їх будете вивчати в 11 класі. Під час вивчення яких модулів ви будете використовувати малюнок?

Розгляньте також *мал. 2*, на якому зображені види періодичних процесів у природі (зміна сонячної активності з часом; енергії іонізації нейтральних атомів в залежності від порядкового номера елемента; електрокардіограма серця). При вивченні яких модулів будете звертатись до *мал. 2*?



Мал. 1. Зміст і структура основ ПНКС



Мал. 2. Періодичність процесів у природі: 1) зміна сонячної активності з часом; 2) енергії іонізації нейтральних атомів в залежності від порядкового номера елемента; 3) електрокардіограма серця.

Поміркуйте

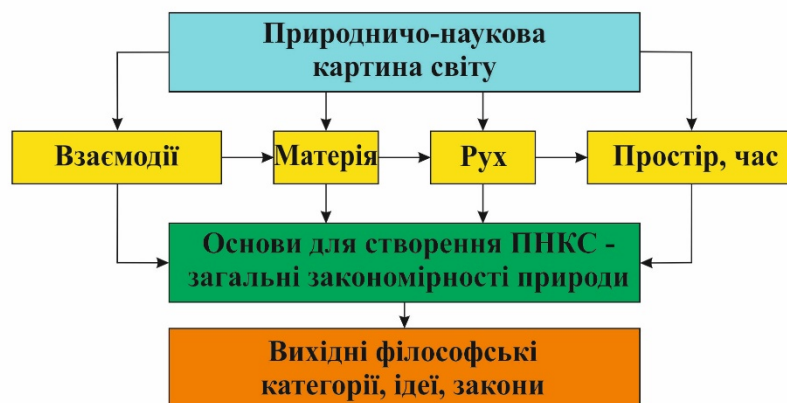
1. Чим природничо-наукова картина світу відрізняється від образу природи?
2. Як ви будете моделювати образ природи?

Подискутуйте

1. Перемалюйте в зошит *мал. 3* та охарактеризуйте зміст понять, поданих на схемі. Наприклад: взаємодії: гравітаційні (які ще ви знаєте?). Матерія: форми існування речовина і...

2. Розгляньте схему «Ієрархія законів природи» на *мал. 4*. Наведіть приклади понять, законів, закономірностей, які вам траплялися під час вивчення фізики, хімії, біології.

3. У кого з групи вказано більше понять?



Мал. 3. Структура поняття природничо-наукова картина світу



Мал. 4. Вивчаємо природознавство відповідно до законів природи

4*. Прочитайте вірші. Чи можете вказати на їхній зв'язок з поняттями, які зустрілись вам під час вивчення природничих предметів?

Благословенні:

матерія і просторінь, число і міра!

Благословенні кольори, і тембри, і огонь,

Огонь, тональність всього світу,

огонь і рух, огонь і рух!

Дух, що пройняв еси все,

хто ти єсть?

П. Тичина

Природа все завчасно зраховала,

Вона вже знала, що їй кому потрібно...

І кожному своє подарувала –

Бери лишень і користуйся гідно!

Все таке різне, й водночас єдине.
Все неповторне, але не одне...
Навіщо ж бо природі та людина,
Що шансу зруйнувати не мине?
Гармонія – синонім до природи,
А рівновага – до її творінь...
Ми на Землі – не перші із народів,
Тож нумо не зганьбімо поколінь!

Богдана Винокур, учениця 11 класу ЗОШ № 5 м. Кременчука

Оберіть проект, який ви зможете виконувати самостійно або в групі.

1. Хімія в природничо-науковій картині світу.
2. Фізика в природничо-науковій картині світу.
3. Біологія в природничо-науковій картині світу.
4. Астрономія в природничо-науковій картині світу.
5. Розвиток ідеї збереження від античних часів до сьогодення.
6. Ідея періодичності в античні часи та її розвиток у природознавстві.

§2. Для чого людині образ світу і його основа – образ природи

*Прекрасні думки створюють
прекрасні образи. А прекрасні
образи будують прекрасне життя.
Платон*

Знання про дійсність мають бути цілісними. Люди розділили ці знання на окремі науки, щоб легше було опанувати ту чи іншу галузь знань і використати їх у практичній діяльності. Знань про дійсність так багато, що одна людина не може їх осягнути за своє життя.

Наш геніальний співвітчизник В. Вернадський був всесвітньо відомим природодослідником. Більше 1000 різних природничих наук змагаються за те, щоб назвати В. Вернадського своїм засновником, але це число не охоплює всі природничі науки. Проте при глибокому вивченні всі науки про природу ніби проростають одна в одну, являючи собою єдину систему знань про все те, що вас оточує, в тому числі і про вас самих.

Як вам відомо, система знань – це закономірно взаємопов'язані елементи знань, що являють цілісність знань про дійсність. Ознакою цілісності є підлягання елементів, що її складають, загальним закономірностям. Кожна людина прагне мати включені в цілісність знання про дійсність, бо інакше ці знання є незрозумілими, їх важко застосовувати.

Уявіть собі: ви знайшли на дорозі ключ від дверей, за якими всі таємниці світу. Ви бачите металевий предмет певної форми – маєте таке знання про ключ. Але ви не знаєте, як цей предмет пов'язаний з іншими об'єктами навколишнього світу. Знання про цей предмет не включені в систему, цілісність знань про

дійсність. Ключ і знання про нього не мають для вас цінності, хоча знахідка могла вас зробити найщасливішою людиною у світі.

Образ – форма і продукт відображення об'єктивної реальності у свідомості людини. Образ створюється людиною внаслідок впливу на її органи чуттів зовнішнього світу, дії зовнішніх і внутрішніх подразників. Як у дійсності об'єкти взаємопов'язані, так і в образі знання про них взаємопов'язані, взаємозумовлені.

Подразники, що потрапляють до органів чуття від об'єктів зовнішнього світу, перетворюються в аналізаторах органів чуттів на нервові фізіологічні імпульси. Імпульси йдуть у мозок, внаслідок чого в ньому створюється образ того, що сприймається. Властивості відображуваного об'єкта кодуються в нервових процесах, створюється своєрідна нервова модель об'єкта. Ця модель не тотожна об'єктові, вона – лише продукт нервових взаємодій при утворенні відображення об'єкта в мозку людини.

Відображення – це власний продукт свідомості. Образ об'єкта не завжди відповідає об'єктові, це модель його, створена свідомістю того, хто його сприймає. Образ відбиває ті суттєві ознаки об'єкта, які людина здатна сприйняти. З часом образ може уточнюватися або і змінюватися.

Попросіть двох дітей зобразити вершника у профіль. Одна дитина намалює з одного боку обличчя, обидва ока і обидві ноги по один бік коня. А друга дитина може зобразити об'єкт таким, яким вона його бачить – у профіль видно одне око і одну ногу.

Як же зі знань, одержаних під час вивчення різних модулів підручника, створити цілісний образ знань про природу?

Образ утворюється у вашій свідомості, це ваш власний продукт – цілісне новоутворення із елементів знань. Образ може не включати всіх знань, які ви одержали під час вивчення всіх модулів природознавства. Він має містити ядро основних природничо-наукових знань, без яких неможливо пояснити явища, властивості природних об'єктів, які ви вивчали в 11 класі або зустрічаєте в довкіллі.

Ви маєте виявити ядро природничо-наукових знань – основу створення свого образу природи у випускному класі. Для цього необхідно використати загальні закономірності природи і зв'язати за допомогою них всі теми, які будуть вивчатися в курсі природознавства 11 класу.

Ось ці закономірності:

закономірність збереження, до якої входять закон збереження і перетворення енергії, закон збереження маси речовини, закон збереження електричного заряду;

закономірність спрямованості самочинних процесів до рівноважного стану, зміст якої складають закон про самочинний перехід тіл до мінімуму енергії взаємодії (падання тіл на землю, рух води до найнижчого рівня, об'єднання атомів у молекулу тощо) та закон про перехід системи, що складається з великої кількості частинок, до максимально можливої неупорядкованості (розширення газів, розчин речовин, дифузія та ін.);

закономірність періодичності процесів у природі, зміст якої включає періодичний закон, знання про кругообіг речовин, про біоритми в живій природі.

За допомогою перелічених загальних закономірностей ви будете пояснювати фізичні, хімічні, біологічні, географічні явища й об'єкти, що вивчаються, і в такий спосіб об'єднаєте їх у цілісність.

В 11 класі вивчається значна кількість елементів знань про природу. Уміти пояснювати кожне явище, кожен об'єкт, що вивчається, за допомогою загальних закономірностей природи – важливо, але це б забрало багато часу на уроці та вдома.

Можете врахувати наступне. У кожному модулі і навіть у кожній темі курсу вивчаються специфічні закони або закономірності: фізичні, хімічні, біологічні, географічні. На основі специфічних (часткових) законів і закономірностей пояснюються явища, процеси, властивості об'єктів, що вивчаються в тій чи іншій темі. І якщо ви поясните часткові закони і закономірності на основі загальних закономірностей природи, то це означає, що явища та процеси, які пояснювали ці часткові закони і закономірності, об'єднані на основі загальних закономірностей.

Образ природи учні моделюють за допомогою схеми. У її центрі розташоване ядро знань про природу – навколо загальних закономірностей розміщують теми, що вивчалися в модулях, і від тем вказують основні знання, які вважають за необхідне показати на своєму образі. До них додають ілюстрації – власні або знайдені в Інтернеті малюнки і фотографії. У центрі образу природи розміщують свій символ природи чи образу світу.

До кожного модуля учень додає ті явища, об'єкти, досліди, спостереження, які мають для нього важливе значення і тому включені ним у образ природи.

Образ світу випускника – особистісно значуща система знань про дійсність, яку він створив на момент закінчення школи. Основу образу світу складає образ природи – система знань, створена випускником під час засвоєння змісту природничо-наукової освіти.

Перевірте себе

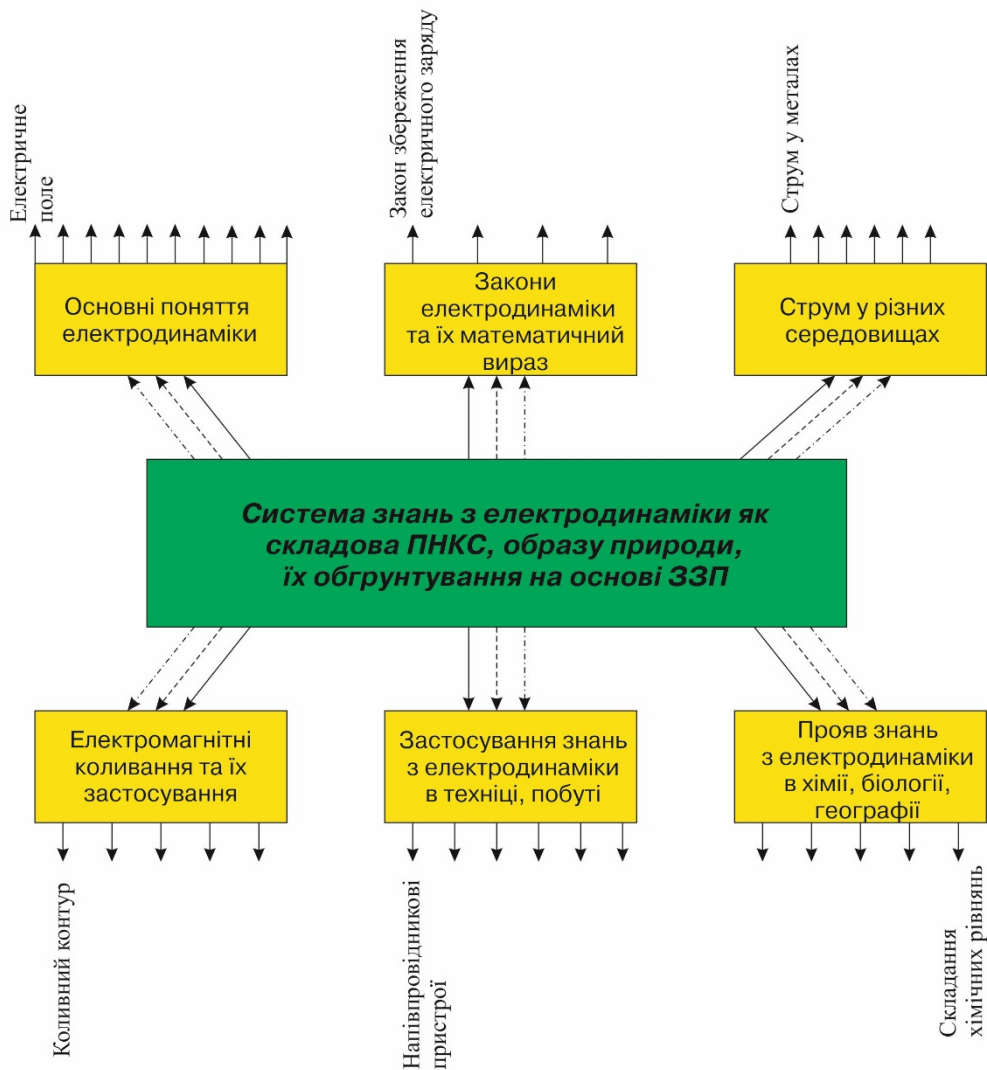
1. Як ви плануєте сформулювати зміст ядра природничо-наукових знань?
2. За допомогою яких загальних закономірностей ви об'єднаєте елементи природничо-наукових знань?

Поміркуйте

1. Чим образ природи відрізняється від ПНКС?
2. Чи може бути фізична, хімічна, біологічна картини світу?
3. Чим можуть відрізнятися образи природи учнів і що в них спільне?

Подискутуйте

1. Розгляньте *мал. 5* – структурно-логічну схему теми фізико-астрономічного модуля «Електродинаміка», яку ви скоро почнете вивчати. Що б ви в ній змінили?
2. Розгляньте модель ядра образу природи випускника (*мал. 6*). Як би ви його змінили? Чи згодні ви зі змістом ядра образу природи? Який символ ви оберете для свого образу природи?



Зв'язки елементів змісту теми на основі:

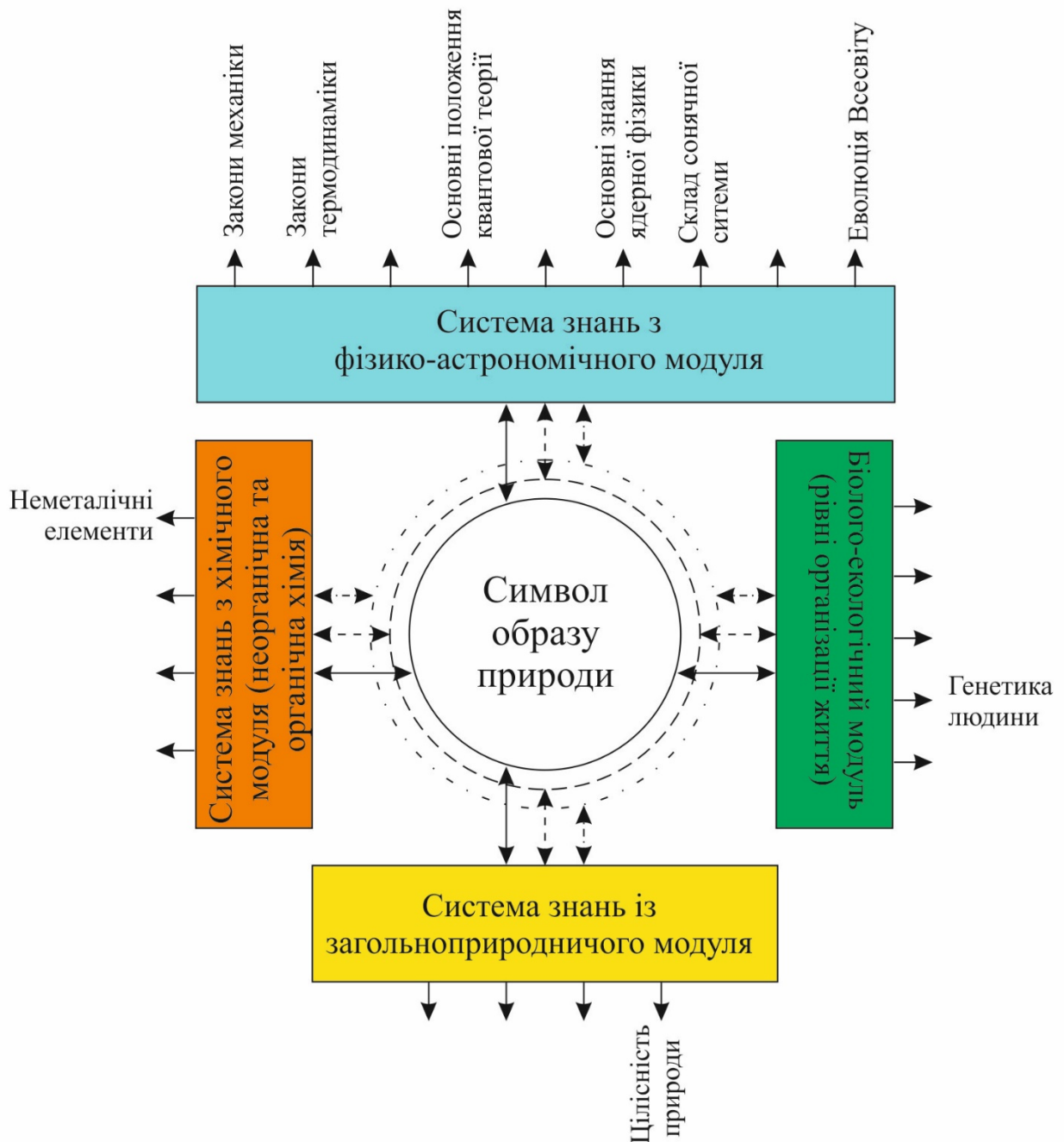
—————> закономірності збереження

-----> закономірності направленості самочинних процесів

.....> закономірності періодичності процесів у природі

Мал. 5. Варіант ядра СЛС теми «Електродинаміка»

Розгляньте зміст фізико-астрономічного модуля. Як би ви змінили запропонований варіант ядра?



Мал. 6. Варіант ядра образу природи випускника

Розгляньте зміст модулів, які будете вивчати в 11 класі. Які з елементів знань, показаних на ядрі, ви б змінили?

- Розгляньте «портрети» законів природи (мал. 7). Назвіть їх. Наприклад: «Симетрія в природі» (2), «Прояв закону збереження і перетворення енергії» (4), «Періодичність процесів та прояв закону збереження і перетворення енергії» (6) тощо. Які з цих «портретів» ви взяли б за зразок, щоб прикрасити свій образ природи?



Мал. 7. «Портрети» законів природи

§3*. Готуємось моделювати природничо-наукову картину світу (урок у довкіллі)

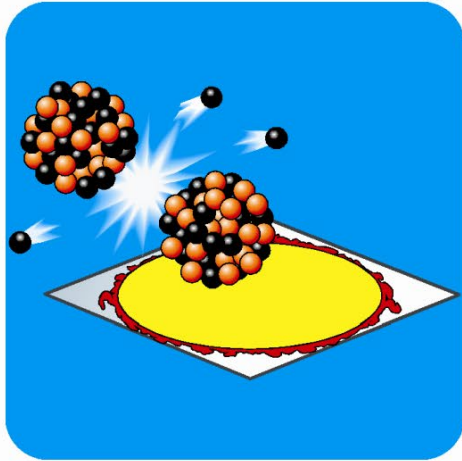
1. Вийдіть у довкілля, зручно влаштуйтеся.
2. Спостерігайте явища природи, які відбуваються навколо вас.
3. Виберіть 3-5 явищ, які можете пояснити на основі часткових і загальних законів природи.
4. Спробуйте підготувати презентацію «Прояв загальних закономірностей в довкіллі», підбравши картини (власні фотографії), вірші поетів (власні вірші), скульптури. Наприклад:

Красива осінь вишиває клени
Червоним, жовтим, срібним, золотим.
А листя просить: – Виший нас зеленим!
Ми ще побудем, ще не облетим.

Ліна Костенко.



5. Зверніть увагу на дату проведення уроку. Які народні прикмети і звичаї пов'язані з цим днем? (Використайте народний календар). Спробуйте знання про них пояснити на основі загальних закономірностей – ввести їх в єдину систему знань про природу.



*О сколько нам открытий чудных
Готовят просвещенья дух,
И опыт, сын ошибок трудных,
И гений, парадоксов друг,
И случай, бог изобретатель.*

А. Пушкин



ФІЗИКО-АСТРОНОМІЧНИЙ МОДУЛЬ

ВСТУП

УЯВЛЕННЯ ПРО ПРОСТІР І ЧАС У КЛАСИЧНІЙ ТА РЕЛЯТИВІСТСЬКІЙ МЕХАНІЦІ

У 9 класі ви познайомилися з основними поняттями класичної механіки. Закони класичної механіки, яку ви будете вивчати в цій темі діють однаково у всіх інерціальних системах відліку. Вони мають однаковий вираз у всіх точках простору, у всі моменти відліку часу. Рух ніяк не впливає на перебіг часу, лінійні розміри тіла не залежать від того, у спокої це тіло чи в русі.

В основній школі ви також познайомилися із світловими, електромагнітними явищами. Зокрема, мабуть, пам'ятаєте, що світло у вакуумі поширюється з найбільшою у природі швидкістю ($c = 300000 \frac{\text{км}}{\text{с}}$), що світло — електромагнітна хвиля.

Вивчаючи механіку, ви дізнаєтеся про закон додавання швидкостей. Отже, згідно із класичною механікою швидкість світла c може бути такою лише в одній вибраній системі відліку. У будь-якій іншій системі відліку, яка рухається відносно обраної зі швидкістю u , швидкість світла дорівнюватиме $\vec{c} - \vec{u}$. Це означало б, що закони, які описують електромагнітні явища при переході від однієї системи відліку до іншої будуть змінюватися.

Визначні фізики — голландський фізик Г. Лоренц, англійський фізик Дж. Максвелл, німецький фізик Г. Герц, американські вчені А. Майкельсон і Е. Морлі — доклали значних зусиль, щоб виявити відмінності інерціальних систем відліку.

Зовсім інакше підійшов до розв'язання проблеми Ейнштейн: не потрібно придумувати різні гіпотези, щоб пояснити негативні результати всіх спроб виявити відмінності інерціальних систем. Цілковита рівноправність усіх інерціальних систем відліку стосовно не тільки механічних, а й електромагнітних процесів — це закон природи. Немає ніякої різниці між станом спокою і рівномірного прямолінійного руху.

Принцип відносності — основне положення або постулат теорії Ейнштейна. Його можна сформулювати так: усі процеси природи відбуваються однаково в будь-якій інерціальній системі відліку.

Це означає, що в усіх інерціальних системах фізичні закони мають однакову форму. Отже, принцип відносності класичної механіки поширюється на всі процеси в природі, в тому числі й на електромагнітні.

Постулат у фізичній теорії відіграє таку саму роль, як аксіома в математиці. Це основне положення, яке приймається без доведення. Постулат у фізиці — це результат узагальнення дослідних фактів.



Альберт Ейнштейн

Ейнштейн Альберт (1879-1955) — видатний фізик ХХ століття. Він створив нове вчення про простір і час — спеціальну теорію відносності. Узагальнюючи цю ідею для інерціальних систем відліку, Ейнштейн побудував загальну теорію відносності.

Ейнштейн уперше ввів поняття про частинки світла — фотони. Його праця в галузі теорії броунівського руху сприяла остаточній перемозі молекулярно-кінетичної теорії будови речовини.

Людство глибоко шанує прогресивну суспільну діяльність Ейнштейна, який не раз виступав проти війни.

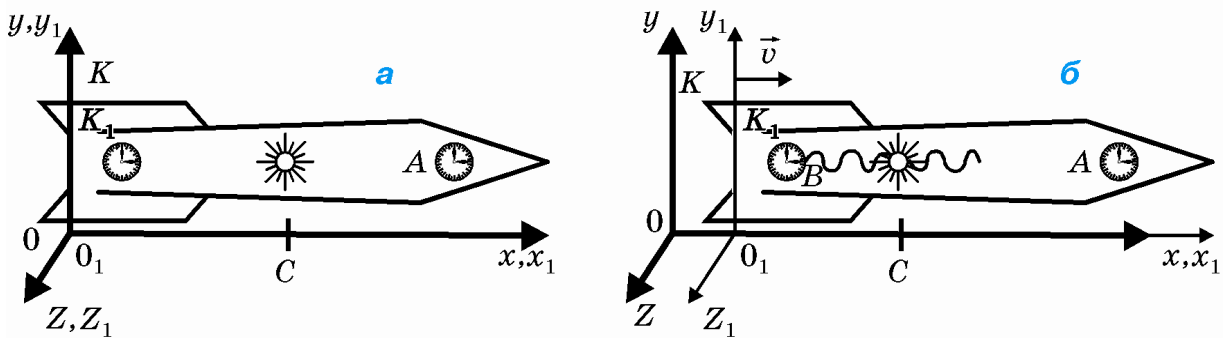
Але теорія відносності ґрунтується не тільки на принципі відносності. Є ще й другий постулат: *швидкість світла у вакуумі однакова для всіх інерціальних систем відліку. Вона не залежить ні від швидкості джерела, ні від швидкості приймача світлового сигналу.*

Швидкість світла займає, таким чином, особливе місце. Крім того, як впливає з постулатів теорії відносності, швидкість світла у вакуумі є максимально можливою швидкістю передавання взаємодій у природі.

Щоб наважитися сформулювати постулати теорії відносності, потрібна була велика наукова сміливість. Справа в тому, що ці постулати очевидно суперечать класичним уявленням про простір і час.

Уявлення класичної механіки про простір і час допускають можливість миттєвого передавання взаємодій і сигналів з однієї точки простору до іншої. Існування граничної швидкості передавання взаємодій вимагає глибоких змін звичайних уявлень про простір і час, які спираються на повсякденний досвід.

Відносність одночасності. Припустимо, що космонавт хоче дізнатися, чи однаконо йдуть годинники A і B , встановлені на протилежних кінцях космічного корабля (мал. 1). Для цього за допомогою джерела, нерухомого відносно корабля, він точно посередині корабля робить спалах світла. Світло одночасно досягає обох годинників. Якщо покази годинників у цей момент однакові, то годинники йдуть синхронно.



До поняття відносності одночасності

Але так буде лише відносно системи відліку K_1 , що зв'язана з кораблем. У системі K , відносно якої корабель рухається, буде інакше. Годинник на носі корабля віддаляється від джерела, і, щоб досягти годинника A , світло має пройти відстань, більшу від половини довжини корабля (мал. 1 а, б). Навпаки, годинник B на кормі наближається до джерела, і шлях світлового сигналу менший від половини довжини корабля. Тому спостерігач у системі K зробить висновок, що сигнали приходять до обох годинників не одночасно.

Дві будь-які події у точках A і B , одночасні у системі K_1 , неодноразні в системі K . Але за принципом відносності системи K_1 і K цілком рівноправні. Жодна з них не має переваги. Тому ми змушені зробити висновок про те, що одночасність просторово відокремлених подій відносна. Причиною відносності одночасності є, як бачимо, скінченність швидкості поширення сигналів.

Із постулатів теорії відносності випливає, що довжина тіл у рухомих системах відліку скорочується:

$$l = l_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

Час у рухомих системах відліку сповільнюється:

$$\Delta t = \frac{\Delta t_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

В обох формулах v — швидкість руху інерціальної системи відліку відносно нерухомої інерціальної системи відліку відносно нерухомої інерціальної системи відліку.

Спеціальна теорія відносності ґрунтується на двох положеннях: усі процеси природи відбуваються однаково у всіх інерціальних системах відліку; швидкість світла у вакуумі однакова у всіх інерціальних системах відліку.

Залежність маси від швидкості. За другим законом Ньютона стала сила, що діє на тіло тривалий час, може надати йому як завгодно великої швидкості.

$$m \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = \vec{F}$$

Але насправді тіло не може рухатися з швидкістю, більшою від швидкості світла у вакуумі. Проте досить дещо змінити рівняння руху тіл, і це рівняння буде дійсним для великих швидкостей руху.

Для великих швидкостей руху, близьких до швидкості світла, рівняння руху не змінює своєї форми. Зміни стосуються лише маси. Саме при великих швидкостях руху маса не залишається сталою, а починає зростати в міру наближення швидкості руху тіла до швидкості світла c .

Залежність маси від швидкості можна знайти, виходячи з припущення, що закон збереження імпульсу дійсний і для нових уявлень про простір і час. Розрахунків ми робити не будемо, наведемо відразу кінцевий результат.

Якщо m_0 — маса тіла в стані спокою, то маса тіла, яке рухається з швидкістю v визначається формулою

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Для швидкостей руху, значно менших від швидкості світла, вираз $\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$ дуже мало відрізняється від одиниці.

Тому неможливо помітити збільшення маси із зростанням швидкості при порівняно невеликих швидкостях руху. Ця залежність стає помітною для елементарних частинок в сучасних прискорювачах.

$$\vec{p} = \frac{m_0 \vec{v}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

А основний закон релятивістської динаміки матиме попередню форму:

$$\frac{\Delta \vec{p}}{\Delta t} = \vec{F}.$$

Із збільшенням швидкості руху маса тіла, яка визначає його інертні властивості, збільшується. Коли $v \rightarrow c$, маса тіла зростає необмежено ($m \rightarrow \infty$), тому прискорення прямує до нуля, і швидкість практично не зростає, як би довго не діяла сила.

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

***Зв'язок між масою й енергією.** Найважливіший наслідок теорії відносності, що відіграє одну з головних ролей в ядерній фізиці елементарних частинок — це універсальний зв'язок між енергією і масою.

Цей висновок випливає із закону збереження енергії і з того, що маса тіла залежить від швидкості його руху.

Кількісний зв'язок маси й енергії найпростіше з'ясувати на прикладі руху тіла з швидкістю v , що значно менша від швидкості світла c . Для цього знайдемо наближений вираз залежності маси від швидкості, коли $v \ll c$. Знаменник у формулі можна записати так:

$$\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} = \sqrt{\left(1 - \frac{1}{2} \frac{v^2}{c^2}\right)^2 - \frac{1}{4} \frac{v^4}{c^4}}.$$

Виконавши математичні перетворення, отримуємо:

$$m \approx m_0 + \frac{1}{2} m_0 v^2 \frac{1}{c^2}.$$

Звідси виходить, що зміна маси тіла $\Delta m = m - m_0$, коли його кінетична енергія зростає :

$$\Delta m = \frac{\Delta W_k}{c^2}$$

Отже, приріст маси тіла від збільшення його швидкості дорівнює наданій йому кінетичній енергії, поділеній на квадрат швидкості світла.

У теорії відносності Ейнштейн установив формулу зв'язку енергії і маси:

$$E = mc^2 = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Енергія тіла або системи тіл дорівнює масі, помноженій на квадрат швидкості світла.

Якщо змінюється енергія системи, то змінюється і її маса:

$$\Delta m = \frac{\Delta E}{c^2}$$

Оскільки коефіцієнт - у дуже малий, то зміна маси стає помітною лише при дуже великих змінах енергії. Під час хімічних реакцій, під час нагрівання тіл у звичайних умовах зміни енергії такі, що відповідну зміну маси виявити експериментально не вдається. Гарячий чайник має більшу масу, ніж холодний; але навіть за допомогою найчутливіших терезів цю різницю не виявили. Лише під час перетворення атомних ядер і елементарних частинок зміни енергії такі великі, що стає помітною й зв'язана з ними зміна маси.

При малих швидкостях руху тіла формулу можна записати так:

$$E \approx m_0 c^2 + \frac{m_0 v^2}{2}$$

У цій формулі другий член — кінетична енергія тіла. Перший доданок виражає енергію тіла при швидкості, що дорівнює нулю, так звану енергію спокою E_0 .

$$E_0 = m_0 c^2$$

Будь-яке тіло має енергію вже навіть тому, що воно існує, і величина цієї енергії пропорційна масі спокою m_0 . З експериментальними доказами, перетворенням елементарних частинок, що підтверджують цей висновок, ви познайомитеся пізніше.

Між масою і енергією існує зв'язок:

$$E = mc^2$$

$$E_0 = m_0 c^2.$$

МЕХАНІКА

§ 1. Зародження і розвиток фізики як науки.

Місце фізико-астрономічних знань в образі природи старшокласника

Основні знання параграфа: фізика як природнича наука, механіка, термодинаміка, електродинаміка, атомна і ядерна фізика, методи наукового пізнання.

«Наука — це невпинна багатовікова робота думки багатьох вчених звести в єдине ціле всі явища реального світу», — так писав А. Ейнштейн. Ще стародавні мислителі прагнули створити таку систему знань, яка пояснювала б всю велику різноманітність явищ природи одночасно. Вирішення такої грандіозної задачі виявилось неможливим і вже в Стародавній Греції стали виділятися і розвиватися окремі науки, які досліджують схожі явища, що об'єднані загальними ознаками. Це виявилось надзвичайно продуктивним для успішного вивчення певної групи об'єктів і явищ, що значно прискорило процес накопичення знань.

За кілька сотень останніх років наука зазнала значних змін. Якщо у середньовіччі поряд із мислителями-одинаками існували нечисленні університети, то у наш час наука стала суспільною справою і перетворилася на особливу галузь діяльності, що має складну структуру. Науково-дослідницькі центри мають сучасні засоби обміну інформацією, експериментальне і промислове виробництво, систему підготовки фахівців тощо. У розв'язанні наукових питань сьогодення часто приймають участь потужні наукові колективи в декілька сотень і тисяч людей. Наука, ставши могутньою продуктивною силою, подарувала людям безліч благ, які роблять життя людини комфортним. У той же час глобальне перетворення довкілля викликало надзвичайно багато екологічних проблем.

Завдання фізики, як природничої науки, — відкрити систему законів, яким підпорядковані об'єкти і явища навколишнього світу. У такий спосіб фізика

задовольняє багатовікову цікавість людства щодо того, як влаштований Всесвіт, ви і будете намагатися дізнатися під час вивчення курсу фізики.

Слово physics в перекладі означає природа. Отже, фізика — наука про природу. Вона вивчає найбільш прості і разом з тим найбільш загальні властивості тіл і явищ. Таким чином формується система загальних закономірностей природи, що проявляються в окремих об'єктах і явищах. Цей факт піднімає фізику на найвищий ступінь складності, оскільки дійти до загального в різноманітності тіл і явищ надзвичайно важко.

Таким чином, фізика одночасно і проста, і складна, оскільки розкриває найзагальніші закономірності існування світу. Це закономірності збереження, спрямованості самочинних процесів до рівноважного стану, періодичності процесів у природі. Їх використовують для пояснення різноманітних явищ і об'єднання знань про них у природничо-наукову картину світу.

Відкриття, зроблені у фізиці, торкаються всіх об'єктів і явищ природи. Тому фізика містить значну кількість знань, без яких не можна уявити інші природничі науки, багато із яких стали суміжними. Сьогодні успішно розвиваються хімія, біологія, астрофізика, біофізика, геофізика, де об'єкти досліджень вивчаються на основі законів фізики та за допомогою її методів.

Ви вже знаєте, що тіла або їх частини можуть змінювати положення одне відносно одного в просторі протягом певного часу. Ці явища називають *механічним рухом*. Вивченням законів механічного руху займається розділ фізики, який називають механікою. Отже, *механіка — наука про механічний рух тіл та про взаємодію, що виникає при цьому між тілами*. Слово «механіка» походить від грецького слова «механе» — машина, пристрій. Ви вже знайомі з діяльністю таких визначних вчених як Паскаль, Галілей, Ньютон, що присвятили свої дослідження розвитку механіки.

Теплові процеси, пов'язані з отриманням тепла і передачею його від одних тіл до інших, вивчає *термодинаміка*. Цей розділ фізики присвячений тепловим явищам і властивостям тіл у всій їх різноманітності. Термодинаміка розвивалася завдяки працям Карно, Майєра, Джоуля, Гельмгольца, Больцмана. З діяльністю деяких із цих вчених ви вже познайомилися в попередніх класах.

Ми не уявляємо виробництва і побуту без електромагнітних явищ. Їх вивчає *електродинаміка* — розділ фізики, з яким ви познайомитеся в наступному класі. З творців електродинаміки вам знайомі Ерстед, Ампер, Ом, Фарадей, Максвел.

Три розділи класичної фізики — механіка, термодинаміка і електродинаміка, — взаємопов'язані між собою. Так, за допомогою руху частинок пояснюють

багато теплових і електромагнітних явищ. Знання природи електромагнітних явищ дозволяє пояснити певні процеси в механіці.

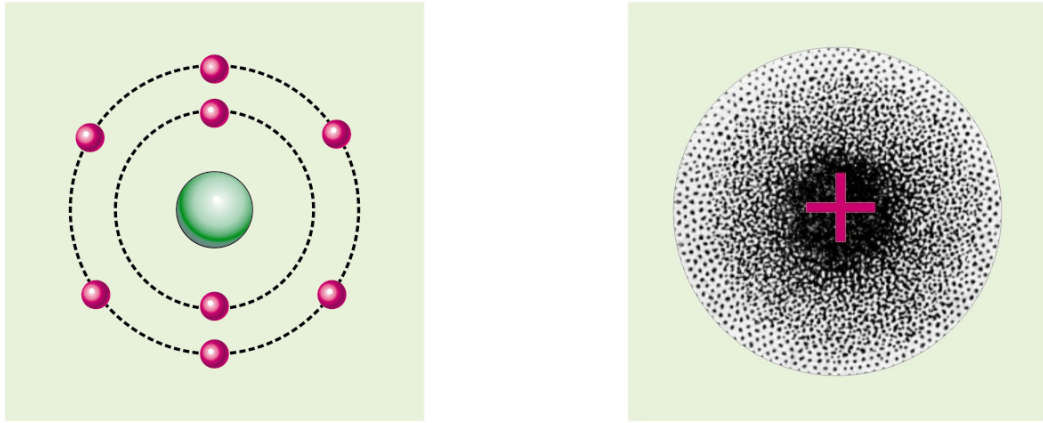
Питання будови речовини існує у науці з часу її виникнення. Розв'язання цього питання пройшло шлях від ідеї про чотири елементи — землю, воду, повітря і вогонь, до відкриття елементарних частинок. Проблеми будови речовини досліджує *атомна і ядерна фізика*. З багатьма творцями її ви також знайомі. Серед них — Резерфорд, Бор, Кюрі, Іваненко.

Із курсу природознавства та фізики ви вже знаєте, що існують різні наукові методи дослідження природи: *спостереження, експеримент, моделювання*. Ці методи використовуються під час дослідження фізичних об'єктів та явищ. Під час проведення наукових досліджень висловлюють *гіпотези*, проводять *вимірювання*. Властивості об'єктів, фізичні явища описують і пояснюють на основі *законів та теорій*.

Спостереження допомагають встановити вихідні факти. Наприклад, спостерігаємо, що всі тіла падають на Землю, при нагріванні тіла розширюються, у дзеркалі можна побачити зображення об'єктів. Учені накопичують і порівнюють подібні факти, виявляють зв'язки між ними, відповідають на запитання, що виникають під час спостережень. Наприклад, чи всі тіла падають на землю з однаковою швидкістю? Чи всі тіла при нагріванні розширюються однаково? Щоб переконатися в об'єктивності спостереження, учені проводять експерименти.

Найскладніше в науковому пізнанні — виявлення сутності спостережуваних явищ, відкриття загальних закономірностей і законів природи. Цей етап потребує від дослідника широких знань, досвіду, сміливості, здатності робити припущення, висловлювати гіпотези, аналізувати й узагальнювати.

Під час експерименту в лабораторних умовах не завжди можна провести дослідження явища, яке спостерігається у природі. Це може бути пов'язане з тим, що досліджуються невидимі об'єкти мікросвіту, величезні за земними мірками об'єкти мегасвіту або явища, які небезпечні для людини (наприклад, блискавка). Тому фізики в багатьох випадках вдаються до моделей, за допомогою яких спрощено відтворюють певні процеси, розглядають моделі об'єктів, що представляють їх у зменшеному чи збільшеному вигляді. Моделі одного й того ж об'єкта можуть бути різними. Наприклад, відомі різні моделі атома (*мал. 1.1. 1; 1.1. 2*).



Мал. 1.1. 1 — планетарна модель атома Оксигену; 2 — хвильова модель атома Гідрогену

Досліди або експерименти найчастіше супроводжуються вимірюваннями. Характеристики тіл чи процесів, які можуть бути виміряні під час досліду, називають фізичними величинами. З багатьма із цих величин ви вже познайомилися: довжина, об'єм, температура, маса, енергія тощо.

Кожна фізична величина вимірюється певною одиницею. Більшість країн користуються Міжнародною системою одиниць (скорочено СІ — система інтернаціональна). Серед основних одиниць цієї системи такі: одиниця довжини — 1 метр (1 м); одиниця часу — 1 секунда (1 с); одиниця маси — 1 кілограм (1 кг); одиниця температури — 1 кельвін (1 К); одиниця сили струму — 1 ампер (1 А).

Фізика — одна з найбільш загальних наук про природу.

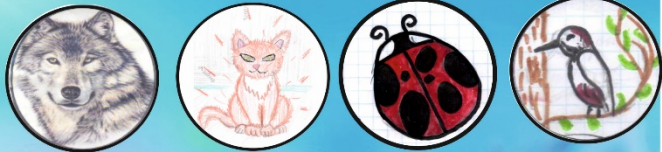
Існують різні наукові методи дослідження природи: спостереження, експеримент, моделювання.

Вивчаючи фізико-астрономічний модуль, ви будете моделювати наукову картину світу і її особистісно значиму складову – образ природи.

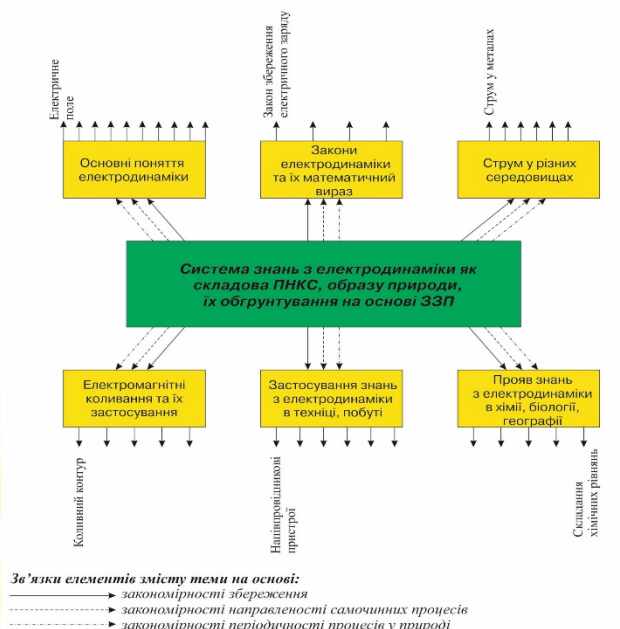
З поняттям «образ природи» ви вже познайомилися під час вивчення загальноприродничого модуля. Аналогічно до того, як до підручника «Природознавство» входять загальноприродничий, фізико-астрономічний, хімічний, біолого-екологічний модулі, так і образ природи включає чотири

системи знань. Нижче наводиться таблиця, в якій розміщений образ природи, змодельований учнем. У ньому вказані чотири системи знань, серед них і система фізико-астрономічних знань (верхня складова образу природи).

Образ природи та його символи

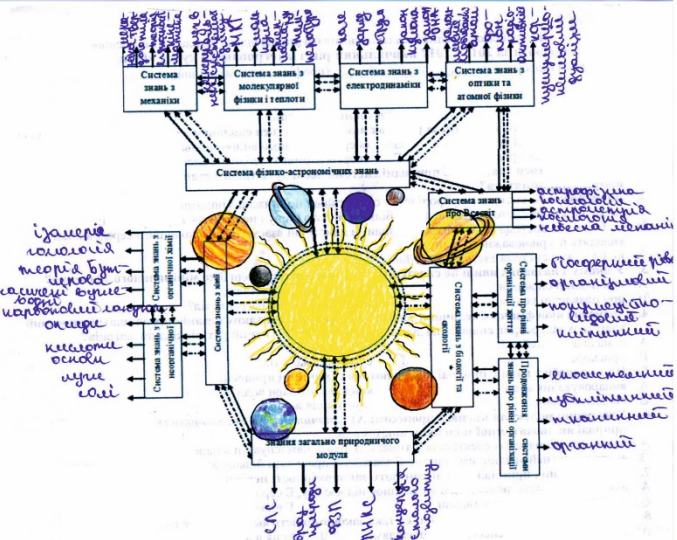


Символ образу ... кіт ... сонечко ... дятел
природи **Вовк**



Зв'язки елементів змісту теми на основі:

- закономірності збереження
- закономірності направленості самочинних процесів
- закономірності періодичності процесів у природі



Перевір себе

1. Що вивчає фізика? 2. Назвіть загальні закономірності природи. 3. З яких розділів складається курс фізики? 4. Назвіть найбільш визначних творців фізики. 5. Які методи наукового пізнання ви знаєте? 6. Для чого проводять експерименти?

Поміркуй

7. Які явища і об'єкти вивчає механіка? 8. Які явища і об'єкти вивчає термодинаміка? 9. Які явища і об'єкти вивчає електродинаміка? 10. До якого розділу фізики віднесете світлові явища, які ви вивчали у 7 класі? 11. У чому перевага такого методу дослідження як моделювання?

Подискуйте

1. Про життя яких видатних фізиків ви б хотіли дізнатися більше? Чому? Знаючи їх роки народження та місце проживання, спробуйте уявити, яким було їхнє життя.
2. Якими методами пізнання має володіти письменник, художник?
3. Для чого людині цілісне уявлення про природу – образ природи? Який символ ви оберете для свого образу природи?

§ 2. Роль фізичного знання в житті людини і суспільному розвитку

Основні знання параграфа: напрями технічного прогресу, енергетика, радіоелектроніка, автоматизовані системи управління.

Розглянемо напрями технічного прогресу, які мають значний вплив на господарську діяльність людини та суспільний розвиток і ґрунтуються на досягненнях фізики.

Перш за все, це енергетика. Ця галузь господарської діяльності має вирішальний вплив на інші галузі.

Електричну енергію можна отримувати у різний спосіб. Легкість передачі електричної енергії, простота й ефективність використання зробило цей вид енергії найбільш універсальним. Сучасні технології у застосуванні електрики дозволили автоматизувати різноманітні процеси та створити виробничі комплекси, керовані комп'ютерами.

Найбільш поширеними джерелами отримання електрики є тепла й атомна енергія. У них використовується хімічна енергія палива і ядерна енергія. Відповідно електроенергія виробляється на теплових електростанціях (ТЕЦ) і атомних (мал. 1.2, 1) електростанціях (АЕС). Навіть за наявності інших джерел енергії їх значення в енергозабезпеченні ще тривалий час буде значним.



Мал. 1.2. 1 — Рівненська атомна електростанція; 2 — Київська гідроелектростанція

Нині у світі функціонує понад 440 ядерних реакторів АЕС. Україна займає десяте місце у світі за їх кількістю. До 2050 року фахівці прогнозують збільшення потужностей світової атомної енергетики щонайменше удвічі. Для

цього необхідно збудувати кілька сотень ядерних реакторів і наростити виробництво ядерного палива. Перевага України зумовлюється природними ресурсами, оскільки вона має найбільші в Європі родовища уранових руд і цирконію для виробництва тепловидільних елементів (ТВЕЛів).

Зростання ролі ядерної енергетики у світі зумовлене як подорожчанням не відновлюваних видів палива так і вичерпанням його світових запасів. Важливе значення мають також принципи переваги використання урану в якості палива порівняно з іншими видами енергетичних ресурсів, які використовуються для виробництва електроенергії у значних обсягах, а саме: надзвичайно висока концентрація енергії; мінімальні викиди в атмосферу; мінімальний шкідливий вплив на здоров'я людей. Наприклад, вплив на збільшення смертності при роботі АЕС майже в 300 разів нижчий порівняно з ТЕС, що працюють на вугіллі (за даними Міжнародного агентства з атомної енергії (МАГАТЕ)).

Крім зазначеного, ядерна енергетика має й економічні переваги: повна собівартість електроенергії АЕС нижча, ніж у ТЕС, а в структурі собівартості багато важать капітальні затрати, що зумовлює незначну залежність від вартості власне палива.

Значна частина електричної енергії виробляється на гідроелектростанціях (ГЕС). Перевагами ГЕС є низька собівартість виробленої енергії та відсутність шкідливого впливу на навколишнє середовище після їх зведення (мал. 1.2, 2). Недоліком ГЕС є відносно висока вартість їх будівництва та завдання значної шкоди довкіллю через затоплення значних площ родючих земель, що типово для України.

Поступово розвиваються альтернативні способи отримання електроенергії, застосовуючи механічну енергію вітру, енергію сонця, земних надр тощо (мал. 1.3.). Більш висока ефективність енергетичних процесів досягається завдяки одночасному виробленню електроенергії та одержанню тепла в технологічних процесах.



Мал. 1.3. 1 — сонячна електростанція; 2 — вітроелектростанція

Важливим чинником розвитку науково-технічного прогресу є застосування радіоелектроніки. Ця галузь техніки є основою сучасної фізики, хімії, астрономії, біології тощо.

Завдяки радіоелектроніці відбувається автоматизація виробничих процесів. Використання електронних автоматизованих систем управління (АСУ) дозволяє значно підвищити продуктивність виробництва. Застосування сучасних комп'ютеризованих систем є основою розвитку економіки.

За допомогою АСУ виконується управління в масштабі окремих пристроїв і виробничих ліній, цехів, заводів і цілих галузей промислового виробництва. АСУ полегшують керування літаками і кораблями диспетчерським службам. Комп'ютерні системи широко використовуються в медицині й космічній техніці, роблять комфортним побут та забезпечують суспільний прогрес загалом. Адже навіть прогноз погоди неможливий без комп'ютерної обробки метеорологічної інформації, яку постачають супутникові системи.

Останнім часом все більшого поширення набувають системи супутникової навігації в транспорті: автомобільному, залізничному, повітряному.

На сучасному етапі прогресу атомної енергетики, авіації, космонавтики, радіоелектроніки, машинобудування широко використовуються синтетичні матеріали. Часто вони більш міцні, тепловитривалі, менш піддаються корозії.

Завдяки досягненням сучасної науки успішно здійснюється синтез штучних алмазів, які використовують для промислового виробництва алмазних інструментів. Промислове виробництво напівпровідникових матеріалів дозволило широко запровадити сучасні комп'ютерні технології. Зростає виробництво рідкісних металів. Тепер вони є звичайними матеріалами в радіоелектроніці, енергетиці, авіаційній і ракетній техніці, машинобудуванні, хімічній і сільськогосподарській промисловості.

На базі відкриттів у фізиці розробляються прогресивні технології, створюються новітні галузі промисловості.

Перевір себе

1. Назви основні напрямки технічного прогресу, пов'язані з фізикою. 2. Охарактеризуй роль фізики в розвитку енергетики. 3. Який вплив здійснює фізика на розвитку космонавтики?

Поміркуй

4. Охарактеризуй роль фізики в розвитку автоматизації. 5. Чи можна вказати галузь суспільного життя, в якій можливо обійтись без фізики.

Для допитливих

Оберіть проект. Ви можете обрати для роботи запропоновану або власну тему: «Використання фізики в комп'ютерній техніці», «Фізика в творах наукової фантастики: міфи і правда», «Пояснення фізичних явищ у стародавніх міфах і казках», «Вплив наукових відкриттів на творчість митців».

РОЗДІЛ 1. КІНЕМАТИКА

Кінематика — один з розділів механіки. Закони кінематики базуються на знаннях про механічні явища та характеристики механічного руху — траєкторію, шлях, швидкість тощо. Вивчення розділу приведе вас до узагальнення знань про механічний рух на основі математичного опису.

§ 3. Механічний рух. Система відліку

Основні знання параграфа: механічний рух та його види, основна задача механіки, матеріальна точка, характеристики механічного руху, система відліку, відносність механічного руху.

Ви вже знаєте, що явища в природі відбуваються у просторі і часі. Усі тіла у будь-який момент часу займають певне положення в просторі відносно інших тіл. Якщо із плином часу положення тіла відносно інших тіл змінюється, то тіло перебуває у *механічному русі*. Якщо із плином часу положення тіла відносно інших тіл не змінюється, то тіло перебуває у *спокої*.

Тіла можуть здійснювати найрізноманітніші механічні рухи: рухатися по прямолінійних чи криволінійних траєкторіях, швидше або повільніше й т. д.

Механічним рухом тіла називають зміну з часом його положення в просторі відносно інших тіл.

Щоб дослідити рух тіла, треба дізнатися як змінюється його положення відносно інших тіл з плином часу. Якщо це відомо, можна визначити положення тіла в будь-який момент часу, зробивши певні обчислення. Це і є *основна задача механіки* — визначити положення тіла в будь-який момент часу. Так, астрономи, користуючись законами механіки, можуть обчислювати положення небесних тіл відносно одне одного, передбачаючи з великою точністю такі небесні явища, як затемнення Сонця або Місяця. Наприклад, астрономи очікують наступну появу комети Галлея в 2061 році.

Щоб розв'язати основну задачу механіки, потрібно знайти математичний опис руху, тобто змодельювати зв'язки між величинами, які характеризують механічний рух. Розділ механіки, який вивчає ці величини та зв'язки між ними, називається *кінематикою* (з грецької «рух»). Сили, що спричиняють механічний рух, в кінематиці не розглядаються.

Матеріальна точка. Кожне тіло має певні розміри. Тому різні точки тіла перебувають у різних місцях простору. Як же визначити положення тіла? Чи завжди потрібно враховувати положення всіх його точок?

Зверніться до *мал. 1.6*. Чи потрібно визначати положення кожної точки автомобіля, автобуса? Адже всі точки цих тіл (за виключенням точок на колесах) змінюють свої координати з часом однаково.

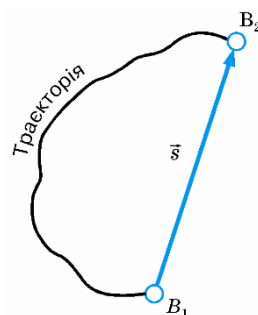
Немає потреби описувати рух кожної точки тіла й тоді, коли *розміри тіла малі порівняно з відстанню, яку воно проходить*. Наприклад, корабель або літак малі порівняно з протяжністю їхнього рейсу, тому їх можна вважати точкою, описуючи їхній рух.

Так само роблять астрономи, описуючи рухи небесних тіл. Планети, зорі, Сонце, звичайно, не малі тіла. Але радіус Землі приблизно у 24000 раз менший, ніж відстань від Землі до Сонця. Тому можна вважати Землю точкою, що рухається навколо іншої точки — центра Сонця.

Надалі, характеризуючи рух тіла, матимемо на увазі рух *якої-небудь однієї його точки*.

Тіло, розмірами якого за даних умов руху можна знехтувати, називають матеріальною точкою. Тобто матеріальна точка — це модель тіла, яка не має розмірів і яка визначає координатами положення реального тіла в просторі.

Переміщення, траєкторія. Тіло завжди рухається у певному напрямі. І щоб знайти нове положення тіла, треба знати напрям відрізка прямої, що сполучає початкове й кінцеве положення тіла. Цей напрямлений відрізок прямої є переміщенням тіла. Кінець відрізка, що зображає переміщення, для наочності позначають стрілкою. Направлений відрізок, що сполучає початкове положення тіла A_1 і наступне положення тіла A_2 (*мал. 1.4.*), є графічним зображенням переміщення. Переміщення позначається \vec{s} (с) — це величина векторна.



Мал. 1.4. Траєкторія — пряма лінія — *Мал. 1.5. Переміщення і траєкторія в криволінійному русі*

Переміщенням тіла (матеріальної точки) називають напрямлений відрізок прямої, що сполучає початкове положення тіла і його наступне положення.

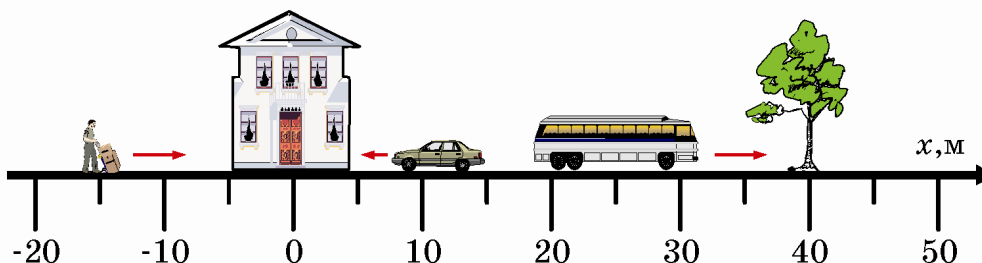
Переміщення тіла треба відрізнити від його траєкторії — лінії, уздовж якої рухається тіло. Траєкторія руху тіла може і не збігатися з переміщенням, як це бачимо, наприклад, з малюнка 1.2., де зображено траєкторію, вздовж якої тіло перемітилося з V_1 у V_2 , і здійснене тілом переміщення \vec{s} .

Шлях — це довжина траєкторії, яку описує матеріальна точка за певний інтервал часу. Шлях не завжди співпадає з переміщенням (мал. 1.5.).

Прямолінійний і криволінійний механічні рухи. За формою траєкторії механічні рухи бувають прямолінійними (мал. 1.4.) і криволінійними (мал. 1.5.). Траєкторіями таких рухів відповідно є пряма лінія та довільна крива.

Як же визначити положення тіла в просторі? Тіло відліку можна вибрати довільно. Ним може бути будинок, в якому живемо, вагон поїзда, в якому їдемо, і т. д. Тілами відліку можуть бути Земля, Сонце, зорі.

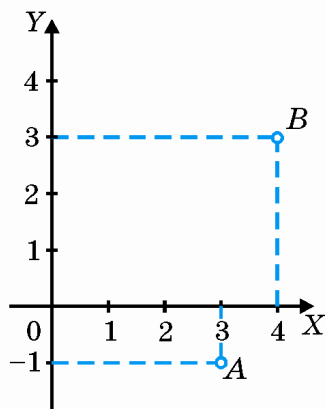
Зверніться до мал. 1.6., знайдіть на ньому тіло відліку, відносно якого показано положення об'єктів. Чому для одних тіл відстань від нього виражена додатнім числом, для інших — від'ємним? Очевидно, тіла перебувають відносно тіла відліку (будинку) в протилежних напрямках. Вкажіть рухомі і нерухомі відносно тіла відліку тіла.



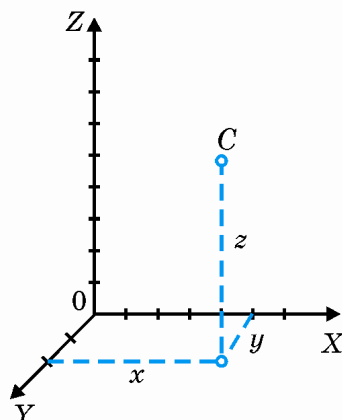
Мал. 1.6. Розташування об'єктів відносно тіла відліку

Якщо тіло відліку вибрано, то з ним пов'язують початок системи координат і через цю точку проводять осі координат. Положення будь-якої точки в просторі визначають її координатами. На мал. 1.6. показана система координат з початком у т. О, яка пов'язана з будинком. В цій системі координата легкового автомобіля (передніх коліс) — $x_1 = 10$, автобуса — $x_2 = 20$ м, дерева $x_3 = 40$ м, людини $x_4 = -15$ м.

Якщо тіло може рухатися в межах деякої площини (наприклад, човен на озері), то через вибрану на площині точку (початок координат) проводять дві взаємно перпендикулярні осі OX і OY (мал. 1.7.). Положення точки на площині визначається двома координатами x і y . Наприклад, для точки A координати такі: $x = 3$, $y = -1$, координати точки B : $x = 4$, $y = 3$.



Мал. 1.7. Прямокутна система координат на площині



Мал. 1.8. Координати точки в просторі

Нарешті, якщо тіло (точка) можуть рухатись не вздовж певної прямої і не в певній площині, а в просторі (наприклад, гвинтокрил у повітрі), то через вибрану на тілі відліку точку (початок координат) проводять три взаємно перпендикулярні осі координат: OX , OY і OZ (мал. 1.8). Відповідно до цього положення точки в просторі визначається трьома координатами: x , y , z .

Отже, положення точки на лінії, площині і в просторі визначається відповідно одним, двома або трьома числами — координатами. Простір, у якому ми живемо, є тривимірним простором.

Система відліку. Тіло відліку і система координат, пов'язана з ним, дають змогу задати положення тіла в просторі. Але під час руху тіла (точки) його положення змінюється з часом. Отже, потрібен ще прилад для вимірювання часу (годинник), пов'язаний з тілом відліку. Разом вони утворюють систему відліку.

Тіло відліку, система координат, пов'язана з ним разом із приладом для вимірювання часу утворюють систему відліку. Механічний рух розглядають відносно обраної системи відліку.

Для визначення положення тіла в просторі в будь-який момент часу необхідно вибрати систему відліку та знати початкове положення тіла і умови його руху. У різних системах відліку шлях, переміщення, траєкторія для одного і того ж рухомого тіла можуть бути різними. Наприклад, два спостерігачі —

один на березі річки, другий на плоту, який пливе за течією, спостерігають за човном, що також пливе за течією. В системі відліку, пов'язаній зі спостерігачем на березі, човен здійснює переміщення, проходить певний шлях, рухається по певній траєкторії. В системі відліку, пов'язаній зі спостерігачем на плоту, човен не рухається. Отже, рух і спокій відносні. У різних системах відліку швидкість одного і того ж тіла, його траєкторія, пройдений шлях, переміщення можуть бути різними. У цьому полягає відносність механічного руху.

Основна задача механіки — визначати положення тіла в будь-який момент часу.

Тіло, розмірами якого за даних умов руху можна знехтувати, називають матеріальною точкою.

Тіло відліку, система координат, пов'язана з ним разом із приладом для вимірювання часу утворюють систему відліку.

Для визначення положення тіла в просторі використовують такі характеристики механічного руху як переміщення, шлях, траєкторія.

За формою траєкторії механічні рухи бувають прямолінійними і криволінійними.

Перевір себе

1. Що таке механічний рух? Які характеристики його ви знаєте? 2. В чому полягає основна задача механіки? 3. Що таке матеріальна точка? 4. Для чого вводиться поняття матеріальної точки? 5. Що таке траєкторія? Шлях? Переміщення? Чим вони відрізняються? 6. Що таке система відліку? 7. Чому координати тіл (мал. 1.6) можуть бути додатні і від'ємні?

Поміркуй

8. Якими величинами визначається положення тіла (точки) у просторі? Скільки таких величин? 9. Чи може зміна координати бути від'ємною величиною? 10. В чому полягає відносність механічного руху? 10. Поясніть доцільність ідеалізації об'єктів у кінематиці. 11. Як розв'язання основної задачі механіки пов'язане з однорідністю часу і простору?

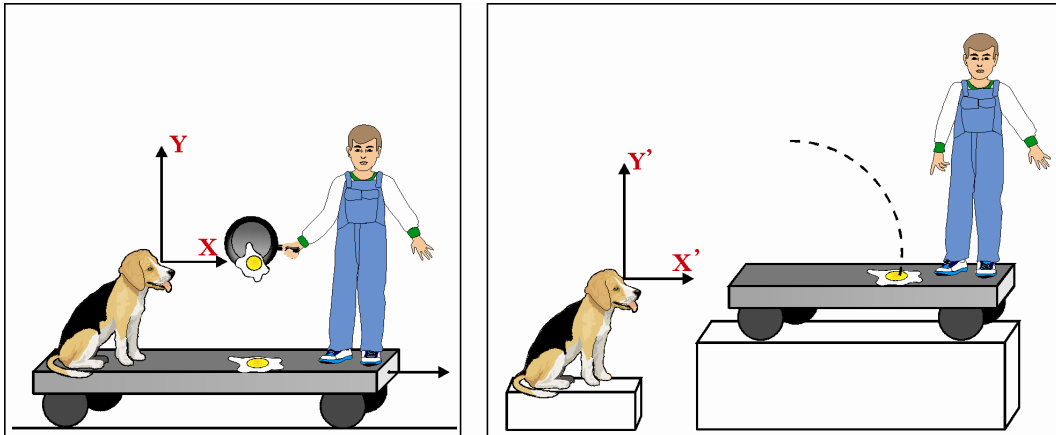
Подискутуйте

1. Чи пов'язана основна задача механіки із загальними закономірностями природи? З уявленнями про простір і час? Спробуйте обґрунтувати відповідь. 2. У яких з наведених нижче випадків тіла можна вважати матеріальними точками: 1. На верстаті виготовляють спортивний диск. Той самий «диск» після кидка спортсмена пролітає відстань — 55 м. 3. Ковзаняр проходить дистанцію змагань.

Фігурист виконує вправи довільної програми. 4. За рухом космічного корабля стежать з Центру управління польотом на Землі. За тим самим кораблем спостерігає космонавт, який здійснює стикування з ним у космосі. 5. Земля обертається навколо своєї осі. Земля рухається по орбіті навколо Сонця (Радіус орбіти Землі 150 000 000 км).

Оберіть проект

Виконайте серію малюнків на тему «Відносність механічного руху» за зразком на мал. 1.9.



Мал. 1.9. Відносність руху

§ 4. Рівномірний прямолінійний рух

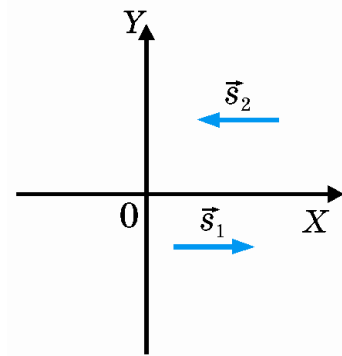
Основні знання параграфа: рівномірний прямолінійний рух, швидкість руху, залежність координати тіла від часу.

Розглянемо найпростіший вид руху — *рівномірний прямолінійний рух*.

Якщо траєкторією тіла (матеріальної точки) є пряма лінія, то такий рух називають прямолінійним. Прикладом може бути рух автомобіля на прямолінійній ділянці шляху (відсутні повороти тощо). *Прямолінійним рівномірним рухом називається рух, при якому тіло (матеріальна точка) за будь-які рівні проміжки часу здійснює однакові переміщення.*

Якщо координатну вісь, наприклад X , спрямувати уздовж тієї прямої, по якій рухається тіло, то такий рух можна описати зміною однієї координати x (решта координат змінюватися не будуть).

При такому виборі координатної осі X вектор переміщення може бути спрямований або так само, як і координатна вісь, або протилежно їй. У першому випадку проекція s_x вектора \vec{s}_1 додатна і дорівнює модулю вектора: $s_{1x} = s_1$. У другому випадку вона від'ємна і дорівнює $s_{2x} = -s_2$.



Мал. 1.10. Напрямок векторів переміщення

Швидкість. Спробуємо знайти переміщення тіла за деякий інтервал часу t . Для цього треба знати переміщення тіла за одиницю часу. Якщо за t одиниць

часу здійснено переміщення \vec{s} , то відношення $\frac{\vec{s}}{t}$ дорівнює переміщенню тіла за одиницю часу. Це відношення є швидкістю руху тіла і позначається буквою v : $\vec{v} = \frac{\vec{s}}{t}$.

Швидкістю рівномірного прямолінійного руху називають сталу векторну величину, що дорівнює відношенню переміщення тіла за будь-який інтервал часу до значення цього інтервалу.

Знаючи швидкість \vec{v} , можна знайти також переміщення за інтервал часу t :

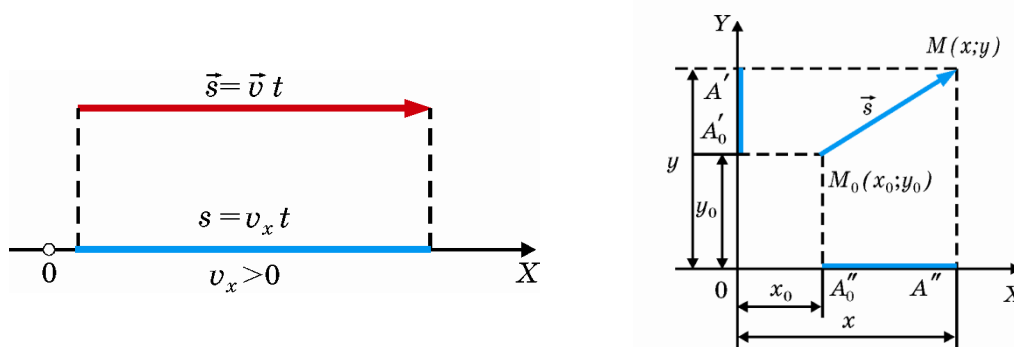
$$\vec{s} = \vec{v}t.$$

Вектор швидкості спрямований так само, як і вектор переміщення. Напрямок вектора швидкості є напрямком руху тіла.

Для визначення переміщення і швидкості використовують формули, до яких входять проекції векторів на координатні осі або вісь. Проекції векторів є скалярними величинами. Формула у скалярній формі записується наступним чином:

$$s_x = v_x t.$$

Тепер розглянемо вектор переміщення і його проекції на осі X, Y (мал. 1.11.). З малюнка видно, що $s_x = x - x_0$; $s_x = v_x t$; $v_x t = x - x_0$; $x = x_0 + v_x t$.



Мал. 1.11. Проекція переміщення і швидкості

на вісь X

Мал. 1.12. Проекція переміщення на осі X, Y

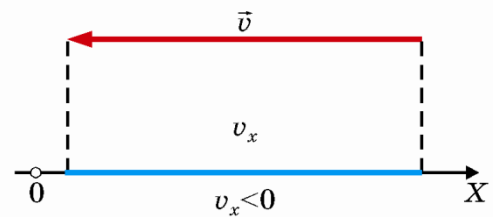
Отже, ми знайшли, як координата тіла залежить від часу у випадку рівномірного прямолінійного руху. А це і є розв'язок основної задачі механіки для цього випадку.

Останню формулу можна використати для того, щоб обчислити проекцію швидкості v_x тіла, якщо відома проекція s_x переміщення:

$$v_x = \frac{x - x_0}{t}$$

З формули видно, що проекція швидкості на координатну вісь дорівнює зміні координати за одиницю часу. Це означає, що швидкість показує, наскільки швидко змінюються координати тіла під час його руху. Проекція швидкості може бути як додатною, так і від'ємною (мал. 1.13).

При цьому слід пам'ятати, що автомобільні спідометри (прилади для вимірювання швидкості), що встановлюються в автомобілях, показують тільки модуль швидкості.



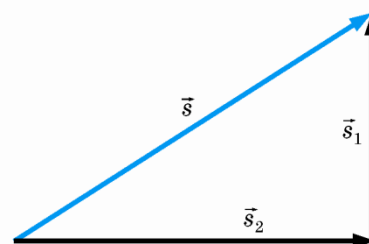
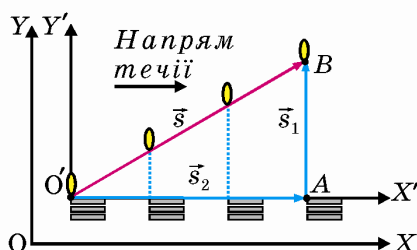
Мал. 1.13. Проекція швидкості від'ємна

Таким чином, для розв'язування основної задачі механіки необхідно знати вектор швидкості або його проекцію.

Закон додавання швидкостей. Розглянемо в різних системах відліку рух човна, що перепливає річку перпендикулярно до напрямку швидкості течії. Візьмемо до уваги, що за човном стежать два спостерігачі: один на березі O , другий на плоту O' .

З малюнків 1.14 і 1.15 видно, що переміщення \vec{s} човна відносно нерухомої системи відліку зв'язане з переміщеннями \vec{s}_1 і \vec{s}_2 формулою:

$$\vec{s} = \vec{s}_1 + \vec{s}_2$$



Мал. 1.14. Переміщення тіла Мал. 1.15. Додавання відносно нерухомої і рухомої систем переміщень відліку

Швидкість \vec{v} човна відносно нерухомої системи координат можна знайти, поділивши переміщення \vec{s} на час t :

$$\vec{v} = \frac{\vec{s}}{t} = \frac{\vec{s}_1}{t} + \frac{\vec{s}_2}{t},$$

тобто

$$\vec{v} = \vec{v}_1 + \vec{v}_2,$$

де $\vec{v}_1 = \frac{\vec{s}_1}{t}$ — швидкість човна відносно потоа, $\vec{v}_2 = \frac{\vec{s}_2}{t}$ — швидкість потоа відносно берега або швидкість течії.

Формула швидкості човна відносно нерухомої системи координат є формулою додавання швидкостей.

Швидкість тіла відносно нерухомої системи координат дорівнює геометричній сумі швидкості тіла відносно рухомої системи координат і швидкості рухомої системи відносно нерухомої. У цьому полягає закон додавання швидкостей.

Переміщення і швидкість тіла відносно різних систем відліку відрізняються. Різними є й траєкторії руху (AB — відносно рухомої системи і $O'B$ — відносно нерухомої). У цьому й полягає відносність механічного руху.

Приклади розв'язування задач

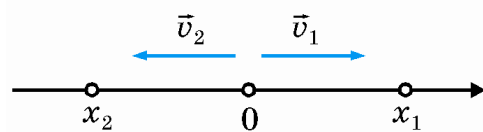
Задача 1. Дорогою назустріч один одному рухаються два автомобілі: один — із швидкістю 60 км/год, другий — 90 км/год. Біля заправної станції автомобілі зустрілися й після цього продовжували свій рух. Визначити положення кожного автомобіля через 30 хв після зустрічі та відстань між ними в цей момент.

Дано:

$$v_1 = 60 \frac{\text{км}}{\text{год}}$$

Розв'язання:

За початок координат візьмемо заправну станцію, а час відлічуватимемо від моменту зустрічі автомобілів.



Мал. 1.16. До задачі 1

$$v_2 = 90 \frac{\text{км}}{\text{год}}$$

$$t = 0,5 \text{ год}$$

$$x_1 - ? \quad x_2 - ? \quad l - ?$$

Координатну вісь X спрямуємо за напрямом руху першого автомобіля. Тоді координати автомобілів через 0,5 год після зустрічі можна визначити за формулами: $x_1 = x_{01} + v_{1x}t$, і $x_2 = x_{02} + v_{2x}t$.

Початкові координати x_{01} і x_{02} обох автомобілів дорівнюють нулю. Тому $x_1 = v_{1x}t$ і $x_2 = v_{2x}t$.

Проекція v_{1x} швидкості першого автомобіля додатна, бо вектор швидкості напрямлений так само, як вісь X : $v_{1x} = 60 \frac{\text{км}}{\text{год}}$. Проекція v_{2x} від'ємна і дорівнює $v_{2x} = -90 \frac{\text{км}}{\text{год}}$.

$$\text{Отже, } x_1 = 60 \frac{\text{км}}{\text{год}} \cdot 0,5 \text{ год} = 30 \text{ км}, \quad x_2 = -90 \frac{\text{км}}{\text{год}} \cdot 0,5 \text{ год} = -45 \text{ км}$$

Відстань l між автомобілями дорівнює різниці їх координат: $l = x_1 - x_2 = 30 \text{ км} - (-45 \text{ км}) = 75 \text{ км}$.

Відповідь: $l = 75 \text{ км}$.

Прямолінійним рівномірним рухом називається рух, при якому тіло за будь-які рівні проміжки часу здійснює однакові переміщення.

Швидкістю рівномірного прямолінійного руху називають сталу векторну величину, що дорівнює відношенню переміщення тіла за будь-який інтервал часу до значення цього інтервалу.

Для розв'язання основної задачі механіки необхідно знати вектор швидкості (або його проекцію) і початкове положення тіла.

Швидкість тіла відносно нерухомої системи координат дорівнює геометричній сумі швидкості тіла відносно рухомої системи координат і швидкості рухомої системи відносно нерухомої.

Перевір себе

1. Який рух називається рівномірним прямолінійним? 2. Що називають швидкістю рівномірного руху? Запишіть формули швидкості і переміщення. 3. В чому полягає закон додавання швидкостей?
4. Як змінюються координати рухомого тіла з часом? 5. Як у прикладі з човном рухаються вода і берег відносно човна?

Поміркуй

6. Спостереження за рухом футболіста показали, що протягом матчу він пробіг 10 км. Що це за величина: переміщення чи пройдений шлях? 7. Штурман, визначаючи вранці положення корабля, виявив, що корабель перебуває в точці, на 200 км на північ від пункту, де він був напередодні увечері. Що виражає це число: довжину переміщення чи пройдений шлях? 8. Покази спідометра автомобіля збільшилися на 200 км. Що показує спідометр: пройдений шлях чи довжину переміщення? 9. Автомобіль рухається на схід із швидкістю $50 \frac{\text{км}}{\text{год}}$. Другий автомобіль рухається з швидкістю $50 \frac{\text{км}}{\text{год}}$ на північ. Чи можна сказати, що обидва автомобілі рухаються з однаковими швидкостями? 10. Чи можна, знаючи початкове положення тіла й довжину пройденого ним шляху, визначити кінцеве положення тіла?

Вправа 1.

1. Двигун літака надає йому відносно повітря швидкості $900 \frac{\text{км}}{\text{год}}$. З якою швидкістю рухається літак відносно Землі при попутному вітрі, швидкість якого $50 \frac{\text{км}}{\text{год}}$; при зустрічному вітрі такої самої швидкості?

2. Автомобіль рухається в західному напрямі з швидкістю $80 \frac{\text{км}}{\text{год}}$. Другий автомобіль рухається йому назустріч з такою самою швидкістю. У певний момент часу відстань між автомобілями дорівнює 10 км. Скільки часу мине до моменту зустрічі автомобілів?

Відповідь: 1. $950 \frac{\text{км}}{\text{год}}$; $850 \frac{\text{км}}{\text{год}}$. 2. 225 с.

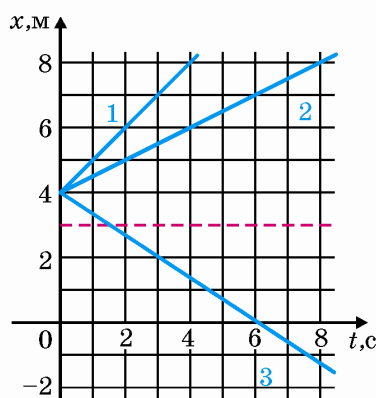
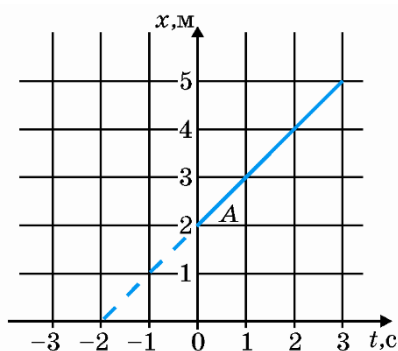
§ 5. Графіки рівномірного прямолінійного руху

Основні знання параграфу: графік координати тіла при рівномірному русі, графік швидкості тіла.

Рівняння $x = x_0 + u_x t$ показує зміну координати тіла з плином часу під час рівномірного прямолінійного руху. Для опису руху тіла можна також використати графік.

Графік координати. Вздовж горизонтальної осі (осі абсцис) будемо відкладати в певному масштабі час, що минув з початку відліку часу. По вертикальній осі (осі ординат) відмічатимемо значення координати тіла (також у певному масштабі). Отриманий графік покаже зміну координати тіла з часом.

Якщо тіло (матеріальна точка) рухається рівномірно по прямій, уздовж якої спрямовано вісь координат X , то під час руху змінюється тільки координата x . Припустимо, що у момент часу $t_0 = 0$ тіло перебувало в точці з координатами $x_0 = 2$ м, у моменти часу $t_1 = 1$ с і $t_2 = 2$ с — у точках $x_1 = 3$ м, $x_2 = 4$ м і т. д.



Мал. 1.17. Графік залежності координати точки (тіла) від часу
 Мал. 1.18. Графіки руху точки (тіла) з різними швидкостями

Відклавши по осі абсцис час і по осі ординат координати тіла (мал. 1.17), отримуємо графік залежності координати тіла від часу. Цей графік називають *графіком руху*. У випадку прямолінійного руху цей графік є прямою лінією, а координата *лінійно* залежить від часу.

За графіком руху можна визначити координату тіла у будь-який момент часу, як і за формулою зміни координати тіла.

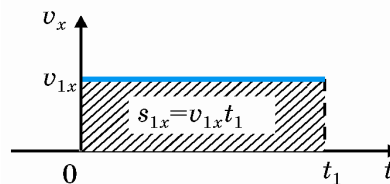
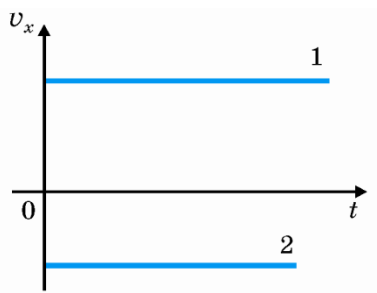
За графіками руху можна робити висновки про швидкість руху тіла. Чим більший кут між лінією і віссю часу, тим більша швидкість руху. На малюнку 1.18 показано кілька графіків рухів з різними швидкостями. Графіки 1, 2 показують, що тіла рухаються вздовж осі X у додатному напрямі цієї осі. Тіло, графіком якого є пряма 3, рухається в напрямі, протилежному напрямку осі X .

Графік швидкості. Для характеристики руху використовують також графіки швидкості. Такі графіки будують, відкладаючи вздовж осі абсцис час, а вздовж

осі ординат — проекцію швидкості тіла. Ці графіки показують зміну швидкості з плином часу.

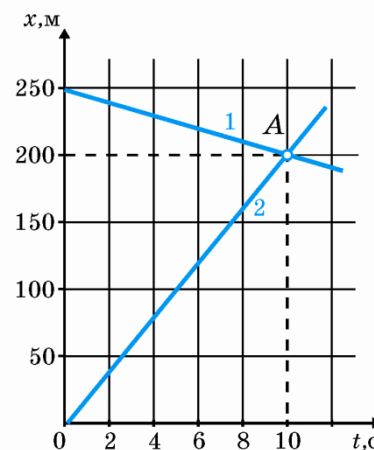
У випадку рівномірного прямолінійного руху графіком швидкості є пряма, паралельна осі часу (мал. 1.19). Графік 1 відбиває швидкість руху тіла, яке рухається в додатному напрямі осі X . Графік 2 зображає рух тіла в протилежному напрямі, проекція швидкості від'ємна.

За графіком швидкості також можна знайти проекцію переміщення тіла за певний інтервал часу. Вона чисельно дорівнює площі заштрихованого прямокутника (мал. 1.20). У даному випадку одна із сторін у вибраному масштабі дорівнює часу t , а друга — проекції швидкості v_x . У той же час, площа прямокутника дорівнює добутку двох суміжних його сторін. Тобто добуток $v_x t$ дорівнює проекції переміщення тіла.



Мал. 1.19. Графіки швидкості при рівномірному прямолінійному русі тіл

Мал. 1.20. До визначення проекції переміщення за графіком швидкості



Приклад розв'язування задач

Мал. 1.21. До Задачі 1

Задача 1. На мал. 1.21 зображено графіки руху автомобіля 1 і велосипедиста 2. Визначте за допомогою графіків місце й час їх зустрічі.

Розв'язання.

Графік 1 показує, що автомобіль рухається рівномірно вздовж осі X із швидкістю $20 \frac{\text{м}}{\text{с}}$, а з графіка 2 бачимо, що велосипедист їде назустріч йому із швидкістю $-5 \frac{\text{м}}{\text{с}}$. У початковий момент часу ($t = 0$) автомобіліст і велосипедист були на відстані 250 м один від одного. Графіки перетинаються в точці А; у цій точці й зустрінуться автомобіль і велосипедист. Зустріч відбулася через 10 с від початку відліку часу на відстані 200 м від початкового положення автомобіля і 50 м від початкового положення велосипедиста.

Рівномірний прямолінійний рух можна описати за допомогою формул, графіків. Між координатою і часом при рівномірному русі тіла існує лінійна залежність. Графіком залежності координати тіла від часу є пряма лінія.

Перевір себе

1. Якими способами можна описати рівномірний прямолінійний рух? 2. Який із способів опису рівномірного прямолінійного руху вам здається найбільш ефективним? 3. Що собою являє графік координати у випадку рівномірного прямолінійного руху? 4. Що собою являє графік швидкості рівномірного прямолінійного руху? 5. Як за графіком швидкості рівномірного прямолінійного руху можна визначити проекцію переміщення тіла?

Поміркуй

6. Якому рухові відповідає графік, зображений пунктиром на мал. 1.18? 7. Чим відрізняються рухи, що відповідають графікам 2 і 3 на мал. 1.18? 3. Яким рухам відповідають графіки 1 і 2 (див. мал. 1.19)?

Вправа 2. 1. Користуючись графіками 2 і 3 (див. мал. 1.18), знайдіть відстань між рухомими тілами в момент часу $t = 3$ с. 2. За графіком, поданим на мал. 1.17, визначте напрям швидкості тіла. Чому дорівнює модуль швидкості?

§ 6. Рівноприскорений рух

Основні знання параграфа: рівноприскорений рух, прискорення, швидкість у рівноприскореному русі.

Рівноприскорений рух. Рівномірний прямолінійний рух порівняно рідко зустрічається на практиці. Більш поширеним є рух, під час якого швидкість змінюється. Під час такого руху тіла за рівні інтервали часу проходять різні відстані. Розглянемо такий нерівномірний рух, під час якого швидкість тіла за будь-які рівні інтервали часу змінюється однаково. Такий рух називають *рівноприскореним*.

Рух тіла, під час якого його швидкість за будь-які рівні інтервали часу змінюється однаково, називають рівноприскореним рухом.

Для характеристики зміни швидкості існує певна фізична величина. Спробуємо її визначити. Хай у початковий момент часу швидкість тіла дорівнює \vec{v}_0 , а через інтервал часу t вона дорівнює \vec{v} . Для визначення зміни швидкості за одиницю часу треба взяти відношення зміни швидкості $\vec{v} - \vec{v}_0$ до інтервалу часу t . Відношення $\frac{\vec{v} - \vec{v}_0}{t}$, що характеризує швидкість зміни швидкості, називають *прискоренням*.

Прискоренням тіла при рівноприскореному русі називають фізичну величину, що дорівнює відношенню зміни швидкості тіла до інтервалу часу, протягом якого ця зміна відбулася.

Прискорення позначають буквою \vec{a} :

$$\vec{a} = \frac{\vec{v} - \vec{v}_0}{t}.$$

Прискорення є *векторною величиною*, оскільки дорівнює добутку векторної величини $\vec{v} - \vec{v}_0$ на скалярну величину $\frac{1}{t}$.

Знаючи початкову швидкість \vec{v}_0 тіла і його прискорення \vec{a} , можна знайти швидкість \vec{v} тіла в будь-який момент часу. З формули випливає, що

$$\vec{v} = \vec{v}_0 + \vec{a}t$$

Цю швидкість називають миттєвою швидкістю рівноприскореного руху.

За одиницю прискорення в СІ беруть прискорення такого рівноприскореного руху, під час якого за 1 с швидкість змінюється на $1 \frac{\text{м}}{\text{с}}$.

$$[a] = \left[\frac{1 \frac{\text{м}}{\text{с}}}{1 \text{с}} \right] = \left[\frac{\text{м}}{\text{с}^2} \right]$$

Для обчислень використовують рівняння, до яких входять не вектори, а їхні проекції. У прямолінійному русі вектори \vec{v}_0 і \vec{v} напрямлені вздовж однієї прямої, яка є водночас траєкторією руху. Уздовж цієї самої прямої зручно спрямувати й координатну вісь. Якщо скористатися віссю X , то з рівняння випливає:

$$v_x = v_{0x} + a_x t.$$

Якщо вектори \vec{v} , \vec{v}_0 і \vec{a} спрямовані вздовж однієї прямої (осі X), то модулі їх проекцій дорівнюють модулям самих векторів. Знаки проекцій визначаються напрямом векторів відносно осі. Якщо знаки проекцій векторів \vec{v}_0 і \vec{a} , збігаються, то модуль швидкості u тіла зростає з часом, що призводить до розгону тіла. У випадку, коли знаки проекцій векторів \vec{v}_0 і \vec{a} протилежні, то модуль швидкості u поступово зменшується. У подальшому тіло може зупинитися і почати розганятися, але вже у протилежному напрямі. При рівноприскореному русі швидкість тіла може зростати або сповільнюватись.

Із курсу 8 класу ви знаєте, що рух можна характеризувати середньою швидкістю. Її знаходять, поділивши переміщення тіла \vec{s} на час, протягом якого воно здійснене:

$$\vec{v}_c = \frac{\vec{s}}{t}, \text{ звідки } \vec{s} = \vec{v}_c t.$$

Якщо рух рівноприскорений, то середню швидкість можна визначити за формулою:

$$\vec{v}_c = \frac{\vec{v} + \vec{v}_0}{2}, \text{ оскільки } \vec{v} = \vec{v}_0 + \vec{a}t, \text{ то } \vec{v} = \frac{\vec{v}_0 + \vec{a}t + \vec{v}_0}{2} = \vec{v}_0 + \frac{\vec{a}t}{2}$$

Виведемо формулу переміщення при рівноприскореному русі.

$$\vec{s} = \vec{v}_c \cdot t; \quad \vec{s} = \vec{v}_0 t + \frac{\vec{a}t^2}{2}.$$

В проекціях на обрану вісь X ,

$$s_x = v_{0x} t + \frac{a_x t^2}{2}.$$

Якщо початкова швидкість тіла дорівнює 0, то рівняння переміщення та проекції переміщення має вигляд:

$$\vec{s} = \frac{\vec{a}t^2}{2}; \quad s_x = \frac{a_x t^2}{2}.$$

Виведемо формулу для обчислення координати x при рівноприскореному русі. Враховуючи, що для прямолінійного руху $s_x = x - x_0$, отримаємо:

$$x = x_0 + v_{0x}t + \frac{a_x t^2}{2},$$

для випадку, коли $v_{0x} = 0$,

$$x = x_0 + \frac{a_x t^2}{2}.$$

Інколи час руху тіла невідомий, тоді користуються іншою формулою для визначення переміщення. З формули прискорення $a_x = \frac{v_x - v_{0x}}{t}$ визначимо час

$$t = \frac{v_x - v_{0x}}{a_x};$$

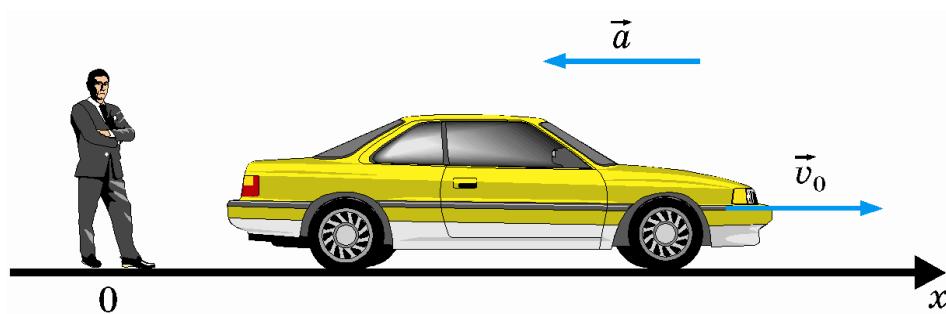
$$s_x = \frac{v_x + v_{0x}}{2} \cdot \frac{v_x - v_{0x}}{a_x} = \frac{v_x^2 - v_{0x}^2}{2a_x}$$

$$s_x = \frac{v_x^2 - v_{0x}^2}{2a_x}.$$

При прямолінійному рівноприскореному русі модуль переміщення і шлях чисельно рівні, якщо знаки проекцій векторів \vec{v}_0 і \vec{a} , збігаються. Тоді формули шляху при прямолінійному рівноприскореному русі $l = v_0 t + \frac{at^2}{2}$; $l = \frac{v^2 - v_0^2}{2a}$.

Приклади розв'язування задач

1. Автомобіль проїжджає повз спостерігача, рухаючись із швидкістю $10 \frac{m}{c}$. У цей момент водій натискає на гальмо, і автомобіль починає рухатися з прискоренням, яке за модулем дорівнює $1,0 \frac{m}{c^2}$. Який час мине до зупинки автомобіля?



Мал. 1.22. До задачі 1

Дано:

$$v_0 = 10 \frac{m}{c}$$

Розв'язання:

Виберемо за початок відліку координати те місце, в якому перебуває спостерігач, і спрямуємо вісь координат X у бік руху автомобіля (мал. 1.22). Позначимо швидкість

$$a = 1 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$

$$v = 0 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$t = ?$$

автомобіля в момент, коли він проходить повз спостерігача, через \vec{v}_0 , а його прискорення після ввімкнення гальма — через \vec{a} .

Скористаємося формулою $v_x = v_{0x} + a_x t$, де v_x , v_{0x} і a_x — відповідно проекції кінцевої \vec{v} та початкової швидкості \vec{v}_0 і прискорення \vec{a} на вісь X .

$$v = v_0 - at. \text{ Так як } v = 0, \text{ то } t = \frac{v_0}{a}; t = \frac{10,0 \frac{\text{м}}{\text{с}}}{1,0 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}} = 10 \text{ с}$$

Відповідь: $t = 10 \text{ с}$.

Рівноприскореним називають рух, при якому швидкість його за будь-які рівні інтервали часу змінюється на однакову величину.

Прискорення тіла при рівноприскореному русі називають величину, що дорівнює відношенню зміни швидкості тіла до інтервалу часу, протягом якого ця зміна відбулася.

Перевір себе

1. Що таке прискорення і для чого його потрібно знати? 2. Під час будь-якого нерівномірного руху швидкість змінюється. Як прискорення характеризує цю зміну? 3. У якому випадку при рівноприскореному русі швидкість тіла зростає? Сповільнюється? 4. Що таке рівноприскорений рух? 5. Чи може тіло рухатися з великою швидкістю, але з малим прискоренням? 6. Як напрямлений вектор прискорення при прямолінійному нерівномірному русі?

Поміркуй

7. Швидкість — векторна величина. Що може змінюватися під час прямолінійного рівноприскореного руху? 8. Чи може швидкість руху тіла дорівнювати нулю, коли його прискорення не дорівнює нулю?

Вправа 3. 1. Переїжджаючи з одного пункту в другий, автомобіль проїхав половину часу із сталою швидкістю $60 \frac{\text{км}}{\text{год}}$. З якою сталою швидкістю він повинен

рухатися решту часу, якщо середня швидкість руху $65 \frac{\text{км}}{\text{год}}$? 2. Першу половину шляху до місця призначення автомобіль проїхав із сталою швидкістю $50 \frac{\text{км}}{\text{год}}$, а другу половину — із сталою швидкістю $60 \frac{\text{км}}{\text{год}}$. З якою середньою швидкістю рухався автомобіль? 3. Тролейбус, рушаючи з місця, рухається із сталим прискоренням $1,5 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$. Через який час він набере швидкості $54 \frac{\text{км}}{\text{год}}$? 4. Автомобіль, що рухається із швидкістю $36 \frac{\text{км}}{\text{год}}$, зупиняється під час гальмування протягом 4 с. З яким сталим прискоренням рухається автомобіль під час гальмування? 5. Автомобіль, рухаючись із сталим прискоренням, на певній ділянці шляху збільшив свою швидкість від 15 до $25 \frac{\text{м}}{\text{с}}$. За який час збільшилася ця швидкість, якщо прискорення автомобіля $1,6 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$?

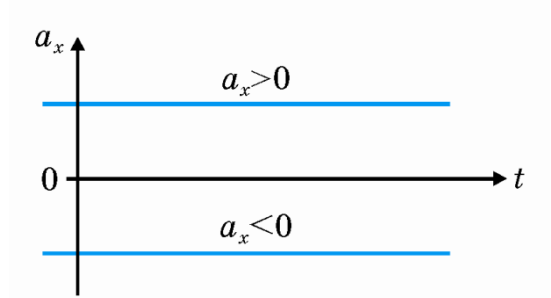
Відповідь: 1. $70 \frac{\text{км}}{\text{год}}$; 2. $54,5 \frac{\text{км}}{\text{год}}$; 3. 10 с; 4. $-2,5 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$; 5. 6,3 с.

§ 7. Графіки рівнозмінного руху

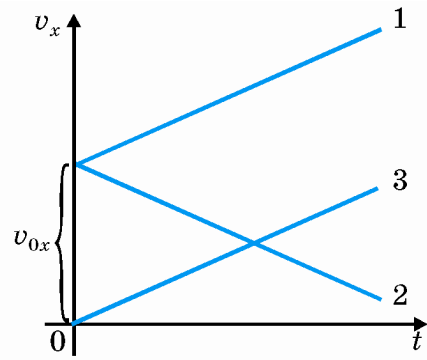
Основні знання параграфа: графік прискорення, графік швидкості, графіки проекції переміщення і координати.

Прискорення при рівнозмінному русі стало, отже графік його проекції на вісь X є пряма лінія, паралельна до осі часу t .

При рівноприскореному русі тіла вздовж осі X швидкість змінюється з часом за формулою $v_x = v_{0x} + a_x t$. Графік швидкості залежно від часу являє собою пряму (мал. 1.24). В разі, якщо тіло рухається в додатному напрямі, пряма 1 на цьому малюнку відповідає рухові з швидкістю, яка зростає, пряма 2 — проекції швидкості, яка зменшується. З графіків (прямі 1 і 2) видно, що в момент часу $t = 0$ ці тіла мали початкову швидкість v_0 .



Мал. 1.23. Графіки прискорення

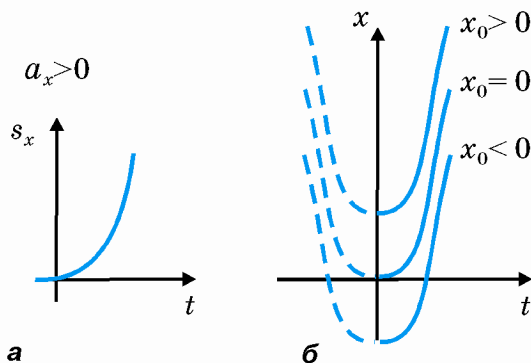
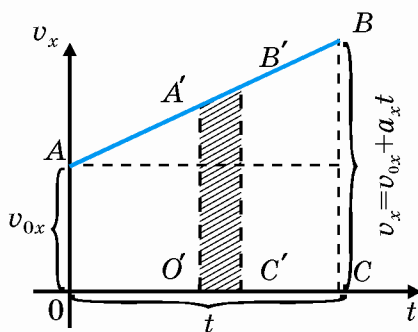


Мал. 1.24. Графіки швидкості тіла

Виділимо на графіку швидкості рівноприскореного руху маленьку ділянку $A'B'$ (мал. 1.25) і проведемо з точок A' і B' перпендикуляри на вісь t . Довжина відрізка $O'C'$ на осі t у вибраному масштабі дорівнює тому малому інтервалу часу, за який швидкість змінилася від її значення в точці A' до її значення в точці B' . Під ділянкою $A'B'$ графіка дістали фігури $A'B'C'O'$, яка мало відрізняється від прямокутника. Площа її чисельно дорівнює проекції переміщення тіла за час, що відповідає відрізку $O'C'$. На такі фігури можна поділити всю площу, розміщену під графіком швидкості. Отже, проекція переміщення за весь час t чисельно дорівнює площі трапеції $OABC$. Як відомо з геометрії, площа трапеції дорівнює добутку півсуми її основ на висоту. У розглядуваному випадку довжина однієї з основ трапеції чисельно дорівнює v_{0x} , довжина другої — v_x (див. мал. 1.25), а її висота чисельно дорівнює t . Звідси випливає, що проекція s_x переміщення виражається формулою:

$$s_x = \frac{v_{0x} + v_x}{2} t. \text{ Підставимо у цей вираз } v_x = v_{0x} + a_x t$$

$$s_x = \frac{v_{0x} + v_{0x} + a_x t}{2} t, \text{ звідси } s_x = v_{0x} t + \frac{a_x t^2}{2}.$$



Мал. 1.25. До виведення формули переміщення

Мал. 1.26. Графіки проекції переміщення і проекції координати
($v_{0x} = 0, a_x > 0$)

Якщо у початковий момент часу тіло перебувало в спокої, то формула набирає вигляду:

$$s_x = \frac{a_x t^2}{2}.$$

Графік швидкості такого руху подано на мал. 1.24 (пряма 3).

У формулах s_x , v_{0x} і v_x є проекціями векторів \vec{s} , \vec{v}_0 і \vec{v} на вісь X. Тому вони можуть бути як додатними, так і від'ємними.

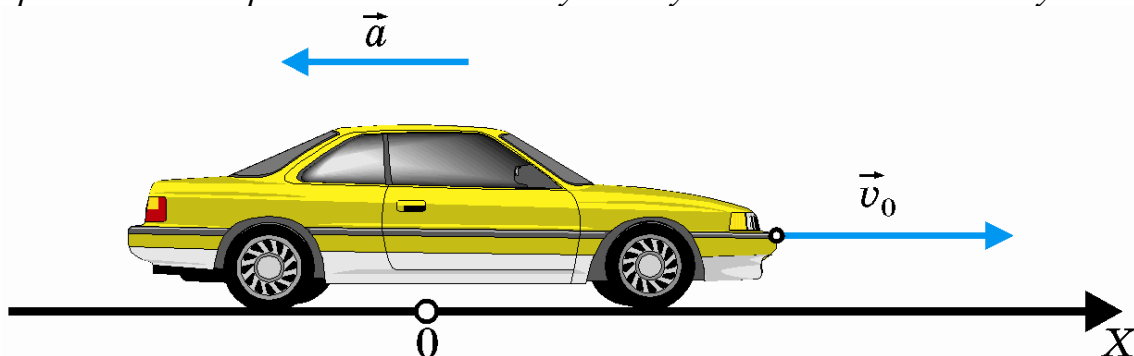
При рівноприскореному русі до формули входить квадрат часу. Це означає, що графік залежності проекції переміщення від часу буде мати вигляд параболи.

Наприклад, якщо $v_{0x} = 0$ і $a_x > 0$, то графіки мають вигляд, зображений на мал. 1.26 а. У графіку залежності координати від часу, якщо $x_0 \neq 0$, вершина параболи зміщується по осі ординат вгору або вниз, залежно від значення x_0 (мал. 1.26 б)

Якщо $v_{0x} = 0$ і $a_x < 0$, то гілки параболи зорієнтовані вниз, і зміщення вершини параболи вгору або вниз по осі ординат так само залежить від значення x_0 .

Приклад розв'язування задачі

1. Водій автомобіля, що рухається із швидкістю $72 \frac{\text{км}}{\text{год}}$, побачив червоний сигнал світлофора і натиснув на гальмо. Після цього швидкість автомобіля почала зменшуватись на $5 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ щосекунди. Знайти відстані, які автомобіль проходить за перші 2 с після початку гальмування і до повної його зупинки.



Мал. 1.27. До задачі 1

Дано:

$$v_0 = 72 \frac{\text{км}}{\text{год}} = 20 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$a = 5 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$

$$t = 2 \text{ с}$$

$$s_1 = ? \quad s_2 = ?$$

Розв'язання:

Координатну вісь X спрямуємо вздовж напрямку руху автомобіля (мал. 1.27), а за початок відліку координати виберемо те місце на шляху, де почалось гальмування. Початок відліку часу віднесемо до моменту, коли водій натиснув на гальмо.

Початкова швидкість \vec{v}_0 автомобіля напрямлена так само, як вісь X , а прискорення в протилежний бік, так що проекція початкової швидкості v_{0x} додатна, а проекція прискорення a_x — від'ємна:

$$v_{0x} = v_0; \quad a_x = -a.$$

Відстані, пройдені автомобілем, — це проекції переміщення s_x , а $s_x = x - x_0$.

Оскільки $x_0 = 0$, то треба знайти координати x_1 і x_2 автомобіля через 2 с після початку гальмування і в момент зупинки. Координату x_1 (через 2 с) визначимо за формулою:

$$x_1 = x_0 + v_0 t - \frac{at^2}{2}; \quad x_1 = 0 + 20 \frac{\text{м}}{\text{с}} \cdot 2 \text{ с} - \frac{5 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \cdot 4 \text{ с}^2}{2} = 40 \text{ м} - 10 \text{ м} = 30 \text{ м}$$

Оскільки нам відомі початкова і кінцева швидкості, координату x_2 можна визначити за формулою. Кінцева швидкість v дорівнює нулю (автомобіль зупинився), так що $s_x = x_2 - x_0 = \frac{v_{0x}^2}{2a}$ (тут x_0 дорівнює нулю). Знайдемо x_2 :

$$x_2 = \frac{(20 \frac{\text{м}}{\text{с}})^2}{2 \cdot (5 \frac{\text{м}}{\text{с}^2})} = 40 \text{ м}.$$

Відповідь: $s_1 = 30 \text{ м}$; $s_2 = 40 \text{ м}$.

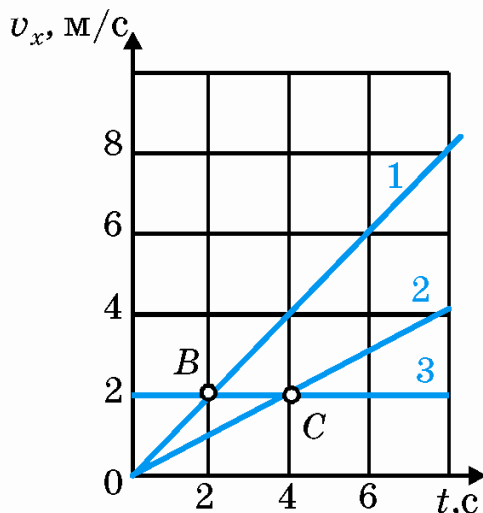
Графіки прискорення, швидкості при рівноприскореному русі є прямими лініями. За графіком швидкості можна визначити шлях, модуль переміщення. Графіком координати тіла при рівноприскореному русі є парабола.

Перевір себе

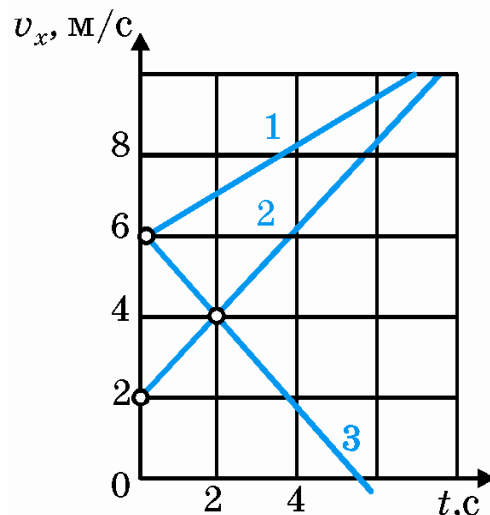
1. Які характеристики рівнозмінного руху можна визначити за графіком його швидкості? 2. Яким способом вам здається більш обґрунтовано виводити формулу координати, шляху рівнозмінного руху? Як у попередньому параграфі

чи за допомогою графіка? 3. Які характеристики рівнозмінного руху можна визначити за допомогою графіків швидкості на мал. 1.24.

Вправа 4. 1. Побудуйте в одних координатних осях (x, t) графіки швидкостей двох тіл, що рухаються рівноприскорено: перше із зростаючою за модулем швидкістю, а друге — із спадною. Початкові швидкості й прискорення тіл відповідно дорівнюють: $1 \frac{m}{c}$ і $0,5 \frac{m}{c^2}$; $9 m/c$ і $1,5 \frac{m}{c^2}$. Який шлях пройде друге тіло, поки зупиниться? Через який час швидкості обох тіл стануть однаковими і який шлях пройде за цей час перше тіло? 2. На мал. 1.28 подано графіки проекцій швидкостей руху двох тіл. Який характер руху цих тіл? Що можна сказати про швидкості тіл у моменти часу, які відповідають точкам B і C графіка? Визначте прискорення і запишіть вирази для швидкості й переміщення цих тіл.



Мал. 1.28. До задачі 2, вправа 4



Мал. 1.29. До задачі 3, вправа 4

3. Користуючись поданими на мал. 1.29 графіками проекцій швидкостей трьох тіл, виконайте такі завдання: а) визначте прискорення цих тіл; б) складіть для кожного тіла формулу залежності швидкості від часу; в) визначте, чим подібні й чим відрізняються рухи, що відповідають графікам 2 і 3.

Поміркуй. *Як рівномірний рух, графіки рівномірного руху підтверджують однорідність простору і часу?

§ 8. Визначення прискорення тіла при рівноприскореному русі

Лабораторна робота № 1

Мета роботи: обчислити прискорення, з яким скочується кулька з похилого жолоба, використавши формулу $a = \frac{2s}{t^2}$.

Прилади і матеріали: 1) жолоб; 2) кулька; 3) штатив з муфтами й лапкою; 4) металевий циліндр, метроном або секундомір, вимірювальна стрічка.

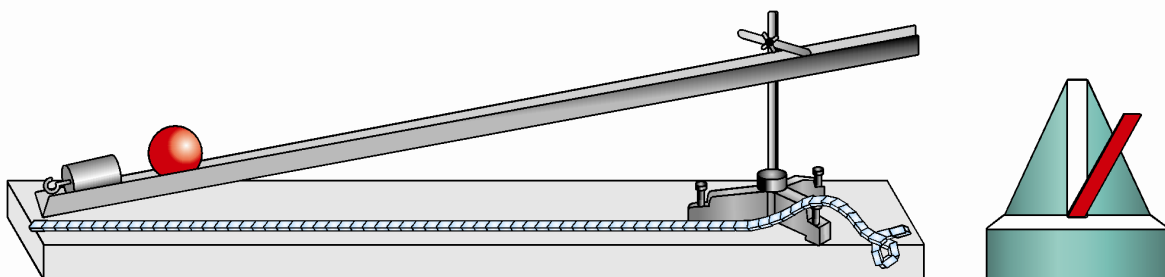
Послідовність виконання роботи

1. Закріпіть жолоб за допомогою штатива в похилому положенні під невеликим кутом до горизонту (мал. 1.30). Біля нижнього кінця жолоба покладіть у нього металевий циліндр.

2. Відпустивши кульку одночасно з ударом метронома (або включивши секундомір) з верхнього кінця жолоба, підрахуйте кількість ударів метронома (визначте час) до зіткнення кульки з циліндром. Дослід зручно проводити при 120 ударах метронома за хвилину.

3. Змінюючи кут нахилу жолоба до горизонту і роблячи невеликі переміщення металевого циліндра, добийтеся, щоб між моментом відпускання кульки й моментом її зіткнення з циліндром було 2 секунди (4 удари метронома).

4. Обчисліть час руху кульки.



Мал. 1.30. Прилади до лабораторної роботи №1

5. Вимірювальною стрічкою визначте довжину переміщення \vec{s} кульки. Не змінюючи нахилу жолоба (умови досліду повинні залишатися незмінними), повторіть дослід 3 рази.

6. За формулою $s_c = \frac{s_1 + s_2 + s_3}{3}$ знайдіть середнє значення модуля переміщення, а потім обчисліть середнє значення модуля прискорення: $a_c = \frac{2s_c}{t^2}$.

7. Результати вимірювань і обчислень запишіть у таблицю:

Номер досліджу	$s, \text{ м}$	$s_c, \text{ м}$	$t, \text{ с}$	$a_c, \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$
1				
2				
3				

8. Зробіть висновок про визначення прискорення тіла при рівноприскореному русі на досліді. Запропонуйте власні проекти для визначення прискорення.

§ 9. Розв'язування задач

Розв'язувати задачі з теми «рівноприскорений рух» варто в такій послідовності.

1. Уважно прочитавши умову задачі, з'ясувати: а) про який рух тіла йде мова в задачі; б) які величини потрібно визначити; в) які величини задано в умові задачі; г) які з величин задано в умові задачі неявно; чому вони дорівнюють.

2. Записати коротко умову задачі, при цьому всі величини дати в одній системі одиниць.

3. Вибрати систему відліку. При потребі виконати рисунок.

4. Записати закони рівноприскореного руху в проекціях на вісь або осі координат та проаналізувати записані рівняння і з'ясувати з якого рівняння доцільно почати розв'язування задачі, яку величину можна визначити з цього рівняння; якщо потрібно, розв'язати рівняння відносно даної величини.

5. Розв'язати задачу в загальному вигляді, а числові значення підставляти в кінцевий результат.

6. Проаналізувати одержану відповідь і впевнитися в тому, що вона має фізичний зміст.

Приклади розв'язування задач

Задача 1. За 60 м до в'їзду на міст автомобіль, який до цього рухався з швидкістю $60 \frac{\text{км}}{\text{год}}$, почав гальмувати. Прискорення гальмування дорівнювало $-2 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$. Чи не порушив водій правил руху, якщо біля моста висить сигнал-обмежувач швидкості « $10 \frac{\text{км}}{\text{год}}$ »?

Дано:

$$l_1 = 60 \text{ м}$$

$$v_0 = 1,67 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$a = -2 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$

$l_2 = ?$

$$l_2 = \frac{v^2 - v_0^2}{2a} \approx 67,5 \text{ м}$$

Відповідь: водій порушив правила руху.

Розв'язання:

Систему координат зв'яжемо з поверхнею Землі і спрямуємо вісь Ox в бік напрямку руху автомобіля. Початок координат розмістимо в точці, де перебував автомобіль в момент початку гальмування. Визначимо, яку відстань має пройти автомобіль з від'ємним прискоренням, щоб його швидкість знизилась до 10 км/год .

Визначимо пройдену відстань за формулою:

Задача 2. З пункту A рухається тіло з початковою швидкістю $v_0 = 3 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ і прискоренням $a = 2 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$. Через 1 с з пункту B починає рухатись назустріч першому друге тіло з сталою швидкістю $v_2 = 5 \frac{\text{м}}{\text{с}}$. Відстань між пунктами A і B дорівнює $l = 100 \text{ м}$. Скільки часу рухатиметься перше тіло до зустрічі з другим?

Дано:

$$v_0 = 3 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$a = 2 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$

$$\Delta t = 1 \text{ с}$$

$$v_2 = 5 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$l = 100 \text{ м}$$

Розв'язання:

Систему відліку зв'яжемо з поверхнею дороги, за початок системи координат візьмемо пункт A і спрямуємо вісь Ox в напрямі руху першого тіла. Запишемо рівняння координати обох тіл:

$$x_1 = v_0 t_1 + \frac{1}{2} a t_1^2 \quad \text{і} \quad x_2 = l - v_2 t_2 .$$

$t = ?$

В момент зустрічі перше тіло рухалося на $\Delta t = 1$ с довше, ніж друге, тобто $t_1 = t$ і $t_2 = t - \Delta t$.

Координати тіл при зустрічі однакові, тобто $x_1 = x_2$ або $v_0 t + \frac{1}{2} a t^2 = l - v_2 (t - \Delta t)$, звідки дістаємо квадратне рівняння відносно t : $at^2 + 2(v_0 + v_2)t - 2v_2\Delta t - 2l = 0$.

Розв'язавши рівняння, дістанемо $t = 7$ с. Від'ємне значення кореня $t_1 = -15$ не задовольняє умову задачі.

Відповідь: 7 с.

Задача 3. Автомобіль, рухаючись з сталою швидкістю $15 \frac{\text{м}}{\text{с}}$, промчав повз пост дорожньої міліції, порушивши правила вуличного руху. Через 4 с міліціонер розпочав погоню на мотоциклі, рухаючись з сталим прискоренням. Проїхавши 300 м, міліціонер наздогнав порушника. Визначити, скільки часу для цього було потрібно міліціонерові; з яким прискоренням він рухався; його швидкість у той момент, коли він порівнявся з автомобілем.

Дано:

$$v_0 = 15 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$
$$\Delta t = 4 \text{ с}$$
$$x_1 = 300 \text{ м}$$

$t_1 = ?$ $a = ?$ $v = ?$

Розв'язання:

Систему координат зв'яжемо з поверхнею землі, за початок координат візьмемо пост міліціонера, час будемо відраховувати з моменту проходження автомобіля повз пост, вісь ОХ спрямуємо в напрямі руху автомобіля. Запишемо рівняння координати автомобіля $x_1 = v_0 t$ і мотоцикла.

$$x_2 = \frac{a(t-4)^2}{2}$$

У момент, коли мотоцикл наздожене автомобіль, їхні координати однакові, тобто $x_1 = x_2 = 300$ м. Тоді з рівняння час руху автомобіля:

$$t = \frac{x_1}{v_0} = 20 \text{ с}.$$

Мотоцикл наздогнав автомобіль через 16 с після початку погоні. З рівняння прискорення мотоцикла: $a = \frac{2x_2}{(t-4)^2} \approx 2,34 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$.

Швидкість мотоцикла в момент, коли він наздожене автомобіль: $v = a(t - 4) = 37,5$ м/с.

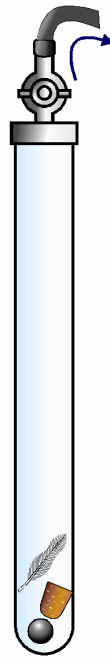
Відповідь: $t_1 = 22$ с; $a \approx 2,34 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$; $v = 37,5 \frac{\text{м}}{\text{с}}$.

§ 10. Вільне падіння тіл. Прискорення вільного падіння

Ще в кінці XVI ст. Галілео Галілей установив, що рух тіла під дією сили тяжіння є рівноприскореним рухом. При цьому прискорення напрямлене вертикально вниз. Вимірювання показали, що за модулем воно дорівнює у середньому $9,81 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$. Прискорення вільного падіння залежить від географічної широти місцевості. На екваторі воно становить $9,78 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$, а на полюсах — $9,83 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$. Цікавим і загадковим тривалий час здавався той факт, що це прискорення однакове для всіх тіл, якими вони не були б за складом, формою, масою тощо.



Мал. 1.31. У повітрі прискорення падіння різних тіл різне



Мал. 1.32. У безповітряному просторі прискорення падіння всіх тіл однакове

Проробимо дослід. Випустимо з рук на однаковій висоті над підлогою два листи паперу. Вони впадуть на підлогу одночасно. Повторимо дослід,

зіжмакавши один з листів. Він впаде на підлогу першим, цьому листу опір повітря буде меншим. У цьому можна переконатися на досліді. Візьмемо товстостінну скляну трубку завдовжки близько 1 м, один кінець якої запаяний, а на другому є кран. Помістимо в неї металеву кульку, корок, пір'їну. Швидко перевернемо пробку і побачимо, що всі три тіла впадуть на дно трубки протягом різного часу (мал. 1.31.). Якщо повітря з трубки відкачати, закрити кран і знову перевернути трубку, то всі три тіла впадуть на дно одночасно (мал. 1.32).

Падіння тіл у вакуумі під дією земного тяжіння називають вільним падінням. Прискорення вільного падіння позначають літерою g . Рух під дією сили тяжіння рівноприскорений.

Швидкість кинутого вгору тіла поступово сповільнюється під дією прискорення вільного падіння поки воно не зупиниться. Після цього тіло починає рухатися униз. Якщо спрямувати координатну вісь по вертикалі (вгору або вниз) і позначити її через Y , то модуль проекції g_y дорівнюватиме модулю вектора \vec{g} і проекція буде додатною, якщо вісь Y напрямлена вниз, і від'ємною, коли вона напрямлена вгору.

Галілей Галілео (1564—1642) — знаменитий італійський фізик і астроном. Він відкрив закони падіння тіл, установив закон інерції. Винайшов зорову трубу і використав її для астрономічних спостережень.



Мал. 1.33. Галілей Галілео

Для виводу формул швидкості і переміщення під час вільного падання та під час руху тіла, кинутого вертикально вгору, використовуємо формули рівноприскореного та рівносповільненого рухів:

$$\vec{v} = \vec{v}_0 + \vec{a}t; \quad \vec{s} = \vec{v}_0 t + \frac{\vec{a}t^2}{2}.$$

Під час вільного падіння $\vec{v}_0 = 0$, переміщення позначимо через h (висота), тоді $\vec{v} = \vec{g}t$;

$$\vec{h} = \frac{\vec{g}t^2}{2}.$$

Якщо тіло рухається вертикально вгору з початковою швидкістю u_0 , то миттєва його швидкість в кожний момент часу:

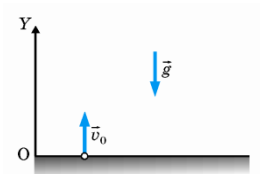
$$v = v_0 - gt; h = v_0 t - \frac{gt^2}{2}.$$

$$\text{Час підйому } t = \frac{v_0}{g}; \text{ висота підйому } h = \frac{v_0^2}{2g}.$$

Приклад

Тіло кидають вертикально угору з початковою швидкістю $20 \frac{\text{м}}{\text{с}}$. На яку найбільшу висоту воно підніметься? $g \approx 10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$.

<i>Дано:</i>	<i>Розв'язання:</i> Зробимо малюнок (мал. 1.34)
$v_0 = 20 \frac{\text{м}}{\text{с}}$	Проекція переміщення на вісь дорівнює висоті підняття тіла. З урахуванням того, що $y_0 = 0; y = h$,
$g = 10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$	дістанемо: $h = \frac{v_0^2}{2g}, h = \frac{400 \frac{\text{м}^2}{\text{с}^2}}{20 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}} = 20 \text{ м}.$
$h = ?$	<i>Відповідь:</i> 20 м.



Мал. 1.34. До задачі 1

Рух тіла без впливу сторонніх сил під дією сили тяжіння називається вільним падінням.

Перевір себе

1. Який рух називають вільним падінням? 2. Чи завжди падіння тіл у повітрі можна вважати вільним падінням? 3. Охарактеризуйте рух тіла, кинутого вертикально вгору.

Поміркуйте

4. Дві краплі води одночасно відокремилися від даху перша — від бурульки, друга — скотившись з гребеня даху. Чи одночасно впадуть краплі на землю? (Відповідь: Друга крапля впаде раніше, оскільки в неї більша середня швидкість).
5. У деякий момент часу швидкість вільно падаючого тіла дорівнює $7,0 \frac{\text{м}}{\text{с}}$. Якою буде швидкість через 1 с? (Відповідь: $16,8 \frac{\text{м}}{\text{с}}$). 6. Два камінці випущено з рук з однієї й тієї самої точки один після одного. Чи змінюватиметься відстань між ними під час падіння? (Відповідь: Збільшуватиметься).

Вправа 5. 1. Тіло, вільно падаючи без початкової швидкості, досягає землі за 4 с. За який час воно досягло б землі, якби його кинули з тієї самої висоти з початковою швидкістю $29,4 \frac{\text{м}}{\text{с}}$? (Відповідь: 2,0 с). 2. З якою швидкістю треба ки-

нути м'яч вертикально вгору, щоб він доторкнувся до стелі кімнати? (Приладдя: рулетка). (Відповідь: $v_0 = \sqrt{2gH}$). 3. З якою початковою швидкістю треба кинути тіло вертикально вгору, щоб через 10 сек воно рухалося вниз з швидкістю $20 \frac{M}{C}$? (Відповідь: $78 \frac{M}{C}$).

Обери проект. «Життя та відкриття Галілея Галілео», їх роль у становленні астрономії.

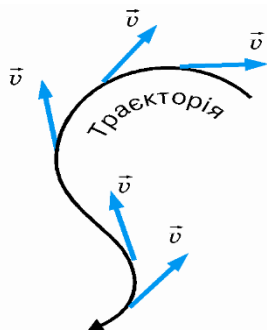
§ 11. Рівномірний рух тіла по колу

Основні знання параграфа: напрям доцентрового прискорення, формула доцентрового прискорення.

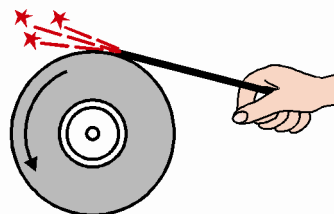
З курсу 8 класу ви знаєте, що в природі дуже часто зустрічаються криволінійні рухи. До таких рухів належить, наприклад, рух по колу. Рівномірним рухом по колу називається рух, при якому тіло обертається із сталою за модулем швидкістю.

Якщо під час прямолінійного руху напрям вектора швидкості завжди збігається з напрямом переміщення, то при криволінійному русі напрям швидкості визначається по дотичній до криволінійної траєкторії (мал. 1.35).

Миттєва швидкість тіла в будь-якій точці криволінійної траєкторії напрямлена по дотичній до траєкторії в цій точці.



Мал. 1.35. Напрямок швидкості при криволінійному русі



Мал. 1.36. Напрямок швидкості при криволінійному русі



Напрямок швидкості при криволінійному русі

визначається по дотичній до криволінійної траєкторії

Переконайтеся у тому, що швидкість під час криволінійного руху справді напрямлена по дотичній, можна спостерігаючи за траєкторією іскор при роботі на точилі (мал. 1.36 а) або брызок із під колеса автомобіля, що буксує (мал. 1.36 б).

Напрямок швидкості при криволінійному русі постійно змінюється, тому *криволінійний рух завжди відбувається з прискоренням*. Це вірно й у випадку, якщо модуль швидкості залишається сталим.

Розглянемо рівномірний рух тіла по колу із сталою за модулем швидкістю. Лінійна швидкість тіла, яке рівномірно рухається по колу, постійно змінюється за напрямом і в будь-якій точці траєкторії напрямлена по дотичній до дуги цього кола. Прискорення такого руху:

$$\vec{a} = \frac{\vec{v} - \vec{v}_0}{t}, \text{ або } \vec{a} = \frac{\Delta \vec{v}}{t}, \text{ де } \vec{v} - \vec{v}_0 = \Delta \vec{v}.$$

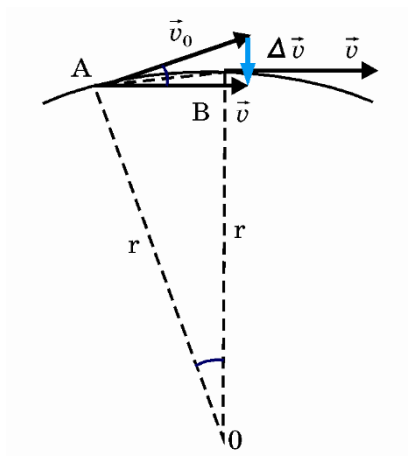
Вектор \vec{a} напрямлений так само, як вектор $\Delta \vec{v}$, бо t — величина скалярна.

Нехай радіус кола, по якому рухається тіло дорівнює r . В початковий момент часу ($t_0 = 0$) тіло перебуває в точці A . Його швидкість дорівнює \vec{v}_0 (мал. 1.37). Через інтервал часу t тіло перемістилося в точку B . Припустимо, що точки A і B розташовані так близько, що дугу AB можна вважати за довжиною рівною хорді AB . Швидкість тіла в точці B дорівнює \vec{v} . Перенесемо вектор \vec{v} паралельно самому собі так, щоб він і вектор \vec{v}_0 виходили з точки A , і сполучимо кінці обох векторів відрізком прямої, спрямувавши його від \vec{v}_0 до \vec{v} . Знайдений напрямлений відрізок і є вектор $\Delta \vec{v}$. Коли точки A і B розташовані близько одна до одної, вектор $\Delta \vec{v}$ напрямлений до центра кола. Те й же напрям має і вектор прискорення \vec{a} . Таким чином, під час рівномірного руху тіла по колу його прискорення напрямлене до центра кола. Його називають *доцентровим прискоренням*. У будь-якій точці кола, по якому рухається тіло, вектор прискорення перпендикулярний до вектора швидкості мал. 1.38.

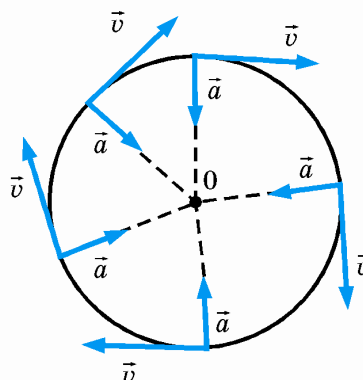
Знайдемо числове значення доцентрового прискорення. Розглянемо мал. 1.37. Оскільки $v = v_0$, то трикутник, складений із векторів \vec{v}_0 , \vec{v} , $\Delta \vec{v}$ — рівнобедрений. Розглянемо також трикутник OAB . Кути при вершинах обох трикутників рівні, бо вони утворені взаємно перпендикулярними сторонами: $\vec{v}_0 \perp OA$ і $\vec{v} \perp OB$. Трикутник OAB також рівнобедрений, оскільки сторони OA і OB — радіуси кола. Таким чином, трикутники подібні як рівнобедрені з рівними

кутами при вершинах. Оскільки трикутники подібні, то їх відповідні сторони пропорційні:

$$\frac{\Delta v}{AB} = \frac{v}{r}.$$



Мал. 1.37. До виведення формули прискорення



Мал. 1.38. Вектор доцентрового прискорення перпендикулярний до вектора швидкості

Враховуючи попереднє припущення, довжина дуги $\overset{\frown}{AB}$ дорівнює хорді AB або шляху, пройденому тілом із сталою за модулем швидкістю v . Цей шлях дорівнює vt . Тому:

$$\frac{\Delta v}{vt} = \frac{v}{r} \quad \text{або} \quad \frac{\Delta v}{t} = \frac{v^2}{r}.$$

Оскільки розглядуваний інтервал часу t дуже малий, то $\frac{\Delta v}{t}$ — це модуль миттєвого прискорення. Отже,

$$a = \frac{v^2}{r}.$$

Прискорення тіла, яке рухається рівномірно по колу, напрямлене до центра кола і визначається за формулою $a = \frac{v^2}{r}$.

Перевір себе

1. Як напрямлена миттєва швидкість у криволінійному русі? 2. Чим відрізняються зміни швидкості в криволінійному і прямолінійному рухах? 3. Чи може тіло рухатися за криволінійною траєкторією без прискорення? 4. Чи

можуть збігатися напрями векторів швидкості й прискорення в криволінійному русі? 5. Який зв'язок між криволінійним рухом і рухом по колу? 6. Як напрямлене прискорення тіла, що рухається по колу із сталою за модулем швидкістю? 7. Чи можна вважати доцентрове прискорення сталим, а рівномірний рух по колу рівноприскореним?

Вправа 6. 1. Автомобіль рухається по заокругленню дороги радіусом 100 м із швидкістю 54 км/год. Визначте доцентрове прискорення автомобіля.

§ 12. Період і частота обертання. Кутова швидкість

Основні знання параграфа: період обертання, кутова швидкість, частота обертання.

Для характеристики руху тіла по колу часто характеризують проміжком часу, за який воно здійснює один повний оберт або *періодом обертання*. Цей проміжок часу позначають буквою T . Протягом часу, рівного періоду обертання T , тіло проходить шлях, який дорівнює довжині кола $2\pi r$. Лінійну швидкість v можна розрахувати як відношення шляху до проміжку часу, під час якого здійснювався рух:

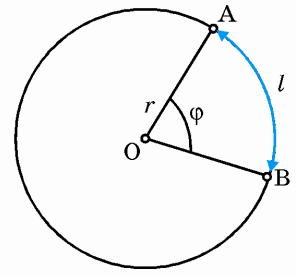
$$v = \frac{2\pi r}{T},$$

де r — радіус кола, по якому рухається тіло.

Підставимо цей вираз для v у формулу і дістанемо наступний вираз для доцентрового прискорення:

$$a = \frac{4\pi^2 r}{T^2}.$$

Рух тіла по колу характеризують також кутом, який описує радіус при рівномірному русі тіла по колу. Цей кут позначають ϕ і називають *кутовим переміщенням мал.* 1.39. Кути зазвичай вимірюють в радіанах. Один радіан (1 рад) визначається як центральний кут, довжина дуги якого дорівнює радіусу кола. У загальному випадку будь-який кут ϕ (в радіанах) визначається виразом $\phi = \frac{l}{r}$, де r — радіус кола, l — довжина дуги.



Мал. 1.39. До характеристики обертального руху

Під час обертання тіла навколо нерухомої осі кут ϕ змінюється з часом. Тому обертальний рух характеризується *кутовою швидкістю*. Це фізична величина, що дорівнює відношенню кутового переміщення ϕ до інтервалу часу t , протягом якого це переміщення відбулося:

$$\omega = \frac{\phi}{t}.$$

Нехай ϕ_1 і ϕ_2 — це кутові положення тіла в моменти часу відповідно t_1 і t_2 . Тоді значення середньої кутової швидкості визначається так:

$$\omega = \frac{\phi_2 - \phi_1}{t_2 - t_1},$$

де $\Delta\phi = \phi_2 - \phi_1$ — кутове переміщення тіла за інтервал часу $\Delta t = t_2 - t_1$.

Якщо тіло обертається рівномірно, тобто за рівні інтервали часу повертається на однакові кути, то модуль кутової швидкості:

$$\omega = \frac{\Delta\phi}{\Delta t}.$$

Кутова швидкість вимірюється, як правило, в радіанах за секунду ($\frac{\text{рад}}{\text{с}}$). 1 $\frac{\text{рад}}{\text{с}}$ дорівнює кутовій швидкості такого рівномірного руху по колу, під час якого за 1 с здійснюється переміщення в 1 рад. Вимірюють кутову швидкість за допомогою спеціальних приладів — тахометрів.

Якщо тіло за будь-які рівні інтервали часу повертається на однакові кути, такий рух називається *рівномірним обертальним рухом*.

Рух тіла по колу можна характеризувати ще однією величиною — числом обертів по колу за одиницю часу. Цю величину називають *частотою обертання* й позначають буквою n . Частота — це обернена величина до періоду:

$$n = \frac{1}{T}.$$

Одиниця частоти — $\frac{1}{c}$, або c^{-1} .

Врахувавши те, що кутове переміщення за час, рівний періоду T , становить 2π рад, кутову швидкість можна визначити через період і частоту обертання:

$$\omega = \frac{2\pi}{T}; \quad \omega = 2\pi n.$$

Швидкість v руху тіла по колу можна виразити також через частоту n . За один оберт тіло проходить шлях, що дорівнює $2\pi r$, де r — радіус кола. Отже, при n обертах тіло за 1 с пройде шлях, що дорівнює $2\pi r n$. Таким чином, $v = 2\pi r n$. Підставивши цей вираз у формулу попереднього параграфа, дістанемо для доцентрового прискорення ще одну формулу:

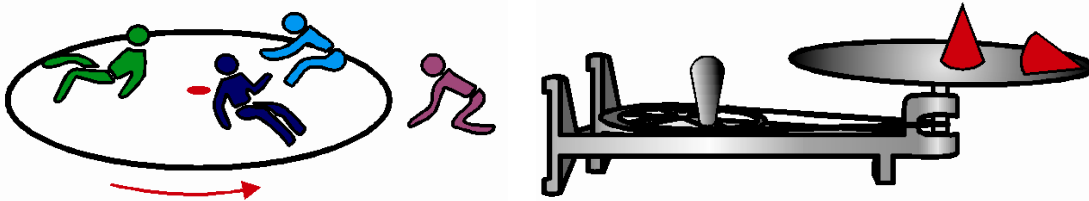
$$a = 4\pi^2 n^2 r.$$

Для допитливих

Усі ми живемо на земній кулі і обертаємося навколо її осі. Ми не помічаємо обертання Землі тому, що вона обертається дуже повільно, частота її обертання приблизно дорівнює $10^{-5} c^{-1}$.

Можливо ви знаєте про рух на обертовій підлозі (мал. 1.40) або виконували такий дослід (мал. 1.41).

Чому тіла, що знаходяться на одному і тому ж обертовому тілі, поводять себе по-різному? Які характеристики обертального руху доцільно знати?



Мал. 1.40. «На обертовій підлозі»

Мал. 1.41. Тіла на диску, що обертається

Обертальний рух характеризується періодом обертання, частотою обертання, кутовою швидкістю.

$$T = \frac{1}{n}; \quad \omega = \frac{2\pi}{T}; \quad \omega = 2\pi n.$$

Перевір себе

1. Що таке період обертання? 1. Що таке частота обертання? 3. Як зв'язані між собою частота і період обертання? 4. Як виражається доцентрове прискорення через період обертання? 5. Як виражається доцентрове прискорення через частоту обертання?

Вправа 7. 1. Обточуваний на токарному верстаті вал, діаметр якого 80 мм, обертається з частотою $600 \frac{\text{об}}{\text{хв}}$. Визначити швидкість різання. (Відповідь: $\approx 2,5 \frac{\text{м}}{\text{с}}$).

2. Скільки обертів за хвилину повинен робити шпіндель токарного верстата, щоб обточувати сталевий циліндр діаметром 70 мм при швидкості різання $700 \frac{\text{м}}{\text{хв}}$? (Відповідь: $\approx 3,2 \cdot 10^3 \frac{\text{об}}{\text{хв}}$).

3. Секундна стрілка годинника зробила 5 обертів. Обчислити кут повороту кінця стрілки в градусах та радіанах і кутову швидкість у $\frac{\text{град}}{\text{с}}$ та $\frac{\text{рад}}{\text{с}}$. (Відповідь: 1800° ; 31,4 рад; $6 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$; $0,105 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$).

4. Визначити кутові швидкості валів, які обертаються з періодами $T_1 = 10 \text{ с}$; $T_2 = 0,050 \text{ с}$; $T_3 = 1,00 \cdot 10^{-3} \text{ сек}$. (Відповідь: $\approx 0,63 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$; $\approx 130 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$; $6,28 \cdot 10^3 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$.)

5. Визначити кутові швидкості валів, частоти обертання яких 24; 60; $1800 \frac{\text{об}}{\text{хв}}$.

(Відповідь: $\approx 2,5 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$; $2\pi \frac{\text{рад}}{\text{с}}$; $60\pi \frac{\text{рад}}{\text{с}}$).

6. Яка частота і кутова швидкість обертання колеса вітрогенератора, якщо за 2 хв. колесо зробило 50 обертів? (Відповідь: $\approx 0,42 \frac{\text{об}}{\text{с}}$; $0,83\pi \frac{\text{рад}}{\text{с}}$).

7. Точильний круг радіусом 10 см робить 1 оберт за 0,2 с. Знайдіть швидкість точок, найбільш віддалених від осі обертання. 8. Період обертання першого космічного корабля-супутника Землі «Восток» дорівнював 90 хв. Середня висота супутника над Землею була 320 км. Радіус Землі 6400 км. Визначте швидкість корабля-супутника. 9. Знайдіть швидкість руху автомобіля, якщо його колеса радіусом 30 см роблять 600 обертів за 1 хвилину.

§ 13. Характеристики механічного руху

Урок у довкіллі 2

Мета уроку: *Навчитися використовувати знання характеристик механічного руху для дослідження його.*

Прилади і матеріали: секундомір, годинник, бінокль, фотоапарат.

1. Які із спостережуваних об'єктів ви вважаєте рухомими, а які нерухомими? З якою системою відліку (системами відліку) ви пов'язуєте спостережувані рухи?

2. Визначте (приблизно) траєкторію, шлях, переміщення обраних об'єктів. Зробіть висновок про відносність механічного руху.

3. Які із спостережуваних об'єктів можна вважати матеріальною точкою? Чи спостерігаєте за такими об'єктами, які одночасно можна і не можна вважати матеріальною точкою? Чому матеріальну точку вважаємо ідеалізованим об'єктом?

4. Визначте середню швидкість рухомого тіла на різних відрізках шляху. Який з отриманих результатів можна прийняти за миттєву швидкість?

5. Зробіть портрети (словесні або фотопортрети) основних понять кінематики (фізичне тіло і матеріальна точка; відносність механічного руху; вільне падіння тіл; рух тіла по колу та ін.).

6. Зверніться до народних прикмет для проведення уроку. Чи використовуються в народних прикметах знання про механічний рух?

7. На основі спостережень доведіть, що механічний рух — один з видів руху матерії.

8. Пригадайте перший урок у довкіллі. Що спільного вкажете між уроками?

9*. Дайте науковий коментар роздумів О.С. Пушкіна про рух. Які ще художні твори про рух ви можете назвати?

Движенья нет, сказал мудрец бородатый.

Другой смолчал и стал пред ним ходить.

Сильнее бы не мог он возразить;

Хвалили все ответ замысловатый.

*Но господа, забавный случай сей
Другой пример на память мне приводит:
Ведь каждый день пред нами солнце ходит,
Однако ж прав упрямый Галилей.*

НАЙВАЖЛИВИШЕ В ПЕРШОМУ РОЗДІЛІ

Явище механічного руху полягає в тому, що положення тіл відносно інших тіл, тобто їх координати, з часом змінюються.

Основна задача механіки — визначення положення тіла в будь-який момент часу. Для цього необхідно знати початкові умови і закон, за яким визначається положення тіла в просторі. Треба знати її переміщення, а щоб знайти переміщення, необхідно знати швидкість.

Для рівномірного прямолінійного руху потрібно знати швидкість і час, для рівноприскореного руху потрібно ще знати прискорення.

Під час рівноприскореного руху швидкість безперервно змінюється, і для визначення швидкості в будь-який момент часу (миттєвої швидкості) треба знати, наскільки швидко вона змінюється. Швидкість зміни швидкості визначається прискоренням \vec{a} :

$$\vec{a} = \frac{\vec{v} - \vec{v}_0}{t}$$

Проекцію швидкості v_x на координатну вісь обчислюють за формулою:

$$v_x = v_{0x} + a_x t, \quad v = v_0 \pm a$$

де v_{0x} — проекція початкової швидкості і a_x — проекція прискорення.

Координату x тіла визначають за формулою:

$$x = x_0 + v_{0x} t + \frac{a_x t^2}{2}$$

а проекцію переміщення $s_x = x - x_0$ — за формулою:

$$s_x = v_{0x}t + \frac{a_x t^2}{2}.$$

Усі ці формули перетворюються в формули для рівномірного руху, якщо в них вважати, що прискорення дорівнює нулю.

Переміщення (а отже, і координату) можна знайти також за формулою:

$$s_x = \frac{v_x^2 - v_{0x}^2}{2a_x}; \quad s = \frac{v^2 - v_0^2}{2a}.$$

У всіх формулах знаки проекцій векторів \vec{v} , \vec{v}_2 , \vec{a} , а також знак початкової координати x_0 визначаються умовою задачі та напрямом осі координат.

Під час криволінійного руху тіла (матеріальної точки) неперервно змінюється напрям вектора швидкості: в кожній точці траєкторії він напрямлений по дотичній до траєкторії в цій точці. Тому навіть рівномірний рух (із сталою за модулем швидкістю) за криволінійною траєкторією є прискореним рухом.

Рух тіла по колу характеризується швидкістю v , періодом обертання T і частотою обертання n . Модуль швидкості зв'язаний з цими величинами співвідношеннями:

$$v = \frac{2\pi r}{T}; \quad v = 2\pi r n,$$

де r — радіус кола.

Модуль доцентрового прискорення зв'язаний з величинами v , T і n співвідношеннями:

$$a = \frac{v^2}{r}; \quad a = \frac{4\pi^2 r}{T^2}; \quad a = 4\pi^2 n^2 r.$$

Координати тіла, яке рівномірно рухається по колу, залежать від часу так, що вони через проміжок часу, який дорівнює періоду обертання, повторюють свої значення. Те саме стосується також модулів і напрямів векторів швидкості й прискорення.

Кутова швидкість тіла, що обертається, однакова для всіх його точок: $\omega = \frac{2\pi}{T}$ або $\omega = 2\pi n$.

Величина кутової швидкості визначається за формулою:

$$\omega = \frac{\Delta\varphi}{\Delta t}.$$

Тестова самоперевірка знань з розділу «Кінематика»

I рівень

1. Землю можна вважати матеріальною точкою при...

- а)... розрахунку довжини екватора Землі;
- б)... розрахунку відстані від Землі до Сонця;
- в)... розрахунку швидкості руху точки екватора при обертанні Землі навколо осі за добу.

2. Векторними величинами є...

- а)... шлях, пройдений тілом;
- б)... переміщення тіла за деякий час;
- в)... траєкторія руху тіла.

3. Яка з формул дає змогу знайти доцентрове прискорення.

- а) $a = \frac{v - v_0}{t}$;
- б) $a = \frac{v^2}{R}$;
- в) $g = \frac{v^2}{2h}$.

II рівень

4. Поїзд через 10 с після початку руху набуває швидкості $0,7 \frac{m}{c}$. З яким прискоренням рухається поїзд?

- а) $0,7 \frac{m}{c^2}$;
- б) $0,14 \frac{m}{c^2}$;
- в) $0,07 \frac{m}{c^2}$;

5. Велосипедист рухається з гори з початковою швидкістю $5 \frac{m}{c}$ і прискоренням $0,2 \frac{m}{c^2}$. Яку швидкість він матиме через 20 с?

- а) $18 \frac{m}{c}$;
- б) $9 \frac{m}{c}$;
- в) $11,5 \frac{m}{c}$.

6. Довжина хвилинної стрічки механічного наручного годинника 12 мм. Визначте лінійну швидкість кінця хвилинної стрічки.

- а) $1,45 \cdot 10^{-3} \frac{m}{c}$;
- б) $14,5 \cdot 10^{-7} \frac{m}{c}$;
- в) $2,07 \cdot 10^{-5} \frac{m}{c}$.

III рівень

7. Рівняння зустрічних рухів катера і ескадри мають вигляд $x_1 = 1,4 \cdot 10^4 - 20 t$; $x_2 = 15 t$ (в CI). Визначте час і місце зустрічі катера і ескадри.

- а) $4 \cdot 10^3$ с; 6000 м; б) $4 \cdot 10^2$ с; 6000 м; в) $3,5 \cdot 10^2$ с; 5000 м.

8. Визначити доцентрове прискорення точок земної поверхні, зумовлене добовим обертанням Землі на екваторі.

а) $4,3 \cdot 10^{-2} \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$; б) $3,4 \cdot 10^{-2} \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$; в) $5,5 \cdot 10^{-2} \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$.

9. За який час ескалатор метро піднімає пасажир, що стоїть на ньому нерухомо, якщо відомо, що, йдучи по нерухомому ескалатору, пасажир піднімається за 150 с, а йдучи по рухомому — за 50 с?

а) 90 с; б) 85 с; в) 75 с.

IV рівень

10. Автомобіль проходить першу третину шляху із швидкістю $10 \frac{\text{км}}{\text{год}}$, другу — із швидкістю $40 \frac{\text{км}}{\text{год}}$, а останню — $60 \frac{\text{км}}{\text{год}}$. Знайти середню швидкість автомобіля за весь час руху.

Відповідь: $21,2 \frac{\text{км}}{\text{год}}$.

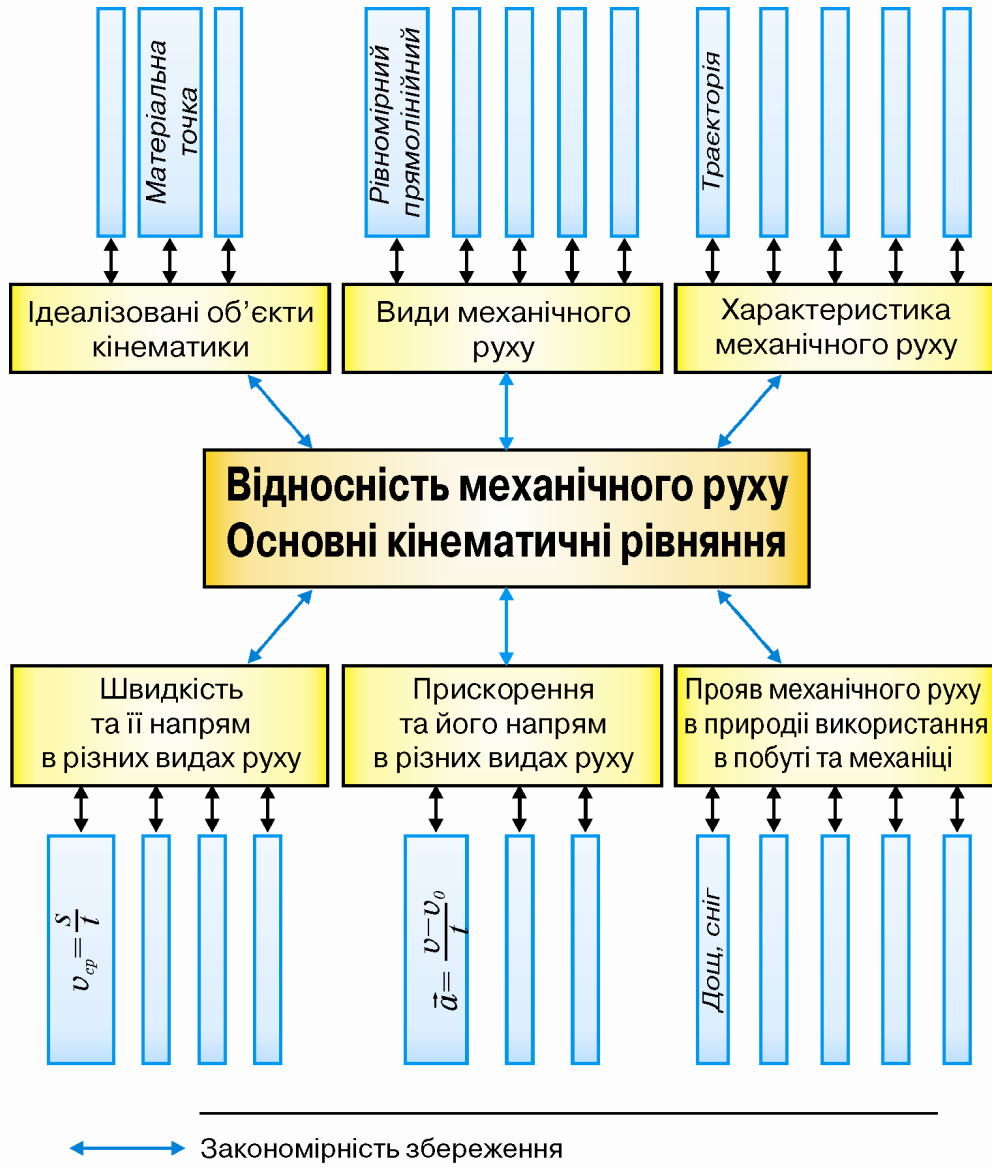
11. Рухаючись рівноприскорено із стану спокою тіло за п'яту секунду пройшло 18 м. Який шлях пройшло тіло за п'ять секунд?

Відповідь: 50 м.

12. З висоти 10 м вертикально вгору кинута тіло з початковою швидкістю $14 \frac{\text{м}}{\text{с}}$. Яке його переміщення за 1 с польоту? Через який час тіло досягне поверхні землі? Який шлях пройде тіло за цей час?

Відповідь: 9,1 м; 3,4 с; 29,6 м.

13.* Складіть структурно-логічну схему взаємозв'язку елементів знань з розділу на основі кінематичних рівнянь. Вкажіть у схемі взаємозв'язки між основними поняттями розділу на основі уявлень про простір та час, про загальні закономірності природи (закономірність збереження). Порівняйте її зі зразком (мал. 1.42.) Для художнього оформлення схеми використайте «фотопортрети» основних понять.



Мал. 1.42. Структурно-логічна схема «Механіка: взаємозв'язки між основними поняттями»

РОЗДІЛ 2. ДИНАМІКА

У розділі «Кінематика» ви ознайомилися з різними видами руху тіл: прямолінійним, криволінійним, рівномірним, рівноприскореним.

У розділі «Динаміка» ви навчитеся виявляти причини того чи іншого руху, вивчите закони, які дають можливість пояснити, чому тіла рухаються так або інакше.

Пам'ятайте відомий вислів Ньютона: «Природа проста і не розкошує зайвими причинами». Він спрямовує вас на виявлення ролі законів Ньютона як основи пояснення і систематизації явищ, що вивчаються.

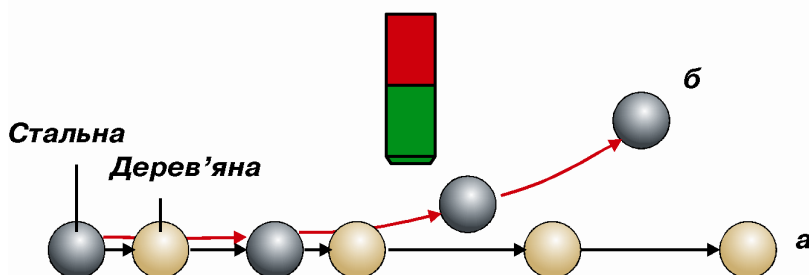
§ 14. Механічна взаємодія тіл. Сила. Види сил у механіці.

Вимірювання сил

Основні знання параграфа: взаємодія тіл у механіці, поняття сили, сили в механіці, вимірювання сили.

З поняттям «взаємодія тіл» ви зустрічалися в 7, 8 класах, знаєте, що у макросвіті сили породжуються гравітаційною та електромагнітною взаємодією.

Взаємодія у фізиці — це взаємний вплив тіл або їхніх частин, що викликає зміну їх стану. Подіємо магнітом на кульки, з яких одна дерев'яна, друга стальна, які рухаються по столу.



Мал. 2.1. Під дією магніту стальна кулька змінює напрямок швидкості (б), у дерев'яної кульки напрямок швидкості залишається незмінним (а)

Внаслідок взаємодії магніту і сталюї кульки остання змінила напрямок і величину швидкості. Дерев'яна кулька, на яку магніт не діє, продовжує перебувати у рівномірному прямолінійному русі. Отже, під час взаємодії тіл змінюється величина і напрямок швидкості, при відсутності взаємодії з оточуючими об'єктами тіло зберігає свою швидкість незмінною.

Проведемо ще дослід. Поставимо на стіл візок, до якого прикріпимо пружну пластинку (мал. 2.2 а). Зігнемо її і зв'яжемо ниткою. Перепалимо нитку — пластинка розпрямиться. Візок залишиться нерухомим відносно стола. При відсутності взаємодії швидкість тіла не змінюється. Знову зігнемо пластинку і зв'яжемо її ниткою. Впритул до першого візка поставимо такий самий візок. Перепаливши нитку, побачимо, що візки відкотилися від початкового положення на однакову відстань (мал. 2.2 б). Зміна стану тіл (візків) проявляється у тому, що спочатку візки були нерухомі, а потім почали рухатися. Причиною зміни стану є сила, у даному випадку — сила пружності. Вона проявляється у взаємодії. Отже, сила може бути причиною зміни швидкості за величиною чи напрямком, а також деформації (зміни форми чи об'єму) тіла.

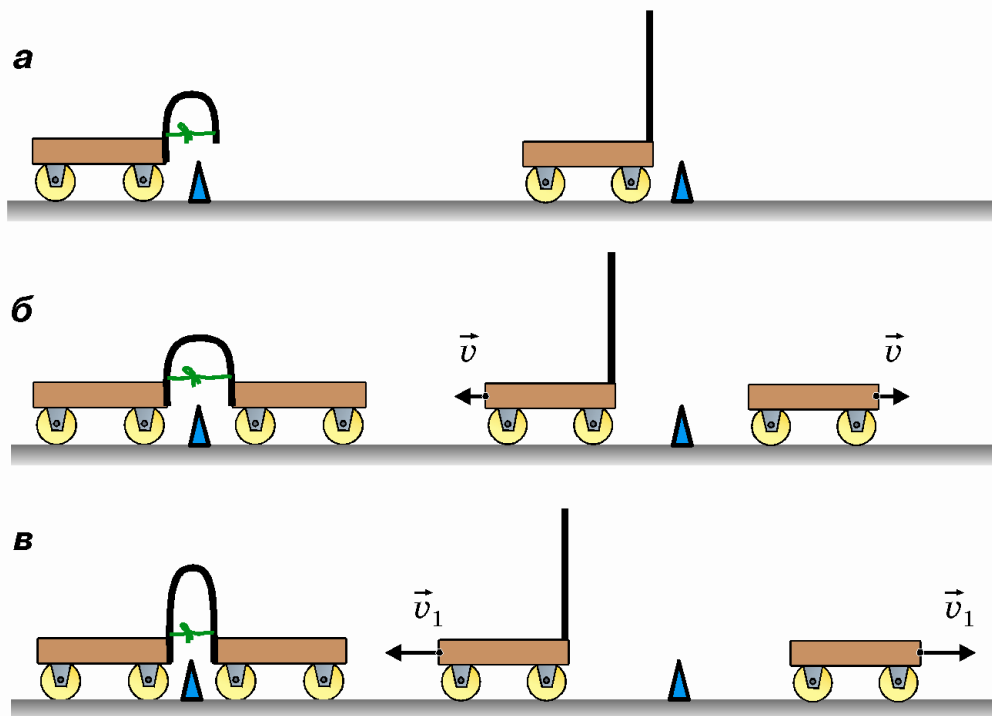
Сильніше зігнемо пластинку, поставимо візки, як показано на мал. 2.2 в, і перепалимо нитку. Внаслідок взаємодії візки будуть рухатися з більшою швидкістю, ніж перший раз, а тому відкотяться від початкового положення на більшу відстань. Це спостерігається тому, що візки взаємодіють з більшою силою.

З дослідів зробимо висновки. Зміна швидкості тіла за величиною чи напрямком відбувається під час взаємодії тіл. Взаємодія може проявитися в більшій чи меншій мірі — більшій чи меншій зміні швидкості, тобто у наданні тілам більшого чи меншого прискорення.

В випадках, показаних на мал. 2.2 б, в виникає зміна швидкості обох взаємодіючих тіл. Отже, виникають дві сили, які прикладені до різних тіл (візків) і мають протилежний напрямок, оскільки швидкості тіл протилежні. Пізніше ви дізнаєтеся що сили, які виникають під час взаємодії тіл, рівні за величиною, протилежні за напрямком і мають однакову природу. У даному досліді причина зміни швидкості — дія сили пружності. Зігнувши пластинку сильніше, спостерігаємо більшу зміну швидкості візків завдяки більшій силі пружності.

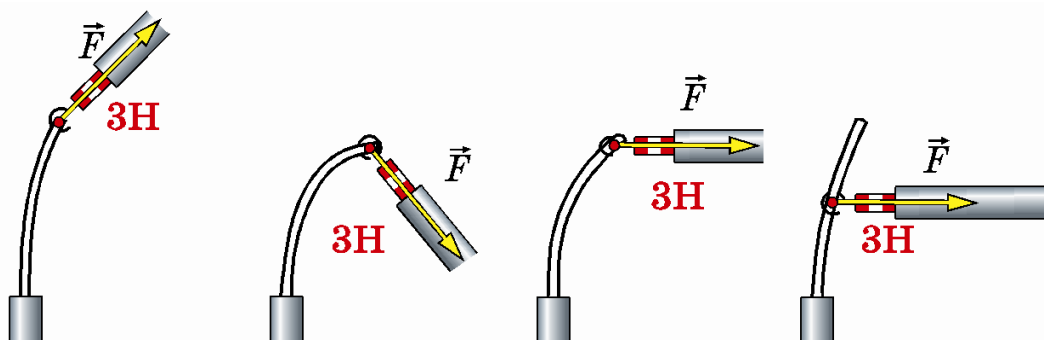
Проведені досліді свідчать про те, що деформація тіла або зміна його швидкості відбуваються під дією сили, яка може бути мірою дії інших тіл на це тіло. Сила — міра взаємодії тіл.

Завжди, коли змінюється стан тіла (руху чи спокою), на нього діє сила.



Мал. 2.2. Під час взаємодії тіл проявляється деформація і змінюється швидкість

Проведемо дослід з пружною пластинкою, на якій зроблені отвори для закріплення динамометра. З мал. 2.3 видно, що у всіх випадках величина сили однакова, проте напрям і точка прикладання — різні. Через те дія сили на пластину різна. Можна зробити висновок, що результат дії сили залежить не тільки від її числового значення, а і від напрямку дії та точки прикладання. Отже, сила — векторна величина, яка є мірою взаємодії тіл.



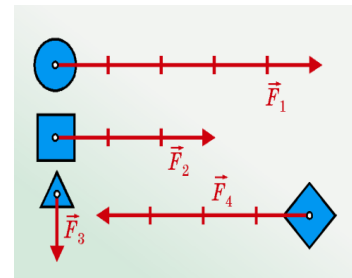
Мал. 2.3. Залежність величини деформації від напрямку дії сили та точки її прикладання від напрямку дії сили та точки її прикладання

Позначають силу символом \vec{F} (еф). Числове значення сили називають модулем і позначають символом F без стрілки. Числове значення сили вимірюють за допомогою динамометра (мал. 2.3). У СІ одиницею сили є один ньютон (1 Н). Це сила, яка тілу масою 1 кг надає прискорення $1 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$. Є кратні і частинні одиниці сили — кілоньютон (кН), міліньютон (мН) та ін.

На малюнку силу зображують вектором — стрілкою. Довжина вектора у певному масштабі повинна відповідати модулю сили. Нехай масштаб $1 \text{ Н} = 1 \text{ см}$. Тоді стрілочка довжиною 5 см відповідає силі 5 Н і т. п. (мал. 2.4). Напрямок стрілки повинен відповідати напрямку дії сили, а початок стрілки — точці прикладання сили (мал. 2.4).

В механіці будемо вивчати вже знайомі вам з 8 класу сили пружності, тертя, тяжіння.

Повернемось до дослідів із взаємодією тіл (мал. 2.2). Вони свідчать, що під час взаємодії двох тіл обидва тіла дістають прискорення, напрямлені в протилежні сторони. Крім того, для двох даних тіл, що взаємодіють, відношення модулів їхніх прискорень завжди однакове. Відношення не залежить від того, як взаємодіють ці тіла. Це



Мал. 2.4. Зображення вектора сили

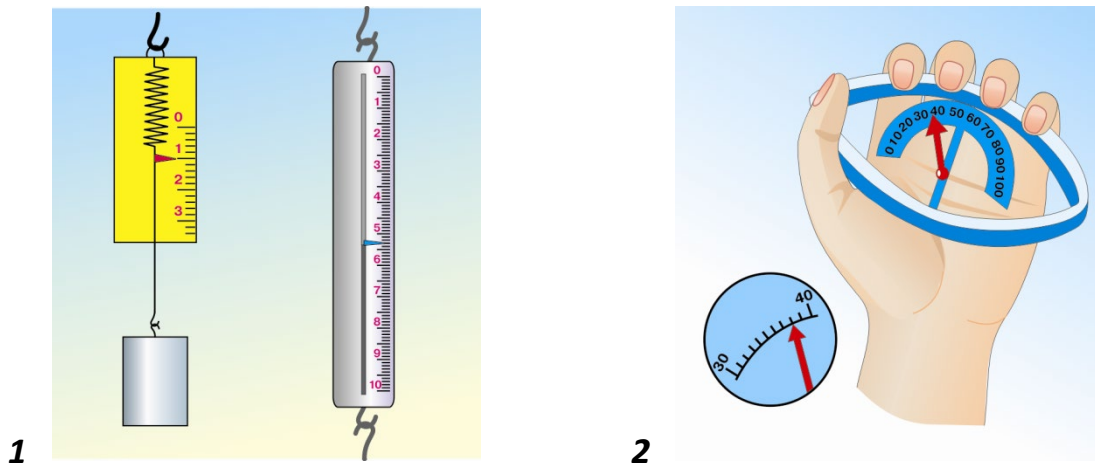
може бути зіткнення двох тіл або взаємодія тіл, з'єднаних між собою пружиною, ниткою і т. п. Нарешті, тіла можуть взаємодіяти, не доторкаючись одне до одного, як взаємодіють планети із Сонцем, магніт із сталеву кулькою.

Модулі прискорень кожного з тіл можуть бути різними під час різних взаємодій. Але незмінним залишається їх відношення.

Якщо, наприклад, узяти два візки однакового розміру (один алюмінієвий, а другий сталевий) і привести їх у зіткнення, то вони обидва змінять свою швидкість — набудуть прискорень. Вимірювання покажуть, що модуль a_1 прискорення алюмінієвого візка у три рази більший від модуля a_2 прискорення сталевий візка, незалежно від того, які швидкості мали візки до зіткнення, тому що маса сталевий візка у три рази більша маси такого самого алюмінієвого візка.

$$\frac{a_1}{a_2} = \frac{m_2}{m_1}.$$

Прискорення, які набувають тіла під час взаємодії, обернено пропорційні їхнім масам. За цим співвідношенням можна виміряти силу, з якою взаємодіють тіла. На практиці для вимірювання діючих сил використовується явище деформації, на його прояві заснована дія приладів (мал. 2.5) знайомих вам з попередніх класів.



Мал. 2.5. Прилади для вимірювання сили: 1 — динамометри; 2 — силомір

Сила — векторна величина, є мірою взаємодії тіл. Внаслідок взаємодії тіл змінюється їх стан — тіла деформуються або змінюють швидкість (набувають прискорення). Сила характеризується величиною, напрямком і точкою прикладання.

Перевір себе

1. Як ви розумієте вираз «взаємодія тіл»? 2. Що може бути результатом взаємодії тіл? 3. Що є причиною зміни швидкості, а також деформації тіла? 4. Наведіть приклади зміни швидкості тіл під дією сили. 5. За мал. 2.5. розкажіть про принцип дії динамометра, силоміра. 6. Які сили вивчають у механіці? 7. Якими методами можна вимірювати сили?

Вправа 8. 1. Як проявляється сила тяжіння в навколишньому світі? 2. Спробуйте навести приклади тіл в навколишньому світі, на які не діє сила пружності.

§ 15. Додавання сил

Основні знання параграфа: рівнодійна сила, додавання сил, що діють вздовж однієї прямої, додавання сил, що діють на тіло під кутом.

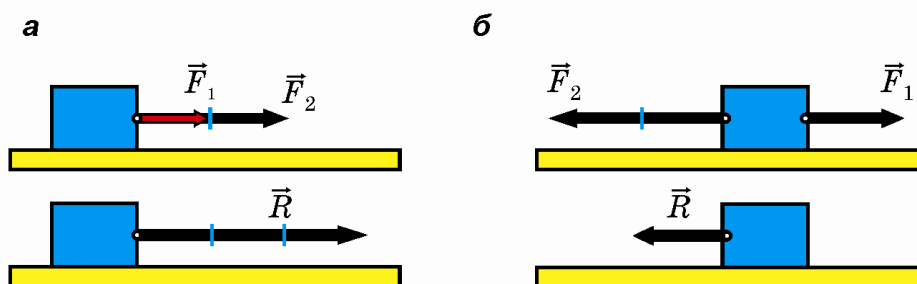
Спочатку спробуємо знайти таке тіло в довіккілі, на яке не діяла б жодна сила. Ви відразу скажете — це марна спроба. На всі тіла навколо, в тому числі і на нас, діє сила земного тяжіння. Всі тіла у Всесвіті перебувають у гравітаційній взаємодії.

Чи всі тіла під дією сили земного тяжіння набувають прискорення? Наприклад, учень, що сидить за партою, стіл, стільці, що стоять на підлозі, яблуко, що висить на гілці.

Відповідь ваша буде ґрунтуватися на знаннях з курсу фізики 8 класу: названі тіла перебувають у стані спокою, бо рівнодійна сил, що діють на кожне з них, дорівнює 0. Так, сила тяжіння, яка діє на стіл, на стілець, урівноважується силою тиску, що діє на ці тіла з боку підлоги. Рівнодійна цих сил дорівнює нулю, оскільки сили рівні за величиною і протилежно направлені.

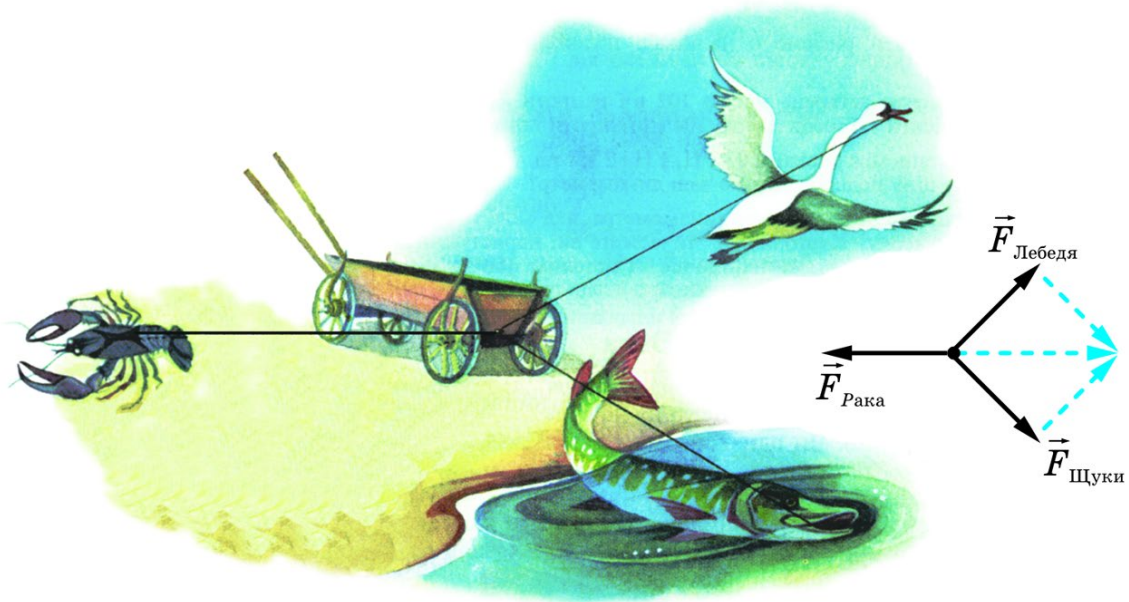
Сила, яка викликає таку ж дію, як і декілька сил разом, називається *рівнодійною*. Рівнодійна сил позначається \vec{R} .

На тіло може діяти дві сили, спрямованих вздовж однієї прямої в одному напрямку, тоді модуль їх рівнодійної $R = F_1 + F_2$ (мал. 2.6 а). Якщо сили спрямовані в протилежному напрямку, то $R = F_2 - F_1$ (мал. 2.6, б).



Мал. 2.6. Схема додавання сил, що діють уздовж однієї прямої

Якщо на тіло діє кілька сил, спрямованих під кутом, то рівнодійна дорівнює геометричній сумі всіх сил. Розглянемо, наприклад, чому дорівнює рівнодійна сил, що діють на віз (мал. 2.7).



Мал. 2.7. Рівнодійна сил, що діють під кутом

Для зображеного на мал. 2.7 випадку рівнодійна сил, що діють на точку (тіло)

$$\vec{R} = \vec{F}_{\text{Рака}} + \vec{F}_{\text{Щуки}} + \vec{F}_{\text{Лебедя}} . \text{ З малюнка видно, що } \vec{R} = 0 .$$

Знаходження рівнодійної кількох сил, що діють на тіло, називається додаванням сил. Сила, яка викликає таку ж дію, як і декілька сил разом, називається рівнодійною цих сил. Рівнодійна дорівнює геометричній сумі всіх сил, що діють на точку (тіло).

Перевір себе

1. Що таке рівнодійна кількох сил? 2. Як додаються сили, що діють: а) уздовж однієї прямої в одному напрямку; б) коли напрямки сил протилежні? 3. Якою буде рівнодійна двох сил 15 Н і 17 Н, що діють вздовж однієї прямої у одному напрямку? 4. Визначте величину рівнодійної двох протилежно направлених сил 540 Н і 380 Н. 5. На стіні висить картина. Які сили діють на неї та чому дорівнює їх рівнодійна? 6. Чотири сили величиною 15 Н діють в одному напрямку по одній прямій, а п'ять сил величиною кожна 3 Н вздовж цієї ж прямої — у протилежному. Яка рівнодійна цих сил? 7. Людина несе відро води масою 10 кг. Яку силу до відра вона прикладає? Чому дорівнює рівнодійна сил, які прикладені до відра?

Поміркуй

1. В цій задачі може бути чотири різних відповіді і всі вірні. На тіло діє три сили, спрямовані вздовж однієї прямої: $F_1 = 100 \text{ Н}$; $F_2 = 200 \text{ Н}$; $F_3 = 250 \text{ Н}$. Яка їх рівнодійна? 2. Три учні штовхають важкий ящик. Ящик не рухається з місця або рухається рівномірно. Що можна сказати про рівнодійну сил, які на нього діють?

Подискутуйте

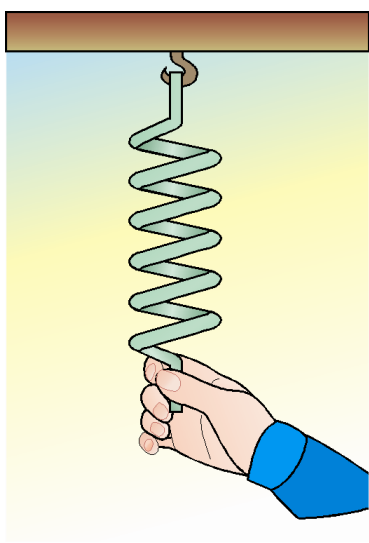
До якого художнього твору є ілюстрацією мал. 2.7? Приклади ще яких художніх творів (літературних або мистецьких), у яких діє мова про взаємодію тіл, ви можете назвати?

§ 16. Вимірювання сил

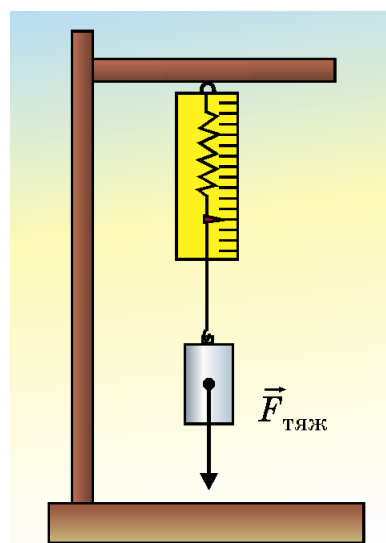
Лабораторна робота № 2

Мета: Вимірювання сил пружності, тяжіння, тертя.

Прилади та матеріали: підвішена пружина, динамометр, тягарці, аркуш картону, наждачний папір, канцелярські кнопки, дерев'яні бруски, лінійка, секундомір (мал. 2.8, 2.9, 2.10).



Мал. 2.8. В розтягнутій пружині



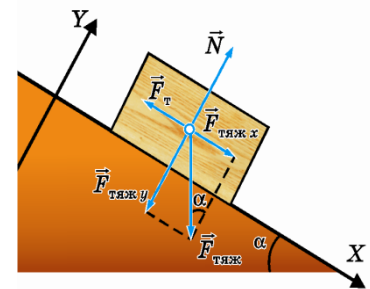
Мал. 2.9. Прояви сили тяжіння

виникає сила пружності

Хід роботи

1. Розтягніть пружину і відпустіть. Під дією якої сили пружина повертається у попередній стан? До динамометра причепіть тягарець. Простежте, до якої поділки розтяглася пружина динамометра (мал. 2.9). Яку силу ви виміряли за допомогою динамометра?

2. Покладіть похило аркуш картону на підставку — зробіть похилу площину. На вершину похилої площини покладіть дерев'яний брусок і відпустіть його. Що спостерігаєте (мал. 2.10)? Повторіть дослід і визначте, який час брусок рухався вздовж похилої площини. Яка сила змусила брусок рухатися? Прикріпіть брусок до динамометра і рухайте його рівномірно до вершини похилої площини. Яку силу ви приклали?



Мал. 2.10. Рух бруска по похилій площині

3. До картону кнопками прикріпіть наждачний папір. Знову покладіть брусок на вершині «гори» і відпустіть. Що спостерігаєте (мал. 2.10)? Яка сила заважає бруску рухатися вниз? Чому ця сила виникає? Яку силу ви приклали, щоб витягти прикріплений до динамометра брусок до вершини похилої площини?

4. Покладіть картон на стіл і рухайте брусок рівномірно по картону. Яку силу ви приклали, щоб рухати брусок?

5. Порівняйте сили, які ви приклали, щоб рухати рівномірно брусок у першому і другому випадку, чому вони відрізняються?

6. Зробіть висновок про виміряні сили.

§ 17. Закони динаміки. Перший закон Ньютона. Інерція та інертність

Основні знання параграфу: основи розділу «Динаміка», закон інерції, інерція, інертність.

Розділ «Динаміка» дасть вам можливість опанувати закони, на основі яких пояснюються і об'єднуються в цілісність знання про явища механічного руху, про механічний рух як форму руху матерії. Закони динаміки — це три закони Ньютона. Закон всесвітнього тяжіння, який теж був відкритий Ньютоном, дає можливість пояснити і об'єднати космічні явища.

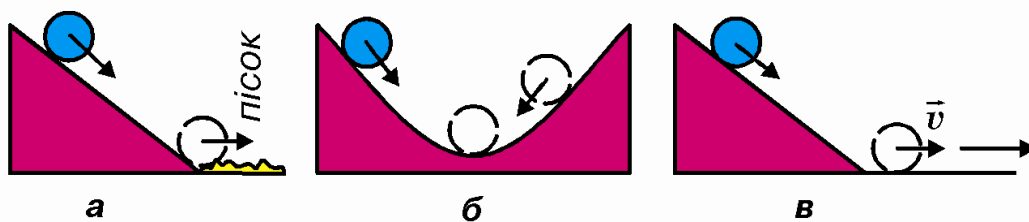
Зараз спробуємо виявити зміст першого закону Ньютона. Він приваблював багатьох видатних мислителів і природодослідників, серед них Аристотель, Галілей.

Прочитайте твердження Аристотеля: «Все, що знаходиться в русі, рухається завдяки дії іншого». З цього твердження випливає, взаємодія призводить до надання швидкості, а не до зміни її (надання прискорення).

На думку Галілея, швидкість тіла пов'язана з його природою, в той час як причини прискорення чи сповільнення є зовнішніми. А ви як думаєте? Наприклад, під дією якої сили рухається шайба по льоду? Куля, що вилетіла з рушниці? Відповідь у вас є: ці тіла рухаються за інерцією.

Закон інерції було відкрито Галілеєм. Досліди, за допомогою яких вчений вивчав явище інерції, можна повторити.

Якщо з похило встановленого жолоба пустити кульку і на шляху кульки насипати піску, вона швидко зупиниться (мал. 2.11 а). Якщо на шляху кульки поставити ще один нахилений жолоб, то вона підніметься на деяку висоту по ньому, а потім зупиниться і скотиться назад. Галілей міркував так: при скочуванні з жолоба швидкість кульки збільшується, а при підніманні по жолобу — зменшується (мал. 2.11 б). На горизонтальній поверхні, де не буде ніяких перешкод, куля має рухатись, не змінюючи швидкості (мал. 2.11 в). Рух тіла за відсутності дії на нього інших тіл — це і є рух за інерцією.



Мал. 2.11. Рух кульки за різних умов: а — рухаючись по піску, куля швидко зупиниться;

б — при скочуванні з жолоба швидкість кульки збільшується, а при підніманні по жолобу — зменшується;

в — на гладенькій горизонтальній поверхні куля рухається за інерцією

Останній дослід показує, що зі зменшенням впливу навколишніх тіл горизонтальний рух будь-якого тіла відносно Землі наближається до рівномірного прямолінійного руху.

На основі дослідів Галілей сформулював закон інерції: *тіло рухається рівномірно і прямолінійно, або перебуває в спокої, якщо дія на нього всіх інших тіл компенсується.*

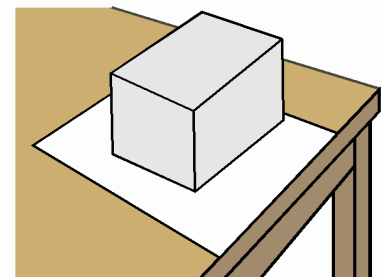
Пізніше І. Ньютон включив цей закон до законів механіки, тому закон інерції називають першим законом Ньютона.

Спостереження руху тіл показують, що не у всіх системах відліку траєкторія і швидкість руху одного і того ж тіла однакові.

Тому перший закон Ньютона можна формулювати так: *існують системи відліку, названі інерціальними, відносно яких тіло рухається рівномірно і прямолінійно, якщо дії на нього інших тіл скомпенсовані.* З високим ступенем точності у багатьох випадках систему відліку, пов'язану із Землею, можна вважати інерціальною.

Вивчаючи поняття маси в 7 класі, ви вже дізналися про те, що маса — міра гравітаційних властивостей тіла.

Розширимо цей висновок. Проведемо дослід. Для цього покладемо на стіл аркуш паперу, а на нього дерев'яний брусок (мал. 2.12). Різко смикнемо за аркуш. Він висмикнеться, а брусок залишиться на столі. Цей дослід повторимо декілька разів із брусками різної маси. Побачимо, що чим менша маса бруска, тим папір висмикнути важче, так як брусок рухається разом з листком. Отже, тіло, яке має більшу масу, в більшій мірі зберігає свою швидкість незмінною.



Мал. 2.12. До дослідів з інертності тіла

Закріпимо у штативі тонку пружну металеву пластинку. Поставимо штатив на стіл і, відхиливши пластинку на певний кут, штовхнемо нею кульку. Кулька відкотиться від початкового положення на певну відстань. Повторимо дослід з кулькою більшої маси. Вона відкотиться на меншу відстань.

В обох випадках кульки не спиняються після припинення дії сили, а продовжують рух. Отже, тіло не може змінити свій стан спокою чи руху миттєво.

Явище збереження незмінною тілом швидкості при відсутності дії на нього інших тіл називається інерцією. Властивість тіл змінювати свою швидкість під дією інших тіл не миттєво, а за певний проміжок часу називають інертністю.

Інертність — властивість всіх тіл. Тіла з великою масою мають велику інертність, а тіла з малою масою — малу інертність.

З інертністю тіл пов'язане явище інерції. Наприклад, для того, щоб зрушити тіло з місця, потрібно подіяти на нього силою. При цьому потрібно враховувати інертність тіла, тобто властивість зберігати стан спокою. При раптовому гальмуванні слід враховувати інертність тіла, яке «намагається» продовжити рух із тією ж швидкістю у тому ж напрямку, тобто зберегти стан руху. Чим більша маса тіла, тим більшу силу потрібно прикласти, щоб вивести його із стану спокою або надати йому прискорення.

З досліду, в якому розглядалася взаємодія алюмінієвого і сталюого візків (§12) можна зробити висновок, що те з двох взаємодіючих тіл, яке дістає менше за модулем прискорення, тобто інертніше, має більшу масу. Друге тіло, менш інертне, має меншу масу. Отже, *маса тіла — це міра його інертності*. Це зафіксовано у формулі:

$$\frac{a_1}{a_2} = \frac{m_2}{m_1}.$$

Відношення модулів прискорень двох взаємодіючих тіл дорівнює оберненому відношенню їхніх мас. Прискорення тіл, що взаємодіють, як і їхні швидкості (мал. 2.2), протилежно направлені: $m_1 a_1 = - m_2 a_2$.

Перший закон Ньютона полягає в тому, що існують такі системи відліку (інерціальні системи), відносно яких тіло зберігає свою швидкість незмінною, якщо дії на нього інших тіл скомпенсовані.

Явище інерції полягає в тому, що всяке тіло зберігає свій стан спокою або рівномірного прямолінійного руху, поки якась взаємодія не виведе його з цього стану. Інертність — властивість всіх тіл. Вона полягає в тому, що в процесі взаємодії тіло змінює свою швидкість не миттєво, а за певний проміжок часу. Мірою інертності тіла є його маса.

Перевір себе

1. В чому полягає перший закон Ньютона? 2. Що таке інерція? 3. Що таке інертність тіла? 4. Як інертність пов'язана з масою? 5. Дайте визначення поняття маси.

Поміркуй

1. Поясніть, як насаджують сокиру на топорище. 2. Спробуйте застосувати знання про інерцію для пояснення вибивання пилу з килима. 3. Чому, обминаючи на бігу стовп, ви за нього хапаєтеся рукою? 4. Наведіть приклади корисного прояву інерції і врахування її негативного впливу.

Подискутуйте. Доведіть, що перший закон Ньютона належить до законів збереження і його зміст входить у зміст закономірності збереження.

§ 18. Другий закон Ньютона

Основні знання параграфа: залежність, яку встановлює другий закон Ньютона, математичний вираз закону.

Другий закон Ньютона встановлює залежність між силою, що діє на тіло певної маси, і прискоренням, наданим тілу. Формулюється другий закон Ньютона так:

Сила, що діє на тіло, дорівнює добутку маси тіла на прискорення, якого надає ця сила.

Математично другий закон Ньютона виражається формулою $F = ma$, де F — модуль сили. Оскільки сила \vec{F} і прискорення \vec{a} — величини векторні, то формулу, що виражає другий закон Ньютона, слід записувати у векторній формі:

$$\vec{F} = m\vec{a}$$

Прискорення, якого сила надає тілу (точці), визначається формулою:

$$\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m}.$$

Як бачимо з формул, прискорення завжди напрямлене так само, як і сила, що його спричинила, оскільки маса — величина скалярна і $m > 0$. Прискорення, надане тілові, прямо пропорційне діючій силі.

Відношення $\frac{F}{a} = \text{const}$, тобто відношення модуля сили до модуля прискорення є сталою величиною для даного тіла, ця константа є масою тіла.

Для розв'язання задач із застосуванням законів Ньютона формули слід записувати в скалярній формі, тобто для проекцій векторів на координатні осі.

Приклади розв'язування задач

1. На більярдну кулю масою 200 г, яка перебуває в стані спокою, діє сила 2 Н протягом 0,5 с. Якої швидкості набуває куля і який шлях вона при цьому проходить?

Дано:

$$m = 0,2 \text{ кг}$$

$$F = 2 \text{ Н}$$

$$t = 0,5 \text{ с}$$

$$v_0 = 0$$

$$v - ?$$

$$s - ?$$

Розв'язання:

Запишемо другий закон Ньютона у векторній і скалярній формі:

$$\vec{F} = \vec{m}a; \quad F = ma.$$

Модуль прискорення $a = \frac{v - v_0}{t}$. Оскільки $v_0 = 0$ то $a = \frac{v}{t}$, тоді

$$F = \frac{mv}{t}; \quad v = \frac{Ft}{m}; \quad v = 5 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

З рівняння рівноприскореного руху: $s = v_0 t + \frac{at^2}{2}$ при $v_0 = 0$ виведемо: $s = \frac{at^2}{2}$.

Оскільки $v = at$, то $s = \frac{vt}{2}$; $s = 1,25 \text{ м}$

Відповідь: $5 \frac{\text{м}}{\text{с}}$, $1,25 \text{ м}$.

2. На тіло об'ємом 300 см^3 діє сила 5 Н і надає йому прискорення $2 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$.
Визначити густину матеріалу, з якого виготовлене тіло.

Дано:

$$V = 300 \text{ см}^3 = 3 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3$$

$$F = 5 \text{ Н}$$

$$a = 2 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$

$$\rho - ?$$

Розв'язування

$\rho = \frac{m}{V}$, де ρ — густина тіла, m — маса тіла, V — його об'єм.

Масу знайдемо з формули II закону Ньютона $m = \frac{F}{a}$.

Підставивши вираз маси в попередню формулу, маємо:

$$\rho = \frac{F}{aV}; \quad [\rho] = \left[\frac{\frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}^2}}{\frac{\text{м}^3}{\text{с}^2} \cdot \text{м}^3} = \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \right].$$

$$\rho = \frac{5}{2 \cdot 3 \cdot 10^{-4}} \approx 8,3 \cdot 10^3 \left(\frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \right)$$

Відповідь: $\approx 8,300 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$.

Сила, що діє на тіло, дорівнює добуткові маси тіла на прискорення, надане тілу цією силою. Напрямок сили співпадає з напрямком прискорення.

$$\vec{F} = m\vec{a}$$

Перевір себе

1. Як напрямлене прискорення тіла, спричинене силою, що діє на тіло? 2. Чи може тіло, на яке діє лише одна сила, рухатися із сталою швидкістю; перебувати в спокої? 3. Чи правильне твердження: швидкість тіла визначається силою, що діє на нього? 4. Чи правильне твердження: тіло рухається туди, куди спрямована сила, прикладена до нього? 5. Чи правильне твердження: переміщення тіла визначається тільки силою, що діє на нього?

Вправа 9. 1. Брусок масою $m = 2$ кг лежить на горизонтальній ідеально гладенькій поверхні. З яким прискоренням рухатиметься брусок, якщо до нього прикласти горизонтально напрямлену силу $F = 10$ Н? 2. Тіло, що рухається під дією сталої сили \vec{F} , пройшло за першу секунду руху $0,5$ м. Чому дорівнює сила F , якщо маса тіла $0,25$ кг?

§ 19. Третій закон Ньютона. Межі застосування законів Ньютона

Основні знання параграфа: формулювання закону, межі застосування законів Ньютона, принцип відносності Галілея.

Дії тіл одне на одне завжди мають характер *взаємодії*. Кожне з тіл діє на друге і надає йому прискорення. З попередніх параграфів ви знаєте, що відношення модулів прискорень взаємодіючих тіл дорівнює оберненому відношенню їхніх мас: $\frac{a_1}{a_2} = \frac{m_2}{m_1}$, або $m_1 a_1 = m_2 a_2$. Там же зазначалося, що прискорення обох тіл протилежно напрямлені. Математично це записують так: $m_1 \vec{a}_1 = -m_2 \vec{a}_2$

Тепер ми знаємо, що добуток маси тіла на його прискорення дорівнює прикладеній до тіла силі. Це означає, що $m_1 \vec{a}_1$ дорівнює силі \vec{F}_1 , яка діє на перше тіло, а $m_2 \vec{a}_2$ дорівнює силі \vec{F}_2 , прикладеній до другого тіла. Отже,

$$\vec{F}_1 = -\vec{F}_2 \quad (2.4)$$

Ця рівність виражає *третій закон Ньютона*: *тіла діють одне на одне із силами, рівними за модулем і протилежними за напрямом.*

Третій закон Ньютона показує, що внаслідок взаємної дії тіл одне на одне сили завжди виникають парами. Якщо на яке-небудь тіло діє сила, то обов'язково є якась інше тіло, на яке перше діє з такою самою за модулем силою, але протилежно напрямленою.

Так само, як перший і другий закони Ньютона, третій закон справджується, коли рухи розглядаються відносно інерціальних систем відліку.

Зміст третього закону Ньютона можна пояснити за допомогою досліду (мал. 2.2).

На цьому прикладі, як і в будь-яких інших, можна помітити ще одну особливість тих двох сил, які за третім законом Ньютона виникають одночасно при взаємодії тіл: ці сили завжди однієї природи. Якщо, наприклад, на одне тіло з боку другого діє сила пружності, то воно «відповідає» йому також силою пружності.

Підкреслимо, що згідно із законами Ньютона сила визначає *прискорення*, а не швидкість. Це значить, що сила не є причиною руху. Сила — це причина *зміни руху*, тобто зміни швидкості руху. *Сам же рух жодної причини не потребує*. Адже перший закон Ньютона показує, що рухатись (прямолінійно і рівномірно) тіло може і без дії сил. Але *змінитися* рух може тільки під дією сили. Тому, наприклад, криволінійний рух, під час якого швидкість безперервно змінюється за напрямом, неможливий без дії сили.

Оскільки, крім сили, маси і прискорення, жодні інші величини до законів Ньютона не входять, то можна твердити, що *закони механічного руху однакові для всіх інерціальних систем відліку*. Це твердження називають *принципом відносності Галілея*. Він означає, що *будь-які механічні процеси відбуваються однаково, в усіх інерціальних системах відліку*.

При переході від однієї системи відліку до іншої можуть змінюватися швидкість тіла, його переміщення, траєкторія, але не закони руху.

Приклади розв'язування задач

1. У досліді, схему якого подано на мал. 2.13, маса кожного з візків 0,2 кг. Маса вантажу на правому візку 0,3 кг. Пружна пластинка випрямляється за 2 с. Вважати, що сила пружності пластинки протягом цього часу стала і дорівнює 1 Н. Яке переміщення здійснить кожний візок за 2 с? Масою пластинки і тертям знехтувати.

Дано:

$$m_1 = 0,2 \text{ кг}$$

$$m_2 = 0,5 \text{ кг}$$

$$t = 2 \text{ с}$$

$$F = 1 \text{ Н}$$

Напрямимо координатну вісь X у напрямі руху правого (навантаженого) візка. На лівий візок діє сила \vec{F}_1 , на правий \vec{F}_2 . За третім законом Ньютона $\vec{F}_1 = -\vec{F}_2$. Позначимо цю однакову за модулем для обох візків силу через \vec{F} , так що $\vec{F}_1 = -\vec{F}$ і $\vec{F}_2 = \vec{F}$. Тому її проекція на вісь X додатна.

$$s_1 - ? \quad s_2 - ?$$

Тоді за другим законом Ньютона можна записати:

$-F = m_1 a_{1x}$; $F = m_2 a_{2x}$, де m_1 і m_2 — маса лівого і правого (навантаженого) візків, a_{1x} і a_{2x} — проекції на вісь X прискорень лівого і правого візків. Звідси

$$a_{1x} = -\frac{F}{m_1}; \quad a_{2x} = \frac{F}{m_2}.$$

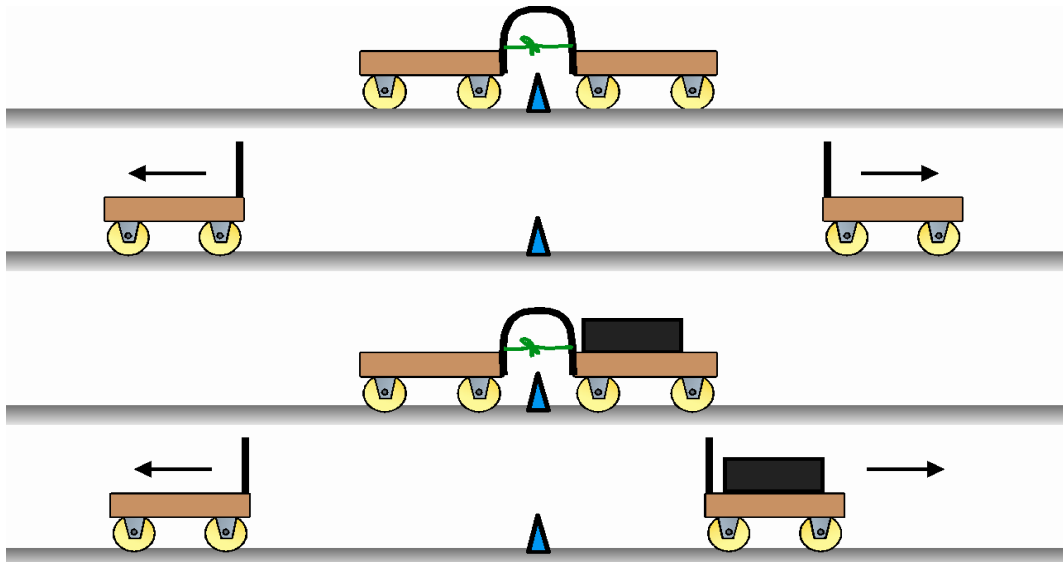
Проекції s_{1x} і s_{2x} переміщень знайдемо за формулами:

$$s_{1x} = \frac{a_{1x} t^2}{2} = -\frac{F t^2}{2m_1}; \quad s_{2x} = \frac{a_{2x} t^2}{2} = \frac{F t^2}{2m_2}.$$

Підставивши дані, знайдемо:

$$s_{1x} = \frac{1\text{Н} \cdot (2\text{с})^2}{2 \cdot 0,2\text{ кг}} = 10\text{ м}, \quad s_{2x} = \frac{1\text{Н} \cdot (2\text{с})^2}{2 \cdot 0,5\text{ кг}} = 4\text{ м}$$

Відповідь: лівий візок переміститься на 10 м, правий — на 4 м.



Мал. 2.13. До задачі 1

Сили, з якими тіла діють одне на друге, рівні за модулем і протилежні за напрямом. Ці сили однакової природи і прикладені до різних тіл.

$$\vec{F}_1 = -\vec{F}_2.$$

Перевір себе

1. Сформулюйте третій закон Ньютона. 2. Чому зрівноважують одна одну сили, що виникають внаслідок взаємодії двох тіл? 3. Третій закон Ньютона має ще й таке формулювання, яке дав сам Ньютон: «Дії завжди є рівна і протилежна протидія». Чи є фізична відмінність між дією і протидією? 4. Чим відрізняються рівняння динаміки від рівнянь кінематики?

Поміркуй

5. Дві людини тягнуть вірвовку в протилежні боки із силою 50 Н кожна. Чи розірветься вірвовка, якщо вона витримує натяг до 80 Н? (Відповідь: ні). 6. Два хлопчики, маси яких 40 і 50 кг, стоять на ковзанах на льоду. Перший хлопчик відштовхується від другого із силою 10 Н. Яких прискорень набувають хлопчики? (Відповідь: $0,25 \frac{M}{c^2}$; $0,2 \frac{M}{c^2}$).

Вправа 10. 1. Тіло масою 1 кг падає на землю із сталим прискоренням $9,8 \frac{M}{c^2}$. Чому дорівнює сила, що діє на нього? (Відповідь: 9,8 Н). 2. Автомобіль масою 1000 кг рухається по кільцевому шляху радіусом 100 м із сталою швидкістю $20 \frac{M}{c}$. Чому дорівнює сила, що діє на автомобіль? Як вона спрямована? (Відповідь: 4 кН). 3. Автомобіль масою 2160 кг починає рухатися з прискоренням, яке протягом 30 с залишається сталим. За цей час він проїхав 500 м. Який модуль сили, прикладеної протягом цього часу до автомобіля? (Відповідь: 2400 Н). 4. За багато років до Ньютона італійський художник і вчений Леонардо да Вінчі висловив таке твердження: «Якщо сила переміщує тіло за даний час на певну відстань, то та сама сила половину такого тіла перемістить на таку саму відстань за час, удвічі менший». Правильне це твердження чи ні? (Відповідь: час менший в $\sqrt{2}$ раз).

Подискутуйте

1.* Поясніть епіграму С. Я. Маршака, присвячену природничим наукам. Чи згодні ви з автором?

Был этот мир глубокой тьмой опутан.

Да будет свет! И вот явился Ньютон.

Но сатана недолго ждал реванша,

Пришел Эйнштейн — и стало все как раньше.

Обери проект. «Життя та наукова діяльність І. Ньютона». Розкажіть про історичне тло, на якому творив науковець. Що вплинуло на його діяльність? Як відкриття Ньютона змінили життя його сучасників?

§ 20. Гравітаційна взаємодія. Закон всесвітнього тяжіння

Основні знання параграфу: гравітаційні сили, зміст закону всесвітнього тяжіння, гравітаційна стала, умови застосування закону всесвітнього тяжіння.

На тіла, що вільно падають, діє сила притягання до Землі. У 1667 р. І. Ньютон висловив припущення, що взагалі між усіма тілами діють сили взаємного притягання. Тепер їх називають *силами всесвітнього тяжіння, або гравітаційними силами*.

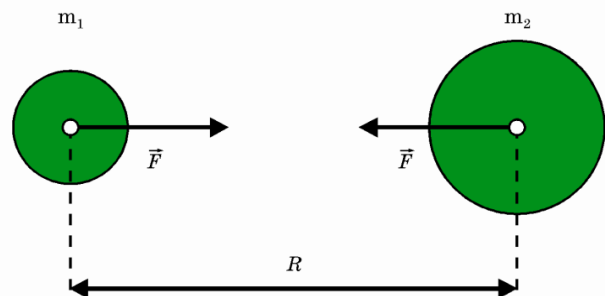
Закон всесвітнього тяжіння, відкритий Ньютоном, формулюється так: тіла притягуються одне до одного із силою, модуль якої прямо пропорційний до добутку їхніх мас і обернено пропорційний до квадрата відстані між ними.

Можна записати, що два тіла масами m_1 і m_2 притягуються одне до одного із силою F , яка визначається формулою (мал. 2.14):

$$F = G \frac{m_1 m_2}{R^2},$$

де R — відстань між тілами; G — коефіцієнт пропорційності, однаковий для всіх тіл. Коефіцієнт G називається *сталою всесвітнього тяжіння, або гравітаційною сталою*.

Формула, яка виражає закон всесвітнього тяжіння, справджується тоді, коли відстань між тілами настільки велика порівняно з їхніми розмірами, що тіла можна вважати матеріальними точками. Напрявлена сила вздовж прямої, яка сполучає матеріальні точки. Матеріальними точками можна вважати Землю і Місяць, планети і Сонце, коли обчислюють сили тяжіння між ними.



Мал. 2.14. До закону всесвітнього тяжіння

Якщо тіла мають форму куль, то навіть у тому випадку, коли їхні розміри порівнянні з відстанню між ними, кулі притягуються між собою як матеріальні точки, розміщені в центрах куль. У цьому випадку R у формулі — це відстань між центрами куль.

Матеріальною точкою можна вважати також тіло довільної форми, коли воно взаємодіє з кулею, радіус якої набагато більший від розмірів тіла, як це відбувається при розгляді притягання тіл до Землі. Якщо тіло знаходиться на поверхні Землі або досить близько від неї, то R у формулі — це радіус Землі.

До формули, що виражає закон всесвітнього тяжіння, входить стала G . Для визначення її змісту масам взаємодіючих тіл m_1 і m_2 надамо значення $m_1 = m_2 = 1$ кг, відстань R між ними — 1 м. Тоді сила F чисельно дорівнює G . Отже, *гравітаційна стала чисельно дорівнює силі притягання двох тіл масою по 1 кг, якщо відстань між ними 1 м.* З формули $G = \frac{FR^2}{m_1 m_2}$. З цього виразу видно, що одиницею G є $1 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{кг}^2}$.

Числове значення G визначається на досліді. Для цього необхідно виміряти силу притягання двох тіл відомої маси при відомій відстані між ними. Такі досліді проводили багато разів різними методами, визначено, що $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{кг}^2}$. Як бачимо, G — дуже мала величина. Тому ми не помічаємо притягання між навколишніми тілами і самі не відчуваємо притягання до них.

Величина модуля сили, з якою два тіла притягуються одне до одного, прямо пропорційна добуткові мас тіл і обернено пропорційна квадрату відстані між ними.

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}.$$

Перевір себе

1. Як зміниться сила притягання між двома кулями, коли одну з них замінити іншою, маса якої втричі менша? 2. Як зміниться сила притягання між двома кулями, коли відстань між ними збільшити вдвічі? 3. Чому ми не помічаємо притягання навколишніх тіл одне до одного, хоча всі вони притягуються до Землі з помітною силою? 4. Як напрямлена сила тяжіння, що діє на планети під час їх руху навколо Сонця? Як напрямлена швидкість?

Вправа 11. 1. Два кораблі масою 50000 т кожний стоять на рейді на відстані 1 км один від одного. Яка сила притягання між ними? (Відповідь: $\approx 0,17$ Н). 2. Обчисліть силу притягання Місяця до Землі. Маса Місяця $7 \cdot 10^{22}$ кг, маса Землі $6 \cdot 10^{24}$ кг, відстань між Місяцем і Землею дорівнює 384 000 км. (Відповідь: $\approx 2 \cdot 10^{20}$ Н). 3. Космонавт висадився на Місяці. Його притягують і Місяць, і Земля. У скільки разів сила притягання космонавта до Місяця більша, ніж до Землі? (Радіус Місяця 1730 км.). (Відповідь: у 560 разів). 4. Земля рухається навколо Сонця по орбіті, яку можна вважати коловою, радіусом 150 млн. км. Знайдіть швидкість Землі на орбіті, якщо маса Сонця дорівнює $2 \cdot 10^{30}$ кг. (Відповідь: $3 \cdot 10^4 \frac{\text{м}}{\text{с}}$).

Подискууйте

1. Яку відстань пройде Земля вздовж своєї траєкторії навколо Сонця, поки ви прочитаєте цю задачу (використайте годинник із секундною стрілкою).

Для допитливих

Сонячна система. Ви вже знаєте з основної школи, що до складу Сонячної системи, крім Сонця, входять дев'ять великих планет: Меркурій, Венера, Земля, Марс, Юпітер, Сатурн, Уран, Нептун, Плутон, їх супутники, велика кількість малих планет (астероїдів), а також комети, метеорні тіла.

Всі планети за масою значно менші за Сонце, світять відбитим сонячним світлом. За фізичними характеристиками планети можна поділити на дві групи — планети земної та юпітерової груп.

До земної групи належать ближчі до Сонця планети — Меркурій, Венера, Земля, Марс. Для цих планет характерні малі розміри, велика густина, порівняно мала швидкість обертання, невелика кількість супутників. Земля має тільки один супутник — Місяць, а Марс — два. До цієї групи можна віднести також найвіддаленішу планету — Плутон. Вона порівняно мало вивчена, але за розмірами наближається до планет земної групи.

Планети типу Юпітера (планети-гіганти) більш віддалені від Сонця, мають великі радіуси, низьку густину речовини, швидко обертаються навколо своїх осей. До цієї групи належать Юпітер, Сатурн, Нептун, Уран. Юпітер має 16 супутників, Сатурн — 17.

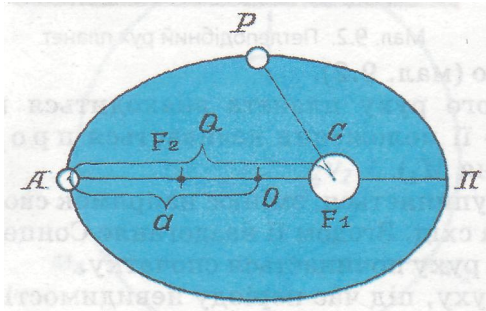
До складу Сонячної системи входять також численні комети — "хвостаті зорі". Найчастіше комету можна побачити тільки в телескоп у вигляді слабкої розмитої плями, яка зовні схожа на туманність. Проте на відміну від останньої комета рухається відносно зір, що є однією з ознак при її відкритті. Незначна частина комет весь час перебуває всередині орбіт планет, обертаючись навколо Сонця з періодом від кількох років до кількох десятків років. Більшість же комет рухається за межами планетних орбіт; але іноді, обертаючись по дуже витягнутих планетних орбітах, комети наближаються до Сонця. Тоді ядро комети, яке складається з замерзлих газів (метану, аміаку) і льоду з вмороженими в них тугоплавкими частинками, виділяє ці гази. Вони разом із звільненими частинками пилу утворюють голову і хвіст комети, який тягнеться на десятки мільйонів кілометрів.

Сонце, великі планети та їх супутники, малі планети та інші космічні тіла, які рухаються навколо Сонця, складають *Сонячну систему*.

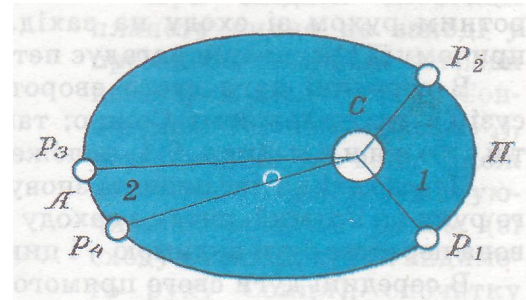
Рух планет навколо Сонця визначають закони Кеплера.

М. Коперник визначив відносні відстані (в радіусах орбіти Землі) кожної з планет від Сонця, а також їхні сидеричні (відносно зір) періоди обертання навколо Сонця. Це дало змогу Йогану Кеплеру (1618-1621) встановити три закони руху планет.

I. Кожна з планет рухається навколо Сонця по еліпсу, в одному з фокусів якого знаходиться Сонце.



Еліпс як орбіта планети



Другий закон Кеплера

Найближча до Сонця точка планетної орбіти Π називається *перигелієм*, найдальша точка орбіти A - *афелієм*.

II. Радіус-вектор планети за однакові інтервали часу описує рівновеликі площі.

З цього закону випливає важливий висновок: оскільки площі 1 і 2 рівні, то по дузі P_1P_2 планета рухається з більшою швидкістю, ніж по дузі P_3P_4 , тобто швидкість планети найбільша в перигелії Π і найменша в афелії A .

III. Квадрати сидеричних періодів обертання планет відносяться як куби великих півосей їхніх орбіт.

Якщо сидеричні періоди обертання двох планет позначити T_1 і T_2 , а великі півосі еліпсів - відповідно a_1 і a_2 , то третій закон Кеплера має вигляд

$$\frac{T_2^2}{T_1^2} = \frac{a_2^3}{a_1^3}$$

Закони Кеплера справедливі не лише для планет, а й для їхніх супутників, як природних, так і штучних.

§ 21. Сила тяжіння

Основні знання параграфа: формула прискорення вільного падіння, умови, за яких вільне падіння — рівноприскорений рух, вимірювання маси.

Одним з проявів сили всесвітнього тяжіння є *сила тяжіння* — сила притягання тіл до Землі. Позначимо масу Землі через M_3 , її радіус — через R , масу даного тіла — через m . Силу, що діє на тіло, згідно із законом всесвітнього тяжіння, знаходимо за формулою:

$$F = G \frac{M_3 m}{R^2}.$$

Це і є *сила тяжіння*. Вона напрямлена до центра Землі.

Прискорення, якого надає тілу сила тяжіння на поверхні Землі або близько від неї — це прискорення вільного падіння.

За другим законом Ньютона:

$$g = \frac{F}{m} = G \frac{M_3}{R^2}.$$

Отже, *прискорення вільного падіння не залежить від маси тіла*. Сила всесвітнього тяжіння надає *всім тілам однакового прискорення*, бо вона сама пропорційна масі того тіла, на яке діє.

Сила тяжіння виражається формулою:

$$\vec{F}_T = m \vec{g}.$$

На висоті h над Землею модуль прискорення вільного падіння g визначається за формулою:

$$g = G \frac{M_3}{(R+h)^2}.$$

Так як радіус Землі 6400 км, то поблизу поверхні Землі вільне падіння тіл можна вважати *рівноприскореним рухом*. Із збільшенням висоти h прискорення вільного падіння зменшується.

З формули (2.1) масу тіла можна визначити, вимірявши відношення модулів прискорень під час взаємодії цього тіла з тілом, маса якого взята за одиницю, — еталоном маси. На практиці застосовують зручніший спосіб вимірювання маси —

зважування. Він ґрунтується на тому, що сила тяжіння, яка діє на тіло, і маса цього тіла пропорційні одна до одної: $F_{\text{тяж}} = mg$.

А силу тяжіння можна виміряти динамометром (*пружинними вагами*). Вимірявши силу тяжіння $F_{\text{тяж}}$ і знаючи прискорення g , знаходимо масу тіла за формулою $m = \frac{F_{\text{тяж}}}{g}$

Можна виміряти масу також на *важільних* терезах. Коли терези зрівноважені, можна твердити, що на тіло, що знаходиться на одній шальці терезів, й на гирі, поставлені на другу шальку, діють однакові сили тяжіння. А це означає, що маса тіла дорівнює масі гир.

Приклади розв'язування задач

1. Знайти силу тяжіння, що діє на сталеву кульку об'ємом $5 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3$ ($\rho_{\text{ст.}} = 7800 \text{ кг/м}^3$).

<p><i>Дано:</i></p> <p>$V = 5 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3$</p> <p>$\rho = 7800 \text{ кг}$</p> <hr/> <p>$F_{\text{тяж}} \text{ — ?}$</p>	<p><i>Розв'язання:</i></p> <p>Запишемо формулу сили тяжіння $F_{\text{тяж}} = mg$, де $g \approx 10 \text{ м/с}^2$.</p> <p>За формулою для визначення густини тіла знаходимо його масу: $\rho = \frac{m}{V}$;</p> <p>$m = \rho V \text{ [м]} = \left[\frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot \text{м}^3 \right] = [\text{кг}]; m = 7800 \cdot 5 \cdot 10^{-6} = 39 \cdot 10^{-3} (\text{кг}).$</p> <p>$F_{\text{тяж}} = 39 \cdot 10^{-3} \cdot 10 \approx 390 \text{ мН} .$</p>
---	--

Відповідь: $\approx 390 \text{ мН}$.

2. Знаючи масу та радіус Місяця, визначити прискорення вільного падіння на його поверхні ($M_{\text{м}} = 7,35 \cdot 10^{22} \text{ кг}$, $R_{\text{м}} = 1,737 \cdot 10^6 \text{ м}$).

<p><i>Дано:</i></p> <p>$V = 5 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3$</p> <p>$\rho = 7800 \text{ кг}$</p>	<p><i>Розв'язання:</i></p> <p>На будь-якій планеті прискорення вільного падіння визначається за формулою:</p>
--	---

$$g = \frac{GM}{R^2}; \quad g = \frac{6,67 \cdot 10^{-11} \cdot 7,35 \cdot 10^{22}}{(1,737 \cdot 10^6)^2} \approx 1,63 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}.$$

$g - ?$

Відповідь: $\approx 1,63 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$.

Силу, з якою Земля притягує тіло до себе, називають силою тяжіння. На невеликій висоті над землею сила тяжіння не залежить від висоти.

$$F_{\text{тяж}} = mg.$$

Перевір себе

1. Що таке сила тяжіння? 2. Чому прискорення, якого сила тяжіння надає тілам, не залежить від їх маси? 3. Від чого залежить сила тяжіння? 4. Чи змінюється сила тяжіння з віддаленням тіла від поверхні Землі? 5. Земля — не ідеальна куля: вона сплющена біля полюсів. Чи відрізняються значення прискорення вільного падіння і сили тяжіння на полюсі і на екваторі Землі?

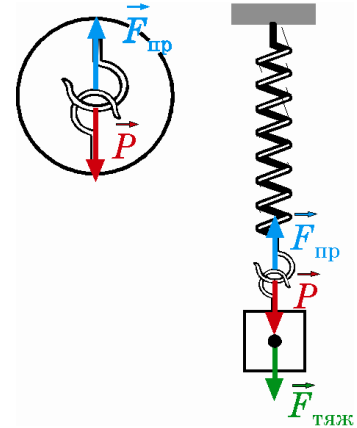
Вправа 12. 1. Яка маса тіла, коли сила тяжіння, що діє на нього, дорівнює 49 Н? (Тіло знаходиться поблизу поверхні Землі). (Відповідь: 5 кг). 2. На якій висоті над Землею сила тяжіння зменшується вдвічі? (Відповідь: ≈ 2600 км). 3. Знайдіть силу притягання, що діє на тіло масою 1 кг поблизу поверхні Місяця. У скільки разів вона відрізняється від сили тяжіння, що діє на те саме тіло поблизу поверхні Землі? (Відповідь: в $\approx 6,3$ рази менше). 4. Обчисліть прискорення вільного падіння тіл поблизу поверхні Марса. (Маса Марса $6,0 \cdot 10^{23}$ кг, його радіус 3300 км.). (Відповідь: $\approx 3,7 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$).

§ 22. Вага і невагомість

Основні знання параграфу: вага тіла, природа ваги тіла, умови невагомості тіла.

Вага тіла — це сила, з якою тіло внаслідок його притягання до Землі діє на опору чи підвіс. Завдяки чому така сила виникає, як вона спрямована і чому дорівнює?

Розглянемо, наприклад, тіло, підвішене до пружини, один кінець якої закріплено (мал. 2.15). На тіло діє сила тяжіння $\vec{F}_{\text{тяж}} = m\vec{g}$, напрямлена вниз. Тому воно починає рухатися вниз, тягнути за собою нижній кінець пружини. Внаслідок цього пружина деформується і виникне сила пружності $\vec{F}_{\text{пр}}$ пружини. Вона прикладена до верхнього краю тіла і напрямлена вгору. Виникає ще одна сила пружності — сила пружності деформованого тіла. Вона прикладена до пружини і напрямлена вниз. Саме ця сила і є вагою тіла.



Мал. 2.15. Вага тіла

За третім законом Ньютона обидві сили пружності однакові за модулем і протилежно напрямлені.

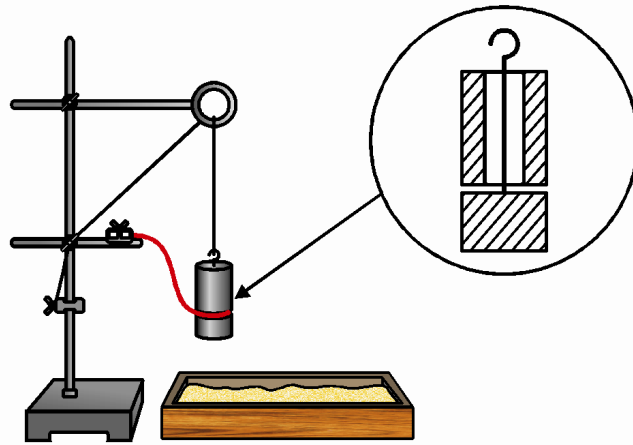
Після кількох коливань тіло на пружині буде в спокої. Це означає, що сила тяжіння $m\vec{g}$ за модулем дорівнює силі пружності пружини $\vec{F}_{\text{пр}}$. Але цій самій силі дорівнює також вага тіла \vec{P} . Отже, в нашому прикладі вага тіла за модулем дорівнює силі тяжіння:

$$\mathbf{P} = m\mathbf{g}.$$

Проте це не означає, що вага тіла й сила тяжіння, прикладена до нього, — одне й те саме. Сила тяжіння, — це *гравітаційна сила*, прикладена до тіла. Вага тіла — це *сила пружності*, прикладена до підвісу.

Якщо тіло не підвішене, а встановлене на опорі, то й на опорі діє сила, що виникає аналогічно й також називається вагою.

Уявимо, що пружину або пружинний динамометр з підвішеним до неї вантажем тримають у руках (мал. 2.16). За шкалою пружинного динамометра можна визначити вагу тіла. Якщо рука, в якій тримають динамометр, перебуває в спокої відносно Землі, динамометр показує, що вага тіла за модулем дорівнює силі тяжіння mg . А тепер уявимо, що динамометр випустили з рук і він разом з вантажем вільно падають. При цьому стрілка динамометра установлюється на нулі, показуючи, що вага тіла дорівнює нулю. Під час вільного падіння і динамометр, і вантаж рухаються з однаковим прискоренням, що дорівнює \vec{g} . Нижній кінець пружини не розтягується вантажем, пружина не деформується. Тому відсутня сила пружності, яка діяла б на вантаж. Це означає, що й вантаж також не деформується і не діє на пружину. Вантаж став невагомим.



Мал. 2.16. Визначення ваги

Мал. 2.17. Демонстрування невагомості тіла

Будь-яке тіло, що рухається під дією тільки сили тяжіння чи сили всесвітнього тяжіння, перебуває в стані невагомості. В таких умовах перебуває всяке тіло, що вільно падає. Наприклад, сила тяжіння, що діє на динамометр і на вантаж, які падають, залишається, вона є причиною вільного падіння.

Виникнення невагомості під час вільного падіння можна спостерігати в такому досліді.

Між гирями набірного вантажу (мал. 2.17) закладають смужку паперу і вільний її кінець затискають у лапці штатива. Якщо повільно опускати вантаж, то смужка натягується і рветься. Це означає, що паперова смужка була досить сильно притиснута гирями. Замінивши порвану смужку цілою, дають змогу вантажу вільно падати. При цьому паперова смужка повисає непошкодженою на лапці штатива. Цей дослід показує, що під час вільного падіння верхня гиря не тисне на нижню гирю, тобто під час падіння гиря стала невагомою.

Визначимо вагу тіла \vec{P} при перевантаженні \vec{a} . Якщо тіло перебуває в стані спокою або рухається зі сталою швидкістю, то вага тіла визначається за формулою: $\vec{P} = m\vec{g}$.

У разі руху тіла з прискоренням \vec{a} його вага: $\vec{P} = m(\vec{g} - \vec{a})$.

Якщо вектори \vec{g} і \vec{a} однаково напрямлені вздовж осі y , то вага тіла за модулем визначається:

$$P = mg - ma = m(g - a)$$

Якщо тіло з прискоренням рухається вгору, то $P = m(g + a)$.

Приклади розв'язування задач

1. Тіло масою 200 кг лежить на дні кабіни ліфта, що рухається з прискоренням. Визначити прискорення ліфта, якщо вага тіла під час цього руху становить 2,4 кН.

Дано:

$$P = 2,4 \text{ кН} = 2400 \text{ Н}$$

$$m = 200 \text{ кг}$$

Розв'язання:

Оскільки рух ліфта прискорений, то вага тіла в рухомому ліфті відмінна від ваги тіла в нерухомому ліфті або такому, що рухається рівномірно. Збільшення ваги свідчить про те, що ліфт рухається вгору. Звідси $P = m(g+a)$.

$a = ?$

Визначимо з формули прискорення, з яким рухається ліфт

$$a = \frac{P}{m} - g;$$

$$a = \frac{2400 \text{ Н}}{200 \text{ кг}} - 9,8 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} = 2,2 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}.$$

Відповідь: $2,2 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$.

Стан, у якому перебуває вільно падаюче тіло, називається невагомістю. Гравітаційна сила діє на тіло у будь-якому стані.

Перевір себе

1. Що таке вага тіла? 2. У чому відмінність між вагою тіла й силою тяжіння, що діє на тіло? 3. Які сили діють на тіло, що знаходиться на опорі, й на опору? 4. При яких умовах тіло перебуває в стані невагомості? 5. Чи зникає сила притягання тіла до Землі під час переходу тіла у стан невагомості? 6. Вантаж, випущений з руки, вільно падає і перебуває в стані невагомості. А чи перебуває у стані невагомості тіло, кинуте вертикально вгору?

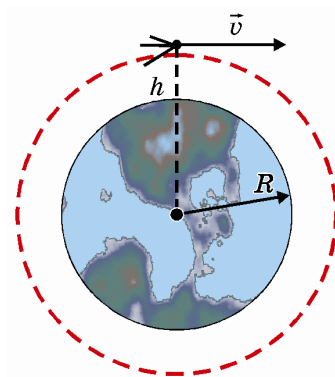
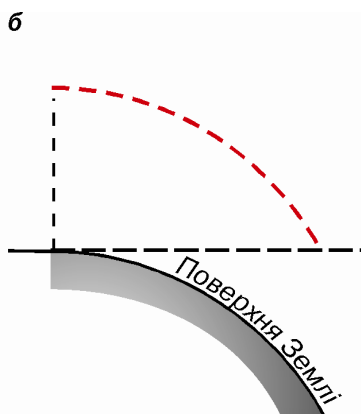
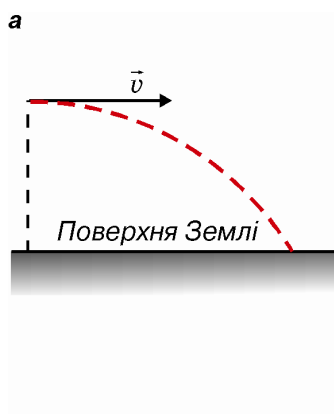
Подискутуйте

1. Людина стоїть на платформі терезів і швидко присідає. Як змінюються покази терезів на початку і в кінці присідання? 2. З якою швидкістю повинен рухатися автомобіль по опуклому мосту радіусом 40 м, щоб він не тиснув на міст? (Відповідь: $72 \frac{\text{км}}{\text{год}}$.)

§ 23. Штучні супутники Землі. Розвиток космонавтики

Основні знання параграфа: штучні супутники Землі, перша космічна швидкість, розвиток космонавтики.

Можна спостерігати, що тіло, якому на висоті h над Землею надано початкової швидкості \vec{v}_0 у горизонтальному напрямі, рухається по вітці параболи і зрештою падає на Землю.



Мал. 2.18. Рух тіла, кинутого горизонтально:

а – вважаємо що поверхня Землі плоска;

б – Земна куля

Мал. 2.19. При певній

початковій швидкості

тіло рухається навколо

Землі

При цьому ми вважаємо, що поверхня Землі плоска. При невеликій початковій швидкості і невеликій дальності польоту це допустимо (мал. 2.18).

Але Земля має форму кулі. При великій швидкості польоту траєкторія руху тіла буде іншою (мал. 2.18). Можна підібрати таке значення швидкості тіла u_0 , що тіло рухатиметься на сталій відстані h від поверхні Землі, тобто по колу радіуса $R_3 + h$, де R_3 — радіус земної кулі (мал. 2.19). Яка ця швидкість?

Перша космічна швидкість. Супутником Землі може стати тіло будь-якої маси, якщо йому надано достатньої швидкості. Швидкість, обчислена за формулою (2.7), називається *першою космічною швидкістю*. Є також і друга і третя космічні швидкості, які ми тут обчислювати не будемо.

Обчислимо першу космічну швидкість для штучного супутника Землі, що запускається поблизу поверхні Землі ($h \approx 0$). Розрахунки показують, що цю швидкість можна визначити за формулою: $v = \sqrt{gR_3}$.

Підставивши в цю формулу значення величини $g = 9,8 \frac{\text{М}}{\text{с}^2}$ і $R_3 = 6,4 \cdot 10^6 \text{ м}$, дістанемо:

$$v = \sqrt{9,8 \frac{\text{М}}{\text{с}^2} \cdot 6,4 \cdot 10^6 \text{ м}} \approx 8 \cdot 10^3 \frac{\text{М}}{\text{с}} = 8 \frac{\text{км}}{\text{с}}.$$

Часто швидкість $8 \frac{\text{км}}{\text{с}}$ називають *першою космічною швидкістю*.

Розвиток космонавтики. Уперше в історії людства штучний супутник Землі було запущено в СРСР 4 жовтня 1957 р. З цієї знаменної дати розпочалося освоєння космосу. Станція «Луна-2» 14 вересня 1959 р. уперше досягла поверхні Місяця. Ці польоти були здійснені за допомогою ракет, сконструйованих під керівництвом Сергія Корольова (1906—1966), який народився і навчався в Україні.



Мал. 2.20. 1 — Юрій Кондратюк; 2 — Юрій Гагарін; 3 — Леонід Каденюк

Згодом штучні супутники Землі та космічні станції запускали такі країни, як США, Франція, Японія, Китай, Індія, Німеччина.

У наш час кількість запущених космічних апаратів досягла кількох тисяч. Вони різні за конструкцією та призначенням — стежать за погодою, фотографують ділянки земної поверхні, слугують для телевізійного і телефонного зв'язку, використовуються для вивчення природних ресурсів Землі.

Уперше корабель із людиною на борту піднявся в космос 12 квітня 1961 р. Першим Землю з космосу побачив Юрій Гагарін (1934-1968).

Перший вихід у відкритий космічний простір здійснив у 1965 р. пілот-космонавт Олексій Леонов. А 16 липня 1969 р. американські астронавти на космічному кораблі «Аполлон-11» уперше висадилися на поверхню Місяця.

Згодом були запущені автоматичні міжпланетні станції до інших планет Сонячної системи: Венери, Марса, Юпітера тощо. Запущена 2 березня 1972 р. до

планети Юпітер американська автоматична станція «Піонер-10» пролетіла поряд із планетою, передала на Землю інформацію і залишила межі Сонячної системи.

У космосі вже побували астронавти багатьох країн. Першим космонавтом незалежної України став Леонід Каденюк.

У листопаді — грудні 1997 р. було реалізовано спільний українсько-американський проект. На навколосонячну орбіту піднявся американський космічний корабель багаторазового використання «Колумбія». Серед астронавтів, які виконували космічну програму, був і наш співвітчизник Л. Каденюк.

Приклади розв'язування задач

1. Перша космічна швидкість для планети Юпітер становить $4 \cdot 10^4 \frac{\text{м}}{\text{с}}$. Визначити прискорення вільного падіння поблизу поверхні цієї планети, якщо її радіус наближено дорівнює $7 \cdot 10^7 \text{ м}$.

<p><i>Дано:</i></p> <p>$R = 7 \cdot 10^7 \text{ м}$</p> <p>$v = 4 \cdot 10^4 \frac{\text{м}}{\text{с}}$</p>	<p><i>Розв'язання:</i></p> <p>Запишемо формулу першої космічної швидкості та підставимо в неї значення $v = \sqrt{Rg} \Rightarrow g = \frac{v^2}{R}$;</p> $g = \frac{(4 \cdot 10^4 \frac{\text{м}}{\text{с}})^2}{7 \cdot 10^7 \text{ м}} = \frac{16 \cdot 10^8 \frac{\text{м}^2}{\text{с}^2}}{7 \cdot 10^7 \text{ м}} \approx 22,8 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$
<p>$v - ? \text{ с} - ?$</p>	<p><i>Відповідь:</i> $22,8 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$.</p>

Штучні супутники — це тіла, запущені із Землі, які рухаються навколо неї під дією тільки сили всесвітнього тяжіння, яка надає всім тілам однакового прискорення — і супутнику, і всьому, що в ньому знаходиться. Це означає, що всі тіла в супутнику, у тому числі й пасажири, перебувають у стані невагомості.

Перевір себе

1. Як має бути напрямлена швидкість тіла в момент його виведення на колову орбіту, щоб воно стало штучним супутником Землі? 2. Як напрямлене прискорення штучного супутника Землі? 3. Чи можна вважати рух штучного супутника землі рівноприскореним? 4. Радянський космонавт О. А. Леонов уперше в історії

вийшов з космічного корабля у відкритий космос. Чи був він у цей час у стані невагомості?

Поміркуй

1. З якою швидкістю повинні обертатись точки земного екватора, щоб тіла на ньому перебували в стані невагомості? 2. Чому тіла, що перебувають в середині супутника, невагомі? 3. Як в умовах невагомості перелити воду з однієї посудини в іншу? *4. Як застосувати знання про однорідність простору і часу до пояснення руху супутників Землі?

Вправа 13. 1. Обчисліть період обертання супутника Землі на висоті 300 км. (Відповідь: 90 хв.). 2. Обчисліть першу космічну швидкість для супутника, що обертається навколо Землі на висоті, що дорівнює її радіусу. (Відповідь: $5,59 \frac{\text{км}}{\text{с}}$). 3. На якій висоті над поверхнею Землі перша космічна швидкість дорівнює $6 \frac{\text{км}}{\text{с}}$? (Відповідь: 4700 км). 4. На якій висоті над поверхнею Землі треба запустити супутник, щоб період його обертання дорівнював 24 год.?

Для допитливих

Оскільки супутник рухається рівномірно по колу, то його прискорення доцентрове і за модулем дорівнює: $a = \frac{v^2}{(R_3 + h)}$. Цього прискорення тілу надає сила притягання до Землі; її модуль дорівнює:

$$F = G \frac{M_3 m}{(R_3 + h)^2}, \text{ де } M_3 \text{ — маса Землі, } m \text{ — маса тіла.}$$

$$\text{За другим законом Ньютона } a = \frac{F}{m} = G \frac{M_3}{(R_3 + h)^2}$$

$$\text{Таким чином, } \frac{v^2}{R_3 + h} = G \frac{M_3}{(R_3 + h)^2}, \text{ звідки } v = \sqrt{G \frac{M_3}{R_3 + h}}.$$

Отже, якщо тілу надати в горизонтальному напрямі на висоті h над Землею швидкості, що визначається формулою, то воно рухатиметься по колу навколо Землі. Таке тіло називається *штучним супутником Землі*.

§ 24. Рух тіла під дією кількох сил

Основні знання параграфа: рівнодійна сила, схема розв'язування задач на рух під дією кількох сил.

Як розв'язувати задачі, коли на тіло діє кілька сил? Нагадаємо, що в рівнянні, яке виражає другий закон Ньютона, $\vec{F} = m\vec{a}$, \vec{F} — векторна сума всіх сил, прикладених до тіла, тобто рівнодійна сила. Векторне додавання сил можна замінити алгебраїчним додаванням їх проекцій на координатні осі.

Для цього вибирають напрям координатних осей і зображають на малюнку вектори всіх сил і вектор прискорення тіла, якщо відомий його напрям. Потім знаходять проекції всіх векторів на осі координат, записують рівняння другого закону Ньютона для проекцій на кожен вісь і розв'язують разом складені рівняння.

Часто буває так, що рухається *система тіл*. Наприклад, рух вантажів на нитці, перекинутій через блок. При цьому на кожне з тіл можуть діяти кілька сил. У цьому випадку застосовується до кожного з тіл системи рівняння другого закону Ньютона, яке записують для кожного з тіл спочатку у векторній формі, а потім у скалярній і розв'язують разом знайдені рівняння.

Якщо тіло перебуває в спокої, наприклад, відносно Землі, то сума сил, прикладених до нього, дорівнює нулю. *Тіло перебуває в рівновазі, якщо сума проекцій усіх сил на будь-яку вісь дорівнює нулю. У цьому полягає умова рівноваги тіла (точки).*

Розглянемо рух тіла під дією кількох сил на прикладі розв'язування задач

1. По похилій площині з кутом нахилу α (мал. 2.21) рухається вниз брусок А масою m . Коефіцієнт тертя бруска об площину дорівнює μ . Визначте прискорення a бруска.

Розв'язування

На брусок діють три сили: сила тяжіння $\vec{F}_{\text{тяж}} = m\vec{g}$, сила тертя \vec{F}_T і сила реакції опори \vec{N} . Напрями цих сил показано на мал. 2.21. Разом ці сили й надають бруску прискорення \vec{a} , що напрямлене вздовж площини вниз.

Спрямуємо осі координат X і Y так, як показано на малюнку. Запишемо для цього випадку другий закон Ньютона у векторній формі: $m\vec{a} = m\vec{g} + \vec{N} + \vec{F}_T$.

Як видно з малюнка проекція a_x додатна і дорівнює модулю вектора \vec{a} ; $a_x = a$. Проекція $(F_{\text{тяж}})_x$ додатна і, як бачимо з трикутника ABD , $F_{\text{тяж}} = mgsin\alpha$. Проекція $(F_T)_x$ від'ємна і дорівнює модулю вектора $-F_T$, $(F_T)_x = -F_T$. Проекція N_x вектора \vec{N}

дорівнює нулю. Тому рівняння другого закону Ньютона в скалярній формі запишеться так:

$$ma = mgsin\alpha - F_T.$$

Тепер знайдемо проекції на вісь Y і запишемо рівняння другого закону Ньютона:

$$0 = N - mg\cos\alpha, \text{ або } N = mg\cos\alpha.$$

Ми з курсу 8 класу знаємо, сила тертя дорівнює μN . Ураховуючи попередню рівність, вираз для сили тертя можна записати у вигляді $F_T = \mu mg\cos\alpha$. Підставивши його в формулу, знайдемо:

$$a = g(\sin\alpha - \mu\cos\alpha).$$

$$\text{Відповідь: } a = g(\sin\alpha - \mu\cos\alpha).$$

Пригадайте виконання лабораторної роботи № 2. Як можна було б виміряти сили, що діють на тіло під час його руху по похилій площині, і перевірити за допомогою вимірювання виконані математичні розрахунки, проведені при розв'язуванні даної задачі.

2. Через нерухомий блок перекинута нитка, до кінців якої прикріплено вантажі масами m_1 і m_2 , причому $m_1 > m_2$. Вважаючи, що маси нитки і блока малі порівняно з масами m_1 і m_2 і тертя в блоці відсутнє, визначте прискорення a вантажів.

Розв'язування.

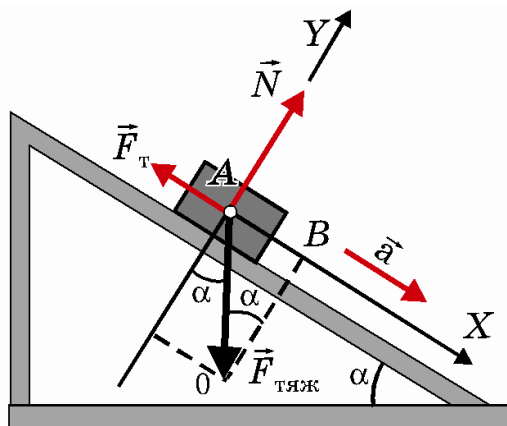
У русі беруть участь два тіла.

Під дією сили тяжіння, що діє на вантажі, вони почнуть рухатися. Прискорення обох вантажів за модулем однакові: $a_1 = a_2 = a$. Щоб визначити прискорення, запишемо рівняння другого закону Ньютона для кожного вантажу.

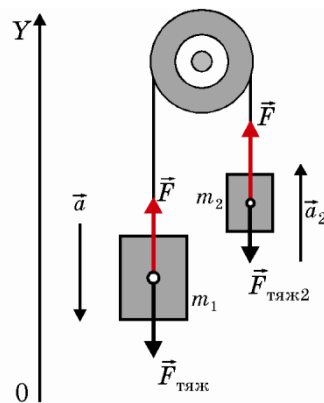
Спрямуємо координатну вісь Y по вертикалі вгору (мал. 2.22).

Рівняння другого закону Ньютона першого вантажу:

$$m_1 \vec{g} + \vec{F} = m_1 \vec{a}_1$$



Мал. 2.21. До задачі 1



Мал. 2.22. До задачі 2

З мал. 2.22 видно, що проекція $a_{1y} = -a$, проекція $g_y = -g$ і проекція $F_y = F$. Тому:
 $F - m_1g = -m_1a$.

Рівняння другого закону Ньютона для другого вантажу:

$$F - m_2g = m_2a.$$

Віднімемо це рівняння від попереднього рівняння:

$$m_2a - (-m_1a) = -m_2g - (-m_1g), \text{ або}$$

$$(m_1 + m_2)a = (m_1 - m_2)g.$$

Отже, для прискорення a знаходимо: $a = \frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2} g$.

Відповідь: $a = \frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2} g$.

Перевір себе

1. Як формулюється другий закон Ньютона, коли на тіло діє кілька сил? 2. Як застосувати закон Ньютона, коли в русі беруть участь кілька тіл? 3. У якому випадку тіло перебуває в стані рівноваги?

Вправа 14. 1. З вершини похилої площини висотою 20 см зісковзує брусок. Визначте швидкість бруска в кінці похилої площини. (Тертя не враховувати). (Відповідь: $2 \frac{M}{C}$). 2. Санки скочуються з гірки довжиною 10 м за 2 с. Визначте кут нахилу гірки. (Тертя не враховувати). (Відповідь: 30^0). 3. Обчисліть прискорення тіла, яке ковзає по похилій площині, якщо висота і довжина її основи однакові, а коефіцієнт тертя тіла об похилу площину дорівнює 0,20. 4. Як можна було б іншим способом розв'язати задачі, використовуючи поняття енергії і закон збереження і перетворення енергії? (Відповідь: $5,5 \frac{M}{C^2}$).

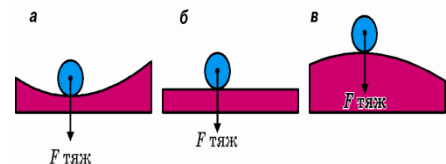
§ 25. Стан рівноваги тіл, що не обертаються

Основні знання параграфа: стан рівноваги тіла, види рівноваги, центр ваги тіла.

Під рівновагою тіла розуміють такий його стан, коли воно не має прискорення, тобто коли швидкість тіла не змінюється з часом.

Тіло перебуває в рівновазі, коли відносно своєї підставки чи підвісу воно знаходиться в стані спокою або коли воно рухається прямолінійно і рівномірно.

Розглянемо різні випадки рівноваги тіл. У усіх випадках, показаних на мал. 2.23, кулька сама по собі як завгодно довго перебуватиме в стані рівноваги, аж поки яке-небудь інше тіло не виведе її цього стану. Показана стійка (а), байдужа (б), нестійка (в) рівновага тіл.



Мал. 2.23. Види рівноваги тіла

Визначити, в якій рівновазі перебуває тіло можна, змінюючи положення тіла, точніше положення точки прикладання до нього рівнодійної всіх сил тяжіння. Точку прикладання рівнодійної сил тяжіння, що діють на всі елементи тіла, називають центром тяжіння. Для кулі центр тяжіння знаходиться в її геометричному центрі. Якщо при виведенні з рівноваги центр тяжіння тіла піднімається, то рівновага стійка (а), якщо центр тяжіння опускається — нестійка (в), якщо при зрушенні тіла з місця центр тяжіння залишається на одному і тому ж рівні — рівновага байдужа (б).

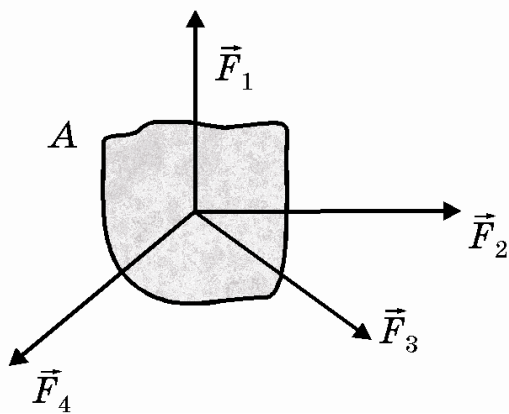
Розглянемо випадок, коли на тіло діють кілька сил (мал. 2.24). З другого закону Ньютона випливає, що $\vec{a}=0$, якщо $\vec{F}=0$, тобто швидкість тіла не змінюється, якщо рівнодійна всіх сил, що на нього діють, дорівнює нулю. Але оскільки $\vec{R}=\vec{F}_1+\vec{F}_2+\dots+\vec{F}_n$, то і $\vec{a}=0$, коли $\vec{F}_1+\vec{F}_2+\dots+\vec{F}_n=0$.

Тобто, тіло перебуває в рівновазі, отже в стані спокою чи прямолінійного рівномірного руху тоді, коли рівнодійна всіх сил, що на нього діють, дорівнює нулю.

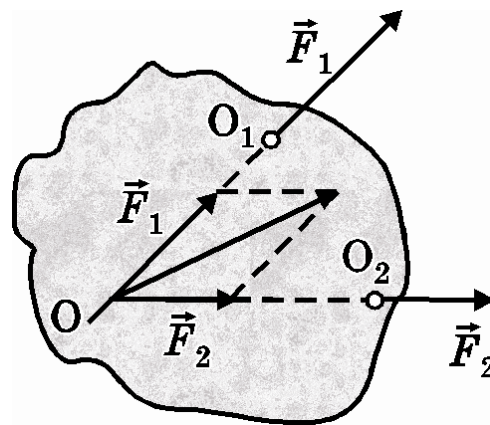
Сили $\vec{F}_1, \vec{F}_2, \dots, \vec{F}_n$ можуть бути прикладені до тіла в одній точці (мал. 2.24) і можуть мати різні точки прикладання.

В першому випадку, щоб знайти рівнодійну всіх сил, що діють на тіло, спочатку знаходять рівнодійну двох сил, потім до цієї рівнодійної додають третю силу, знаходять нову рівнодійну, до неї додають ще одну силу і т.д.

Якщо на тіло діє декілька сил, які не прикладені в одній точці і необхідно знайти їх рівнодійну, то в першу чергу потрібно всі ці сили, шляхом перенесення точки прикладання кожної з них вздовж своєї лінії дії, привести до однієї точки прикладання. Потім знаходять рівнодійну цих сил, як таких, які прикладені в одній точці (мал. 2.25).



Мал. 2.24. На тіло може діяти декілька сил



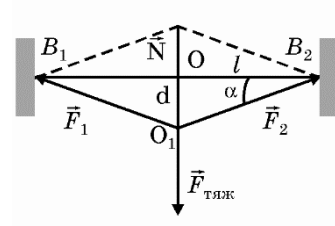
Мал. 2.25. Знаходження рівнодійної сил, що прикладені до різних точок тіла

Тіло, яке не обертається, перебуває в рівновазі, якщо рівнодійна всіх сил, що діють на нього, дорівнює нулю.

$$\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots + \vec{F}_n = 0$$

Приклади розв'язування задач

Задача 1. До середини троса довжиною 20 м підвішений світильник масою 3,4 кг, внаслідок чого трос провиснув на 5 см. Визначити сили пружності, які виникають в тросі.

<p>Дано:</p> <p>$l = 20$ м</p> <p>$m = 3,4$ кг.</p> <p>$a = 5$ см, = 0,05 м</p> <hr/> <p>$F = ?$</p>	<p>Розв'язання:</p> <p>З малюнка видно, що сили \vec{F}_1 і \vec{F}_2, урівноважуються силою тяжіння $\vec{F}_{\text{тяж}} = m\vec{g}$.</p> <p>$\vec{F}_1 = \vec{F}_2 = F$.</p> <p>$\vec{N}$ — рівнодійна сил пружності. З трикутника O_1OB_2: $\frac{N}{2F} = \sin \alpha$, $F = \frac{N}{2 \sin \alpha}$.</p>	
---	--	---

Мал. 2.26. До задачі 1

Оскільки кут α дуже малий, що видно з умови задачі,

то $\sin \alpha \approx \text{tg } \alpha$, $\text{tg } \alpha = \frac{d}{\frac{l}{2}} = \frac{2d}{l}$, то $F = \frac{N}{2 \frac{2d}{l}} = \frac{Nl}{4d} = \frac{mgl}{4d}$.

Розмірність правої частини рівності дорівнює розмірності сили.

$$F = \frac{3,4 \cdot 10 \cdot 20}{4 \cdot 0,05} = \frac{34 \cdot 20}{20} \cdot 10^2 = 3400 \text{ Н}$$

Відповідь: 3400 Н.

Перевір себе

1. Який стан називають станом рівноваги? 2. Які є види рівноваги? 3. Як знайти рівнодійну кількох сил, прикладених до однієї точки тіла? 4. Як знайти рівнодійну сил, прикладених до різних точок тіла? 5. Чи завжди можна знайти рівнодійну сил, прикладених до різних точок тіла?

Поміркуй

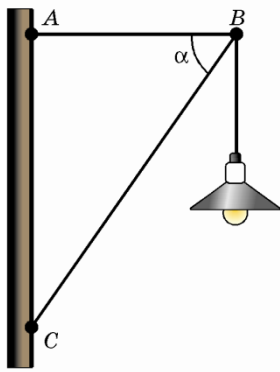
*1. Як знаходження рівнодійної пов'язане з однорідністю простору і часу і, отже, із закономірністю збереження?

Вправа 15. 1. На цвях, вбитий у стіну перпендикулярно до неї, діє сила в 200 Н під кутом 30° до стіни. Знайти складові цієї сили, з яких одна вириває цвях, а друга згинає його. (Відповідь: 0,1 кН; 0,17 кН).

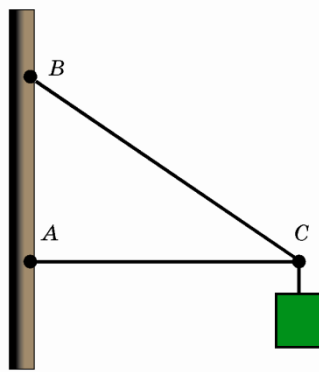
2. Знайти сили, що діють на стрижні AB і BC (мал. 2.27), якщо $\alpha = 60^\circ$, а маса ліхтаря 3 кг. (Відповідь: 17 Н; 35 Н).

3. До кінця стрижня AC (мал. 2.28) довжиною 2 м, укріпленого шарнірно одним кінцем до стіни, а з іншого кінця підтримуваного тросом BC довжиною 2,5

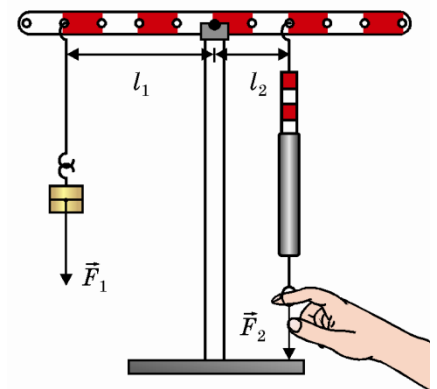
м, підвішений вантаж масою 120 кг. Знайти сили, що діють на трос і стрижень. (Відповідь: 2 кН; 1,6 кН).



Мал. 2.27. До задачі 2 вправа 4



Мал. 2.28. До задачі 3 вправа 4



Мал. 2.29. Рівновага важеля

Для допитливих

Оберіть проект «Рівновага в живій природі та її зв'язок із симетрією».

§ 26. Умова рівноваги тіла, що має вісь обертання

Основні знання параграфа: момент сили, умова рівноваги тіла, що має вісь обертання, умови рівноваги важеля.

З курсу фізики 8 класу ви знаєте, що дія сили на тіло, яке має вісь обертання, характеризується моментом сили.

Проробимо дослід. У штативі закріпимо на осі рейку з поділками, які нанесені через рівні проміжки. На ліве плече рейки підвісимо вантаж (мал. 2.29). На певній відстані від штатива до правого плеча прикріпимо динамометр. Приклавши певну силу до динамометра, приведемо рейку в горизонтальне положення. Виміряємо відстань від осі, на якій закріплена рейка, до місця закріплення вантажу l_1 , та від осі до місця прикріплення динамометра l_2 . Ці величини l_1 і l_2 називають плечами сил \vec{F}_1 (тяжіння) та сили \vec{F}_2 , з якою через динамометр діють на другу частину рейки (мал. 2.29). Надалі будемо називати її важелем. Важіль — тверде тіло, яке має вісь обертання.

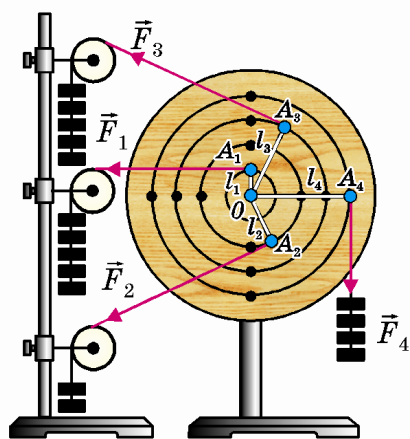
Плечем сили F називають найкоротшу відстань від точки опори (осі обертання) тіла до лінії дії сили. Цю відстань визначають, опустивши перпендикуляр з точки опори на лінію дії сили.

Хоча момент сили, як і сила, є величиною векторною, у подальшому ми будемо користуватися поняттям модуля моменту сили M , який визначається добутком модуля сили F на її плече l :

$$M = F \cdot l.$$

Одиницею моменту сили є такий момент сили, при якому діюча сила рівна 1 Н, а її плече — 1 м, тобто 1 Н · м.

Умови рівноваги тіла для випадку дії на тіло декількох сил можна визначити за допомогою приладу, показаного на мал. 2.30. Точка O — вісь обертання, \vec{F} — сила, l — плече сили \vec{F} . Як видно з мал. 2.30, напрямок дії сил може бути різним. Різні і довжина плечей сил.



Мал. 2.30. До визначення умови рівноваги тіла, що має вісь обертання



Мал. 2.31. Кліщі

У наведеному на мал. 2.29 прикладі на ліве плече діє сила, модуль якої $F_1 = 2$ Н, а плече $l_1 = 4$ см. Визначимо модуль моменту сили F_1 :

$$M_1 = F_1 \cdot l_1 = 2 \text{ Н} \cdot 0,04 \text{ м} = 0,08 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Звернемося до мал. 2.30 і визначимо в одиницях СІ модулі моментів сил, що діють на тіло. Відстань $OA_1 = 0,03$ м; $OA_2 = 0,06$ м; $OA_3 = 0,09$ м; $OA_4 = 0,12$ м.

За годинниковою стрілкою діють моменти, модулі яких дорівнюють:

$$M_2 = F_2 l_2 = 2 \cdot 0,06 = 0,12 \text{ (Н} \cdot \text{м)};$$

$$M_4 = F_4 l_4 = 4 \cdot 0,12 = 0,48 \text{ (Н} \cdot \text{м)}.$$

Проти годинникової стрілки діють моменти модулі яких дорівнюють:

$$M_1 = F_1 l_1 = 5 \cdot 0,03 = 0,15 \text{ (Н} \cdot \text{м)};$$

$$M_3 = F_3 l_3 = 5 \cdot 0,09 = 0,45 \text{ (Н} \cdot \text{м)}.$$

$$M_2 + M_4 = M_1 + M_3.$$

Як видно, сума модулів моментів сил, що обертають тіло за годинниковою стрілкою, дорівнює сумі модулів моментів, що обертають тіло проти годинникової стрілки. Тіло перебуває в рівновазі.

У багатьох пристроях, простих механізмах використовується важіль (мал. 2.31; 2.32; 2.33). Для визначення умови рівноваги важеля звернемося до мал. 2.29. Вантаж діє на ліве плече із силою $F_1 = 2 \text{ Н}$. Точка прикладання цієї сили віддалена від осі обертання на $l_1 = 4 \text{ см}$. Точка прикладання сили F_2 віддалена від осі обертання на $l_2 = 2 \text{ см}$. Динамометр показує значення сили $F_2 = 4 \text{ Н}$.

Визначимо модулі моментів сил F_1 і F_2 .

$$M_1 = 0,08 \text{ Н} \cdot \text{м} \text{ і } M_2 = 0,08 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Змінюючи плечі діючих сил та їх величину так, щоб важіль був у рівновазі, переконаємося, що при цьому момент сили, який діє на ліве плече, буде дорівнювати моментові сили, який діє на праве плече.

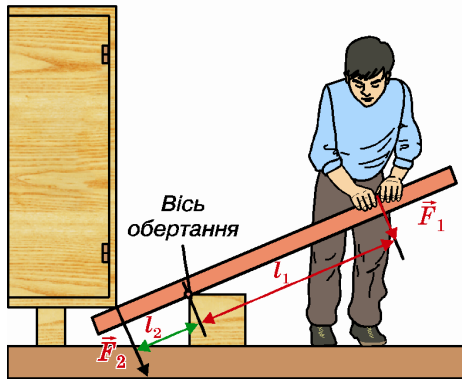
При рівновазі важеля $M_1 = M_2$, тобто момент, який діє на важіль за годинниковою стрілкою, дорівнює моментові, який діє на нього проти годинникової стрілки.

Умова рівноваги важеля:

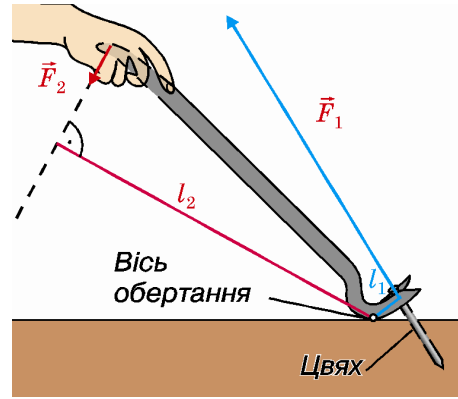
$$M_1 = M_2; F_1 \cdot l_1 = F_2 \cdot l_2, \text{ або } \frac{F_1}{F_2} = \frac{l_2}{l_1}.$$

Приклади розв'язування задач

Розгляньте важелі, зображені на мал. 2.32, 2.33. Поясніть, чим вони відрізняються від важеля, зображеного на мал. 2.29?



Мал. 2.32. Схема дії важеля



Мал. 2.33. Схема дії цвяховиймача

Приклад 1. Хлопчик підіймає вантаж (мал. 2.32), діючи на рейку, довжина якої 2 м, із силою 50 Н. Відстань від точки опори (обертання) рейки до точки її дотику з шафою 50 см. Яке зусилля хлопчик прикладає до шафи?

Дано:	Розв'язання:
$l_1 = 2 \text{ м}$	Використаємо умову рівноваги важеля $M_1 = M_2$; $F_1 l_1 = F_2 l_2$;
$F_1 = 50 \text{ Н}$	$F_2 = \frac{F_1 l_1}{l_2}$; $F_2 = \frac{2 \cdot 50}{0,5} = 200 \text{ (Н)}$.
$l_2 = 50 \text{ см} = 0,5 \text{ м}$	
$F_2 = ?$	Відповідь. До шафи прикладене зусилля 200 Н.

Приклад 2. У скільки разів сила опору гвіздка при витягуванні його з дошки більша за силу, яку прикладає людина до цвяховиймача (мал. 2.33). Відстань від точки опори до головки цвяха 5 см, довжина ручки приладу 70 см.

Дано:	Розв'язання:
$l_1 = 5 \text{ см} = 0,05 \text{ м}$	З умови рівноваги важеля випливає:
$l_2 = \approx 70 \text{ см} = 0,7 \text{ м}$	$\frac{F_1}{F_2} = \frac{l_2}{l_1}$; $\frac{F_1}{F_2} = \frac{0,7}{0,05} \approx 14$.
$\frac{F_1}{F_2} = ?$	Відповідь. Людина виграє в силі у 14 разів.

Моментом сили називають добуток сили на її плече. Тіло буде в рівновазі, якщо сума моментів сил, що обертають тіло за годинниковою стрілкою, дорівнює сумі моментів сил, що обертають тіло проти годинникової стрілки.

Важіль перебуває в рівновазі, якщо величини сил обернено пропорційні довжинам їх плечей.

Перевір себе

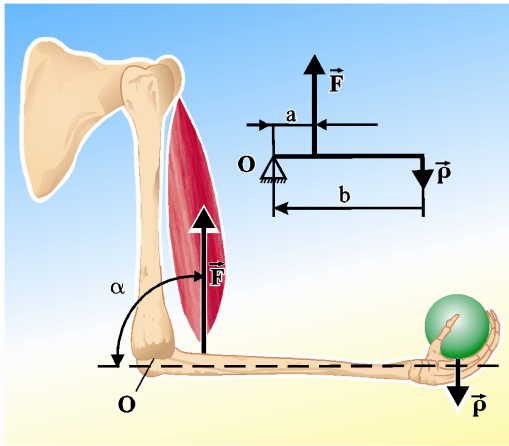
1. Що таке момент сили? 2. Що називають плечем сили? Яка умова рівноваги тіла, на яке діє кілька моментів сил? 3. При закручуванні гайки прикладають силу, момент якої $24 \text{ Н} \cdot \text{м}$. Яка величина прикладеної сили, якщо радіус гайки 1 см ? 4. На мал. 2.31 зображені кліщі. Рука тисне на відстані 15 см від осі обертання із силою 120 Н . Який момент сили вона створює? 4. Що таке важіль? 5. Яка умова рівноваги важеля? 6. Яка залежність між значеннями сил і плечей цих сил при умові рівноваги важеля?

Поміркуй

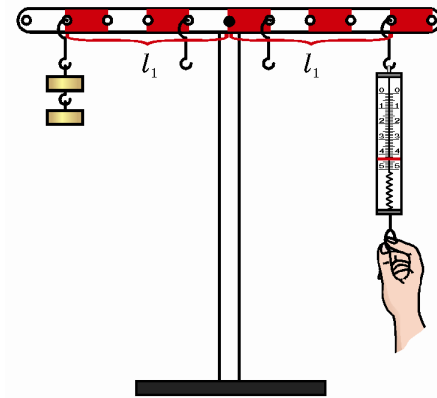
1. Чому випрямленою рукою не можна утримати такий же важкий вантаж, як зігнутою?

Вправа 16. 1. За допомогою кліщів (мал. 2.31) «перекусують» дротину. Яка сила прикладена до дротину, якщо людина діє із силою 120 Н , плече цієї сили 15 см , а відстань від осі кліщів до точки їх дотику з дротиною 3 см ? 2. Важіль зрівноважений важками 200 г і 300 г . На якій відстані від вантажу 300 г знаходиться точка опори, якщо вантаж у 200 г знаходиться від неї на відстані 15 см ?

Оберіть проект. «Сили в живій природі». Цей проект дасть можливість узагальнити знання з біології та переконатися в необхідності знань з фізики для пізнання природи. Можна виготовити таблицю, картину і т.п. Розгляньте фрагмент таблиці.



Мал. 2.34. Важелі в організмі людини



Мал. 2.35. Прилади до лабораторної роботи № 3

§ 27. Дослідження рівноваги тіла під дією кількох сил

Лабораторна робота № 3

Мета роботи: встановити співвідношення між моментами сил, прикладеними до плечей важеля, під час його рівноваги (мал. 2.35).

Прилади і матеріали: лінійка, динамометр, штатив з муфтою, важіль, набір вантажів.

Хід роботи

1. Установіть важіль на штативі і зрівноважте його в горизонтальному положенні за допомогою пересувних гайок, розміщених на його кінцях.
2. Підвісьте вантаж у певній точці одного з плечей важеля.
3. Прикріпіть до другого плеча важеля динамометр і визначте силу, яку треба прикласти до важеля, щоб він був у рівновазі.
4. Виміряйте лінійкою довжини плечей важеля.
5. Динамометром визначте вагу вантажу \vec{P} .
6. Знайдіть абсолютні значення моментів сил \vec{F} і \vec{P} .
7. Знайдені величини запишіть у таблицю:

Номер досліду	$L_1, \text{ м}$	$L_2, \text{ м}$	$P, \text{ Н}$	$F, \text{ Н}$	$M_1 = PL_1, \text{ Н}\cdot\text{м}$	$M_2 = FL_2, \text{ Н}\cdot\text{м}$
1.						
2.						
3.						

8. Порівняйте відношення $\frac{I_1}{I_2}$ з одиницею і зробіть висновок про похибки дослідної перевірки правила моментів.

9. При наявності часу підвісьте ще один вантаж в іншій точці того самого плеча. Приведіть важіль у горизонтальне положення за допомогою динамометра. Перевірте, при яких умовах тіло, що обертається, перебуває в рівновазі під дією трьох сил.

Перевір себе

При яких умовах тіло, що обертається перебуває в рівновазі? 2. Чому M_1 не точно дорівнює M_2 ? 3. Як змінюється співвідношення моментів сил, що обертають тіло за стрілкою годинника і проти стрілки годинника при збільшенні числа діючих сил?

§ 28. Імпульс тіла. Закон збереження імпульсу

Основні знання параграфа: імпульс тіла, імпульс сили, закон збереження імпульсу.

Формулу другого закону Ньютона $\vec{F} = m\vec{a}$ можна записати інакше, підставивши замість прискорення його вираз $\vec{a} = \frac{\vec{v} - \vec{v}_0}{t}$:

$$\vec{F} = m \frac{\vec{v} - \vec{v}_0}{t}.$$

Тут $\vec{v} - \vec{v}_0$ — зміна швидкості, t — час, за який ця зміна відбулася, а також час дії сили, бо швидкість змінюється тільки під дією сили. З формули видно, що зміна швидкості $\vec{v} - \vec{v}_0 = \frac{\vec{F}t}{m}$.

Формулу 2.8 можна записати так:

$$\vec{F}t = m\vec{v} - m\vec{v}_0$$

У правій частині цієї рівності стоїть зміна величини $m\vec{v}$. Добуток маси тіла на його швидкість має назву — імпульс тіла. *Імпульсом тіла називається величина, що дорівнює добутку маси тіла на його швидкість.*

Величина $\vec{F}t$ у першій формулі має назву — імпульс сили. Отже, згідно з другою формулою *зміна імпульсу тіла дорівнює імпульсу сили.*

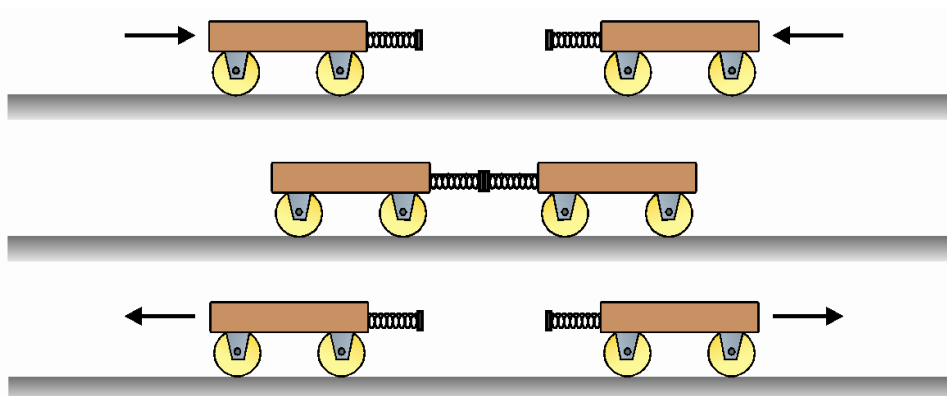
Імпульс тіла $m\vec{v}$ і імпульс сили $\vec{F}t$ — величини векторні. Вектор імпульсу тіла напрямлений так само, як і вектор швидкості. Вектор імпульсу сили — так само, як і вектор сили.

З формули випливає, що імпульс тіла $m\vec{v}$ вимірюється в *кілограм-метрах за секунду* ($\frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}$), а імпульс сили — в *ньютон-секундах* (Н·с).

Чи змінюється імпульс тіл під час їх взаємодії?

Розглянемо замкнену систему тіл — сукупність тіл, що взаємодіють між собою, але не взаємодіють з іншими тілами.

Поставимо на горизонтальну рейку два візки однакової маси m з пружинними буферами на торцях.



Мал. 2.36. До виводу закону збереження імпульсу

Повернемо візки так, щоб вони були звернені один до одного пружинними буферами (мал. 2.36) і надамо візкам однакові за модулем швидкості, щоб до зіткнення візки мали імпульс: $mv + (-mv) = 0$. Після зіткнення візки роз'їдуться в протилежні боки з однаковими за модулем, але протилежними за напрямом

швидкостями. Отже, під час взаємодії імпульси візків змінилися, проте сума імпульсів, як і раніше, дорівнює нулю, тобто вона зберігається.

Нехай маси візків будуть неоднакові: m_1 і m_2 , швидкості, надані візкам, будуть різні — \vec{v}_1 у лівого і \vec{v}_2 — у правого.

Запишемо для кожного візка рівняння — для лівого візка: $\vec{F}t = m_1 \vec{v}_1' - m_1 \vec{v}_1$, для правого: $\vec{F}t = m_2 \vec{v}_2' - m_2 \vec{v}_2$, де \vec{v}_1' і \vec{v}_2' — швидкості візків після взаємодії. Додаємо почленно ці рівності:

$$0 = m_1 \vec{v}_1' - m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2' - m_2 \vec{v}_2 \quad \text{або} \quad m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2 = m_1 \vec{v}_1' + m_2 \vec{v}_2'.$$

У лівій частині рівності стоїть сума імпульсів обох візків до зіткнення, у правій — сума імпульсів тих самих візків після зіткнення. Імпульс кожного візка змінився, проте сума імпульсів залишилася сталою.

Геометрична сума імпульсів тіл, що утворюють замкнену систему, залишається сталою під час будь-яких рухів і взаємодій тіл системи. У цьому полягає закон збереження імпульсу.

Приклади розв'язування задач

Залізничний вагон масою 30 т, що рухається із швидкістю 1,5 м/с, зчеплюється з нерухомим вагоном масою 20 т. Яка швидкість вагонів після зчеплення? (Ділянка шляху прямолінійна).

<p><i>Дано:</i></p> <p>$m_1 = 30000$ кг</p> <p>$v_1 = 1,5 \frac{\text{м}}{\text{с}}$</p> <p>$m_2 = 20000$ кг</p> <p>$v_2 = 0$</p>	<p><i>Розв'язання:</i></p> <p>Задачу будемо розв'язувати за допомогою закону збереження імпульсу. Спрямуємо координатну вісь уздовж вектора швидкості першого вагона. За законом збереження імпульсу, геометрична сума імпульсів обох вагонів зберігається сталою. Отже, залишається сталою також алгебраїчна сума проекцій імпульсів на координатну вісь.</p>
<p>$v = ?$</p>	<p>До зчеплення загальний імпульс системи дорівнював $m_1 \vec{v}_1$.</p>

Його проекція дорівнює $m_1 \vec{v}_{1x}$ або $m_1 v_1$ (бо $v_{1x} = v_1$). Після зчеплення обидва вагони рухаються як одне тіло масою $m_1 + m_2$, а проекція загального імпульсу дорівнює $(m_1 + m_2)v$, так що можна записати:

$m_1 v_1 = (m_1 + m_2)v$. Звідси:

$$v = \frac{m_1 v_1}{m_1 + m_2}; \quad v = \frac{3 \cdot 10^4 \text{ кг} \cdot 1,5 \frac{\text{м}}{\text{с}}}{5 \cdot 10^4 \text{ кг}} = 0,9 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Відповідь: $v = 0,9 \frac{m}{c}$.

Геометрична сума імпульсів тіл, що утворюють замкнену систему, залишається сталою під час будь-яких взаємодій і рухів тіл.

Перевір себе

1. Що таке імпульс тіла? Чому дорівнює модуль імпульсу тіла? Як напрямлений вектор імпульсу тіла? 2. Чи можна сказати, що тіло має імпульс тому, що на нього діє сила? 3. Що таке імпульс сили? Чому дорівнює модуль імпульсу сили? Як напрямлений вектор імпульсу сили? 4. Чи може імпульс тіла дорівнювати нулю? 5. Сила, прикладена до тіла, змінює його імпульс. Чому дорівнює зміна імпульсу тіла? 6. Що можна сказати про імпульс тіла, коли сума сил, прикладених до нього, дорівнює нулю? 7. Імпульс тіла вимірюється в $kg \cdot \frac{m}{c}$, імпульс сили — в $N \cdot c$. Однакові ці одиниці чи різні? 8. Що таке замкнена система тіл? 9. У чому полягає закон збереження імпульсу?

Поміркуй

10. Чи є закон збереження імпульсу загальним законом природи, як, наприклад, закон збереження і перетворення енергії? *11. Чи можете вказати зв'язок закону збереження імпульсу із закономірністю збереження?

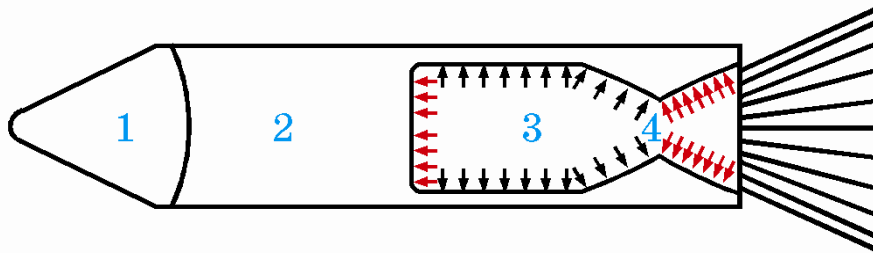
Вправа 17. 1. Людина масою 70 кг, яка біжить із швидкістю 7 м/с, наздоганяє візок масою 30 кг, що рухається з швидкістю $2 \frac{m}{c}$, і вискакує на нього. З якою швидкістю рухатиметься після цього візок? (Відповідь: $5,5 \frac{m}{c}$). 2. Під час формування залізничного состава три зчеплених вагони, що рухаються із швидкістю 0,4 м/с, зштовхуються з нерухомим вагоном, після чого всі вагони продовжують рухатися в тому самому напрямі. Визначте швидкість вагонів, якщо маси всіх вагонів однакові. (Відповідь: $0,3 \frac{m}{c}$). 3. Зенітний снаряд, випущений у вертикальному напрямі, вибухнув у найвищій точці траєкторії. При цьому утворилися три осколки. Два з них розлетілися під прямим кутом один до одного, причому швидкість одного осколка масою 9 кг дорівнювала $60 \frac{m}{c}$, а швидкість другого масою 18 кг становила $40 \frac{m}{c}$. Третій осколок відлетів із швидкістю $200 \frac{m}{c}$. Визначте графічно напрям польоту третього осколка. Яка його маса? (Відповідь: 4,5 кг).

§ 29. Реактивний рух

Основні знання параграфу: реактивний рух, будова ракети, розвиток космонавтики.

Реактивним називають рух, що виникає, коли від тіла відокремлюється і рухається з деякою швидкістю якась його частина. Такий рух широко використовують живі організми. Наприклад, завдяки реактивному рухові переміщається кальмар, розповсюджується насіння скаженого огірка. Типовим прикладом реактивного руху є рух ракет.

У головній частині 1 ракети (мал. 2.37) поміщено корисний вантаж. Це можуть бути, наприклад, наукові прилади, космонавти. У частині 2 ракети знаходяться запас пального і різні системи керування. Пальне подається в камеру згоряння 3, де воно згоряє і перетворюється в газ високої температури і високого тиску. Через насадку 4, яка називається *реактивним соплом*, газ витікає назовні і утворює *реактивний струмінь*. Призначення сопла — підвищити швидкість струменя. Газ у камері згоряння і тіло ракети — це система двох взаємодіючих тіл.



Мал. 2.37. Схема будови ракети

Перед стартом ракети її імпульс відносно Землі дорівнює нулю. Притягання Землі в напрямку взаємодії газу і ракети не діє. Ракету можна вважати замкненою системою, її загальний імпульс і після запуску повинен дорівнювати нулю.

Внаслідок взаємодії газу в камері згоряння і решти частин ракети газ, що вихоплюється через сопло, дістає деякий імпульс. Ракета також набуває імпульсу і швидкості, яку можна визначити за законом збереження імпульсу.

Позначивши масу газу через m_g , швидкість газу \vec{v}_g , масу і швидкість оболонки відповідно $m_{об}$ і $\vec{v}_{об}$, запишемо на основі закону збереження імпульсу рівняння $m_g \vec{v}_g + m_{об} \vec{v}_{об} = 0$.

Якщо спрямуємо координатну вісь уздовж напрямку руху оболонки, то проєкції швидкостей газу і оболонки за модулем дорівнюватимуть модулям векторів \vec{v}_g і $\vec{v}_{об}$, але знаки проєкцій швидкості газу u_g і оболонки $u_{об}$ протилежні:

Оскільки сума імпульсів оболонки і газу повинна дорівнювати нулю, то нулю повинна дорівнювати також сума їх проекцій:

$$m_r u_r - m_{об} u_{об} = 0, \text{ або } m_r u_r = m_{об} u_{об}$$

Звідси знаходимо швидкість оболонки $u_{об}$:

$$u_{об} = \frac{m_r}{m_{об}} u_r$$

З формули бачимо, що швидкість оболонки тим більша, чим більша швидкість газу, що витікає із сопла, і чим більше відношення маси газу до маси оболонки. Якщо, наприклад, потрібно, щоб швидкість оболонки була в 4 рази більша за швидкість газового струменя, треба, щоб маса пального була в 4 рази більша за масу оболонки. Оболонка повинна становити лише 1/5 маси ракети на старті. Адже «корисна» частина ракети саме оболонка.



1



2

Мал. 2. 38. 1 — Ціолковський Костянтин Едуардович; 2 — Корольов Сергій Павлович

Ціолковський Костянтин Едуардович

(1857—1935) — російський учений і винахідник, засновник космонавтики. З 80-х років позаминулого століття займався питаннями будівництва дирижаблів, літаків, ракет і висунув ідею використання ракет для польотів у космосі. Запропоновані ним ідеї, що стосуються ракет, ракетних двигунів, космічних польотів, мали великий вплив на розвиток ракетної та космічної техніки в СРСР і за кордоном. К. Е. Ціолковський походить із старовинного козацького роду Северина Наливайка.

Слід врахувати, що весь газ витікає з ракети не миттєво, а поступово. Це означає, що після виходу певної частини газу оболонки містить не використану частину пального. Слід також врахувати, що на ракету діють сила тяжіння і сила опору повітря. Це призводить до того, що відношення $m_f/m_{об}$ (маси пального до маси оболонки) набагато більше, ніж знайдене. Точніший розрахунок показує, що при швидкості газу 2000 м/с для досягнення першої космічної швидкості ракетою маса пального повинна бути в 55 раз більша, ніж маса оболонки. Для міжпланетних польотів (з поверненням на Землю) маса пального повинна бути в тисячі разів більша за масу оболонки.

Ідею використання ракет для космічних польотів запропонував ще на початку нашого століття російський учений Костянтин Едуардович Ціолковський. Наведене вище співвідношення мас пального і оболонки було знайдене за формулою, відомою як формула Ціолковського.

Ідею К. Е. Ціолковського вперше втілили в життя радянські вчені під керівництвом академіка Сергія Павловича Корольова. Перший в історії штучний супутник Землі за допомогою ракети було запущено в Радянському Союзі 4 жовтня 1957 р.

Першою людиною, яка на ШСЗ здійснила політ у космічному просторі, був громадянин Радянського Союзу Юрій Олексійович Гагарін. 12 квітня 1961 р. він облетів земну кулю на кораблі-супутнику «Восток».

Радянські ракети першими досягли Місяця, першими облетіли Місяць і сфотографували його невидимий із Землі бік, першими досягли планети Венера і доставили на її поверхню наукові прилади. У 1986 р. два радянських космічних кораблі «Вега-1» і «Вега-2» з близької відстані дослідили комету Галлея, що наближається до Сонця один раз за 76 років. У 1969-1972 рр. американські астронавти здійснили шість польотів на Місяць з виходом на його поверхню і тривалим (до трьох діб) перебуванням на ньому. Вони, а також радянські автоматичні кораблі, доставили на Землю зразки місячного ґрунту.

Реактивним називають рух, до якого призводить відокремлення від тіла деякої його частини, що має певну кількість руху $v_2 = \frac{m_1 v_1}{m_2}$, де m_1 , v_1 — кількість руху частини тіла, що відокремилися.

Перевір себе

1. Існують судна з водометним двигуном, що викидає з корабля водяну струмину. При цьому корабель рухається в бік, протилежний напрямку руху струмини. Чи є рух корабля реактивним рухом? 2. Під час пострілу з гвинтівки стрілець відчуває удар приклада (віддача). Чи є рух приклада реактивним рухом? 3. Ракета може набути прискорення в космічному просторі, де навколо неї немає ніяких тіл. Чому прискорюється ракета? 4. Від чого залежить швидкість ракети?

Поміркуй

1. Як гальмують космічний корабель? 2. Чи можна вважати реактивним рухом рух людини під час ходьби? 3. Вкажіть зв'язки реактивного руху із закономірністю збереження.

Оберіть проект «Роль українських вчених у розвитку космонавтики».

Для допитливих

Мало хто знає Олександра Засядька як родоначальника сучасної ракетної артилерії.

Олександр Дмитрович Засядько народився в 1779 р. в с. Лютенька (нині Гадяцький район Полтавської області) в сім'ї головного гармаша (артилериста) Запорізької Січі. Після служби в армії і виходу у відставку Олександр Дмитрович, продавши маєток батька, вирішив витратити всі гроші на створення ракетної зброї. Декілька років наполегливої праці принесли свої плоди — були створені ракети, які прицільно уражали ціль на відстані 6 кілометрів. Цей принцип узяли за основу при створенні знаменитих «катюш», завдяки яким, як вважають деякі історики, вдалося змінити хід Другої світової війни.

Можливо, людство вийшло б у космос і раніше, якби ідеї Миколи Кибальчича, що народився в 1853 році на Чернігівщині, були втілені в життя. Задовго до Ціолковського Кибальчич обґрунтував вибір робочого тіла і джерела енергії космічного літального апарату, висловив ідею про можливість використання броньованих порохів для реактивного двигуна.

Правда, маючи радикальні погляди, учений допомагав революціонерам і був арештований 17 березня 1881 року як співучасник царевбивства. Проте знаходячись у в'язниці, революціонер Кибальчич до останньої хвилини залишався вченим, продовжуючи роботу над проектом створення реактивного ракетного двигуна (проект повітроплавного приладу) з твердопаливним багатозарядним двигуном імпульсного горіння. Він описав пристрій порохового двигуна, розрахував габарити порохових шашок і камери згорання ракетного двигуна, аналізував способи гальмування апарату в атмосфері при спуску.

Матеріали по розробці проекту його ракетного двигуна були опубліковані в 1918 році. Тоді ж стало ясно, наскільки близькі були його ідеї поглядам К. Ціолковського.

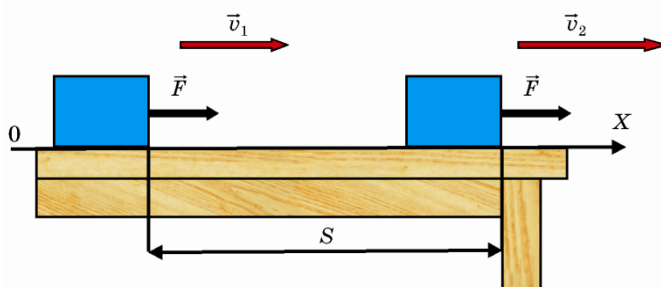
Вам буде цікаво також дізнатися про Сергія Корольова, Валентина Глушко, Юрія Кондратюка і висвітлити їхню діяльність у своєму проекті.

§ 30. Механічна енергія. Кінетична енергія

Основні знання параграфа: зміна швидкості під дією сили, робота, кінетична енергія, потенціальна енергія.

З курсу фізики 8 класу ви знаєте, що під дією сили тіло може переміщуватися, тобто сила виконує роботу. В той же час, сила може надавати тілу прискорення. Тому між *роботою*, виконаною силою, і *зміною швидкості* повинен існувати зв'язок. Знайдемо його.

Розглянемо випадок, коли вектори сили і переміщення напрямлені вздовж однієї прямої в один бік, спрямуємо координатну вісь у той самий бік (мал. 2.39). Тоді проекції сили \vec{F} , переміщення \vec{s} , прискорення \vec{a} і швидкості \vec{v} дорівнюватимуть модулям цих векторів.



Мал. 2.39. До виводу формули кінетичної енергії тіла

У відомий з 8 класу вираз роботи $A = Fs$ підставимо значення переміщення $s = \frac{v_2^2 - v_1^2}{2a}$, де v_1 і v_2 — модулі векторів швидкостей на початку і в кінці ділянки s :
 $A = F \cdot s$;

$$A = ma \frac{v_2^2 - v_1^2}{2a}, \text{ або } A = \frac{mv_2^2}{2} - \frac{mv_1^2}{2}.$$

Вираз у правій частині рівності є *зміною кінетичної енергії*: $\frac{mv^2}{2}$. *Кінетична енергія* і позначається через E_k . Попередню формулу можна записати:

$$A = E_{k2} - E_{k1}$$

Робота сили (або рівнодійної сил) дорівнює зміні кінетичної енергії тіла.

Коли сила, яка діє на тіло, напрямлена в бік руху і, отже, виконує додатну роботу, то $\frac{mv_2^2}{2} > \frac{mv_1^2}{2}$, тобто кінетична енергія тіла збільшується. Коли напрям сили протилежний напрямку руху тіла, вона виконує від'ємну роботу, і кінетична енергія тіла зменшується.

Кінетична енергія вимірюється тими самими одиницями, що й робота, тобто джоулями.

Формула 2.12 справджується незалежно від того, які саме сили прикладені до тіла: сила пружності, сила тяжіння чи сила тертя.

Ця формула показує, що у будь-якого тіла кінетична енергія зміниться на ту саму величину, якщо під дією сили виконується одна і та ж робота.

Приклади розв'язування задач

1. Яку роботу треба виконати, щоб поїзд, який рухається з швидкістю $u_1=72 \frac{\text{км}}{\text{год}}$, збільшив свою швидкість до значення $u_2=108 \frac{\text{км}}{\text{год}}$? Маса поїзда 1000 т. Яка повинна бути сила тяги локомотива, коли швидкість має збільшитися на ділянці завдовжки 2000 м?

Дано:

$$u_1 = 72 \frac{\text{км}}{\text{год}} = 20 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$u_2 = 108 \frac{\text{км}}{\text{год}} = 30 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$m = 1000 \text{ т} = 10^6 \text{ кг}$$

$$s = 2000 \text{ м}$$

$F = ?$

Розв'язання:

Роботу A визначимо за формулою: $A = \frac{mv_2^2}{2} - \frac{mv_1^2}{2}$.

Підставивши в цей вираз дані з умови задачі, знайдемо:

$$A = \frac{10^6 \text{ кг} \cdot (30 \frac{\text{м}}{\text{с}})^2}{2} - \frac{10^6 \text{ кг} \cdot (20 \frac{\text{м}}{\text{с}})^2}{2} = 2,5 \cdot 10^8 \text{ Дж}$$

За означенням роботи $A = Fs$; отже

$$F = \frac{A}{s}; F = \frac{2,5 \cdot 10^8 \text{ Дж}}{2 \cdot 10^3 \text{ м}} = 1,25 \cdot 10^5 \text{ Н} = 125 \text{ кН}$$

Відповідь: 125 кН.

Кінетична енергія тіла масою m , яке рухається із швидкістю v , чисельно дорівнює роботі, що її треба виконати, щоб надати тілу цієї швидкості. Таку саму роботу, але протилежного знака треба виконати, щоб зупинити тіло, яке рухається зі швидкістю v .

Кінетична енергія — це фізична величина, яка характеризує рухоме тіло; зміна цієї величини дорівнює роботі сили, прикладеної до тіла.

$$A = E_{k2} - E_{k1}; \quad A = \frac{mv_2^2}{2} - \frac{mv_1^2}{2}.$$

Перевір себе

1. Що таке кінетична енергія тіла? 2. Як змінюється кінетична енергія тіла, коли сила, прикладена до нього, виконує додатну роботу; від'ємну роботу? 3. Чи змінюється кінетична енергія тіла із зміною напрямку вектора його швидкості? 4. Дві кулі однакової маси котяться назустріч одна одній з однаковими за модулями швидкостями по дуже гладенькій поверхні. Кулі стикаються, на мить зупиняються, після чого рухаються в протилежних напрямках з такими самими за модулем швидкостями. Чому дорівнює їхня загальна кінетична енергія до зіткнення, у момент зіткнення і після нього?

Поміркуй.

Чи зв'язаний вивід формули кінетичної енергії із законом збереження і перетворення енергії?

Вправа 18. 1. До нерухомого тіла масою 3 кг прикладена сила 40 Н. Після цього тіло проходить по гладенькій горизонтальній площині без тертя 3 м. Визначте кінетичну енергію тіла. (Відповідь: 180 Дж). 2. Яку роботу треба виконати, щоб зупинити поїзд масою 1000 т, який рухається із швидкістю 108 км/год? (Відповідь: $4,5 \cdot 10^8$ Дж). 3. Обчисліть кінетичну енергію штучного супутника Землі масою 1300 кг, що рухається по коловій орбіті на висоті 100 км над поверхнею Землі. (Відповідь: $3 \cdot 10^{10}$ Дж).

§31. Потенціальна енергія

Основні знання параграфу: потенціальна енергія піднятого над землею тіла, потенціальна енергія деформованого тіла.

Крім кінетичної енергії тіло може мати потенціальну енергію. Рівність:

$$A = mg(h_1 - h_2)$$

виражає роботу сили тяжіння, прикладеної до тіла. Робота дорівнює зміні енергії. Рівність можна записати інакше:

$$A = - (mgh_2 - mgh_1).$$

Величину mgh називають *потенціальною енергією тіла, піднятого на висоту h* над нульовим рівнем. Нульовим рівнем може бути поверхня Землі. Знак мінус перед зміною потенціальної енергії означає, що коли робота сили тяжіння додатна, потенціальна енергія тіла зменшується (тіло падає на Землю). При від'ємній роботі сили тяжіння (тіло кинуте вгору) потенціальна енергія тіла збільшується. Потенціальна енергія $E_p = mgh$.

$$A = - (E_{p2} - E_{p1}).$$

Якщо тіло падає з висоти h до нульового рівня, то робота сили тяжіння дорівнює потенціальній енергії:

$$A = E_p; \quad E_p = mgh$$

Отже, *потенціальна енергія тіла, піднятого на деяку висоту над землею (нульовим рівнем), дорівнює роботі сили тяжіння під час падіння тіла з цієї висоти до нульового рівня*. Щоб підняти тіло з нульового рівня на таку саму висоту, треба виконати таку саму роботу якоюсь іншою силою, що напрямлена проти сили тяжіння.

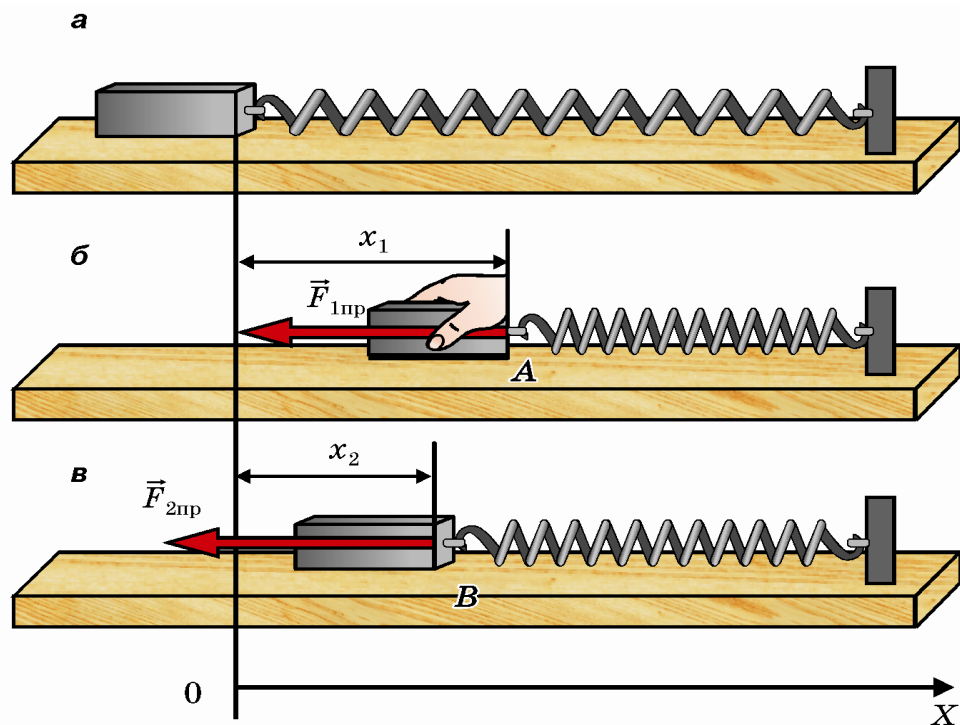
Як видно з формули, потенціальна енергія залежить від положення тіла відносно нульового рівня, тобто від координат тіла.

Розглянемо ще роботу сили пружності, тобто сили, яка виникає під час деформації тіла.

На *мал. 2.40 а* зображена не деформована пружина. Стиснемо пружину (*мал. 2.40 б*), зменшивши її довжину на x_1 . Виникне сила пружності, напрямлена вліво. Проекція цієї сили на вісь X дорівнює $-kx_1$, де k — жорсткість пружини.

Якщо пружину відпустити, то брусок буде зміщуватися вліво, сила пружності буде виконувати роботу.

Якщо брусок переміститься з положення A в положення B (*мал. 2.40 в*), то переміщення кінця пружини дорівнює різниці координат кінця пружини: $x_1 - x_2$.



Мал. 2.40. Деформація пружини

Напрями сили і переміщення збігаються. Щоб обчислити роботу сили пружності, треба помножити модуль сили пружності на переміщення. Але сила пружності під час руху змінюється від точки до точки, бо змінюється видовження пружини: в точці A модуль сили пружності дорівнював kx_1 , в точці B — kx_2 . Щоб обчислити роботу сили пружності, треба взяти середнє значення сили пружності й помножити його на переміщення:

$$A = F_{пр.с} (x_1 - x_2).$$

Середнє значення сили пружності дорівнює півсумі початкового й кінцевого її значень, бо сила пружності змінюється прямо пропорційно переміщенню:

$$F_{пр.с} = \frac{kx_1 + kx_2}{2} = k \frac{x_1 + x_2}{2}$$

Підставимо це значення середньої сили у формулу для роботи:

$$A = k \frac{x_1 + x_2}{2} \cdot (x_1 - x_2), \text{ або } A = \frac{kx_1^2}{2} - \frac{kx_2^2}{2}$$

Як видно, до формули для роботи не входить маса тіла, прикріпленого до пружини. Проте й сила пружності не залежить від маси тіла, до якого вона прикладена.

$$A = -\left(\frac{kx_2^2}{2} - \frac{kx_1^2}{2}\right)$$

Формула (2.17) означає, що *робота сили пружності дорівнює зміні потенціальної енергії пружно деформованого тіла (пружини), взятій з протилежним знаком.*

Робота сили пружності, як і робота сили тяжіння не залежить від форми траєкторії. Коли траєкторія замкнена, то робота дорівнює нулю.

Якщо за початок відліку координати вибрати положення кінця недеформованої пружини, а пружина видовжена на x , то формула (2.17) матиме вигляд:

$$A = -\left(0 - \frac{kx^2}{2}\right); \quad A = \frac{kx^2}{2}.$$

Але $\frac{kx^2}{2}$ — це потенціальна енергія тіла (пружини) при видовженні x . Отже, *потенціальна енергія деформованого тіла дорівнює роботі сили пружності під час переходу тіла (пружини) до стану, в якому його деформація дорівнює нулю.*

Енергія, яка залежить від взаємного розташування тіл або частин одного і того ж тіла, називається потенціальною енергією. Потенціальна енергія — енергія взаємодії.

$$E_p = mgh; \quad E_p = \frac{kx^2}{2}.$$

Перевір себе

1. Який зв'язок між потенціальною енергією тіла та роботою сили тяжіння?
2. Як змінюється потенціальна енергія тіла під час його руху вгору?
3. Чи змінюється потенціальна енергія під час руху тіла паралельно до поверхні Землі?
4. Від чого залежить енергія пружно деформованого тіла?

Поміркуй

*1. Наведи приклади самочинного переходу тіл у стан з мінімумом потенціальної енергії. Як вони пов'язані із закономірністю направленості процесів до рівноважного стану?

Вправа 19. 1. Вантаж масою 2,5 кг падає з висоти 10 м. На скільки зміниться його потенціальна енергія через 1 с після початку падіння? (Початкова швидкість

вантажу дорівнює нулю.) 2. Яку роботу виконує сила тяжіння, коли людина масою 75 кг підіймається сходами від входу в будинок до 6-го поверху, якщо висота кожного поверху 3 м? 3. Хлопчик визначив, що максимальна сила, з якою він може розтягувати динамометр, дорівнює 400 Н. Яку роботу виконує ця сила під час розтягування пружини динамометра, якщо її жорсткість дорівнює $10000 \frac{\text{Н}}{\text{м}}$? (Відповідь: 120 Дж). 4. До пружини, верхній кінець якої закріплений, підвішене тіло масою 18 кг. При цьому довжина пружини дорівнює 10 см. Коли ж до неї підвішують тіло масою 30 кг, її довжина дорівнює 12 см. Обчисліть роботу, яку виконує зовнішня сила при розтягуванні пружини від 10 до 15 см. Яку роботу виконує при цьому сила пружності? (Відповідь: $1,1 \cdot 10^4$ Дж).

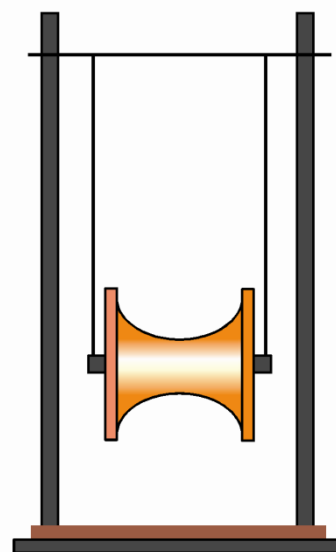
§ 32. Закон збереження повної механічної енергії

Основні знання параграфу: взаємоперетворення потенціальної та кінетичної енергії у замкнутій системі.

Ви вже знайомі із змістом закону збереження і перетворення енергії. Виведемо його математичний вираз більш строго.

Розглянемо, як змінюється енергія тіл, що взаємодіють *тільки* між собою, тобто енергія тіл замкненої системи. Така система може мати і кінетичну і потенціальну енергію.

Найпростіше в цьому переконатися на прикладі взаємоперетворень механічної енергії, наприклад, такого маятника (мал. 2.41).



Накрутимо нитку на вісь коліщатка і відпустимо його. Ми підняли коліщатко на певну висоту і надали йому певної потенціальної енергії. Мал. 2.41. Прилад для демонстрації енергії його перетвориться в кінетичну; воно ззаємоперетворення енергії знову підніметься вгору і буде так підніматись і опускатись кілька разів. Якби не було опору повітря і тертя нитки об вісь коліщатка, то воно б так рухалося довгий час.

Механічна енергія не зникає і не виникає з нічого, а тільки перетворюється з одного виду в інший (потенціальна в кінетичну і навпаки).

Позначимо через E_{p1} потенціальну енергію системи у певний момент часу, а через E_{k1} — загальну кінетичну енергію системи в той самий момент часу. Потенціальну й кінетичну енергії цих самих тіл у який-небудь інший момент часу позначимо відповідно через E_{p2} і E_{k2}

У попередніх параграфах ми встановили, що коли тіла взаємодіють одне з одним силами пружності або тяжіння, виконана цими силами робота дорівнює взятій з протилежним знаком зміні потенціальної енергії тіл системи:

$$A = -(E_{p2} - E_{p1}). \quad (2.18)$$

Ця сама робота дорівнює зміні кінетичної енергії: $A = E_{k2} - E_{k1}$.
(2.19)

У лівих частинах рівностей (1) і (2) стоїть та сама величина — робота сил взаємодії тіл системи. Отже, і праві частини рівні між собою:

$$E_{k2} - E_{k1} = -(E_{p2} - E_{p1}). \quad (2.20)$$

З цієї рівності бачимо, що кінетична і потенціальна енергії внаслідок взаємодії і руху тіл змінюються так, що збільшення однієї з них дорівнює зменшенню другої. На скільки одна з них збільшується, на стільки ж друга зменшується. Все відбувається так, ніби один вид енергії *перетворюється* в інший. Отже, є форми механічної енергії, і вони можуть перетворюватись одна в одну, але про жодну з них не можна сказати, що вона зберігається. Зберігається повна механічна енергія замкненої системи тіл.

$$E_{k1} + E_{p1} = E_{k2} + E_{p2}. \quad (2.21)$$

Приклади розв'язування задач

1. Якої висоти досягне тіло, кинуте вертикально вгору з початковою швидкістю \vec{v}_0 ?

Розв'язання.

Візьмемо за початок відліку висоти точку, звідки кинуте тіло. У цій точці потенціальна енергія тіла дорівнює нулю, а його кінетична енергія дорівнює $\frac{mv_0^2}{2}$. Отже, повна енергія тіла дорівнює $0 + \frac{mv_0^2}{2} = \frac{mv_0^2}{2}$. У верхній точці, на висоті h , потенціальна енергія тіла mgh , а кінетична дорівнює нулю. Отже, повна енергія дорівнює mgh . Згідно із законом збереження повної енергії $mgh = \frac{mv^2}{2}$, звідки $h = \frac{v_0^2}{2g}$.

Повна механічна енергія замкненої системи тіл, що взаємодіють силами тяжіння або силами пружності, залишається незмінною при будь-яких рухах тіл системи.

$$E_k + E_p = \text{const.}$$

Закон збереження енергії, як і закон збереження імпульсу, можна використати для розв'язування багатьох механічних задач. Цим способом значна кількість задач розв'язуються простіше, ніж з використанням законів Ньютона.

Перевір себе

1. Що таке повна механічна енергія? 2. У чому полягає закон збереження повної механічної енергії? 3. Чи справджується закон збереження механічної енергії, якщо одночасно діють сила тяжіння і сила пружності? 4. Як впливає на енергію системи тіл дія зовнішньої сили? Чи зберігається в цьому випадку повна механічна енергія? 5. Супутник обертається по орбіті навколо Землі. За допомогою ракетного двигуна його перевели на іншу орбіту. Чи змінилася механічна енергія супутника?

Поміркуй

1.*Як закон збереження і перетворення енергії пов'язаний із однорідністю простору і часу.

Вправа 20. 1. Тіло падає з певної висоти над землею. У момент падіння на землю його швидкість дорівнює $30 \frac{\text{м}}{\text{с}}$. З якої висоти впало тіло? (Відповідь: 45 м).

2. Снаряд, який дістав під час пострілу з гармати початкову швидкість $280 \frac{\text{м}}{\text{с}}$, летить вертикально вгору. На якій висоті над місцем пострілу його кінетична енергія дорівнюватиме потенціальній? (Відповідь: 2000 м). 3. Тіло масою 2 кг падає з висоти 30 м над землею. Обчисліть кінетичну енергію тіла в момент, коли воно перебуває на висоті 15 м над землею і в момент падіння на землю. (Відповідь: 300 Дж).

НАЙВАЖЛИВІШЕ У ДРУГОМУ РОЗДІЛІ

До механічних сил належать: сила пружності, сила тертя, сила всесвітнього тяжіння.

Сила пружності — це виявлення взаємодії між частинками тіла. Вона виникає під час деформації тіла, при якій частинки тіла віддаляються одна від одної або зближуються (розтягування або стискання тіла).

Сила тертя також є виявленням взаємодії частинок. Головна особливість сили тертя полягає в тому, що вона напрямлена проти руху тіла, до якого прикладена.

Сила всесвітнього тяжіння — сила взаємодії тіл. Вона пропорційна добутку мас взаємодіючих тіл і обернено пропорційна квадрату відстані між тілами:

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}.$$

Виявленням цієї взаємодії є сила тяжіння. Найважливіша особливість сили тяжіння, як і взагалі сили всесвітнього тяжіння, полягає в тому, що вона надає всім тілам однакових прискорень.

Сила пружності і сила тяжіння — це сили, що залежать від координат взаємодіючих тіл одного відносно одного. Сила тертя залежить від швидкості тіла, але не залежить від координат.

Рух тіла можна розглядати як рух матеріальної точки, якщо тіло рухається поступально. А тіло рухається поступально, коли пряма, вздовж якої напрямлена сила або рівнодійна кількох сил, прикладених до тіла, проходить через його центр тяжіння.

Якщо сума сил, прикладених до тіла, дорівнює нулю, то тіло перебуває в стані рівноваги. Це означає, що тіло перебуває в спокої або рухається рівномірно і прямолінійно. Проте це не заважає тілу обертатись.

Поряд із швидкістю важливою характеристикою руху є *імпульс тіла* — векторна величина, що дорівнює добутку маси тіла на його швидкість.

Результатом дії сили на тіло є зміна його імпульсу. Зміна імпульсу тіла дорівнює *імпульсу сили* — добутку сили на час її дії.

Один і той самий імпульс сили надає різним тілам (тілам різної маси) різних швидкостей, але однакових імпульсів.

Імпульс — одна з небагатьох величин, що зберігаються. Закон збереження імпульсу полягає в тому, що загальний імпульс усіх тіл, які утворюють замкнену

систему, залишається незмінним при будь-яких взаємодіях і будь-яких рухах тіл системи.

Причиною зміни руху тіл є дії на них інших тіл. Сила є мірою взаємодії тіл, причиною зміни швидкості тіла або окремих його частин.

В основі динаміки лежать три закони Ньютона.

Перший закон Ньютона стверджує, що відносно інерціальних систем відліку тіло рухається прямолінійно і рівномірно або перебуває в спокої, коли сума сил, що діють на нього, дорівнює нулю.

Другий закон Ньютона встановлює зв'язок між силою і спричиненим нею прискоренням: *сила, що діє на тіло, незалежно від її природи, дорівнює добутку маси тіла на прискорення, якого надає ця сила:*

$$\vec{F} = m\vec{a}.$$

Третій закон Ньютона показує, що дія одного тіла на друге завжди має взаємний характер: *тіла діють одне на одне із силами однакової природи, що рівні за модулем і протилежні за напрямом:*

$$\vec{F}_1 = -\vec{F}_2.$$

Закони руху виражаються двома простими (на перший погляд) формулами, але містять ці формули дуже багато.

Закони Ньютона дають змогу розв'язати будь-яку задачу механіки. Якщо відомі сили, прикладені до тіла, можна знайти прискорення тіла в будь-який момент часу, в будь-якій точці його траєкторії.

«Природа проста і не розкошує зайвими причинами». Ви можете погодитися з Ньютоном, бо знаєте, що за допомогою загальних закономірностей можна пояснювати велику кількість явищ природи, передбачити стан об'єктів навколишнього світу.

Закони Ньютона дають можливість не тільки визначити координати рухомих тіл. За відомими положеннями тіла в різні моменти часу можна визначити, які сили діють на тіло — розв'язати обернену задачу механіки.

Тестова самоперевірка знань з розділу «Динаміка»

І рівень

1. У який бік зазвичай падає людина, спіткнувшись?

9. Маса футбольного м'яча втричі більша, а швидкість втричі менша від маси і швидкості хокейної шайби. Порівняти їх кінетичні енергії.

- а) кінетична енергія шайби у 9 разів більша за кінетичну енергію м'яча;
- б) кінетична енергія шайби у 3 рази більша за кінетичну енергію м'яча;
- в) кінетичні енергії однакові.

IV рівень

10. Автомобіль масою 2 т рухається вгору з нахилом 4 м на кожні 100 м шляху. Коефіцієнт тертя 0,08. Знайти роботу, яку виконує двигун автомобіля на шляху 3 км і потужність, яку він розвиває, якщо цей шлях був пройдений за 4 хв.

Відповідь: $7,2 \cdot 10^6$ Дж; 30 кВт.

11. Вагон масою 50 т рухається із швидкістю $12 \frac{\text{км}}{\text{год}}$ і зустрічає платформу масою 30 т, що стоїть на його шляху. Знайти швидкість їх руху після зчеплення і витрати кінетичної енергії під час зіткнення.

Відповідь: $7,5 \frac{\text{км}}{\text{год}}$; $9,6 \cdot 10^4$ Дж.

12*. Складіть структурно-логічну схему теми на основі загальних закономірностей природи. Якими закономірностями пов'яжете дану схему зі схемою розділу 1 в образі природи у природничо-науковій картині світу?

РОЗДІЛ 3. МОЛЕКУЛЯРНА ФІЗИКА І ТЕРМОДИНАМІКА

Що таке молекулярна фізика? **Молекулярна фізика** – це розділ фізики, у якому вивчаються фізичні властивості тіл в різних агрегатних станах на основі розгляду їх молекулярної будови. Методи молекулярної фізики пов'язані з вивченням руху і взаємодії атомів, молекул та іонів. Основним завданням молекулярної фізики є вивчення фізичних властивостей речовин залежно від їх внутрішньої будови.

У молекулярній фізиці виходять з того, що довільне тіло – тверде, рідке або газоподібне – складається із величезної кількості молекул, атомів, іонів, які перебувають у безладному (хаотичному) русі, інтенсивність якого залежить від

температури. Цей рух називають **теповим**. Тепловий рух зумовлює внутрішні властивості тіл, і його вивчення дає змогу зрозуміти багато фізичних процесів, які відбуваються в тілах. Явища, зумовлені тепловим рухом атомів і молекул, називають **теповими**. Вони відіграють важливу роль у природі. Зі зміною температури повітря змінюється все – температура тіла, розміри твердих тіл і рідин.

У середині XIX ст. після відкриття закону збереження енергії було створено першу наукову теорію теплових процесів – **термодинаміку**, в якій не враховується молекулярна будова тіл. Молекулярна фізика і термодинаміка, розглядаючи властивості тіл і їх зміни з різних точок зору - мікроскопічної і макроскопічної, взаємно доповнюють одна одну.

Досягнення молекулярної фізики широко використовуються в інших галузях науки, зокрема у фізичній хімії, молекулярній біології, фізиці твердого тіла, фізико-хімічній механіці тощо.

Молекулярна фізика слугує науковою основою сучасного матеріалознавства, вакуумної технології, холодильної техніки тощо.

§ 33. Основні положення молекулярно-кінетичної теорії речовини

Основні знання параграфа: основні положення молекулярно-кінетичної теорії речовини, експериментальні підтвердження основних положень молекулярно-кінетичної теорії.

Основні положення молекулярно-кінетичної теорії речовини. Гіпотеза про існування атомів як найменших неподільних частинок речовини була висловлена понад 2500 років назад давньогрецькими ученими Левкіпом і Демокрітом. Цю гіпотезу давньогрецькі філософи висловили на основі аналізу причин таких природних явищ, як здатність води до випаровування і конденсації із пари, здатність до розширення і розчинення твердих тіл, поширення запахів.

На основі гіпотези про існування найменших неподільних частинок речовини – атомів – пізніше була створена молекулярно-кінетична теорія. **Молекулярно-кінетичною теорією (МКТ) називають теорію, яка пояснює будову і властивості тіл на основі закономірностей руху і взаємодії атомів та молекул.** Значний внесок у створення основ МКТ зробили у другій половині XIX ст. німецький фізик Р. Клаузіус (1822–1888), російський фізик (студент Києво-Могилянської академії) М.В. Ломоносов (1711–1765), австрійський фізик Л. Больцман (1844–1906). Вагомим також є внесок вчених України: М.П.

Авенаріуса (1835–1895), М.О. Умова (1846–1915), М.М. Бекетова (1827–1911), М.М. Шіллера (1848–1910), І.П. Пулюя (1845–1918) та ін.

На початку ХХ ст. над розробленням атомно-молекулярної теорії та її експериментальним обґрунтуванням працювали А. Ейнштейн (1879–1955), французький вчений Ж. Перрен (1870–1942), німецький фізик О. Штерн (1888–1969).

Молекулярно-кінетична теорія пояснює теплові явища в макроскопічних тілах на основі уявлень, що всі тіла складаються з окремих частинок, які рухаються хаотично. У цій теорії ставиться завдання пов'язати закономірності поведінки окремих атомів і молекул з величинами, які характеризують властивості макротіл.

В основу молекулярно-кінетичної теорії речовини покладено **три положення**:

1. Будь-які речовини мають дискретну (переривчасту) будову. Вони складаються з найдрібніших частинок — молекул або атомів (іонів). Підтвердженням дискретності є прокатка, кування металу, розчинність речовин тощо.

Молекули – найменші частинки, які мають хімічні властивості речовини. Молекули складаються з більш простих частинок – атомів хімічних елементів. **Атом** – найменша частина хімічного елемента, що є носієм його властивостей.

Молекули складних речовин складаються із різних атомів. Кількість атомів у молекулі може бути від двох (N_2 , O_2 , H_2 , KCl) до тисячі і більше (полімери). Багатоатомні молекули (тисяча і більше атомів) називають **макромолекулами**.

Якщо різних видів молекул у природі надзвичайно багато, то кількість різних видів атомів **обмежена**. Речовину, яка побудована з атомів лише одного виду, називають **елементом** (Гідроген, Оксиген тощо). Кожен елемент має свій номер Z в таблиці Менделєєва.

Іони – це атоми або молекули, які мають надлишок або недостачу електронів, тобто це не електрично нейтральні частинки, як атоми або молекули, а частинки, заряджені позитивно або негативно.

*2. Молекули знаходяться в стані безперервного хаотичного (невпорядкованого) руху, що називається **теповим** і у загальному випадку є сукупністю **поступального, обертального і коливального рухів**.*

Під час нагрівання речовини швидкість теплового руху і кінетична енергія його частинок збільшуються, а під час охолодження зменшуються. Ступінь нагрятості тіла характеризує його температура, яка є мірою середньої кінетичної енергії хаотичного поступального руху молекул цього тіла.

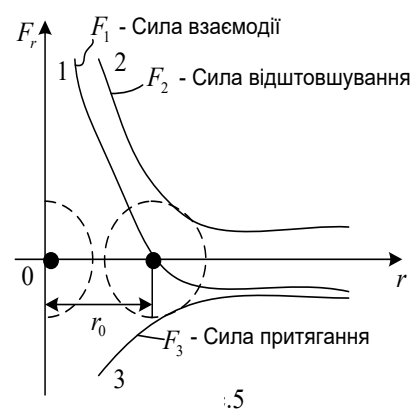
3. Молекули взаємодіють одна з одною із силами електромагнітної природи, причому на великих відстанях вони притягуються, а на малих – відштовхуються. Сили притягання і відштовхування між молекулами діють постійно.

Хоч молекули є електронейтральними, між ними на малих відстанях діють значні електричні сили, адже молекула – складна система, що складається з електронів і ядер атомів. Відбувається взаємодія між електронами і ядрами сусідніх молекул.

Графічну залежність результуючої сили взаємодії F_r (1), сили відштовхування F_1 (2) і сили притягання F_2 (3) молекул від відстані між молекулами зображено на мал. 3.1. Спочатку одна з молекул знаходиться на відстані r_1 від іншої, яка знаходиться в початку координат. На цій відстані діє дуже мала сила взаємного притягання і ще менша сила відштовхування. Якщо молекули перебувають на відстанях, що перевищують їхні розміри в кілька разів, то сили взаємодії практично не виявляються, адже вони є короткодійними. Із зменшенням відстані сила притягання спочатку зростає. У міру зменшення відстані починає виявлятися сила відштовхування. Ця сила дуже швидко зростає, коли починають перекриватися електронні оболонки атомів.

На відстані r_0 , що відповідає рівності сил притягання і відштовхування і приблизно становить суму радіусів молекул, молекули перебувають у рівновазі. Цю відстань називають **рівноважною**.

Кожна ордината кривої взаємодії (1), яка відповідає довільній відстані r , є результатом алгебраїчного додавання ординат кривих (2) і (3). А сама крива (1) показує, що при відстанях менших деякої рівноважної відстані між молекулами $r < r_0$ переважають сили відштовхування і навпаки. Зображена на мал. 3.1 залежність сил взаємодії молекул від відстані між ними хоч і є наближеною, але дозволяє якісно пояснити виникнення сили пружності в процесі стискування і розтягування тіл.



Мал. 3.1. Залежність сили взаємодії між молекулами від відстані

Молекули різних речовин по-різному взаємодіють одна з одною. Ця взаємодія залежить від типу молекул і відстані між ними. Залежно від характеру руху і взаємодії молекул розрізняють три стани речовини: твердий, рідкий, газоподібний (плазма).

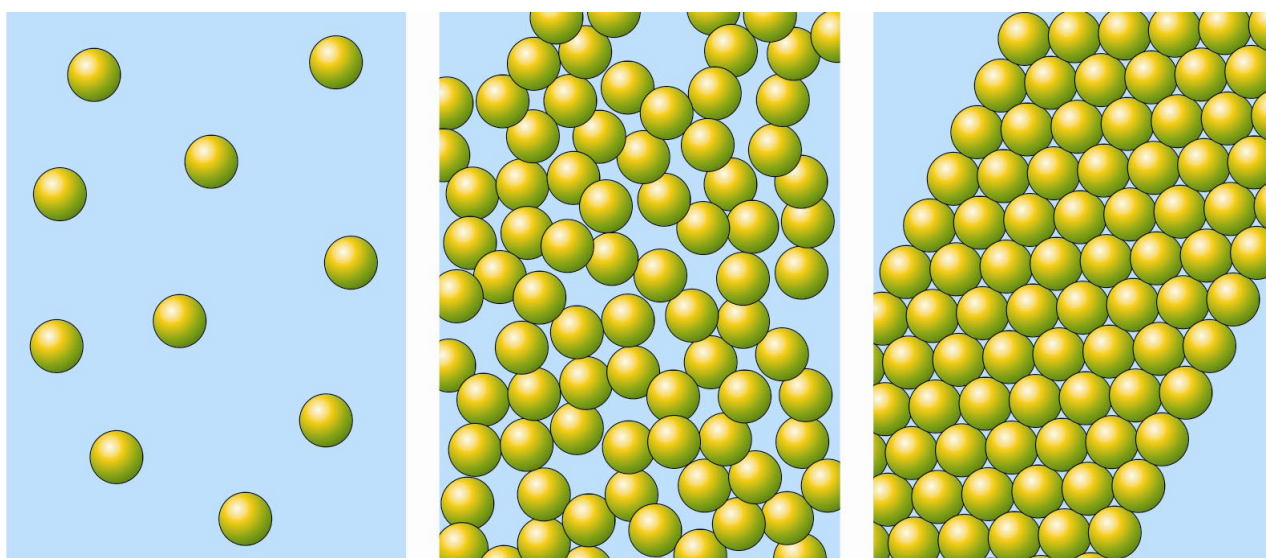
Плазма – сильно іонізований газ (повітря), що утворюється під дією високих температур. Для **газів** характерні великі міжмолекулярні відстані, малі сили притягання, тому гази можуть необмежено розширюватись. Молекули газу хаотично рухаються, співударяються одна з одною і зі стінками посудини.

У **рідинах** молекули розміщені тісно і коливаються навколо положення рівноваги, а також перескакують з одного рівноважного положення в інше (ближній порядок) (мал. 3.2).

У **твердих тілах** сили взаємодії кожної молекули із сусідніми настільки великі, що молекула здійснює малі коливання навколо деякого сталого положення рівноваги – вузла кристалічної ґратки – дальній порядок (*мал. 3.2*).

Експериментальні підтвердження основних положень молекулярно-кінетичної теорії. Положення молекулярно-кінетичної теорії речовини повністю підтверджено. Молекули і атоми мають настільки малі розміри, що їх неможливо бачити за допомогою навіть оптичного мікроскопа. Але здавна вчені мріяли побачити молекули. Лише у 1974 р. за допомогою електронного мікроскопа, який дає збільшення у мільйони разів, роздивились великі молекули білкових сполук.

Потім, сконструювавши іонний проектор, де на люмінесцентному екрані утворюється збільшене у мільйони разів зображення ультрагострого вістря із вольфраму, уточнили розміщення іонів (*мал. 3.3*). Наразі за допомогою тунельного мікроскопа вдається роздивитися на поверхні твердих тіл навіть окремо взятий домішковий атом. Це дає змогу конструювати штучні речовини. Все це є переконливим доказом існування молекул, атомів, іонів.



Мал. 3.2. Розташування молекул в рідинах і твердих тілах: 1 — газ, 2 — рідина, 3 — тверде тіло

Безперервним хаотичним рухом молекул пояснюється здатність газів необмежено розширюватися і займати весь наданий їм об'єм. Пружність газів, твердих тіл і рідин, здатність рідин змочувати тверді тіла, процеси фарбування, склеювання, деформації твердих тіл тощо свідчать про існування сил притягання і відштовхування між молекулами. Довести існування значних сил притягання між атомами або молекулами можна, зокрема, за допомогою досліду з товстою палицею, яку важко зламати. Але одні лише сили притягання не можуть забезпечити існування стійких атомів й молекул. Завдяки силам відштовхування молекули не проникають одна в одну.

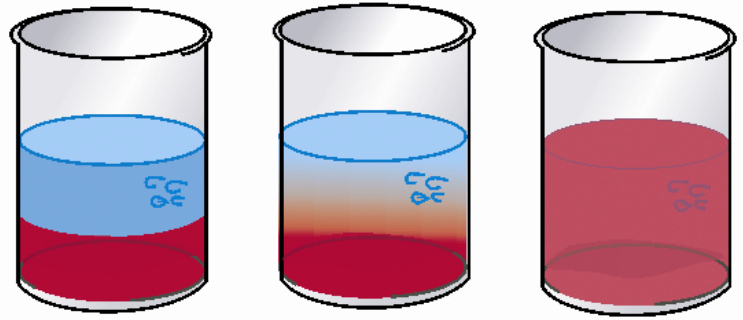
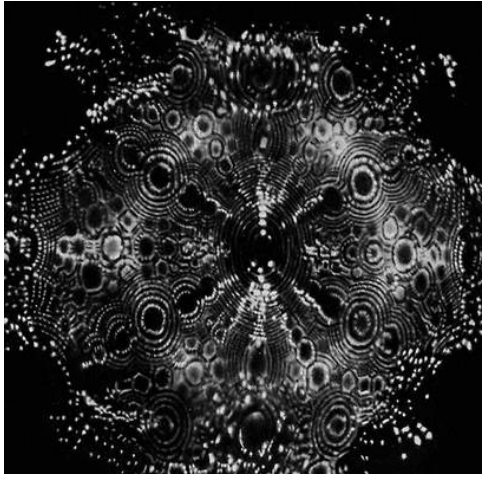
Переконливими підтвердженнями основних положень серед дослідів є дифузія і броунівський рух. **Дифузія (від лат. diffusio - розливання) – процес спонтанного взаємного проникнення молекул однієї речовини в міжмолекулярні проміжки іншої.**

Причиною дифузії є тепловий рух молекул та відмінність концентрацій молекул у речовинах, що змішуються. Внаслідок дифузії густина газу в усьому його об'ємі вирівнюється. Приклад дифузії в газах – це швидке поширення запахів навіть у спокійному повітрі: аромат парфумів за декілька хвилин відчувається в усій кімнаті; у рідинах – перемішування рідин різної густини. З підвищенням температури швидкість дифузії зростає внаслідок зростання швидкості частинок.

У рідинах дифузія відбувається значно повільніше, ніж у газах, але швидше ніж у твердих тілах. Це пояснюється відмінністю характеру теплового руху атомів і молекул. Якщо налити у скляний циліндр до половини його висоти концентрованої розчину мідного купоросу, а потім обережно долити дистильованої води, то спочатку можна спостерігати досить чітку межу поділу між розчином і водою. З часом вона стає розпливчастою; молекули розчину піднімаються догори і протягом декількох діб обидві рідини перемішуються, утворюючи однорідний світло-блакитний розчин (*мал. 3.4*).

Дифундують і молекули (атоми) твердих тіл, але за низьких температур досить повільно. Це підтверджує такий дослід. На пластинку із золота ставили свинцевий циліндр з ретельно очищеною основою і залишали їх у такому положенні у приміщенні лабораторії на кілька років. Молекули золота і свинцю внаслідок дифузії протягом 4 років утворили шар з однорідного сплаву золота зі свинцем завтовшки 5 мм (хоча, звичайно, ні про яке плавлення цих металів при температурі 20 °С не йшлося). Це пояснюється тим, що хоча переважна частина молекул або атомів твердих тіл коливаються навколо положень рівноваги, однак є і частинки, які зрідка покидають їх і переходять на інші. Саме ці молекули зумовлюють дифузію у твердих тілах.

Одним з найпереконливіших доказів існування молекул і їх хаотичного теплового руху є броунівський рух, названий на честь англійського ботаніка Р. Броун (1773 – 1858), який у 1827 році відкрив хаотичний рух спор плауна у воді. Спочатку Броун вважав, що рух частинок відбувається через те, що вони живі. Однак частинки продовжували хаотично рухатися і після кип'ятіння суміші. Пізніше Броун спостерігав такий же хаотичний рух дрібних частинок з інших речовин. Однак він не зміг пояснити відкритого ним явища.



Мал. 3.3. Зображення іонів Мал. 3.4. Дифузія в рідинах

Вивченням броунівського руху займалися багато учених і нарешті було встановлено, що рух завислих частинок, який спостерігався у полі зору оптичного мікроскопа, відбувається внаслідок руху молекул рідини. Молекули передають частинкам імпульс, а отже, чинять на них тиск. Якщо частинка має малу площу поверхні S_1 , то на один з її боків у будь-яку мить середнє значення тиску може бути більшим, ніж на інший, тому частинка здійснює безладний рух в об'ємі рідини (мал. 3.5). Ця «заплутана» ламана (мал. 3.6), побудована для однієї окремо взятої для спостереження частинки відмічанням її положення крапками через однакові послідовні інтервали часу (наприклад 30 с) не є справжньою траєкторією її руху, яка є набагато складнішою.

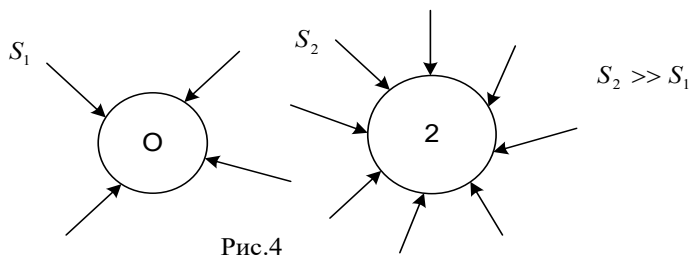
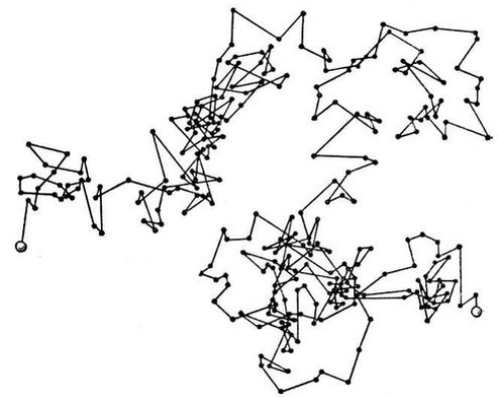


Рис.4



Мал. 3.5. До пояснення броунівського руху Мал. 3.6. Броунівський рух

У 1905 році видатний фізик А. Ейнштейн і польський учений професор Львівського університету М. Смолуховський (1872–1917) розробили кількісну теорію броунівського руху. Альберт Ейнштейн, використовуючи молекулярно-кінетичну теорію, показав, що під час хаотичного руху броунівської частинки середній квадрат її зміщення за інтервал часу має бути прямо пропорційним цьому інтервалу часу і температурі рідини. У 1906 р. Маріан Смолуховський з інших міркувань одержав вираз для середнього квадрата зміщення частинки, що відрізнявся від результатів А. Ейнштейна лише коефіцієнтом пропорційності.

У 1908–1911 роках Ж. Перрен підтвердив правильність теорії Ейнштейна і Смолюховського експериментально. Йому уперше вдалося визначити розміри молекул і знайти їх кількість у певній масі речовини (знайти число Авогадро). Молекулярно-кінетична теорія речовини перемогла остаточно.

Перевір себе

1. У чому полягає основне завдання молекулярної фізики?
2. Що таке МКТ? Сформулюйте основні положення МКТ.
3. Що таке молекула? Атом?
4. Які спостереження й експерименти підтверджують основні положення МКТ?
5. Що таке броунівський рух? Про що свідчить броунівський рух?
6. Що називають дифузією? Наведіть приклади дифузії в газах, рідинах і твердих тілах.
7. Назвіть основні властивості газів, рідин, твердих тіл.

Поміркуй

*1. Які загальні закономірності природи застосуєте до пояснення основних положень МКТ? Яка при цьому проявляється ваша компетентність? Наукове мислення?

§ 34. Маса та розміри молекул

Основні знання параграфа: маса та розмір молекул, кількість речовини, стала Авогадро.

Маса та розмір молекул. У світі молекул, або у мікросвіті, ми зустрічаємося з великою кількістю дуже малих частинок. Встановлено, що в 1 см^3 будь-якого газу за нормальних умов ($0 \text{ }^\circ\text{C}$ і 760 мм. рт. ст.) міститься близько $2,7 \cdot 10^{19}$ молекул. Величезна кількість молекул в одиниці об'єму свідчить про дуже малі розміри і маси самих молекул. Діаметром молекули прийнято вважати мінімальну відстань, на яку їм дають можливість зблизитися сили відштовхування. Більшість молекул неорганічних речовин мають діаметр $d \approx 10^{-10} \text{ м}$ і масу $m = 10^{-26} \text{ кг}$. Розміри в мікросвіті вимірюють також одиницею довжини, яка називається ангстрем і позначається так: Å . $1 \text{ Å} = 10^{-10} \text{ м}$.

Оскільки маси молекул неорганічних речовин дуже малі, то в розрахунках краще використовувати не абсолютні значення мас, а відносні. Тому для зручності розрахунків ввели поняття «відносна атомна (молекулярна) маса» $M_r(A_r) = \frac{m_0}{1/12 m_0(\text{C}^{12})}$, де $M_r(A_r)$ – відносна молекулярна (атомна) маса; m_0 – маса атома або молекули довільної речовини; $1/12 m_0(\text{C}^{12})$ – 1 а. о. м. $= 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$ – маса 1/12 частини маси атома Карбону.

Величину $1/12 m_0(C^{12})$ використовують для порівняння з масою молекули (атома) через те, що Карбон є поширеним елементом, на цю величину майже націло діляться всі маси атомів інших хімічних елементів.

Абсолютні значення атомних мас різних хімічних елементів, лежать у межах $10^{-25} - 10^{-27}$ кг, а їхні відносні маси, наведені у Періодичній таблиці хімічних елементів Д.І. Менделєєва, – у межах $1-10^2$ а. о. м.

Щоб остаточно впевнитися в реальності існування молекул, треба визначити їх розміри. Для цього розглянемо розпливання краплі маслинової оливи об'ємом V на поверхні чистої води. Можна припустити, що, розпливаючись по максимальній площі, олива утворює шар завтовшки в діаметр молекули. Вимірюючи площину плівки S за максимального розпливання оливи, з відношення $d = \frac{V}{S}$ можна оцінити розміри молекул. Цим способом було оцінено розмір (діаметр) молекул оливи,
 $d \approx 4 \cdot 10^{-9}$ м.

Сучасними методами уже знайдено розміри значно менших молекул. Наприклад, лінійні розміри молекул кисню становлять $3 \cdot 10^{-10}$ м, а молекули водню – $2,6 \cdot 10^{-10}$ м.

Кількість речовини. Оскільки будь-яке тіло складається з величезної кількості окремих частинок, тому у молекулярній фізиці виникла потреба введення відносної величини — **кількості речовини ν** , що прямо пропорційна до кількості частинок, тобто структурних елементів, що містяться в тілі. Одиницею кількості речовини є моль – одна з основних одиниць Міжнародної системи фізичних одиниць (СІ). Один моль – це така кількість речовини, що містить стільки ж структурних елементів будь-якої речовини, скільки міститься атомів у 12 г ізотопу Карбону (C^{12}).

Стала Авогадро. В 1 молі будь-якої речовини міститься однакова кількість структурних елементів (молекул, атомів, іонів тощо). Цю кількість називають **сталою Авогадро** на честь італійського вченого ХІХ сторіччя: $N_A = 6,02 \cdot 10^{23}$ (1/моль)

Кількість молів структурних одиниць речовини знаходять за формулами:

$$\nu = \frac{N}{N_A} = \frac{m}{\mu}, \quad (4.1)$$

де N – кількість молекул або атомів (структурних одиниць) в певній масі речовини; m – маса речовини; μ – молярна маса – маса одного моля структурних одиниць речовини.; $\mu = m_0 N_A$ (маса однієї молекули, помножена на сталу Авогадро) або $\mu = M_r \cdot 1 \text{ а о м} \cdot N_A$;

$$\mu = M_r \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$$

Для молекули H_2O : $\mu = 18 \cdot 10^{-3}$ кг/моль або 18 г/моль.

Із рівняння (4.1) одержимо вираз для розрахунку кількості атомів або молекул у тілі певної маси m :

$$N = \frac{m}{\mu} N_A.$$

На основі попередніх понять, вважаючи молекулу кулею, можна знайти наближене значення її діаметра з таких міркувань. Густина будь-якої речовини

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{\mu}{V_\mu}, \quad (4.2)$$

де $V_\mu = V_0 N_A$ – молярний об'єм; V_0 – об'єм однієї молекули.

Вираз (4.2) після перетворень набуде вигляду

$$\rho = \frac{\mu}{\frac{4}{3}\pi R^3 N_A} = \frac{6\mu}{\pi d^3 N_A}. \quad (4.3)$$

Із формули (4.3) знаходимо вираз для наближеного розрахунку діаметра молекули будь-якої однорідної речовини ($\rho = \text{const}$):

$$d = \sqrt[3]{\frac{6\mu}{\pi\rho N_A}}.$$

Перевір себе

1. Який порядок величини діаметра і маси молекул неорганічних речовин?
2. Чому молекулярна фізика використовує відносні величини для вимірювання маси? Що називають відносною молекулярною масою? Яка формула виражає це поняття?
3. Що таке кількість речовини? Яка формула виражає зміст цього поняття? Яка одиниця кількості речовини? Дайте визначення цієї одиниці.
4. Що називають сталою Авогадро? Чому вона дорівнює?
5. Що таке молярна маса речовини? Яка формула виражає зміст цього поняття? Яка одиниця молярної маси?
6. За якою формулою визначають кількість молекул у довільній масі речовини?

Вправа 21

1. Визначити молярну масу води. Скільки молів молекул води міститься в 1 кг води? Скільки молекул води міститься в 1 м³ води? Розрахувати масу і об'єм однієї молекули води.

Відповідь: $\mu = 18 \cdot 10^{-3}$ кг/моль, $V_0 = 3,0 \cdot 10^{-29}$ м³; $v = 55,6$ моля; $N = 3,34 \cdot 10^{28}$ молекул; $m_0 = 3,0 \cdot 10^{-26}$ кг.

2. Який об'єм займуть $1,0 \cdot 10^{22}$ атомів алмазу?

Відповідь: $V = 0,57 \cdot 10^{-7}$ м³.

3. За 10 діб з посудини випарувалося 100 г води. Яка середня кількість молекул води вилітала з поверхні щосекунди ?

Відповідь: $N = 4 \cdot 10^{18} \text{ с}^{-1}$.

§35. Ідеальний газ. Основне рівняння молекулярно-кінетичної теорії ідеального газу

Основні знання параграфу: мікроскопічні і макроскопічні параметри стану, ідеальний газ, тиск газу, основне рівняння молекулярно-кінетичної теорії ідеального газу.

Мікроскопічні і макроскопічні параметри стану. Сформульовані вище основні положення МКТ спочатку були застосовані до найпоширенішого і найпростішого за будовою стану речовини – газоподібного. За її допомогою на основі здобутих експериментальних результатів з дослідження газів була побудована **молекулярно-кінетична теорія газів**. Індивідуальні характеристики молекул газу називають **мікроскопічними параметрами**. До них відносяться маса молекул, їх швидкість і кінетична енергія хаотичного поступального руху. Параметри газу як фізичного тіла, що вивчається звичайними методами механіки і термодинаміки, називаються **макроскопічними параметрами**. До них відносяться об'єм, тиск і температура. Одним із важливих завдань молекулярно-кінетичної теорії було встановлення зв'язку між макроскопічними і мікроскопічними параметрами газу. Для виконання цього завдання в молекулярно-кінетичній теорії використовувалася модель **ідеального газу**.

Ідеальний газ. **Ідеальний газ** – це газ, в якому молекули можна вважати матеріальними точками. У цій моделі передбачалося, що об'єм всіх молекул газу дуже малий порівняно з об'ємом посудини, між молекулами не діють сили притягання, а під час зіткнень молекул між собою і зі стінками посудини діють сили відштовхування. Час зіткнень дуже малий, набагато менший, ніж час руху молекул між зіткненнями. Вважають, що між зіткненнями молекула рухається рівномірно і прямолінійно. Зіткнення молекул між собою та зі стінками посудини відбуваються за законами пружних ударів. Таким чином, моделлю такого газу є сукупність матеріальних точок, які хаотично рухаються, взаємодіють між собою і стінками посудини лише під час безпосереднього зіткнення. Молекули газу мають форму куль певної маси, що рівномірно розподілені по всьому об'єму посудини, у якій міститься газ. Цей рівномірний розподіл молекул ідеального газу у всьому об'ємі зумовлений безперервним хаотичним рухом молекул. Найближче всього ця модель газу відповідає

властивостям одноатомних газів, що знаходяться при тисках близьких до атмосферного, і температурах від $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$ до декількох тисяч градусів.

За звичайних умов власний об'єм молекул газу значно менший за об'єм посудини, в якій він міститься. Через це гази легко стискаються. Вони не мають власної форми і заповнюють увесь об'єм посудини, в якій містяться. Усі гази за не дуже високих тисків і низьких температур є близькими за своїми властивостями до ідеального газу. При високих тисках молекули газу настільки зближуються, що нехтувати їхніми власними розмірами не можна. При зниженні температури кінетична енергія молекул зменшується і приблизно дорівнює їх потенціальній енергії взаємодії, отже при низьких температурах знехтувати потенціальною енергією не можна. Таким, чином, при високих тисках і низьких температурах газ не може вважатися ідеальним. Такий газ називають **реальним**. Реальні гази набувають властивостей ідеального газу при значному розрідженні, коли середня відстань між молекулами набагато більша за їх розмір. Поведінка реального газу описується законами, що відрізняються від законів ідеального газу.

Тиск газу. З курсу фізики 7 класу ви знаєте, що тиск газу на стінки посудини (чи будь-яку іншу поверхню) зумовлений ударами молекул. У результаті удару кожна молекула передає стінці посудини імпульс і, таким чином, діє на неї з певною дуже малою силою. У свою чергу стінка діє на молекулу з такою самою силою у протилежному напрямі. При малій кількості молекул у посудині ці удари відбуваються зі значними (у молекулярному масштабі) інтервалами часу, і це сприймається не як безперервна дія, а як ряд послідовних дуже малих дій. При великій кількості молекул, що реально, крім штучно створюваних умов високого вакууму, ці удари відбуватимуться безперервно. Нескінченно малі дії окремих молекул додаються, і результуюча дія сприймається як практично постійно діюча сила. Усереднена за часом результуюча сила дії молекул на одиницю площі посудини і є тиском газу.

Оскільки величезна кількість молекул газу рухається хаотично, то відбувається у середньому однакова кількість ударів у будь-якому напрямі, а отже тиск на всі стінки посудини має бути однаковим, про що говорить закон Паскаля. За одиницю тиску в СІ приймають такий тиск, при якому на 1 м^2 поверхні нормально до неї діє сила в 1 Н . Цю одиницю називають паскаль: $1\text{ Па} = 1\text{ Н/м}^2$. Використовують і позасистемні одиниці. Вимірюють тиск газу нижчий і вищий атмосферного за допомогою манометрів, атмосферний – барометрами.

Основне рівняння молекулярно-кінетичної теорії ідеального газу. Використовуючи модель ідеального газу, німецький фізик Рудольф Клаузіус вивів рівняння, що встановлює зв'язок між тиском ідеального газу p , масою молекули m_0 , концентрацією молекул n і середнім квадратом швидкості $\langle v^2 \rangle$. Це рівняння називається **основним рівнянням молекулярно-кінетичної теорії ідеального газу**.

Нехай всередині посудини, площа стінки якої S , міститься ідеальний одноатомний газ з молекулами масою m_0 кожна, які хаотично рухаються зі швидкостями v_i .

Загальна кількість молекул в посудині N , а через $\sqrt{\langle v^2 \rangle}$ позначимо середню квадратичну швидкість їх руху:

$$\langle v_{\text{ср}} \rangle = \sqrt{\langle v \rangle^2} = \sqrt{\frac{v_1^2 + v_2^2 + v_3^2 + \dots + v_n^2}{N}} \quad (4.4)$$

Експеримент свідчить, що у випадку незмінної температури посудини і газу в ній швидкість залишається також сталою, тому для спрощення доведення вважатимемо, що кожна молекула має одну й ту саму швидкість v , яку визначають за формулою (4.4).

Вектор \vec{v} має три складові v_x, v_y, v_z вздовж взаємно перпендикулярних осей Ox, Oy, Oz у декартовій системі координат (мал. 3. 7).

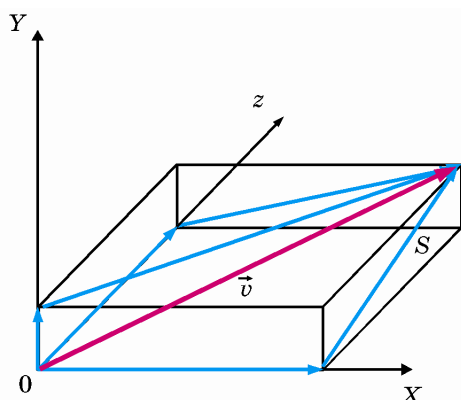
Квадрат вектора швидкості пов'язаний з його компонентами таким співвідношенням

$$v^2 = v_x^2 + v_y^2 + v_z^2.$$

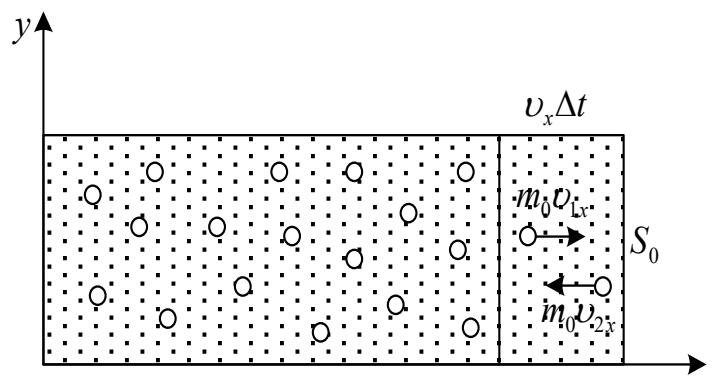
Повна хаотичність руху дозволяє стверджувати, що рух за всіма напрямками відбувається з однаковою швидкістю, тому $v_x = v_y = v_z$, а $v^2 = 3v_x^2$, $v_x^2 = \frac{1}{3}v^2$.

Припустімо, що молекули газу рухаються від однієї грані до іншої без зіткнень. Під час зіткнення зі стінками посудини молекули ідеального газу взаємодіють з ними за законами механіки як абсолютно пружні тіла. Молекула діє на стінку із силою F_2 , що дорівнює за третім законом Ньютона силі F_1 , з якою стінка посудини діє на молекулу і протилежна їй за напрямком.

Нехай молекула масою m_0 рухається в напрямі стінки посудини, площа якої S_0 (мал. 3.8).



Мал. 3.7. Проекції швидкості на координатні вісі



Мал. 3.8. До виведення основного рівняння МКТ

Пружно вдарившись об стінку, вона передає їй імпульс:

$$F_1 \Delta t = m_0 v_{2x} - m_0 v_{1x} = m_0 v_x - (-m_0 v_x) = 2m_0 v_x.$$

За час Δt стінки посудини можуть досягти лише ті молекули, які знаходяться в об'ємі:

$$V = S v_x \Delta t. \quad (4.5)$$

Оскільки в цьому об'ємі половина молекул рухається до стінки, а половина від неї, то кількість молекул Z , які вдаряться об стінку за час Δt , буде дорівнювати:

$$Z = \frac{N}{2} = \frac{nV}{2}, \quad (4.6)$$

де $n = \frac{N}{V}$ – концентрація молекул, $[n] = \text{м}^{-3}$.

Підставивши значення об'єму V із рівняння (4.5) в (4.6), отримаємо:

$$Z = \frac{n v_x \Delta t S}{2}.$$

Усі ці молекули передадуть стінці імпульс, що згідно з другим законом Ньютона дорівнює імпульсу сили:

$$F_1 \Delta t = 2m_0 v_x Z \quad \text{або} \quad F_1 \Delta t = \frac{2m_0 v_x^2 n \Delta t S}{2}.$$

Після спрощень сила F , з якою діють молекули на стінку площею S , дорівнює:

$$F = m_0 n S v_x^2.$$

Оскільки $v_x^2 = \frac{1}{3} \langle v_{\text{кв}}^2 \rangle$, а тиск $p = \frac{F}{S}$, то одержимо вираз основного рівняння МКТ газів:

$$p = \frac{1}{3} n m_0 \langle v_{\text{кв}}^2 \rangle. \quad (4.7)$$

Основне рівняння МКТ газів дає можливість, знаючи масу молекули m_0 , знайти середню квадратичну швидкість $\langle v^2 \rangle$ і концентрацію молекул n , розрахувати тиск, який чинить газ на стінку посудини, в якій він знаходиться. Це рівняння можна подати і в іншому вигляді, врахувавши, що $n m_0 = \frac{N m_0}{V} = \frac{m}{V} = \rho$:

$$p = \frac{1}{3} \rho \langle v^2 \rangle \quad (4.8)$$

Поділимо і помножимо праву частину рівняння (4.7) на 2:

$$p = \frac{2}{3} \frac{n m_0 \langle v^2 \rangle}{2} = \frac{2}{3} n \langle E_k \rangle \quad (4.9)$$

Тиск ідеального газу дорівнює $2/3$ добутку концентрації молекул на середнє значення кінетичної енергії хаотичного руху молекул.

Основне рівняння МКТ газів підтверджує той факт, що чим більша маса молекул і їх швидкості, а також концентрація, тим більший тиск вони чинять на стінки посудини. Основне рівняння МКТ газів установлює зв'язок між легко вимірюваними величинами макроскопічного параметра тиску з такими мікроскопічними параметрами, як маса однієї молекули і концентрація молекул.

Перевір себе

1. Назвіть умови, за яких газ можна вважати ідеальним.
2. Яку швидкість руху молекул називають середньою квадратичною?
3. Запишіть і поясніть фізичний зміст основного рівняння МКТ.
4. Одержіть формулу, що пов'язує тиск ідеального газу і середню кінетичну енергію руху молекули.
5. Як записується основне рівняння МКТ через середню квадратичну швидкість молекул газу і його густину?

Поміркуй

1. Чим відрізняється ідеальний газ від реального? 2. Для чого ведена ця ідеалізація?
- *2. Чим відрізняються статистичні закономірності і закони механіки?

§ 36. Молекулярно-кінетичний зміст температури

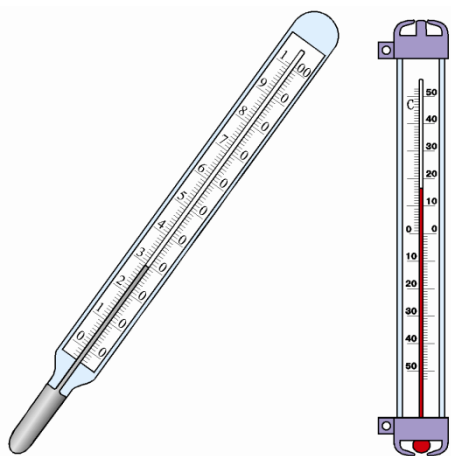
Основні знання параграфа: температура та її вимірювання, абсолютна температурна шкала, температура і середня кінетична енергія поступального руху молекул, температура та її вимірювання.

Вимірявши тільки тиск газу, не можна знати ні середнього значення кінетичної енергії молекул, ні їх концентрацію. Очевидно для знаходження мікроскопічних параметрів газу потрібно виміряти ще якусь величину, пов'язану із середньою кінетичною енергією молекул. Такою величиною у фізиці є **температура T** .

Температура – це фізична величина, про яку ви дізналися з раннього дитинства, як про ступінь нагрятості тіл (холодне, тепле, гаряче); як характеристику теплої або холодної в різні пори року погоди; як показник стану здоров'я та ін. Побутове поняття температури часто перешкоджає глибокому

розумінню її фізичного змісту. Це одна із не простих фізичних величин, до розуміння якої людство йшло протягом багатьох віків.

Температура, як термодинамічна величина, характеризує тепловий стан системи. Як молекулярно-кінетична величина вона характеризує інтенсивність хаотичного руху молекул. Вона є макроскопічним параметром, тому характеризує всю сукупність молекул, з яких складається тіло. Прилад для вимірювання температури називають **термометром**. Термометр фіксує власну температуру, яка дорівнює температурі тіла, з яким він перебуває в тепловій рівновазі. Дія термометрів ґрунтується на однозначній залежності деяких фізичних властивостей тіл від температури. Наприклад, у рідинних термометрах використовують той факт, що висота стовпчика рідини в трубці термометра лінійно зростає внаслідок підвищення температури. Ці найпоширеніші термометри мають таку будову (мал. 3.9).



Мал. 3.9. Рідинні термометри

Для градування термометра скляний балон, що переходить у капіляр, заповнений зафарбованим спиртом, толуолом або ртуттю, опускають в лід, що тане за нормальних умов ($0\text{ }^{\circ}\text{C}$, $p = 1,01 \cdot 10^5\text{ Па} = 760\text{ мм. рт. ст.}$). Після того, як між термометром і льодом наступить теплова рівновага, рух рідини в капілярі припиниться. Навпроти цього рівня на шкалі роблять відмітку $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, після чого термометр переносять в киплячу дистильовану воду за нормального тиску. Після припинення підняття рідини в капілярі термометра роблять відмітку $100\text{ }^{\circ}\text{C}$, потім відрізок між 0 і $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ ділять на 100 рівних відрізків – градусів. Для

вимірювання температури тіла термометр приводять в контакт з ним, але температура тіла може бути значно нижчою, ніж температура танучого льоду, отже, вона буде від’ємною, якщо її вимірювати за даною шкалою, названій на честь шведського астронома А. Цельсія, який її запропонував.

Абсолютна температурна шкала. У фізиці користуються переважно так званою абсолютною температурою і шкалою Кельвіна. У 1848 р. видатний англійський фізик У. Томсон (лорд Кельвін, 1824–1907) запропонував точку 0°C температурної шкали Цельсія змістити до **273,16 кельвіна**. Таку шкалу називають **абсолютною температурною шкалою** або **термодинамічною шкалою температур**.

Саме в одиницях цієї шкали – «кельвінах» – і вимірюють температуру в системі СІ. Одиниця виміру температури — кельвін є однією із семи основних одиниць цієї системи. Головна перевага цієї шкали: відсутність від’ємних температур. Перехід від шкали Цельсія до абсолютної температурної шкали такий: $T(\text{K}) = (t\text{ }^{\circ}\text{C} + 273,16)\text{ К}$, але $1\text{ }^{\circ}\text{C} = 1\text{ К}$. Градування цієї шкали виконують за точкою 0 К і $273,16\text{ К}$. Температуру 0 К називають **абсолютним нулем**, за шкалою Цельсія йому відповідає $-273,16\text{ }^{\circ}\text{C}$. Це температура, при якій має

припинитися рух молекул. Однак доведено, що навіть за абсолютного нуля молекулярний рух не припинявся б – молекули здійснюють ще й коливальні рухи. Досягти абсолютного нуля неможливо – це один із основних законів природи. Тим більше неможливо дістати температуру, нижчу за абсолютний нуль. Чим ближча температура охолоджуваного тіла до абсолютного нуля, тим важче проходить подальше охолодження. Наразі за допомогою сучасних методів вдалося досягти найнижчої температури – 0,0001 К.

Температура 273,16 К – потрійна точка води. Це температура, при якій вода знаходиться у рівновазі одночасно у трьох агрегатних станах. Один кельвін дорівнює 1/273,16 частини термодинамічної температури потрійної точки води.

Температура і середня кінетична енергія поступального руху молекул газу. Температура тіла і швидкість руху його молекул тісно пов'язані. Чим вища температура тіла, тим швидше рухаються його молекули, тим більша їх кінетична енергія.

Австрійський фізик Больцман, спираючись на багато дослідів, показав, що середня кінетична енергія поступального руху молекул газу лінійно залежить від температури. Для одноатомного ідеального газу ця залежність набуває вигляду

$$\langle E_k \rangle = \frac{3}{2} kT, \quad (4.10)$$

де $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К – стала Больцмана.

Стала Больцмана – це фундаментальна фізична стала, яка чисельно дорівнює зміні кінетичної енергії однієї молекули ідеального газу зі зміною температури газу на 1 К.

Для вимірювання температури можна використати довільні одиниці енергії. Проте історично склалося так, що для вимірювання температури було запропоновано спеціальні одиниці – градуси. Причина цього в тому, що вимірювати температуру навчилися раніше, ніж було з'ясовано її фізичний зміст. Саме стала Больцмана є тим коефіцієнтом, який переводить одиниці енергії в градуси.

Абсолютна температура – фізична скалярна величина, яка є мірою середньої кінетичної енергії хаотичного поступального руху молекул.

Температура – це макроскопічний параметр, який характеризує внутрішній тепловий стан тіла і визначається рухом величезної кількості його структурних елементів (атомів, молекул тощо). У цьому розумінні температура є статистичною величиною і тому поняття температури має сенс лише для колективу молекул. Не можна говорити про температуру однієї або кількох (небагатьох) молекул, про «гарячі» або «холодні» молекули.

Урахувавши рівняння (5.10) і раніше отримане співвідношення $p = \frac{2}{3} n \frac{m_0 \langle v \rangle^2}{2}$

, одержимо ще один вираз основного рівняння МКТ газів:

$$p = nkT, \quad (4.11)$$

де p – тиск газу; n – концентрація молекул ідеального газу; k – стала Больцмана; T – абсолютна температура газу. Співвідношення (5.11) свідчить, що гази з однаковими значеннями температури і тиску мають однакові концентрації $n_1 = n_2$ (**закон Авогадро**).

Якщо газ складається із суміші ідеальних газів, молекули кожного газу ударяють об стінку посудини незалежно одна від одної. Тиски газів, які складають суміш (парціальні тиски), додаються. Тиск суміші газів дорівнює сумі тисків кожного з газів:

$$p = n_1 k T + n_2 k T + \dots + n_n k T = p_1 + p_2 + \dots + p_n, \quad (4.12)$$

де p_1, p_2, \dots, p_n – тиск, який чинить кожен газ окремо від інших і називається **парціальним**. Це твердження вперше сформулював англійський фізик і хімік Д. Дальтон (1766 – 1844) і тому закон його імені формулюється так: **тиск суміші ідеальних газів дорівнює сумі парціальних тисків газів, що входять до складу неї**. Так, атмосферний тиск складається із парціальних тисків азоту, кисню та інших газів.

Перевір себе

1. Які параметри характеризують стан макроскопічних тіл?
2. Наведіть приклади теплової рівноваги тіл, що оточують вас у повсякденному житті.
3. Що таке температура і що вона характеризує?
4. Який фізичний зміст сталої Больцмана? Чому вона дорівнює?
5. Що називають абсолютним нулем температури? Який фізичний зміст цього поняття з погляду МКТ?
6. Запишіть і поясніть формулу, що показує залежність тиску газу від його температури і концентрації молекул.

§ 37. Швидкість молекул газу

Основні знання параграфа: середня квадратична швидкість, розподіл молекул за швидкостями, дослід Штерна.

Середня квадратична швидкість. Швидкості газових молекул внаслідок їхнього хаотичного руху відрізняються як за величиною, так і за напрямом. Швидкість окремої молекули у довільну мить є величиною випадковою. У молекулярно-кінетичній теорії газів користуються поняттями середньої квадратичної $\langle v_{\text{кв}} \rangle$, середньої арифметичної $\langle v \rangle$ та найбільш ймовірної ($v_{\text{н}}$) швидкості. Ці швидкості задаються для рівноважних станів газу.

Підставивши у формулу (4.10) вираз середньої кінетичної енергії, отримаємо, що середній квадрат швидкості молекул прямо пропорційний абсолютній температурі: $\langle v \rangle^2 = 3 \frac{kT}{m_0}$. Квадратний корінь із середнього квадрата швидкості

називають **середньою квадратичною швидкістю**, яку обчислюють за формулою, де R – газова стала:

$$\langle v_{\text{кв}} \rangle = \sqrt{\langle v \rangle^2} = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}}. \quad (4.13)$$

Замість m_0 підставимо у (5.13) вираз $m_0 = \frac{\mu}{N_A}$: $\langle v_{\text{кв}} \rangle = \sqrt{\frac{3kN_A T}{\mu}} = \sqrt{\frac{3RT}{\mu}}$.

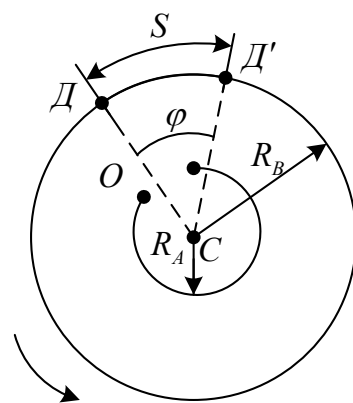
(4.14)

Середня квадратична швидкість є характеристикою хаотичного невпорядкованого руху молекул тому її ще називають **тепловою**. Її значення для газів досить великі. Середня квадратична швидкість, розрахована за формулою (5.14) для молекул азоту при $t = 0$ °С, наближено дорівнює 500 м/с, а для молекул водню – 1800 м/с.

Коли вперше дістали ці числа (друга половина XIX ст.), багато фізиків було приголомшено і висловлювалися сумніви щодо правильності молекулярно-кінетичної теорії. Адже відомо, що запахи поширюються досить повільно: потрібні десятки секунд, щоб запах парфумів, розлитих в одному кутку кімнати, досяг іншого кутка. Наразі ви можете це легко пояснити великою кількістю зіткнень між молекулами.

Теплова швидкість, як видно з формули (4.13), прямо пропорційна $\sqrt{T_0}$ і обернено пропорційна $\sqrt{m_0}$. Тому тепловий рух досить інтенсивний для молекул, помітний для мікроскопічних частинок, які здійснюють рух, і зовсім непомітний для тіл великої маси.

Дослід Штерна. Уперше швидкість теплового руху атомів **експериментально** визначив німецький вчений-фізик О. Штерн (1888-1969) у 1920 році. Він користувався приладом, схему якого зображено на мал. 3.10. Уздовж осі двох жорстко з'єднаних циліндрів різних діаметрів зі спільною віссю розміщувався платиновий дріт C , покритий шаром срібла. Внутрішній циліндр мав щілину. Дріт нагрівався під час пропускання електричного струму через нього і при $t = 1300$ °С срібло з його поверхні випаровувалось. У такий спосіб у камері циліндрів, повітря з якої заздалегідь відкачувалось до тиску $1,3 \cdot 10^{-4}$ Па, утворювався газ із атомів *Аргентуму*. У результаті на зовнішньому циліндрі навпроти щілини утворювалась срібна смужка. Її положення на мал. 3.10 відповідає точці D .



Мал. 3.10. До досліду Штерна

Потім циліндри обертали із частотою $n = 2500 - 2700$ об / с. За час t , потрібний атому для проходження шляху, що дорівнює різниці радіусів циліндрів $R_B - R_A$, циліндри поверталися на деякий кут φ . Через це атоми, що рухалися зі сталою швидкістю, потрапляли на внутрішню поверхню великого циліндра не проти щілини O (мал. 3.10), а на певній відстані S від кінця радіуса, що проходить через середину щілини до точки D' . Адже атоми рухаються прямолінійно. Утворювався горб з пологими схилами. Не тільки зміщення, а й розмиття смуги із атомів *Аргентуму* доводило, що швидкості атомів у пучку, що виходив із щілини, різні. На мал. 3.10 показано як залежить товщина шару срібла від швидкості його атомів.

Модулі швидкостей, визначені з досліду, збігаються з теоретичними значеннями середньої арифметичної швидкості молекул.

Цей фундаментальний дослід є експериментальним доказом існування атомів речовини і правильності молекулярно-кінетичної теорії в цілому.

Перевір себе

1. Виведіть формулу середньої квадратичної швидкості руху молекул газу.
2. Які молекули в атмосфері Землі рухаються швидше: молекули азоту чи молекули кисню?
3. Побудуйте схему досліду Штерна і поясніть його сутність. Запишіть формулу, за якою визначають середню швидкість руху атомів речовини в досліді Штерна.

§ 38. Рівняння стану ідеального газу (рівняння Клапейрона – Менделєєва)

Основні знання параграфа: виведення рівняння стану ідеального газу, універсальна газова стала.

Виведення рівняння стану ідеального газу

Стан газу певної маси повністю визначений, якщо відомі тиск, температура і його об'єм. Ці величини називають параметрами стану газу. У природі часто відбуваються процеси, коли одночасно змінюються усі три величини, що характеризують стан газу. Рівняння стану ідеального газу – це рівняння, що поєднує параметри стану цього газу – p, V, T . Рівняння стану ідеального газу є узагальненням дослідних фактів. Його нині можна вивести з основного рівняння МКТ у вигляді

$$p = nkT \rightarrow p = \frac{N}{V}kT \rightarrow pV = NkT \rightarrow pV = \frac{m}{\mu}N_AkT.$$

Добуток відомих вам сталої Авогадро N_A на сталу Больцмана k є сталою величиною, яку називають універсальною (молярною) газовою сталою і позначають як $R = N_A k$.

Остаточно знаходимо рівняння, яке містить тільки макроскопічні характеристики газу і є наслідком основного рівняння МКТ газів. Це рівняння називають **рівнянням стану ідеального газу** або рівнянням Клапейрона-Менделєєва: $pV = \frac{m}{\mu} RT$. (4.17)

Рівняння Клапейрона-Менделєєва є загальним рівнянням стану ідеального газу будь-якого хімічного складу і довільної маси m . Єдина величина у цьому рівнянні, що залежить від виду газу – це його молярна маса μ .

Для 1 моля ідеального газу рівняння набуде вигляду $pV_\mu = RT$, де V_μ – об'єм 1 моля газу, або молярний об'єм.

Для довільної кількості молів молекул газу ν : $pV = \nu RT$.

Якщо врахувати, що густина газу $\rho = \frac{m}{V}$, то рівняння Клапейрона-Менделєєва матиме вигляд:

$$\rho = \frac{\rho}{\mu} RT$$

Газ сталої маси може перебувати в різних станах з різними параметрами: $\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{m}{\mu} R$; $\frac{p_2 V_2}{T_2} = \frac{m}{\mu} R$.

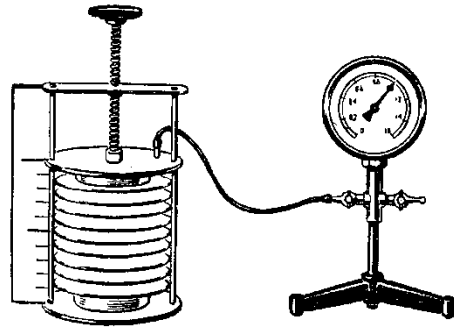
Праві частини обох виразів однакові. Порівнюючи їх ліві частини, отримаємо рівняння, справедливе для газу незмінної маси:

$$\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2}, \text{ або } \frac{pV}{T} = \text{const.} \quad (4.18)$$

Рівняння стану ідеального газу (5.18) виведене у 1834 р. французьким фізиком **Клапейроном**. Воно називається **рівнянням Клапейрона** (об'єднаним газовим законом) і формулюється так: **під час переходу газу незмінної маси з одного стану в інший добуток його тиску на об'єм, поділений на термодинамічну температуру газу, є величиною сталою.**

У 1874 р. видатний російський учений Д.І. Менделєєв удосконалив формулу (5.18), ввівши в неї макроскопічний параметр – масу. Тому рівняння (4.17) називають **рівнянням Клапейрона-Менделєєва**.

Експериментально підтвердити рівняння стану у вигляді $\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2}$ можна за допомогою установки для перевірки газових законів, основною частиною якої є **сильфон – тіло змінного об'єму** (мал 4.11).



Лише при тисках у сотні атмосфер, коли виявляє себе об'єм молекул газу, та при температурах зрідження газу внаслідок великої сили взаємодії молекул відхилення від результатів розрахунків за рівнянням стану ідеального газу стають істотними.

Універсальна газова стала. Підраховуємо значення універсальної газової сталої: $R = N_A \cdot K$, де K – стала Больцмана.

$$R = 6,02 \cdot 10^{23} \frac{1}{\text{моль}} \cdot 1,38 \cdot 10^{-23} \frac{\text{Дж}}{\text{К}} = 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}.$$

З'ясуємо її фізичний зміст. Нехай газ займає об'єм V_1 у циліндрі з поршнем (мал. 3.11) при температурі T_1 і тиску p . Будемо нагрівати газ так, щоб його температура підвищилась на 1° , тобто $T_2 = (T_1 + 1)$, а тиск залишився сталим. Тоді $p V_1 = RT_1$; $p V_2 = R(T_1 + 1)$.

$$\text{Але } V_1 = S l_1 \quad V_2 = S l_2 \quad \text{та } p = \frac{F}{S};$$

$$\frac{F}{S} S l_1 = RT_1; \quad \frac{F}{S} \cdot S l_2 = R(T_1 + 1); \quad F l_1 = RT_1; \quad F l_2 = R(T_1 + 1).$$

$$F(l_2 - l_1) = RT_1 + R - RT_1; \quad F \Delta l = A = R.$$

Отже, універсальна газова стала R – це фундаментальна фізична стала, яка чисельно дорівнює роботі ізобарного розширення одного моля ідеального газу під час його нагрівання на 1 К.

Перевір себе

1. Що таке параметри стану системи? Які величини до них належать?
2. Наведіть рівняння стану системи.
3. Виведіть рівняння Клапейрона-Менделєєва для довільної маси ідеального газу.

4. Виведіть рівняння Клапейрона. Як воно формулюється?

§ 39. Газові закони для ізопроцесів

Основні знання параграфа: ізотермічний процес, закон Бойля-Маріотта, ізобарний процес, закон Гей-Люссака, ізохорний процес, закон Шарля.

Ізотермічний процес. Закон Бойля-Маріотта. За допомогою рівняння стану ідеального газу можна досліджувати процеси, в яких маса газу і один із трьох параметрів залишаються незмінними. **Процес – це перехід системи з одного стану в інший. Кількісні залежності між двома параметрами газу за фіксованого значення третього параметра називають газовим законом.** Процеси, які відбуваються за незмінного значення одного з параметрів ідеального газу сталої маси m і певної M називають **ізопроцесами** (від грецького «ізо» — рівний, однаковий). Оскільки жоден із параметрів газу не може бути строго фіксованим, то ізопроцес – це ідеалізована модель стану ідеального газу.

Розглянемо процес, що відбувається за сталої температури. Процес зміни стану термодинамічної системи при сталій температурі називають **ізотермічним** ($m = \text{const}$, $\mu = \text{const}$, $T = \text{const}$). Якщо до ізотермічного процесу застосувати рівняння стану у вигляді (4.17), то з урахуванням сталості температури воно набуде вигляду

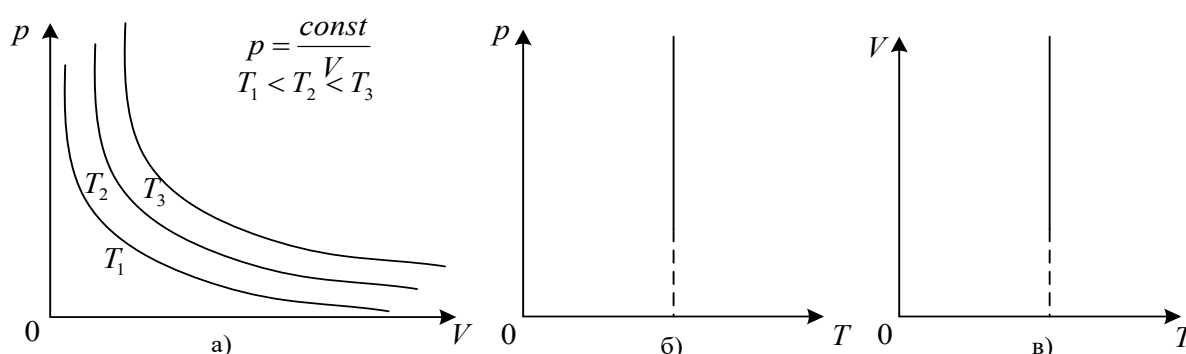
$$pV = \text{const} = \frac{m}{\mu} RT, \text{ або } p_1 V_1 = p_2 V_2, \frac{p_1}{p_2} = \frac{V_2}{V_1} \text{ при } T = \text{const} \quad (4.19)$$

Рівняння (5.19) до створення молекулярно-кінетичної теорії було здобуто з експериментів англійським фізиком Р. Бойлем (1662 р.) і незалежно французьким фізиком Е. Маріоттом (1676 р.).

Закон Бойля–Маріотта можна сформулювати так: **для ідеального газу деякої маси (сталі кількості речовини) при сталій температурі тиск газу змінюється обернено пропорційно до об'єму.** Цей закон, як і інші газові закони, є наслідком із рівняння стану газу і справедливий для будь-яких газів, які можна вважати ідеальними, а також для їх сумішей (наприклад, для повітря). Перевірити цей закон експериментально ви зможете виконавши лабораторну роботу № 4. Для підтримання сталої температури газу потрібно, щоб він міг обмінюватися теплотою з великою системою – *термостатом*. Термостатом може бути атмосферне повітря, якщо його температура помітно не змінюється протягом

процесу. Температура газу буде сталою також, якщо стискати або розширювати газ дуже повільно.

Часто закон Бойля – Маріотта записують так $p = \frac{const}{V}$. Графічно залежність тиску газу сталої маси від об'єму при умові $T = const$ можна зобразити у вигляді гіперболи (порівняйте з $y = \frac{c}{x}$), яка для цього процесу називається **ізотермою** (мал. 3.12). Різним температурам відповідають різні ізотерми – чим вища температура, тим вище на координатній площині pV знаходиться гіпербола ($T_2 > T_1$). Це корисно знати для розв'язування графічних задач.

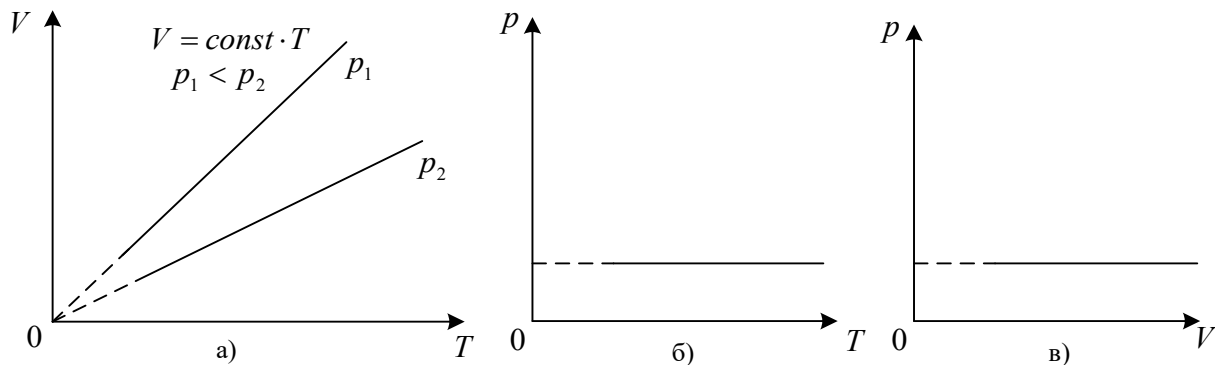


Мал. 3.12. Ізотермічний процес

На координатних площинах pT і VT ізотерми зображуються прямими, перпендикулярними до осі температур. На мал. 3.12 зображені графіки двох ізотермічних процесів в координатах p, V , p, T та V, T . Ізотермічним можна вважати процес стиснення повітря компресором або розширення під поршнем насоса газу внаслідок відкачування його з посудини.

Ізобарний процес. Закон Гей-Люссака. Процес зміни стану термодинамічної системи при сталому тиску називають **ізобарним** (від грецького слова «барос» — вага) ($m = const$, $\mu = const$, $p = const$). Щоб здійснити ізобарний процес, необхідно нагріти або охолодити газ не закріплюючи поршень в циліндрі (див мал. 3.13). Відповідно до рівняння (4.17) для **ідеального газу певної маси з незмінним тиском відношення об'єму до температури залишається сталим:**

$$\frac{V}{T} = const = \frac{m}{\mu} \cdot \frac{R}{p}, \text{ або } \frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} \text{ при } p = const \quad (4.20)$$



Мал. 3.13. Ізобарний процес

Цей закон установив експериментально у 1802 р. французький учений Гей-Люссак. Відповідно до (5.20) об'єм газу лінійно залежить від температури при сталому тиску:

$$V = \text{const} \cdot T \quad (y = ax).$$

Графік залежності об'єму від температури за сталого тиску є прямою лінією, яку називають **ізобарою**. На мал. 3.13 а зображено дві ізобари в координатах V, T за різних значень тиску p_1 і p_2 , причому $p_1 < p_2$. На Мал. 3.13 б, в наведено графіки ізобарного процесу в координатах p, T , p, V

Ізохорний процес. Закон Шарля

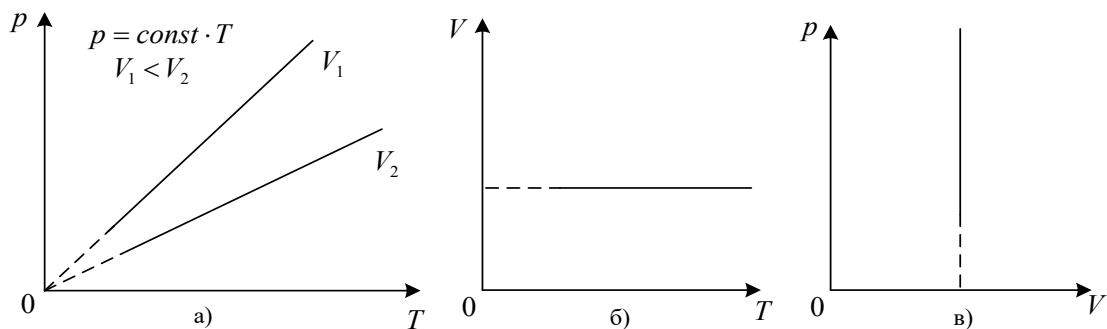
Процес зміни стану термодинамічної системи при сталому об'ємі називають ізохорним (від грецького слова «хорема» — місткість). Якщо $m = \text{const}$, $\mu = \text{const}$, $V = \text{const}$, то з рівняння стану (5.17) випливає, **що для ідеального газу певної маси з незмінним об'ємом відношення тиску газу до температури залишається сталим:**

$$\frac{p}{T} = \text{const} \quad = \frac{m R}{\mu V} \quad \text{або} \quad \frac{p_1}{p_2} = \frac{T_1}{T_2} \quad \text{при} \quad V = \text{const} \quad (4. 21)$$

У 1787 р. цей газовий закон експериментально встановив французький фізик Ж. Шарль, тому його називають **законом Шарля**. Закон можна також перевірити експериментально за допомогою установки для перевірки газових законів.

Відповідно до (4. 21) тиск газу лінійно залежить від температури при сталому об'ємі:

$$p = \text{const} T \quad y = ax \quad (\quad).$$



Мал. 3.14. Ізохорний процес

Графіком залежності тиску від температури за сталого об'єму є пряма лінія, яку називають **ізохорою**. На мал. 3.14 а в координатах p, T зображено дві ізохори за різних значень об'єму V_1 і V_2 , причому $V_1 < V_2$. На мал. 3.14 б, в наведено графіки процесу в координатах V, T і p, V .

Таким чином, ви переконалися, що газові закони Бойля-Маріотта, Гей-Люссака, і Шарля – це частинні випадки рівняння Клапейрона-Менделєєва.

Перевір себе

1. Який процес називають ізотермічним? Яким законом описується цей процес? Як формулюють і записують цей закон? Зобразіть і поясніть графіки цього закону.
2. Який процес називають ізохорним? Яким законом описують ізохорний процес? Як формулюють і записують цей закон? Зобразіть і поясніть графік цього закону.
3. Який процес називають ізобарним? Яким законом описують ізобарний процес? Як формулюють і записують цей закон? Зобразіть і поясніть графік цього закону.
4. Побудуйте ізотерму, ізохору, ізобару в координатах p, V , V, T , p, T . Використайте комп'ютер.

Поміркуй

*1. Як в газових законах проявляється закономірність направленості процесів до рівноважного стану? 2. В чому основна різниця між газовими законами і законами механіки?

§ 40. Властивості газів і їх використання

Гази мають низку властивостей, завдяки яким вони незамінні в багатьох технічних установках. Газ подібний до пружини, яка завжди стиснута. Тиск газу можна змінювати, змінюючи його об'єм або температуру. Крім того, тиск газу залежить від його маси. Збільшуючи масу газу в будь-якому замкненому об'ємі, можна підвищити тиск. Так роблять, нагнітаючи повітрям автомобільну шину або футбольний м'яч.

При цьому нагнітання повітря насосом приводило до нагрівання насоса. Яка причина цього? Може це відбувається внаслідок тертя між прокладкою і стінками насоса? Це можна перевірити, від'єднавши насос від камери і здійснивши стільки ж накачувань. Тертя залишається таким же, але відсутнє помітне зростання температури. Підвищення температури відбувається внаслідок стиснення повітря. Частина роботи, затраченої на стиснення повітря, йде на збільшення кінетичної енергії (внутрішньої енергії) молекул, і температура підвищується.

Ця властивість використовується у дизельному двигуні. Коли суміш пари дизельного пального і повітря швидко стискається, її температура стає вищою температури займання і суміш вибухає. Отже, газ – робоче тіло як теплових машин одноразової дії (вогнепальна зброя), так і періодичних (безперервних) – ракетних і парових турбін, дизельних двигунів, газових і парових турбін, двигунів внутрішнього згорання на бензині, спирті або газі. При цьому використовується розширення гарячого газу для виконання корисної для людини роботи.

Коли газ швидко розширюється, то кінетична енергія (внутрішня енергія) зменшується і газ охолоджується. Охолоджуючий ефект внаслідок розширення газів використовують для їх зрідження.

Лабораторна робота № 4 ***Вивчення ізотермічного процесу***

Мета: перевірити дослідним шляхом закон Бойля-Маріотта.

Обладнання: установка для перевірки газових законів

Теоретичні відомості

Закон Бойля-Маріотта встановлює співвідношення між тиском і об'ємом даної маси газу за сталої температури:

$$\frac{p_1}{p_2} = \frac{V_1}{V_2} \text{ або } p_1 V_1 = p_2 V_2$$

У тому, що ці співвідношення справджуються, можна переконатися за допомогою приладу, зображеного на мал. 3.11.

Герметична гофрована посудина змінного об'єму (сильфон) сполучена гумовим шлангом з манометром M , що реєструє надлишковий над атмосферним p_0 тиск p_m усередині посудини. Повітря перебуватиме у сильфоні під тиском:

$$p = (p_0 + p_m),$$

де p_0 - атмосферний тиск, p_m – надлишковий тиск.

Якщо обертати гвинт Γ , то об'єм посудини змінюватиметься. Його визначають за допомогою лінійки L , одна поділка якої відповідає одному оберту гвинта (27 см^3). Температура газу в посудині (повітря) дорівнює температурі у приміщенні фізичного кабінету і реєструється термометром. Вимірявши тиск і об'єм газу в початковому стані і після зміни його об'єму при сталій температурі, можна перевірити співвідношення (4.19).

У межах точності, що забезпечується експериментальною установкою, закон Бойля-Маріотта справджується. Лише при тисках у тисячі атмосфер відхилення результатів експерименту від тих, які відповідають закону Бойля-Маріотта, стають істотними. Газу з великою густиною навіть наближено не можна вважати ідеальними.

Виконання роботи

1. За допомогою гвинта Γ забезпечте максимальний об'єм сильфона $V_1 = 800 \text{ см}^3$.
2. Виміряйте за допомогою барометра при відкритому крані манометра атмосферний тиск і обчисліть у паскалях значення тиску p_1 .
3. Зробивши кілька обертів гвинта, зменшіть об'єм сильфона, у якому перебуває повітря при закритому крані манометра, до значення $V_2 = V_1 - n V_0$, де n – кількість обертів гвинта Γ установки, $V_0 = 27 \text{ см}^3$ – зміна об'єму сильфона, що відповідає одному обертіві.
4. За допомогою манометра знайдіть значення надлишкового тиску p_m і розрахуйте у паскалях тиск p_2 .
5. Результати вимірювань занесіть до таблиці у одиницях СІ.

№ досл.	$p_0, 10^5$ Па	$p_m, 10^5$ Па	$p = p_0 + p_m, 10^5$ Па	$V, 10^{-6} \text{ м}^3$	$pV, \text{ Па} \cdot \text{ м}^3$
1.					
2.					
3.					

6. Повторіть дослід для іншої кількості обертів гвинта.
7. Можливі вимірювання і при іншій температурі внаслідок занурення сільфона у гарячу воду.
8. Обчисліть абсолютну і відносну похибки вимірювань. Запишіть здобуті результати з урахуванням похибки вимірювання.
9. Порівняйте здобуті результати і зробіть висновок.

§ 41. Приклади розв'язування задач. Газові закони

Задачі на розрахунок параметрів стану ідеального газу можна розподілити на дві основні групи. До першої групи належать задачі, в яких у разі зміни будь-якого з параметрів маса ідеального газу залишається сталою. Причому маса газу може бути не заданою. Тоді задачі можна розв'язувати за об'єднаним газовим законом, частинним випадком якого залежно від сталих параметрів є закони Бойля-Маріотта, Гей-Люссака, Шарля.

До другої групи належать задачі із заданою або змінною масою. До них застосовний закон Клапейрона-Менделєєва, причому його записують для кожного стану ідеальних газів. Одержану систему рівнянь з урахуванням додаткових умов розв'язують відносно шуканої величини.

Задача 1. У вертикальному циліндрі знаходиться під поршнем газ при температурі 300 К. Маса поршня 4 кг, площа його 0,004 м². Якої маси вантаж потрібно покласти на поршень, щоб він залишився на місці під час повільного нагрівання газу на 50 К? Атмосферний тиск 10⁵ Па, прискорення вільного падіння 10 м/с².

Дано: *Розв'язування*

$$T_1 = 300 \text{ К,}$$

$$S = 0,004 \text{ м}^2,$$

$$m = 4 \text{ кг,}$$

$$\Delta T = 50 \text{ К,}$$

$$p_0 = 10^5 \text{ Па,}$$

$$g = 10 \text{ м/с}^2.$$

Газ під поршнем буде знаходитися у двох станах. Стан газу описується параметрами p, V, T . У першому стані тиск буде визначатися атмосферним тиском і тиском поршня:

$p_1 = p_0 + p_{\Pi}$; p_0 – задано. Тиск поршня знаходимо за

означенням тиску $p_{\Pi} = \frac{F}{S}$; $F = mg$. Отже, $p_1 = p_0 + \frac{mg}{S}$.

Температуру початкового стану задано умовою задачі. Об'єм газу вважатимемо V .

$\Delta m = ?$

У другому стані тиск p_2 збільшиться за рахунок тиску, що створюється вантажем Δm , покладеним на поршень:

$$p_2 = p_1 + \frac{\Delta mg}{S}.$$

Температуру другого стану T_2 визначаємо умовою $T_2 = T_1 + \Delta T$. Оскільки поршень залишається в попередньому стані, то об'єм буде зберігатися. Отже, для розв'язування задачі можна використати закон Шарля: $\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}$.

Підставляючи вирази для p_1 і p_2 , знаходимо

$$\frac{p_0 + \frac{mg}{S}}{T_1} = \frac{p_0 + \frac{mg}{S} + \frac{\Delta mg}{S}}{T_2},$$

де $T_2 = T_1 + \Delta T$. Звідки

$$\Delta m = \left(p_0 + \frac{mg}{S} \right) \frac{\Delta T}{T_1} \frac{S}{g}.$$

Перевіримо одиниці вимірювання:

$$[\Delta m] = \left(\text{Па} + \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}^2 \cdot \text{м}^2} \right) \left(\frac{\text{К} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{с}^2}{\text{К} \cdot \text{м}} \right) = \text{кг}.$$

Підставляючи числові дані, остаточно отримаємо:

$$\Delta m = \left(10^5 + \frac{4 \cdot 10}{0,004} \right) \cdot \frac{50}{300} \cdot \frac{0,004}{10} \approx 7,3 \text{ кг}.$$

Відповідь: $\Delta m = 7,3$ кг.

Задача 2. Скільки молекул повітря міститься в кімнаті об'ємом 240 м^3 при температурі $15 \text{ }^\circ\text{C}$ і тиску 750 мм. рт. ст. ?

Дано:

$$p_1 = 770 \text{ мм. рт. ст.} = \\ = 770 \cdot 133 \text{ Н/м}^2,$$

$$V_1 = 240 \text{ м}^3,$$

$$T_1 = 288 \text{ К},$$

$$p_0 = 760 \cdot 133 \text{ Н/м}^2,$$

$$T_0 = 273 \text{ К},$$

$$\rho_0 = 1,29 \text{ кг/м}^3,$$

$$\mu = 29 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль},$$

$$N_A = 6.02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$$

.

$$n = ?$$

Розв'язування

Щоб скласти рівняння Клапейрона, порівняємо між собою стан заданої маси повітря в двох випадках: за заданих умов p_1, V_1, T_1 і за нормальних умов p_0, V_0, T_0 .

Тоді $\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_0 V_0}{T_0}$ або, оскільки $V_0 = \frac{m}{\rho_0}$, де ρ_0 – густина за

нормальних умов, то $\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_0 m}{T_0 \rho_0}$. Звідки $m = \frac{p_1 V_1 T_0 \rho_0}{p_0 T_1}$.

Знайдемо, скільки повітря (в молях) є в цій масі:

$$n' = \frac{m}{\mu} = \frac{p_1 V_1 T_0 \rho_0}{p_0 T_1 \mu}.$$

Але відомо, що в одному молі будь-якої речовини, в тому числі і повітря, міститься число молекул, яке дорівнює числу

Авогадро N_A . Отже, повне число молекул в кімнаті дорівнює:

$$n = N_A \cdot n' = N_A \frac{p_1 V_1 T_0 \rho_0}{p_0 T_1 \mu};$$

$$n = 6.02 \cdot 10^{23} \cdot \frac{770 \cdot 133 \cdot 240 \cdot 273 \cdot 1.29}{760 \cdot 133 \cdot 288 \cdot 29} = 6 \cdot 10^{27}.$$

Відповідь: $n = 6 \cdot 10^{27}$.

Вправа 22

1. Визначити середню квадратичну швидкість розрідженого газу густиною $4,1 \cdot 10^{-2} \text{ кг/м}^3$ при тиску $5 \cdot 10^4 \text{ Па}$.

Відповідь: $\langle u_{\text{кв}} \rangle = 1900 \text{ м / с}$.

2. Під яким тиском знаходиться кисень, якщо теплова швидкість його молекул 500 м / с , а їх концентрація 10^{25} м^{-3} ?

Відповідь: $53,6 \text{ кПа}$.

3. Посудина об'ємом $20,5 \text{ м}^3$ містить суміш водню і гелію. Маса суміші 13 г , температура 27° С , тиск $5,4 \cdot 10^5 \text{ Па}$. Визначити маси водню m_1 і гелію m_2 в суміші.

Відповідь: $m_1 = 5 \text{ г}$, $m_2 = 8 \text{ г}$

4. Маємо дві посудини з газом: одна місткістю 3 л , друга – 4 л . У першій посудині газ перебуває під тиском 2 атм , а в другій – під тиском 1 атм . Під яким

тиском буде газ, якщо посудини сполучити між собою. Вважати, що температура при цьому стала.

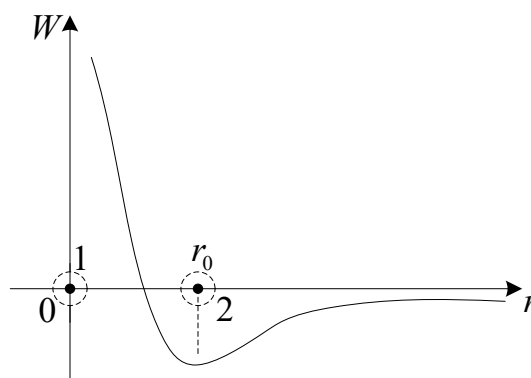
Відповідь: $p = 1,41 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2$.

§ 42. Взаємні перетворення рідин і газів

Основні знання параграфа: взаємодія атомів і молекул у газах, рідинах і твердих тілах, випаровування та конденсація, насичена і ненасичена пара, кипіння, питома теплота пароутворення, вологість повітря та її вимірювання.

Взаємодія атомів і молекул у газах, рідинах і твердих тілах. Молекули різних речовин взаємодіють силами притягання і відштовхування, що мають електромагнітну природу. Модулі цих сил залежать від відстані між молекулами. Тому потенціальна енергія W , що характеризує інтенсивність таких взаємодій, також залежить від відстані між молекулами (мал. 3. 15). Значення потенціальної енергії в точці мінімуму – від’ємне, а сили притягання та відштовхування, якщо $r = r_0$, взаємно компенсовані. Унаслідок зменшення відстані між молекулами 1 і 2 ($r < r_0$) завдяки зростанню сили відштовхування потенціальна енергія швидко збільшується, стаючи додатньою. За міжмолекулярних відстаней $r > r_0$ потенціальна енергія зростає, залишаючись від’ємною: сили притягання при цьому переважають над силами відштовхування. Коли відстань між молекулами буде в декілька разів більшою за r_0 , то потенціальна енергія, залишаючись від’ємною, стає малою і прямує до нуля.

У **газоподібному стані** середня відстань між молекулами є набагато більшою від r_0 , тому сили міжмолекулярних взаємодій істотно не впливають на рух молекул. Кінетична енергія руху молекул газу значно більша від потенціальної енергії їх взаємодії. Тому гази вільно розширюються і легко стискаються. Молекули газу рухаються хаотично (в довільних напрямках і з довільною



Мал. 3.15. Залежність потенціальної енергії від відстані між молекулами

швидкістю). Молекула, що складається з декількох атомів, під час свого поступального руху буде ще й обертатися.

У **твердому стані** відстані між молекулами (атомами) майже дорівнюють r_0 . Через значні міжатомні взаємодії атоми в твердих тілах здійснюють лише коливальний рух відносно положень рівноваги (у кристалах відносно вузлів кристалічної ґратки). Тому потенціальна енергія взаємодії молекул значно більша від їх кінетичної енергії. Тому щоб змінити об'єм твердого тіла або рідини всього лише на 1 %, необхідні величезні тиски, які перевищують атмосферний тиск у 200 (вода, спирт) – 10 000 разів (метали).

У **рідинах** сили взаємодії між молекулами слабкіші, ніж у твердих тілах і значно сильніші, ніж у газах. Молекула рідини, коливаючись біля певного положення рівноваги, змінює з часом це положення, перескакуючи до інших молекул. Молекули рідини здійснюють коливальний, поступальний і обертальний рухи. У рідинах відстані між молекулами сумірні з їх ефективним діаметром, тому сили взаємодії молекул є значними. У цілому кінетична енергія молекул рідин приблизно дорівнює їх потенціальній енергії.

Випаровування та конденсація. Отже, молекули рідини знаходяться в безперервному хаотичному русі. Якщо молекула випадково з'являється біля поверхні внаслідок підштовхування знизу іншою, то вона може набути швидкості, достатньої для подолання притягання з боку інших молекул і вийти в простір над рідиною. В цілому молекули рідини стикаються одна з одною, внаслідок чого частина з них набуває енергії, яка перевищує їхню середню кінетичну енергію. Отримавши надлишкову енергію, достатню для подолання сил міжмолекулярного притягання, і опинившись у поверхневому шарі рідини, такі молекули можуть вилетіти з неї. Таким чином, в рідині або твердому тілі при будь-якій температурі існує деяка кількість молекул (атомів), кінетична енергія яких перевищує модуль потенціальної енергії їх зв'язку з іншими частинками речовини.

Сукупність молекул, що знаходяться в просторі над рідиною, називають парою, а **процес переходу рідини в стан пари – пароутворенням**. Пароутворення відбувається двома способами – випаровуванням і кипінням.

Розглянемо спочатку **випаровування - пароутворення, що відбувається при будь-якій температурі з вільної поверхні рідини**. Це процес, при якому з поверхні рідини або твердого тіла вилітають частинки (молекули, атоми), кінетична енергія яких перевищує потенціальну енергію їх зв'язку з іншими частинками речовини. Оскільки з рідини під час випаровування вилітають найшвидші молекули, то середня швидкість тих молекул, що залишились, зменшується, тому під час випаровування рідина охолоджується. Для підтримання температури такої рідини сталою необхідно підводити тепло. Інтенсивність випаровування залежить від: площі відкритої поверхні рідини (чим

поверхня більша, тим більша кількість молекул вилітає з неї), температури, зовнішніх умов (вітер, тиск, концентрація молекул поблизу поверхні рідини). Швидкість випаровування залежить також від природи речовини, яка випаровується. Зокрема, вода випаровується швидше за олію, але ефір швидше випаровується за воду. Це пояснюється різними силами взаємодії між молекулами цих речовин. Випаровування спостерігається також у твердих тіл. Процес переходу твердого тіла (нафталін, сухий лід, кристалики йоду) одразу в стан пари, називається **сублімацією**.

Молекули пари, рухаючись хаотично, можуть набути швидкості, напрямленої, наприклад, в бік рідини, і до неї повернутись. Одночасно з випаровуванням відбувається обернений процес — процес переходу молекул пари в рідину, який називають **конденсацією**. Унаслідок конденсації затрачене для випаровування тепло повертається. Однак, якщо посудина відкрита, то молекули, які залишили рідину, можуть і не повернутися назад. У цих випадках випаровування не компенсується конденсацією і кількість рідини зменшується. Коли потік повітря над посудиною відносить пару, що утворюється, рідина випаровується швидше, оскільки в молекул пари зменшується можливість знову повернутися в рідину.

Ненасичена та насичена пара. Накриємо посудину, що містить рідину і пару. Через деякий час між рідиною і парою наступить стан теплової рівноваги. При цьому кількість молекул, що утворюють пару за час Δt , стане дорівнювати кількості молекул, які утворюють конденсат за такий самий час. Встановлюється динамічна рівновага між процесами випаровування і конденсації речовини.

Пару, що знаходиться в тепловій динамічній рівновазі зі своєю рідиною, називають насиченою. Ця назва передає ту думку, що у даному об'ємі при даній температурі не може бути вміщено більшу кількість пари. Зрідка вдається одержати насичену пару і у відчинених посудинах.

Тиск насиченої пари наближено можна розрахувати за виразом основного рівняння МКТ:

$$p = nkT .$$

Оскільки концентрація $n = \frac{N}{V}$ молекул насиченої пари не залежить від об'єму за сталої температури, то і тиск насиченої пари не залежить від об'єму, а залежить від температури. Ці закономірності встановлено експериментально. З підвищенням температури тиск насиченої пари зростає швидше, ніж тиск ідеального газу (мал. 3.16, ділянка AB), адже під час нагрівання тиск насиченої пари збільшується не тільки через підвищення температури, а й унаслідок збільшення концентрації молекул (густини) пари. Коли вся рідина випарується, пара за подальшого нагрівання стане вже ненасиченою і її тиск за сталого об'єму зростатиме прямо пропорційно абсолютній температурі (мал. 3.16, ділянка BC).

Якщо у великому об'ємі знаходиться невелика кількість рідини, то процес пароутворення переважає над процесом конденсації. Динамічна рівновага між

парою і рідиною не встановлюється і рідина з плином часу повністю перетворюється у пару. Пара, що не перебуває в стані динамічної рівноваги зі своєю рідиною, називається **ненасиченою**. Спостереження показують, що тиск і густина ненасиченої пари залежать від речовини, із якої складається пара, від температури, а також від об'єму, в якому пара знаходиться. Вона утворюється за умови, що у просторі, де є пара якоїсь рідини, може ще відбуватися випаровування цієї рідини.

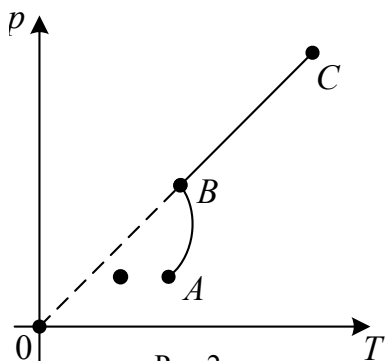
За даної температури тиск ненасиченої пари завжди менший тиску насиченої пари. Отже, найбільший тиск при даній температурі пара чинить, знаходячись у стані насичення.

Описати стан ненасиченої пари можна використовуючи закони ідеального газу, а стан насиченої пари – за рівнянням Клапейрона-Менделєєва за низьких температур і малих концентрацій:

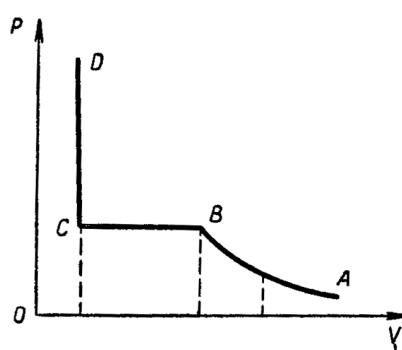
$$p_0 = \frac{\rho_0}{\mu} RT, \quad (4.22)$$

де p_0 і ρ_0 – відповідно тиск і густина насиченої пари.

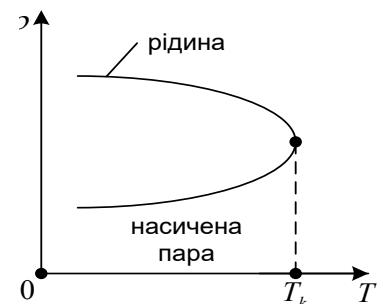
Густина і тиск насиченої пари при незмінній температурі є сталими величинами, для різних рідин – різними через відмінність сил міжмолекулярного зчеплення. Так, при 20 °C тиск насиченої пари води, молекули якої сильно притягуються одна до одної дорівнює 2,3 кПа, а тиск леткого хлороформу – 21,3 кПа.



Мал. 3.16. Залежність тиску насиченої пари від температури



Мал. 3.17



Мал. 3.18

Перехід ненасиченої пари у насичену, а потім у рідину, як і зворотній перехід рідини в насичену і ненасичену пари, може відбуватися двома способами – під час зміни об'єму пари і при зміні її температури. Перший спосіб графічно можна

зобразити так (мал. 3.17). При зменшенні об'єму ненасиченої пари при сталій температурі її тиск зростає доти, поки пара не стане насиченою. Спочатку тиск ненасиченої пари змінюється відповідно до закону Бойля-Маріотта (ділянка АВ ізотерми). Точці В відповідає стан насиченої пари. Починаючи з цієї миті, під час зменшення об'єму насичена пара конденсується в рідину, а її тиск, що не залежить від об'єму, залишається сталим (ділянка ВС ізотерми). Точка С відповідає повному переходові пари в рідину. Оскільки рідини є майже нестисливими, навіть незначне зменшення об'єму рідини пов'язане зі значним збільшенням тиску. Тому ділянка СД ізотерми, що відповідає рідині, майже паралельна осі ординат.

Кипіння. З підвищенням температури рідини інтенсивність випаровування зростає. Випаровування відбувається не тільки з поверхні рідини, але і в бульбашки повітря, яке розчинене в рідині. Особливим видом випаровування є процес **кипіння**.

Кипіння – процес утворення пари не тільки на поверхні рідини, а і в її об'ємі. Необхідною умовою кипіння є наявність в об'ємі рідини під меніском бульбашок розчиненого в ній газу або адсорбованого на стінках посудини, які відіграють таку саму роль, як пилінки або іони в процесі конденсації, тобто роль зародків. Бульбашки газу (повітря) в процесі нагрівання рідини наповнюються насиченою парою під час випаровування рідини всередину бульбашки. За звичайної температури тиск насиченої пари в бульбашках набагато менший від зовнішнього тиску. Під зовнішнім тиском слід розуміти атмосферний і гідростатичний тиски та тиск, зумовлений кривизною поверхні бульбашки:

$$p_{\text{атм}} + \rho gh + p_{\text{кр}} > p_{\text{нас}},$$

де $p_{\text{атм}}$ – атмосферний тиск; ρgh – гідростатичний тиск рідини; $p_{\text{кр}}$ – тиск, зумовлений кривизною поверхні бульбашки (тиск Лапласа).

Бульбашки повітря при невисоких температурах сплюснуті і мають мікроскопічні розміри. З підвищенням температури тиск насиченої пари в бульбашці зростає ($p = nkT$). За деякої граничної температури для кожної рідини, яку називають **температурою кипіння**, тиск пари всередині бульбашок переважає зовнішній, внаслідок чого бульбашки збільшуються в об'ємі. А коли сила Архімеда перевищує за модулем силу зчеплення бульбашки зі стінкою посудини і силу тяжіння бульбашки спливають у верхні шари рідини (наприклад води), які ще не встигли нагрітися. Оскільки бульбашки містять пару і небагато повітря, то значна частина водяної пари конденсується у воду і бульбашка зменшується. Це періодичне зменшення і збільшення бульбашок супроводжується звуками: закипаюча вода «шумить». Нарешті уся вода прогрівається і бульбашки у верхніх шарах уже не зменшуються у розмірах і

вийшовши на поверхню лопаються, викидаючи пару у простір над рідиною (мал. 4. 34). На місці цих бульбашок утворюються інші, «шум» припиняється і починається «булькання» — ми говоримо, що вода закипіла. Кипіння починається вже при температурі, що відповідає рівності $p_{\text{нас}} = p_{\text{зовн}}$. За нормальних умов термометр, вміщений в пару над кип'ячою чистою водою, весь час поки вона кипить показує одну і ту ж температуру, біля 100°C . У такий спосіб градуюють термометри.

Усі рідини мають сталу температуру кипіння, яка залежить від роду речовини і зовнішнього тиску. Температура кипіння залежить від тиску насиченої пари. Чим більший тиск насиченої пари, тим менша температура кипіння. Чим менший тиск насиченої пари, тим більша температура кипіння.

Щоб кипіння відбувалося тривалий час, треба спочатку рідину довести до температури кипіння, а потім продовжувати надавати їй теплоту, необхідну для пароутворення:

$$Q = cm + rm,$$

де c — питома теплоємність рідини, m — маса рідини, r — питома теплота пароутворення.

Питома теплота пароутворення. Під час випаровування рідини, температура якої трохи нижча за температуру навколишнього середовища, робота на подолання міжмолекулярних сил виконується за рахунок енергії, яка надходить з навколишнього середовища (через стінки посудини, з повітря тощо). Залежно від маси і будови речовини, її температури ця кількість теплоти різна. Тому і виникла потреба введення поняття питомої теплоти пароутворення (конденсації).

Питома теплота пароутворення — важлива характеристика процесів випаровування і конденсації. Це фізична скалярна величина r , що чисельно дорівнює кількості теплоти, потрібної для перетворення 1 кг рідини в пару при температурі її кипіння. Її в СІ вимірюють у джоулях на кілограм; $[r] = \text{Дж/кг}$.

Для води $r = 2,256 \cdot 10^6 \text{ Дж/кг}$ при 100°C . Під час пароутворення тепло, що підводиться до рідини витрачається на руйнування зв'язків між її молекулами.

Питому теплоту пароутворення можна визначити не тільки при температурі кипіння, а й під час пароутворення за будь-якої температури. У цьому разі питома теплота пароутворення буде залежною від температури.

Для випаровування рідини масою m їй треба надати кількість теплоти: $Q = rm$

Під час конденсації 1 кг пари буде виділятися теплота, що чисельно дорівнює кількості теплоти пароутворення з 1 кг рідини. Питома теплота пароутворення

зменшується із зростання температури і за **критичної температури** дорівнює нулю. Що ж таке критична температура ?

З підвищенням температури рідини зростає тиск насиченої пари і одночасно зростає її густина ρ_0 , а густина рідини зменшується ρ_p . За деякої температури, яку називають **критичною**, $\rho_0 = \rho_p$ (мал. 3.18). У разі критичної температури густина і тиск насиченої пари стають максимальними, а густина рідини, що перебуває в рівновазі з паром, – мінімальною.

Критична температура – це температура, за якої зникає відмінність у фізичних властивостях рідини і її насиченої пари. Цей стан називають **критичним станом речовини**. Поняття критичної температури ввів у фізику російський учений Д.І. Менделєєв, пояснивши невдачі спроб стиском при кімнатній температурі перевести у рідину водень, кисень та інші гази зі складу повітря. В Україні вперше дослідив цей стан професор Київського університету М. П. Авенаріус (1835-1895 рр.) за методом зникнення меніска.

Кожна речовина має свою критичну температуру. Наприклад, критична температура води приблизно дорівнює 375 °С.

Особливе значення критичної температури полягає в тому, що якщо температури вищі за критичну, газ не можна перетворити в рідину ні за яких значень тиску. Глибоке охолодження з наступним стисканням дало змогу дістати у рідкому стані всі гази, навіть гелій. Зрідження повітря та інших газів – важливий процес технічної фізики, адже зріджені гази застосовують для глибокого охолодження і зберігання стратегічних запасів продуктів, для відділення кисню від азоту з їх подальшим різноманітним використанням, для охолодження дослідних установок тощо.

Вологість повітря та її вимірювання. З поверхні водойм, вологого ґрунту, листків рослин, легенів і шкіри тварин та людини в атмосферу Землі випаровується величезна кількість водяної пари (10^{14} т/рік) і біля $\frac{1}{4}$ цієї води випадає у вигляді опадів на сушу. Тому атмосферне повітря завжди вологе. Атмосферне повітря є сумішшю різних газів ($N_2=78\%$, $O_2=21\%$, інертні гази, водяна пара).

Хоча водяної пари в атмосфері мало порівняно з іншими її складовими, їх значення для життєдіяльності всього живого величезне.

Від наявності водяної пари в атмосфері залежить режим випаровування з поверхні суходолу, морів. Перехід водяної пари в рідкий і твердий стан приводить до утворення туманів, хмар, опадів. Виділення теплоти конденсації, замерзання слугує внутрішнім джерелом енергії руху повітряних мас. Здатність водяної пари поглинати сонячне та інфрачервоне випромінювання Землі впливає на тепловий режим земної поверхні й атмосфери.

Для вивчення впливу на всі ці процеси потрібні оперативні дані. Вміст водяної пари в повітрі, тобто його вологість, можна охарактеризувати декількома величинами. Оскільки атмосферний тиск – це сума тиску сухого повітря і водяної пари, що є в ньому, тому тиск, який чинила б водяна пара, коли б не було інших газів, називають **парціальним тиском водяної пари**. Парціальний тиск пари ще називають пружністю. За парціальним тиском водяної пари не можна судити про те, наскільки водяна пара в цих умовах близька до насиченої. Тому ввели величину, яка показує наскільки водяна пара за певної температури близька до насичення – відносну вологість повітря.

Відносна вологість – це відношення парціального тиску водяної пари p , що міститься в повітрі за певної температури, до тиску p_n насиченої пари (за такої самої температури), виражена у відсотках:

$$\varphi = \frac{p}{p_n} \cdot 100 \%$$

Оскільки тиск насиченої пари не залежить від об'єму, але залежить від температури і ця залежність є складною, тому вона досліджена експериментально. На основі здобутих результатів складено таблиці залежності тиску насиченої водяної пари від температури. Якщо знижується температура ненасиченої пари, то її відносна вологість буде зростати без додаткового випаровування води. Знижуючи температуру повітря, можна довести пару, що в ньому перебуває, до стану насичення, що приводить до випадання роси.

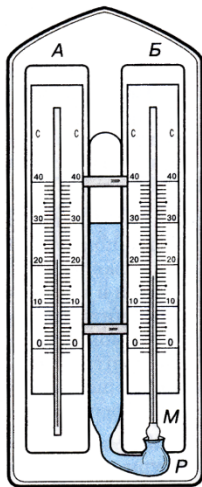
Абсолютна вологість – це кількість водяної пари в повітрі, виражена для зручності в грамах на кубічний метр (г/м^3), або це густина ненасиченої пари. Через густину пари можна знаходити й відносну вологість, адже згідно з рівнянням (5.22) тиск пари пропорційний її густині, або відносна вологість дорівнює:

$$\varphi = \frac{p}{p_0} \cdot 100 \%, \quad (4.23)$$

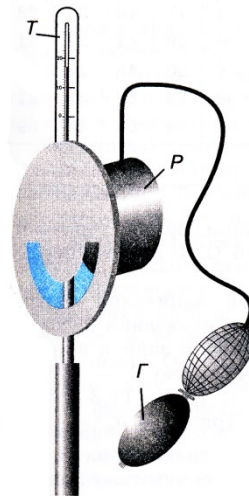
де p – відповідно густина ненасиченої пари (абсолютна вологість); p_0 – густина насиченої водяної пари.

Вологість повітря вимірюють спеціальними приладами – психрометром, гігрометром та ін. **Психрометр** (мал. 4.37) складається з двох термометрів: резервуар одного з них, який показує температуру повітря, залишається сухим, резервуар другого оточений шматком тканини, опущеної у воду. Вода випаровується і завдяки цьому термометр охолоджується. Чим більша відносна вологість φ , тим менш інтенсивне випаровування і тим вищу температуру показує термометр, оточений вологою тканиною. За різницею температур термометрів і

спеціальною таблицею можна визначити відносну вологість ϕ повітря. Найсприятливішою для організму людини є відносна вологість від 40 % до 60 %.



Мал. 3.19. Психрометр



Мал. 3.20. Гігрометр

За деякої температури ненасичена пара перетворюється в насичену (відносна вологість дорівнює 100 %). **Температура t_p , до якої треба ізобарно охолодити повітря даної вологості, щоб водяна пара стала насиченою, називається точкою роси.** Визначити точку роси можна за допомогою **гігрометра** – пристрою, що має дзеркальну поверхню. Цю поверхню охолоджують під час випаровування легкої рідини типу ефіру і приводять до конденсації пари в шарах повітря, що прилягають до дзеркальної поверхні. За виміряним термометром значенням точки роси знаходять густину пари, що відповідає абсолютній вологості ρ . Густину насиченої пари ρ_0 при температурі дослідів знаходять за спеціальними таблицями.

Вимірюють вологість також за допомогою волосяного гігрометра (мал. 3.20), дія якого ґрунтується на властивості волосини людини змінювати свою довжину у вологому повітрі. Унаслідок збільшення вологості довжина волосини зростає, а зі зменшенням вологості волосина коротшає.

Перевір себе

1. Що називають пароутворенням? Конденсацією? Випаровуванням? Парою?
2. Що розуміють під вологістю повітря?
3. Що називають абсолютною вологістю повітря? Яка формула виражає зміст цього поняття? У яких одиницях її виражають?
4. Відносна вологість повітря 70 %. Що це означає?

5. Що називають точкою роси?

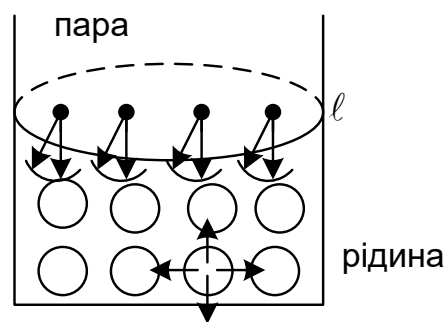
§ 43. Поверхневий натяг рідин

Основні знання параграфу: сила поверхневого натягу, змочування, капілярні явища, сила поверхневого натягу.

Будь-яка хімічно однорідна речовина може бути за одних умов у газоподібному стані, а за інших – у рідкому. Водночас за своїми властивостями газу і рідини істотно відрізняються. Рідина, як і газ, не має певної форми і набуває форми тієї посудини, в якій знаходяться, але газ не має власного об'єму V і займає будь-який наданий йому об'єм. Об'єм рідини – сталий. Газ відносно легко стискається, а рідини майже нестисливі. Можливість вільного переміщення молекул рідини одна відносно одної зумовлює їх плинність.

Найхарактернішою властивістю рідини, що відрізняє її від газу, є те, що на межі з газом рідина утворює **вільну поверхню**. На кожну молекулу рідини діють сили притягання сусідніх молекул. Ці сили для молекул, що знаходяться всередині рідини, взаємно скомпенсовані (мал. 3.20).

Рівнодійна ж сил притягання, що діє на молекули, які знаходяться на поверхні розділу, напрямлена вниз (всередину рідини), тобто молекули поверхні мають так звану надлишкову **поверхневу енергію**. Молекули поверхневого шару, товщина якого дорівнює радіусу дії молекулярних сил, чинять молекулярний тиск на рідину, стягуючи її поверхню до мінімуму. Це явище називається **явищем поверхневого натягу**. Завдяки поверхневому натягу води на її поверхні можуть утримуватися легкі навіть металеві предмети (змащене жиром лезо) і рухатися комахи-водомірки.



Мал. 3.20. Взаємодія молекул поверхневого шару рідини

На поверхні утворюється дефіцит молекул, через що відстань між молекулами набагато більша від норми, тому поверхневий шар рідини розтягнутий і між молекулами на поверхні діють сили притягання, рівнодійну яких називають **силою поверхневого натягу**. Вона направлена перпендикулярно до будь-якого елемента лінії, проведеної на поверхні, по дотичній до поверхні рідини.

Під дією сил поверхневого натягу поверхневий шар рідини намагається скоротити площу своєї поверхні до мінімальних розмірів, можливих при даному об'ємі рідини. Мінімальну поверхню серед тіл певного об'єму має куля. Тому за відсутності (або дуже малої) дії сил рідинна набуває форми кулі.

Підтвердженням цього є дослід Плато з руху краплини аніліну в посудині з розчином кухонної солі, густину якого роблять рівною густині аніліну.

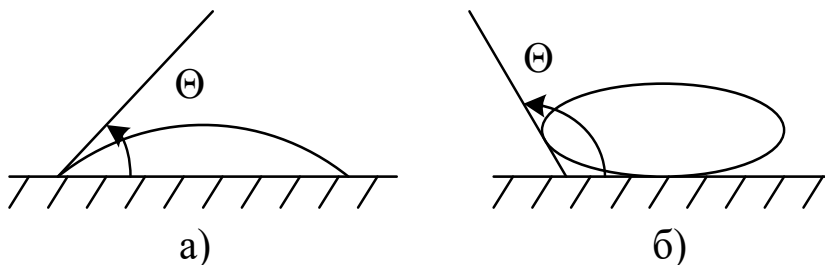
Мильні бульбашки також набирають форми кулі. Мильні плівки на дротяних каркасах різної форми утворюють різні фігури. У цих фігур спільним є те, що при заданому контурі їх поверхні мають найменші із всіх можливих площі.

Для кількісного оцінювання сили поверхневого натягу її відносять до одиниці довжини межі поверхневого шару. Нехай l – довжина лінії, вздовж якої обмежена поверхня розділу рідини, стінок посудини, в якій вона знаходиться, і повітря з парами рідини. **Коефіцієнт поверхневого натягу** дорівнює відношенню сили поверхневого натягу $F_{\text{пов}}$ до довжини лінії l , що обмежує поверхню розділу і вздовж якої вона діє по дотичній в кожній точці, перпендикулярно до будь-якого елемента лінії розділу середовищ: $\sigma = \frac{F_{\text{пов}}}{l}$ (4. 24)

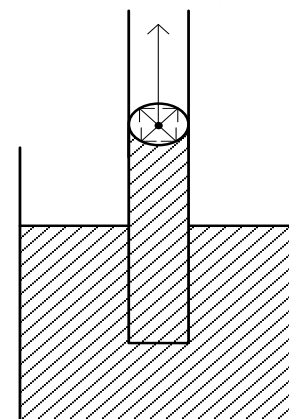
У СІ $[\sigma] = \text{Н/м}$.

Цей коефіцієнт, визначений для багатьох однорідних рідин і занесений до таблиць, не залежить від довжини контуру, а визначається фізичними властивостями рідини, її станом. Унаслідок підвищення температури коефіцієнт σ зменшується через збільшення середньої відстані між молекулами на поверхні рідини.

Змочування. Якщо рідина межує з її парою, то взаємодії між молекулами слабкіші і їх можна не враховувати. Коли поверхневий шар рідини межує з твердим тілом, то взаємодію молекул рідини і твердого тіла слід враховувати. У повсякденному житті можна спостерігати, що крапля води розпливається по чистій поверхні скла (мал. 3.21 а), але не розпливається по забрудненій жиром поверхні і має при цьому форму майже правильної кулі (мал. 3.21 б). У першому випадку говорять, що вода змочує поверхню, у другому – не змочує.



Мал. 3.21. Явища змочування і незмочування



Мал. 3.22. Підняття рідини по капіляру

Якщо взаємодія молекул рідини менша, ніж їх взаємодія з молекулами контактного твердого тіла, то маємо випадок **змочування** і навпаки, коли ця взаємодія більша – незмочування.

Одне і те ж тверде тіло одні рідини змочують, а інші не змочують. Наприклад, вода змочує скло, а ртуть скло не змочує.

Явища змочування і незмочування відіграють важливе значення в побуті і техніці; якби вода не змочувала тіло людини, то марним було б купання. Добре змочування потрібне під час фарбування і прання, паяння, збагачення руд цінних порід та інших технічних процесів.

Капілярні явища. Змочування або незмочування рідиною стінок посудини впливає на форму вільної поверхні рідини у посудині. Утворення меніска рідиною у вузьких трубках - капілярах (від латинського слова capillaris - волосний) приводить до підняття або опускання рідини в них відносно рівня рідини у посудині, в яку занурено капіляр. Ці явища називаються **капілярними**. Як же пояснити капілярні явища ?

Опустимо в рідину густиною ρ циліндричний капіляр радіусом $r \approx 1$ мм (мал. 3.22). Нехай рідину змочує стінки капіляра вздовж поверхні розділу «рідину – стінки – пара». По дотичній в кожній її точці будуть діяти сили поверхневого натягу. Рівнодійна цих сил напрямлена вгору і буде піднімати рідину в капілярі. У широких трубках таке явище не спостерігається через мале значення рівнодійної сил поверхневого натягу, які через великий радіус кривизни поверхні напрямлені переважно в площині поверхні рідини. Підняття рідини в капілярі припиниться тоді, коли сила тяжіння піднятого стовпа рідини зрівноважить рівнодійну сил поверхневого натягу:

$$F_{\text{пов}} = F_{\text{тяж}} \quad (4.26)$$

Сила поверхневого натягу $F_{\text{пов}} = 2\pi r \sigma$. Сила тяжіння $F_{\text{Т}} = mg$. Оскільки $m = \rho V = \rho \pi r^2 h$, рівність (5.26) набуде вигляду:

$$2\pi r \sigma = \rho \pi r^2 h g \quad (4.27)$$

Із рівності (5.27) знаходимо висоту підняття рідини для циліндричного капіляра:

$$h = \frac{2\sigma}{\rho r g},$$

де h – висота підняття рідини в циліндричному капілярі; σ – коефіцієнт поверхневого натягу рідини; ρ – густина рідини; r – радіус капіляра; g – прискорення вільного падіння.

Якщо рідина не змочує капіляр, то в цьому разі рівень рідини в ньому буде нижчим від рівня рідини в посудині. Різниця цих рівнів, яку також позначають через h , має таку саму залежність від σ , ρ і r , як і у разі змочування.

Капілярні явища мають велике значення в природі і техніці. Завдяки цим явищам відбувається проникнення вологи з ґрунту в стебла і листя рослин. Саме в капілярах відбуваються основні процеси, пов'язані з диханням і живленням організмів. У тілі дорослої людини приблизно $160 \cdot 10^9$ капілярів, загальна довжина яких сягає 60 – 80 тис. км.

Перевір себе

1. Що називають коефіцієнтом поверхневого натягу? Від чого він залежить? У яких одиницях вимірюється коефіцієнт поверхневого натягу в СІ?
2. Що таке сила поверхневого натягу? Яка формула виражає зміст цього поняття?
3. Виведіть формулу, за якою визначають висоту піднімання чи опускання рідини в капілярі.
4. Наведіть приклади врахування і використання капілярних систем у повсякденному житті.

§ 44. Будова і властивості твердих тіл. Рідкі кристали. Полімери

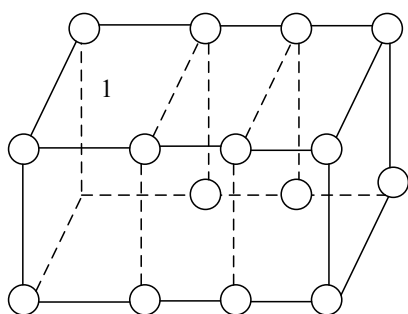
Основні знання параграфа: кристалічні та аморфні тіла, рідкі кристали та їх властивості, полімери: їх властивості та застосування.

Кристалічні та аморфні тіла. Твердими називають такі тіла, які зберігають об'єм і форму навіть під час дії на них інших тіл (сил). Причиною такої стійкості є характер руху і взаємодії молекул: вони не можуть змінювати положення своєї рівноваги, здійснюючи малі коливання і обертаючись навколо нього. Енергія і амплітуда коливань тим більша, чим вища температура тіла.

За впорядкованістю молекул відносно положення рівноваги тверді тіла поділяють на **кристалічні і аморфні тіла**. Кристалічні тіла відрізняються від аморфних своїми властивостями, зовнішнім видом і внутрішньою структурою.

Головна їх відмінність полягає у тому, що в них атоми або молекули розміщені впорядковано і утворюють періодично повторювану внутрішню структуру

(**дальній порядок**). Можна виділити маленький об'єм (елементарну комірку), завдяки якій можна побудувати весь кристал, як будинок із цегли (*мал. 3.23*). Елементарна комірка (кристалічна ґратка) може мати форму куба, паралелепіпеда, призми тощо. Правильна геометрична форма є істотною зовнішньою ознакою будь-якого кристала в природних умовах (візерунки на вікнах під час морозу, правильні форми сніжинок, кристалів кухонної солі, гірського кришталю тощо). Однак кристалічна ґратка не відображає ні взаємних відстаней частинок, ні їх відносних розмірів, але дозволяє легко уявити собі взаємне розташування центрів частинок у просторі. Насправді ж атоми, молекули та іони розташовані у кристалах щільно: вони дотикаються або навіть перекривають одне одного.



Мал. 3.23. Кристалічна ґратка *Мал. 3.24 Гірський кришталю*

Кристали однієї і тієї самої речовини можуть мати різну форму, яка залежить від умов їх утворення; вони можуть відрізнятися і кольором. Іноді увесь шматок твердої речовини може становити один кристал. Такими є, наприклад, шматочки цукру в цукровому піску, шматочки солі, гірського кришталю тощо. Усе це окремі кристали, їх називають **монокристаліями**.

Тіло, яке складається з безлічі невпорядковано розміщених кристалів, називають **полікристалічним або полікристалом** («морозні візерунки» на вікнах, цукор рафінад, метали тощо). Полікристалічні тіла, як і аморфні, є **ізотропними**, тобто їх фізичні властивості в усіх напрямках однакові.

Умовно можна назвати чотири типи зв'язків між частинками в кристалах – іонний, атомний, металічний, молекулярний – і відповідно поділити тверді тіла на чотири типи кристалів.

Кристалічні ґратки металів утворюються позитивними іонами металу, які містяться в її вузлах. Електрони і додатні іони металу взаємно зв'язуються. Електрони не можуть покинути метал через притягання до позитивно

заряджених іонів металу, а кристалічні ґратки, утворені з цих атомів, не розпадаються завдяки цементуючій дії електронного газу.

Особливостями кристалів є їх **анізотропність**, тобто неоднаковість фізичних властивостей у різних напрямках. Анізотропія механічних, теплових, електромагнітних і оптичних властивостей кристалів пояснюється тим, що за упорядкованого розміщення атомів, молекул або іонів сили взаємодії між ними і міжатомні відстані виявилися неоднаковими в різних напрямках.

Кристалічні тіла мають точку плавлення. Багато властивостей кристалів і передусім їх механічні та електричні властивості дуже чутливі до дефектів у кристалічних ґратках, а також наявності в них навіть мізерних кількостей домішок.

Кристали утворюються в природних умовах і штучно. За припущеннями вчених в природних умовах багато кристалів утворилось внаслідок охолодження рідкої речовини земної кори – магми, що є розплавом різних речовин. Деякі речовини можуть утворювати досить великі кристали (*мал. 3.24*), інколи дуже правильної форми. Багато мінералів виникли з перенасичених водних розчинів. Першим серед них слід назвати кам'яну сіль *NaCl*. Товщина пластів кам'яної солі, що утворилися під час випаровування води солоних озер, досягає в деяких родовищах кількох сотень метрів.

Монокристали знайшли широке застосування в сучасній фізиці і техніці. Всі напівпровідникові прилади (діоди, транзистори) є кристалами із спеціально введеними домішками. Виникла нова галузь електроніки – молекулярна електроніка. Монокристали є основною деталлю багатьох типів сучасних приладів, які дістали назву квантових підсилювачів і генераторів (мазерів і лазерів).

Аморфні тіла – це тіла, фізичні властивості яких однакові у всіх напрямках. Прикладами аморфних тіл є шматки затверділої смоли, янтар, вироби із скла, різні сорти гуми, віск тощо. Аморфні тіла ізотропні. За своєю будовою аморфні тіла нагадують дуже густі рідини. В аморфних тіл існує **ближній порядок** у розташуванні частинок речовини. Унаслідок підвищення температури час осілого життя молекул зменшується, через що аморфне тіло поступово м'якне. Аморфні тіла не мають температури плавлення і питомої теплоти плавлення. Вони на відміну від кристалів з підвищенням температури безперервно перетворюються в рідину.

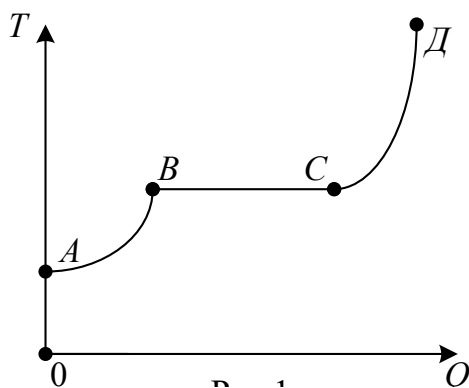
Значна відмінність кристалічних тіл від аморфних виявляється в процесах **плавлення і тверднення**. **Плавленням** називають процес переходу речовини із твердого стану в рідкий. Зворотний процес переходу речовини із рідкого стану в твердий називають **твердненням**. Досліди показують, що кристалічні тіла плавляться і тверднуть за певної для кожної речовини температури, яку

називають **температурою плавлення**. Під час нагрівання кристалічного тіла інтенсивність коливального руху молекул в кристалі підвищується, а з досягненням температури плавлення коливання стають такими інтенсивними, що молекули (атоми) вже не можуть утриматися у вузлах ґратки і вони руйнуються – відбувається плавлення. Для кожного кристалічного тіла температура плавлення своя.

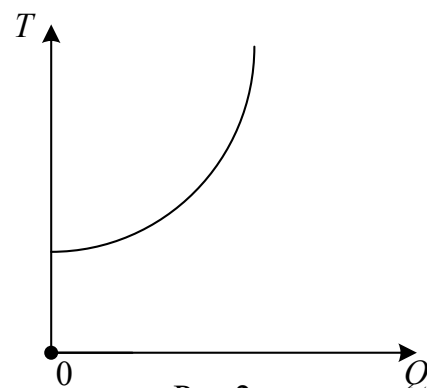
Графік залежності температури T кристалічного тіла від наданої йому (або відібраної) кількості теплоти зображено на мал. 3.25. Ділянка AB графіка відповідає твердому стану речовини і показує, що під час нагрівання (або охолодження) температура твердого тіла змінюється. Точка B відповідає температурі плавлення $T_{\text{п}}$, з досягненням якої під час нагрівання тіло починає плавитися. Ділянка BC графіка відповідає процесу плавлення (або тверднення) тіла, під час якого тіло існує частково в рідкому, частково в твердому стані. Температура тіла при цьому не змінюється. Уся кількість теплоти витрачається тільки на збільшення потенціальної енергії молекул тіла, а їх кінетична енергія не змінюється. Тому не змінюється і температура – міра середньої кінетичної енергії молекул.

Збільшення потенціальної енергії молекул призводить до руйнування кристалічних ґраток тіла, тобто до зміни агрегатного стану речовини.

Точка C відповідає повному переходу тіла в рідину під час плавлення (або початку тверднення рідини під час її охолодження). Ділянка CD графіка відповідає рідкому стану речовини і показує, що під час нагрівання (або охолодження) температура рідини змінюється.



Мал. 3.25. Графік залежності температури кристалічного тіла від кількості теплоти



Мал. 3.26. Графік залежності температури аморфного тіла від кількості теплоти

Спостереження показують, що температура плавлення залежить від тиску. Якщо плавлення речовини супроводжується збільшенням її об'єму (що

спостерігається у більшості речовин), то зі збільшенням зовнішнього тиску температура плавлення цієї речовини підвищується. Якщо ж плавлення речовини супроводжується зменшенням його об'єму (наприклад, льоду, чавуну, вісмуту, сурми), то під час підвищення зовнішнього тиску температура плавлення цієї речовини знижується.

Аморфні тіла не мають певної температури плавлення або тверднення. У процесі плавлення (або тверднення) температура аморфних тіл безперервно змінюється (*мал. 3.26*).

Друга особливість аморфних тіл – це їх **пластичність**, тобто вони не мають межі пружності. Аморфний стан нестійкий: через деякий час аморфна речовина переходить в кристалічний стан. Але часто цей час буває дуже тривалим (роки і десятиріччя). До таких тіл належить скло. Будучи спочатку прозорим, протягом багатьох років воно мутніє: у ньому утворюються дрібні кристалики силікатів. При низьких температурах властивості аморфних тіл більш близькі до кристалічних тіл, а при високих температурах – до рідин. Подібно до кристалічних тіл аморфні тіла стають дещо пружними, а подібно до рідин вони здатні мати плинність.

Швидко розвивається вивчення, виготовлення і технічне використання аморфних металів, які дістають над швидким охолодженням струмини чи крапель розплаву металу. У них високими є міцність і твердість, унікальні магнітні та інші властивості.

Рідкі кристали та їх властивості. Крім аморфного, відкрито ще один стан речовини з подвійною природою – і рідини, і твердого тіла – це так звані **рідкі кристали**, особливий стан деяких органічних речовин. Для них характерна плинність і вони утворюють краплі. Однак їх краплі можуть мати не кулеподібну, а видовжену овальну форму. Оскільки бокова взаємодія таких молекул значно перевищує взаємодію їх кінців, вони певним чином упорядковуються. Молекули у краплі розміщуються у порядку, не властивому звичайним рідинам і твердим тілам. Якщо в твердих кристалах спостерігається дальній порядок розміщення частинок у трьох взаємно перпендикулярних напрямках, то в рідких – за одним напрямом (одновісний дальній порядок). Анізотропія рідких кристалів виявляється в оптичних властивостях, їх залежності від температури, сили струму тощо. У рідких кристалів анізотропними є також поверхневий натяг, електропровідність, діелектрична і магнітна проникності. За механічними властивостями вони нагадують рідини, в'язкість яких коливається від рідкого клею до «твердого» скла.

Існують рідкі кристали в певному інтервалі температур, різному для різних речовин. Під час нагрівання вони перетворюються в звичайну рідину, внаслідок охолодження стають твердими кристалами. Температури переходу із твердого в рідкокристалічний стан різні, від -20 до $+400$ °С.

Дотепер вивчено понад 3000 речовин, що утворюють рідкі кристали. До них належать речовини біологічного походження, наприклад, дезоксирибонуклеїнова кислота, що несе код спадкової інформації, речовина мозку, мембрани клітин, віруси тощо. Подальші дослідження цих речовин не тільки розширяють їх застосування в техніці, але й допоможуть проникнути в таємниці біологічних процесів.

Рідкокристалічні пристрої з великою кількістю елементів і складною електронною схемою керування слугують телевізійними екранами, дисплеями обчислювальної техніки, літерно-цифровими індикаторами та іншими приладами.

Полімери: їх властивості та застосування. У практичній діяльності людини великого значення набули аморфні речовини, які називають **полімерами**. Це високомолекулярні сполуки. Відносна молекулярна маса полімерів може змінюватися від декількох тисяч до мільйонів одиниць. Молекули полімеру складаються із величезної кількості однакових ланок – мономерів, об'єднаних у довгі ланцюги міцними хімічними зв'язками. До них належать такі природні речовини, як бавовна, шерсть, дерево, шкіра, натуральний шовк, каучук, ебоніт тощо. Величезну кількість полімерних матеріалів видобувають штучно: віскозний шовк, синтетичний каучук, целофан, органічне скло, поліетилен, пластичні маси, штучні волокна, епоксидні смоли та ін. До природних полімерів належать і біополімери: білки, нуклеїнові кислоти. Із біополімерів побудовано клітини всіх живих організмів.

Полімери – основа гуми, лаків, фарб, клеїв, іонітів тощо. Завдяки введенню до полімерів домішок, можна створювати речовини з дуже цінними якостями: високою твердістю, легкістю, вогнестійкістю та ін.

Перевір себе

1. Назвіть основні властивості кристалічних тіл.
2. Які основні властивості аморфних тіл?
3. Що таке анізотропія? Ізотропність?
4. Чому протягом усього часу плавлення температура кристалічного тіла не змінюється?
5. Чому аморфні тіла не мають визначеної температури плавлення?

Поміркуй

1. Складіть структурну схему «Аморфні та кристалічні тіла». Використайте комп'ютер.
2. Чим відрізняються закономірності, які використовуються для пояснення властивостей газів, рідин, твердих тіл, від законів механіки (Згадай про відмінність статистичних і динамічних закономірностей).

Лабораторна робота № 5

Вимірювання відносної вологості повітря

Мета: вивчити методи вимірювання вологості повітря і за допомогою методу психрометра виміряти відносну вологість повітря у фізичному кабінеті

Обладнання: психрометр аспіраційний або побутовий, психрометрична таблиця

Теоретичні відомості

Абсолютна вологість – це кількість водяної пари в повітрі, виражена для зручності в грамах на кубічний метр (г/м^3), або це густина ненасиченої пари. Через густину пари можна знаходити й відносну вологість, адже згідно з рівнянням (4.22) тиск пари пропорційний її густині, або відносна вологість дорівнює:

$$\varphi = \frac{\rho}{\rho_0} \cdot 100 \%,$$

де ρ – відповідно густина ненасиченої пари (абсолютна вологість); ρ_0 – густина насиченої водяної пари.

Досить точно відносну вологість повітря вимірюють за допомогою психрометра. **Психрометр** (мал. 3.19) складається з двох термометрів: резервуар одного з них, який показує температуру повітря, залишається сухим, резервуар другого оточений шматком тканини, опущеної у воду. Вода випаровується і завдяки цьому термометр охолоджується. Чим більша відносна вологість φ , тим менш інтенсивне випаровування і тим вищу температуру показує термометр, оточений вологою тканиною. За різницею температур термометрів і спеціальною таблицею визначають відносну вологість повітря φ .

Виконання роботи

1. Ознайомитися з будовою психрометра, за допомогою якого буде вимірюватися відносна вологість повітря.
2. Скласти план досліду.
3. Зняти покази «вологого» і сухого термометрів і за психрометричною таблицею знайти відносну вологість повітря у приміщенні фізичного кабінету.
4. Обчисліть абсолютну і відносну похибки вимірювань. Запишіть здобуті результати з урахуванням похибки вимірювання.
5. Обчисліть кількість водяної пари в кімнаті, зробивши додаткові вимірювання.
6. Порівняйте здобуті результати і зробіть висновок.

§ 45. Приклади розв'язування задач

В особливу групу можна виокремити задачі на вологість. Їх розв'язування у більшості випадків можна звести до розв'язування задач на ідеальний газ. Треба пам'ятати, що відносну вологість φ можна визначати як через густину пари, так і через тиски.

Вологість визначається: $\varphi = \frac{p}{p_0} = \frac{\rho}{\rho_0}$, де ρ і p – відповідно густина і тиск водяної пари при заданій температурі, а ρ_0 і p_0 – густина і тиск насиченої пари при тій же температурі.

Якщо за умовою задачі пов'язані температура, тиск і густина насиченої пари, то використовують рівняння Менделєєва-Клапейрона, яке із врахуванням вологості φ набуває вигляду

$$p\varphi V = \frac{m}{\mu} RT \quad \text{або} \quad p_0\varphi = \frac{p_0}{m} RT.$$

Задача 1. У закритій посудині об'ємом $V = 200 \text{ дм}^3$ знаходиться повітря при температурі $t_1 = 25^\circ \text{C}$ з відносною вологістю $\varphi_1 = 60\%$. Яка маса водяної пари сконденсується під час охолодження посудини до температури $t_2 = 10^\circ \text{C}$? Тиск насиченої пари при 25°C $p_1 = 3,13 \cdot 10^3 \text{ Па}$, при 10°C $p_2 = 1,21 \cdot 10^3 \text{ Па}$.

Дано:

$$V = 0,2 \cdot 10 \text{ м}^3,$$

$$t_1 = 25 \text{ }^\circ\text{C} = 298 \text{ К},$$

$$\varphi_1 = 60 \%,$$

$$t_2 = 10 \text{ }^\circ\text{C} = 283 \text{ К},$$

$$p_1 = 3,13 \cdot 10^3 \text{ Па},$$

$$p_2 = 1,21 \cdot 10^3 \text{ Па}$$

$$m = ?$$

Розв'язування: Тиск водяної пари в посудині:

$$p_{\text{п}} = \varphi_1 p_1; \quad p_{\text{п}} = 0,6 \cdot 3,13 \cdot 10^3 \text{ Па} = 1,78 \cdot 10^3 \text{ Па}.$$

Отже, точка роси відповідає температурі вище $t_2 = 10 \text{ }^\circ\text{C}$. Із рівняння Клапейрона–Менделєєва випливає, що $\rho_1 = \frac{p_1 \mu}{RT_1}$ і

$$m_1 = \frac{V p_1 \mu}{RT_1}. \quad \text{Аналогічно,} \quad m_2 = \frac{V p_2 \mu}{RT_2}. \quad \text{Маса сконденсованої}$$

води

$$m = m_1 - m_2 = \frac{V \mu}{R} \left(\frac{p_1}{T_1} - \frac{p_2}{T_2} \right),$$

де газова стала $R = 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}$, молярна маса води $\mu = 0,018 \text{ кг/моль}$;

$$m = \frac{0,2 \text{ м}^3 \cdot 0,018 \text{ кг/моль}}{8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}} \left(\frac{3,13 \cdot 10^3 \text{ Па}}{298 \text{ К}} - \frac{1,21 \cdot 10^3 \text{ Па}}{283 \text{ К}} \right) = 10^{-3} \text{ кг}.$$

Відповідь: $m = 1 \text{ г}$.

Задача 2. Під час пропускання через піпетку 4 см^3 рідкої оливи здобуто 304 краплі. Діаметр отвору кінця піпетки $1,2 \text{ мм}$, густина оливи $0,9 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$. Знайти коефіцієнт поверхневого натягу оливи.

Дано:

$$V = 4 \text{ см}^3 = 4 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3,$$

$$\rho = 0,9 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3,$$

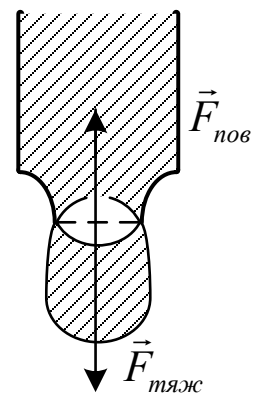
$$d = 1,2 \text{ мм} = 1,2 \cdot 10^{-3} \text{ м},$$

$$n = 304.$$

$$\sigma = ?$$

Розв'язування

Під час витікання рідини з піпетки перед відривом краплі утворюється «шийка», по якій і відбувається розрив поверхневої плівки (мал. 3.27). Вважаючи, що діаметр кінця піпетки дорівнює діаметру шийки d ,



Мал. 3.27. До задачі 2

а на краплю діють сила тяжіння $F_{\text{тяж}}$ і сила

поверхневого натягу $F_{\text{пов}}$, знаходимо: $\sigma = \frac{F_{\text{тяж}}}{\pi d}$.

Силу тяжіння $F_{\text{тяж}}$ можна визначити, знаючи об'єм витікаючої рідини V і кількість крапель n :

$$F_{\text{тяж}} = \frac{mg}{n} = \frac{\rho g V}{n}, \text{ де } m \text{ – маса витікаючої рідини; } \rho \text{ – її густина. Таким чином,}$$

$$\sigma = \frac{\rho g V}{\pi d n}; \quad \sigma = \frac{0,9 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3 \cdot 9,8 \text{ м/с}^2 \cdot 4 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3}{3,14 \cdot 1,2 \cdot 10^{-3} \text{ м} \cdot 304} = 0,03 \text{ Н/м.}$$

Відповідь: $\sigma = 0,03 \text{ Н/м.}$

Вправа 23

1. У кімнаті, об'єм якої $V = 150 \text{ м}^3$, підтримується денна температура $T_1 = 293 \text{ К}$ і відносна вологість $\phi = 60 \%$. Скільки води виділиться на вікнах, якщо вночі температура знизиться до $T_2 = 281 \text{ К}$?

Відповідь: $m = 0,387 \text{ кг.}$

2. Під час витікання із бюретонок однакових об'ємів рідини, густина якої $\rho_1 = 1030 \text{ кг/м}^3$ і $\sigma_1 = 0,073 \text{ Н/м}$, та рідини, густина якої $\rho_2 = 800 \text{ кг/м}^3$ утворилось $n_1 = 25$ крапель першої рідини і $n_2 = 80$ крапель другої. Визначити коефіцієнт поверхневого натягу другої рідини.

Відповідь: $\sigma_2 = 0,018 \text{ Н/м.}$

3. З якою швидкістю свинцева куля має вдаритися об перешкоду, щоб розплавитись, якщо до удару температура кулі була $100 \text{ }^\circ\text{C}$? Під час удару в тепло перетворюється 60% енергії кулі.

Відповідь: $v = 420 \text{ м/с.}$

НАЙГОЛОВНІШЕ У РОЗДІЛІ 3

Відповідно до основних положень молекулярно-кінетичної теорії речовини всі тіла складаються з молекул (або атомів); молекули беруть участь у безперервному хаотичному тепловому русі; між молекулами на малих відстанях, менших від власних розмірів молекул, діють сили відштовхування, а на великих – сили притягання. Ці сили діють одночасно і мають електромагнітну природу.

Атом – найменша частина хімічного елемента, що є носієм його властивостей.

Молекулою називається найменша електрично нейтральна частинка речовини, що володіє усіма її хімічними властивостями, здатна існувати самостійно.

У газах відстань між молекулами набагато більша за їхні розміри. У рідинах і твердих тілах молекули (або атоми) розміщені безпосередньо одна біля одної. У твердих тілах атоми (або молекули) розміщені в певному порядку і коливаються біля незмінних положень рівноваги. У рідинах молекули розміщені неупорядковано і час від часу «перестрибують» з одного положення рівноваги в інше.

Дифузія у газах, рідинах і твердих тілах пояснюється тепловим рухом молекул. Броунівський рух є відображенням руху молекул рідини чи газу.

За порядком величини діаметр молекул неорганічних речовин дорівнює 10^{-10} м, а їхня маса 10^{-26} кг. Оскільки маси молекул малі, а кількість їх у тілах величезна, тому їх виражають у відносних одиницях.

Установлюючи відносну молекулярну масу сполук, учені користувались кратною подільністю маси їх молекули на певний еталон маси. Із цих міркувань за еталон було взято $1/12$ маси ізотопу Карбону ^{12}C . Цю величину назвали атомною одиницею маси: $1 \text{ а.о.м.} = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$.

Кількістю речовини називають відношення кількості молекул у тілі до сталої Авогадро. Кількість речовини вимірюють у молях. Моль – кількість речовини, в якій міститься стільки ж молекул, скільки атомів є у $0,012 \text{ кг}$ Карбону.

Кількість молекул у молі речовини називають сталою Авогадро $N_a = 6,02 \cdot 10^{23} \frac{1}{\text{моль}}$.

Молярною масою називають масу речовини, взятої в кількості одного моля.

У молекулярно-кінетичній теорії ідеальним називається газ, який складається з молекул, взаємодія між якими настільки мала, що нею можна знехтувати.

Основне рівняння *МКТ* ідеального газу визначає співвідношення між тиском і мікро параметрами системи і має один з таких виглядів:

$$p = \frac{1}{3} n m_0 \langle v_{\text{кв}}^2 \rangle; p = \frac{1}{3} \rho \langle v^2 \rangle; p = \frac{\frac{2}{3} n m \langle v^2 \rangle}{2} = \frac{2}{3} n \langle E_{\text{к}} \rangle; p = n k T.$$

Його називають основним, бо з нього виводяться інші газові закони.

- для ізотермічних процесів (закон Бойля–Маріотта) – за сталої температури тиск p даної маси газу обернено пропорційний його об'єму V : $p \sim \frac{1}{V}$; $\frac{p_1}{p_2} = \frac{V_2}{V_1}$

$$(p_1 V_1 = p_2 V_2; pV = \text{const});$$

- для ізобарних процесів (закон Гей-Люссака) – відношення об'ємів даної маси газу в різних станах дорівнює відношенню абсолютних температур газу в цих станах: $\frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2}$;

- для ізохорних процесів (закон Шарля) – відношення тисків даної маси газу в різних станах дорівнює відношенню абсолютних температур газу в цих станах:

$$\frac{p_1}{p_2} = \frac{T_1}{T_2}.$$

Рівняння стану ідеального газу (об'єднаний газовий закон або рівняння Клапейрона) для даної його маси ($m = \text{const}$) визначає співвідношення

$\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2}$, а для довільної кількості газу – це рівняння Клапейрона –

$$\text{Менделєєва: } pV = \frac{m}{\mu} RT.$$

Температура є головним поняттям розділу «Молекулярна фізика і термодинаміка». Від температури залежить стан речовини, її властивості в різних агрегатних станах. Температура як макропараметр системи, що характеризує стан її термодинамічної рівноваги, може вимірюватися термометрами з різними шкалами, наприклад Цельсія чи Фаренгейта. У будь-якому термометрі застосовується зміна якогось термодинамічного параметра залежно від зміни температури. Проте у фізиці зручніше використовувати абсолютну шкалу температур, яка не залежить від властивостей термометричного тіла, і тому її можна вважати ідеальною. Між абсолютною температурою T і температурою за шкалою Цельсія t існує зв'язок: $T = t + 273$.

З позицій молекулярно-кінетичної теорії ідеального газу температура – це міра середньої кінетичної енергії поступального руху його молекул: $\langle E \rangle = \frac{3}{2} kT$

Взаємодією молекул рідин пояснюються деякі властивості рідин, що виявляються на межі рідини, твердого тіла і газу (пари): поверхневий натяг і змочування рідиною поверхні твердого тіла. Поверхневий натяг характеризують силою, прикладеною до контуру, який обмежує поверхню рідини. Цю силу називають силою поверхневого натягу. Кількісною характеристикою рідини є поверхневий натяг, який дорівнює відношенню сили поверхневого натягу до довжини межі поверхневого шару.

Поверхневий натяг і змочування є причинами капілярних явищ – підняття (опускання) рідини у трубках малого перерізу. Ці явища широко використовують у техніці, побуті та агротехніці.

Тверді тіла поділяють на кристалічні та аморфні. Тверді тіла внаслідок плавлення перетворюються в рідини, а внаслідок тверднення рідини стають твердими тілами. Кристалічні тіла при сталому тиску плавляться і тверднуть за певної температури, аморфні ж, поступово розм'якшуючись під час нагрівання, перетворюються в рідини. Аморфні тіла не мають і цілком визначеної температури тверднення. Основна макроскопічна особливість монокристалів – анізотропія їх фізичних властивостей (механічних, електричних, магнітних, оптичних). Полікристалічні й аморфні тіла ізотропні.

При поясненні явищ молекулярної фізики використовуються загальні закономірності збереження та спрямованості самочинних процесів до рівноважного стану.

Тестова самоперевірка знань з розділу «Властивості газів, рідин і твердих тіл»

I рівень

1. Встановити відповідність «формула-закон».

1) $p_1V_1 = p_2V_2$

а) Закон Клапейрона-Менделєєва

2) $\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}$

б) основне рівняння МКТ

3) $pv = \frac{m}{M}RT$

в) Закон Бойля-Маріотта

4) $p = nkT$

г) Закон Шарля

2. Відносна вологість повітря — це...

а)... температура, при якій відносна вологість становить 100° С;

б)... кількість водяної пари, що міститься в 1м³ повітря.

в)... відношення абсолютної вологості до кількості пари, необхідної для насичення 1 м³ повітря при тій же температурі.

3. В одну і ту ж рідину опущені 2 капілярні трубки, причому діаметр першої в 2 рази менший за діаметр другої.

а) рідина в трубках встановиться на одній висоті;

б) висота рідини в першій трубці у 2 рази більша, ніж у другій;

в) висота рідини в першій трубці у 2 рази менша, ніж у другій.

II рівень

4. У балоні місткістю 0,1 м³ є газ під тиском $4,9 \cdot 10^5$ Па. Який об'єм займає газ при нормальному атмосферному тиску?

а) 0,84 м³; б) 0,48 м³; в) 0,36 м³.

5. Визначити абсолютну вологість повітря, якщо його температура 15°C , а відносна вологість 80 %.
- а) $0,1 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$; б) $10,2 \cdot 10^{-2} \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$; в) $1,02 \cdot 10^{-2} \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$.
6. Маса повітря, що надходить до легень теляти за один вдих $3,5 \cdot 10^{-4}$ кг, а його об'єм 0,3 л. Чому дорівнює тиск у легенях теляти, якщо їх температура $36,7^{\circ}\text{C}$?
- а) $10,3 \cdot 10^5$ Па; б) $1,03 \cdot 10^5$ Па; в) $1,5 \cdot 10^5$ Па.

III рівень

7. Газ, що знаходиться в балоні, нагріли від 27°C до 87°C , при цьому тиск збільшився на 8 атм. Визначте початковий тиск газу в балоні. Розширенням балона знехтувати.
- а) 20 атм; б) 30 атм; в) 40 атм.
8. Знайти коефіцієнт поверхневого натягу масла, якщо при пропусканні через піпетку 4 см^3 масла одержали 304 краплі. Діаметр шийки піпетки 1,2 мм. Густина масла $0,91 \cdot 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$.
- а) $3,1 \cdot 10^{-2} \frac{\text{Н}}{\text{м}}$; б) $1,3 \cdot 10^{-2} \frac{\text{Н}}{\text{м}}$; в) $2,8 \cdot 10^{-2} \frac{\text{Н}}{\text{м}}$.
9. Балон ємністю 75 л наповнений киснем при тиску $2,4 \cdot 10^6$ Па і температурі 293 К. Газорізальник вирізав 3 фланці з листового металу, після чого тиск у балоні став $4 \cdot 10^5$ Па, а температура 283 К. Визначити масу кисню, витраченого на вирізання одного фланця.
- а) 0,4 кг; б) 0,6 кг; в) 0,8 кг.

IV рівень

10. У посудині об'ємом 100 см^3 міститься газ при 27°C . На скільки знизиться тиск газу в посудині, якщо з неї внаслідок витікання газу вийде 10^{20} молекул?
- Відповідь: $4 \cdot 10^3$ Па.
11. Сталевий і мідний стержні, довжини яких відповідно дорівнюють 1 м і 0,6 м, а переріз $1,5 \text{ см}^2$, скріплені кінцями. Визначити видовження стержнів, якщо їх розтягують із силою 400 Н.
- Відповідь: $2,87 \cdot 10^{-5}$ м.
12. У кімнаті об'ємом 150 м^3 при 20°C є водяна пара. Точка роси 10°C . Визначити масу водяної пари і відносну вологість повітря при 20°C .
- Відповідь: 1,36 кг; 52,5 %.
- 13*. Узагальніть знання з теми за допомогою СЛС, складеної на основі загальних закономірностей природи. Використайте комп'ютер.

14*. Чим закономірності молекулярної фізики відрізняються від закономірностей механіки?

РОЗДІЛ 4. ОСНОВИ ТЕРМОДИНАМІКИ

Термодинаміка – наука про температуру, теплоту і про взаємні перетворення теплоти і роботи. Це розділ молекулярної фізики, який вивчає теплові процеси без вияснення внутрішніх чинників структури речовини.

Термодинаміка була створена в середині XIX сторіччя після відкриття закону збереження енергії. Термодинаміка розглядає загальні властивості фізичних систем у стані термодинамічної рівноваги. У ній вивчається закон збереження енергії (перший закон термодинаміки), другий закон термодинаміки, а також доводиться неможливість створення вічного двигуна. Термодинаміка слугує науковою основою сучасних теплових двигунів, холодильних установок, апаратів для одержання зріджених газів. Наразі головні зусилля спрямовані на виконання найважливішого технічного завдання – підвищення коефіцієнта корисної дії (ККД) теплових двигунів. Закони термодинаміки є складовою загальних закономірностей природи – закономірності збереження та направленості процесів до рівноважного стану.

§ 46. Внутрішня енергія тіла і способи її зміни

Основні знання параграфа: енергія теплового руху, внутрішня енергія одноатомного ідеального газу, способи зміни внутрішньої енергії тіл.

Енергія теплового руху. В основі термодинаміки лежить поняття внутрішньої енергії U . Було доведено, що поряд з механічною енергією макроскопічні тіла мають ще й енергію всередині цих тіл. Ця внутрішня енергія входить до балансу енергетичних перетворень у природі. Після відкриття внутрішньої енергії був сформульований закон збереження і перетворення енергії в теплових процесах, у результаті якого внутрішня енергія може переходити в механічну і навпаки. З погляду МКТ речовини внутрішня енергія макроскопічного тіла термодинамічної системи дорівнює сумі кінетичних енергій безперервного теплового руху всіх молекул (атомів) відносно центра мас тіла і потенціальних енергій взаємодії всіх молекул одна з одною. Обчислити U , враховуючи мікропараметри майже неможливо, тому для її вираження використовують макропараметри термодинамічної системи.

Внутрішня енергія одноатомного ідеального газу. Найпростіший за властивостями – одноатомний газ. До одноатомних можна віднести інертні гази:

гелій, неон, аргон та ін. Обчислимо внутрішню енергію одноатомного ідеального газу. Оскільки молекули цього газу одна з одною не взаємодіють, то потенціальна енергія $E_p = 0$. Уся внутрішня енергія складається із кінетичної енергії руху E_k . За формулою Больцмана для одного атома $\langle E_k \rangle = \frac{3}{2}kT$. А оскільки кількість атомів дорівнює $N = \frac{m}{\mu}N_A$, то внутрішня енергія одноатомного ідеального газу $U = \frac{3}{2}kT \frac{m}{\mu}N_A$, де $kN_A = R$. Остаточо маємо $U = \frac{3}{2} \frac{m}{\mu}RT$ або $U = \frac{3}{2}pV$, де m – маса всього газу; μ – молярна маса; R – універсальна газова стала; T – термодинамічна температура; p – тиск газу; V – об'єм газу.

Внутрішня енергія ідеального одноатомного газу пропорційна температурі і не залежить від об'єму та інших макропараметрів. Зміна внутрішньої енергії маси ідеального газу відбувається тільки у разі зміни його температури T :

$$\Delta U = \frac{3}{2} \frac{m}{\mu} R \Delta T.$$

Якщо газ не одноатомний, то його молекули рухаються не тільки поступально, а й обертаються. Внутрішня енергія таких газів дорівнює сумі енергій поступального і обертального рухів.

У реальних газах, рідинах і твердих тілах середня потенціальна енергія взаємодії молекул не дорівнює нулю, тому їх внутрішня енергія залежить від об'єму речовини поряд з температурою.

Способи зміни внутрішньої енергії тіл. Внутрішню енергію термодинамічної системи можна змінити двома способами:

1) виконанням роботи; 2) теплопередачею.

Теплопередачею або **теплообміном** називають процес передачі енергії від одного тіла до іншого без виконання роботи. Теплопередача може відбуватися такими способами:

1) теплопровідність; 2) випромінювання; 3) конвекція (перемішування).

Перевір себе

1. Які тіла називають макроскопічними?
2. Що таке внутрішня енергія? Механічна енергія?
3. Чим відрізняється внутрішня енергія ідеального газу від внутрішньої енергії реального газу?

4. Від яких фізичних величин залежить внутрішня енергія тіла?
5. Наведіть приклади перетворення механічної енергії у внутрішню (і навпаки) у техніці та побуті.
6. Виведіть формулу внутрішньої енергії одноатомного ідеального газу.
7. Як визначити внутрішню енергію одноатомного ідеального газу через тиск і об'єм? Запишіть формулу.

Поміркуйте

1. Моль якого газу – водню чи гелію – за однакової температури має більшу внутрішню енергію?
2. Поясніть, як і чому змінюється твердість металів внаслідок зменшення і збільшення їх внутрішньої енергії?
3. Що називають теплопередачею чи теплообміном?
4. За допомогою комп'ютера складіть схему «Ознаки теплових явищ».
5. Чим статистичні закономірності відрізняються від знань механіки?

§ 47. Кількість теплоти. Питома теплоємність речовини

Основні знання параграфа: кількість теплоти, питома теплоємність речовини.

Кількість теплоти. Кількісну міру зміни внутрішньої енергії тіла під час теплообміну називають **кількістю теплоти** Q . У процесі теплообміну на межі між тілами відбувається взаємодія «повільних» молекул холодного тіла і «швидких» гарячого. У результаті кінетичні енергії молекул вирівнюються і швидкість молекул холодного тіла підвищується, а гарячого – знижується. Кількістю теплоти також називають енергію, яку гаряче тіло передає холодному в результаті теплообміну. Кількісні вимірювання під час теплообміну виконують за допомогою калориметра.

Питома теплоємність речовини. Якщо теплота передана тілу в результаті нагрівання чи охолодження, то експериментально встановлено, що $Q = cm(T_2 - T_1)$, де c – коефіцієнт пропорційності, **скалярна фізична величина, що називається питомою теплоємністю, яка чисельно дорівнює кількості теплоти, що відбирається або надається 1 кг речовини у разі зміни її температури на 1К:**

$$c = Q, \text{ якщо } m = 1 \text{ кг, } T_2 - T_1 = \Delta T = 1 \text{ К.}$$

Внутрішня енергія тіла підвищується, коли воно отримує певну кількість теплоти від інших тіл, які його оточують ($T_2 > T_1$). У цьому разі $Q > 0$ і $\Delta U > 0$. Якщо ж тіло віддає певну кількість теплоти тілам (холоднішим від нього), які його оточують ($T_2 < T_1$), його внутрішня енергія зменшується: $Q = \Delta U < 0$.

Одиниця кількості теплоти в СІ – джоуль: $[Q] = \text{Дж}$. Позасистемна одиниця кількості теплоти – калорія (кал). Калорію визначають як кількість теплоти, яку необхідно передати одному граму води, щоб збільшити його температуру на один градус Цельсія. $1 \text{ кал} = 4,18 \text{ Дж}$.

Питому теплоту в СІ вимірюють в джоулях на кілограм на кельвін: $[c] = \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$.

Для води $c = 4190 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$. Це досить велике значення питомої теплоємності, тому змінити температуру певної маси води досить важко. З цієї причини воду використовують як теплоносій у системах опалення. Велика теплоємність води зумовлює зменшення різких перепадів температури біля поверхні Землі, яка на 2/3 вкрита водою.

Питома теплоємність визначена для всіх тіл і залежить не тільки від властивостей речовини, але й від того, за яких умов здійснюється теплопередача. Наприклад, для нагрівання газу на 1 К при $p = \text{const}$ треба передати більшу кількість теплоти Q , ніж для його нагрівання при $V = \text{const}$.

Перевір себе

1. Що називають кількістю теплоти?
2. Наведіть формулу для розрахунку кількості теплоти, потрібної для нагрівання тіла чи відданої тілом під час його охолодження.
3. Що називають питомою теплоємністю речовини? У яких одиницях вимірюють питому теплоємність речовини?

Поміркуйте

Як експериментально визначити питому теплоємність твердої речовини?

§ 48. Робота в термодинаміці

Розглянемо інший спосіб зміни внутрішньої енергії термодинамічної системи – виконанням роботи. Виконання роботи в термодинаміці пов'язане зі зміною об'єму термодинамічної системи. Розрахуємо роботу A , яку виконує ідеальний

газ внаслідок його ізобарного нагрівання. Будемо вважати, що газ знаходиться під невагомим поршнем площею S , який рухається уздовж циліндра без тертя (мал. 4.1). Оскільки поршень не закріплений, то тиск газу p є сталим і наближено дорівнює атмосферному. Під час нагрівання на ΔT відбувається ізобарне розширення газу і його об'єм збільшується на $\Delta V = S\Delta h$, де S – площа поршня; Δh – висота підняття поршня. Оскільки з механіки відомо, що $A = |\vec{F}| \cdot |\vec{S}| \cos \alpha$, де \vec{F} – сила, що діє на тіло, яке здійснює переміщення \vec{S} , то з урахуванням рівностей $F = pS$, $\alpha = 0^\circ$, $|\vec{S}| = \Delta h$ знаходимо:

$$A = pS\Delta h = p\Delta V, \quad (5.1)$$

де ΔV – зміна об'єму газу: $\Delta V = V_2 - V_1$.

Формула (5.1) справедлива не тільки для ізобарного процесу, але і для будь-якого процесу, під час якого об'єм газу змінюється на досить малу величину ΔV .

Якщо в циліндрі під поршнем (мал. 4.1) знаходиться 1 моль ідеального газу, то робота під час його ізобарного нагрівання

$$A = p\Delta V_\mu. \quad (5.2)$$

Із рівняння Клапейрона–Менделєєва

$$pV_\mu = RT \text{ маємо } V_\mu = \frac{RT}{p}, \text{ отже:}$$

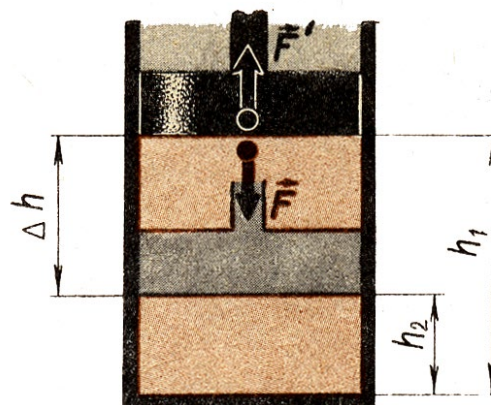
$$\Delta V_\mu = \frac{R}{p}\Delta T. \quad (5.3)$$

Підставивши у (5.2) вираз (5.3) отримаємо:

$$A_\mu = R\Delta T. \quad (5.4)$$

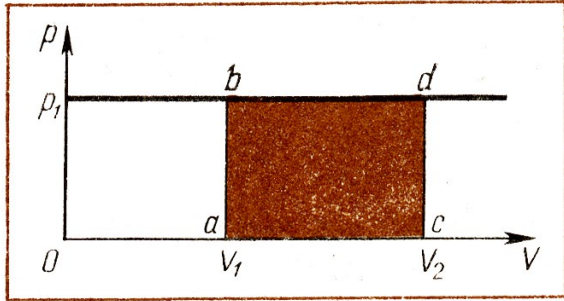
Із рівняння (5.4) при $\Delta T = 1 \text{ К}$ $R = A_\mu$. Таким чином можна сформулювати фізичний зміст універсальної газової сталої: **універсальна газова стала R чисельно дорівнює роботі ізобарного розширення одного моля ідеального газу під час нагрівання його на 1 К.**

Якщо процес ізобарного розширення газу зобразити в координатах p, V , то можна помітити, що для обчислення роботи газу достатньо визначити площу фігури під графіком в цих координатах (мал. 4.2). Робота дорівнює площі фігури під графіком і для інших процесів, якщо вони зображені в координатах p, V ,

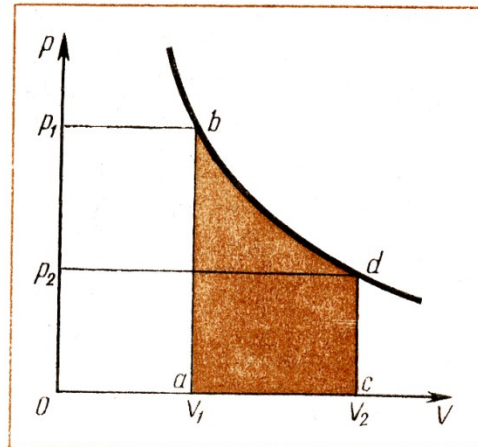


Мал. 4.1.

оскільки можна замінити, наприклад, реальний ізотермічний процес уявним ізобарним процесом, усереднюючи тиск (мал. 4.3).



Мал. 4.2



Мал. 4.3

Під час ізохорного процесу $A = 0$. Розширюючись, газ виконує додатну роботу $A > 0$, оскільки напрям сили і напрям переміщення поршня збігаються.

У процесі розширення газ передає енергію оточуючим тілам. Якщо газ стискається, то формула для роботи газу така ж сама, але $V_2 < V_1$, тому $A < 0$.

Робота A , яка виконується зовнішніми тілами над газом, відрізняється від роботи газу тільки знаком, тобто $A = -A'$ (A' – робота над газом, A – робота, яку виконує газ). Це викликано різними напрямками сили F і переміщення поршня. Отже, робота зовнішніх сил, що діють на газ $A' = -p\Delta V$. Під час стиснення газу, коли $\Delta V < 0$, $A' > 0$, зовнішні тіла, здійснюючи над газом додатну роботу, передають йому частину своєї енергії.

Перевір себе

1. Чому газ під час стиснення нагрівається?
2. Чому дорівнює робота зовнішніх сил, що діють на газ?
3. Чи виконується робота в процесі ізобарного стиснення чи розширення газу?

Поміркуйте

Поміркуйте, як графічно визначають роботу ізотермічного розширення газу.

§ 49. Перший закон термодинаміки

Основні знання параграфа: закон збереження енергії в теплових процесах, застосування першого закону термодинаміки до ізопроцесів, адіабатний процес, оборотні і необоротні теплові процеси.

Закон збереження енергії в теплових процесах. Спираючись на прецизійні досліди, проведені в середині XIX ст., англійський фізик Дж. Джоуль (1818–1889) та німецький Ю. Майєр (1814–1878), і найповніше Г. Гельмгольц (1821–1894), установили закономірність, згідно з якою **кількість енергії в природі незмінна, вона лише переходить від одних тіл до інших або перетворюється з одного виду в інший.** Це твердження називають законом збереження і перетворення енергії. Цей закон універсальний та застосовний до всіх явищ природи.

Закон збереження енергії, поширений на теплові явища, **називають першим законом термодинаміки.**

У термодинаміці розглядаються тіла, положення центра тяжіння яких майже не змінюється. Механічна енергія таких тіл залишається незмінною. Змінюватися може лише внутрішня енергія U . Зміна U тіла може відбуватися за рахунок виконання роботи A або теплопередачі. У загальному випадку у разі переходу системи з одного стану в інший U змінюється одночасно як за рахунок виконання роботи, так і за рахунок теплопередачі. Саме для таких загальних випадків і застосовують перший закон термодинаміки: **зміна внутрішньої енергії U системи під час її переходу з одного стану в інший дорівнює сумі роботи зовнішніх сил A' і кількості теплоти, що передається системі Q :**

$$\Delta U = A' + Q.$$

Якщо система ізольована, робота над нею не виконується ($A' = 0$) і вона не обмінюється теплотою з навколишніми тілами ($Q = 0$), отже, $\Delta U = 0$.

Якщо врахувати, що $A' = -A$, то вираз першого закон термодинаміки набуде вигляду

$$Q = \Delta U + A. \quad (5.5)$$

Отже, кількість теплоти Q , що передається системі, витрачається на зміну її внутрішньої енергії U і на виконання системою роботи над зовнішніми тілами.

Внутрішня енергія змінюється внаслідок виконання роботи і шляхом теплообміну. В кожному стані система має певну внутрішню енергію U . Робота і кількість теплоти не містяться в тілі, а характеризують зміни його внутрішньої енергії U .

Застосування першого закону термодинаміки до ізопроцесів. Адіабатний процес. За допомогою першого закону термодинаміки можна робити важливі висновки про характер процесів, що відбуваються. Розрізняють різні процеси,

під час перебігу яких одна з фізичних величин залишається незмінною (ізопроееси).

Якщо термодинамічною системою є ідеальний газ і його об'єм не змінюється, (**ізохорний процес**), то $A=0$, а зміна внутрішньої енергії, згідно (5.5) дорівнюватиме кількості теплоти:

$$\Delta U = Q.$$

Ізотермічний процес. Якщо $T = \text{const}$ внутрішня енергія системи не змінюється. Уся передана газу кількість теплоти витрачається на виконання роботи над зовнішніми тілами:

$$Q = A.$$

Ізобарний процес. Кількість теплоти Q , передана газу за сталого тиску, витрачається на зміну його внутрішньої енергії і на виконання ним роботи над зовнішніми тілами:

$$Q = \Delta U + A.$$

Адіабатний процес – процес, що відбувається в теплоізолюваній системі (немає обміну енергією із зовнішніми тілами). При цьому $Q=0$ і змінити внутрішню енергію системи можна лише за рахунок виконання над нею роботи:

$$\Delta U = A'.$$

Звичайно, неможливо оточити систему оболонкою, що абсолютно не пропускає тепло, але іноді можна вважати реальні процеси дуже близькими до адіабатних. Для цього вони мають здійснюватися так швидко, щоб за час процесу не відбулося теплообміну (наприклад, поширення звуку в повітрі), або якщо процеси відбуваються з величезними масами газу (наприклад, в атмосфері Землі).

З першого закону термодинаміки випливає неможливість побудови «вічного» двигуна першого роду, адже будь-яка система не може нескінченно довго виконувати роботу без передачі їй теплоти. Дійсно, коли $Q=0$, то робота має виконуватись за рахунок внутрішньої енергії системи, яка є обмеженою.

Оборотні і необоротні теплові процеси. Закон збереження і перетворення енергії стверджує, що кількість енергії за будь-яких її перетворень незмінна, але нічого в ньому не вказує на те, які енергетичні перетворення можливі. Однак багато процесів, цілком допустимих з точки зору закону збереження енергії, ніколи не відбуваються в дійсності. Наприклад, нагріте тіло, поступово охолоджуючись, передає свою енергію більш холодним тілам, які його оточують. Зворотний процес передачі теплоти від холодного тіла до гарячого самовільно

відбуватися не може. Кількість таких прикладів можна навести безліч. Усі вони свідчать, що процеси в природі мають певну спрямованість. У зворотному напрямі вони самовільно відбуватися не можуть.

Усі процеси в природі **необоротні**. Напрямок можливих енергетичних перетворень вказує **другий закон термодинаміки**. Він підтверджує необоротність процесів в природі і був сформульований на основі дослідних фактів Клаузіусом: **неможливо перевести теплоту від більш холодної системи до більш гарячої, якщо не відбувається інших одночасних змін в обох системах або тілах, які їх оточують.**

Важливість другого закону термодинаміки полягає у висновку: необоротна не тільки теплопередача, а й інші процеси в природі.

Перевір себе

1. Як формулюють закон збереження енергії?
2. У чому полягає еквівалентність кількості теплоти, механічної роботи, витраченої енергії?
3. Як записують і формулюють перший закон термодинаміки ?
4. Як записується перший закон термодинаміки для ізотермічного, ізохорного, ізобарного й адіабатного процесів?
5. Який процес називають адіабатним? За яких умов він здійснюється? Наведіть приклади адіабатних процесів.
6. Як другий закон термодинаміки пов'язаний із закономірністю направленості процесів до рівноважного стану?

Поміркуйте

1. Доведіть, що перший закон термодинаміки належить до загальних законів природи.
2. Наведіть приклади прояву першого закону термодинаміки при визначені теплових ефектів хімічних реакцій.

§ 50. Теплові машини

Основні знання параграфа принцип дії теплових двигунів, коефіцієнт корисної дії теплового двигуна, холодильна машина.

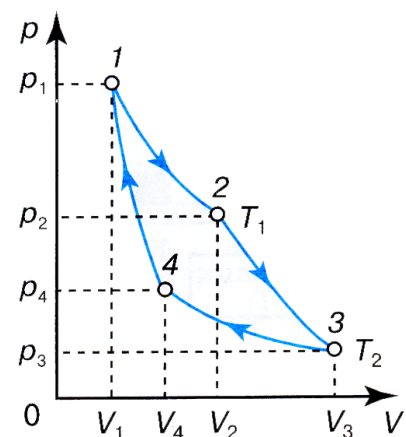
Принцип дії теплових двигунів. Запаси внутрішньої енергії в земній корі й океанах можна вважати практично необмеженими. Але володіти запасами енергії ще недостатньо, необхідно вміти за рахунок енергії приводити в рух верстати, засоби транспорту, машини, обертати ротори генераторів електричного струму тощо. Людству потрібні двигуни, тобто пристрої, здатні виконувати роботу. Більша частина двигунів на землі – **теплові двигуни, тобто пристрої, які перетворюють внутрішню енергію палива в механічну енергію.** Для того, щоб двигун виконував роботу, необхідна різниця тисків по два боки поршня двигуна або лопастей турбіни. Незважаючи на велику різноманітність видів теплових двигунів, усі вони мають загальний принцип дії. У роботі двигунів можна виділити такі загальні ознаки:

1) у будь-якому тепловому двигуні відбувається перетворення енергії палива в механічну енергію;

2) для роботи теплового двигуна потрібні нагрівник, охолоджувач і робоче тіло. У процесі роботи теплового двигуна робоче тіло забирає від нагрівника певну кількість теплоти Q_1 і перетворює частину цієї теплоти в механічну енергію, а не перетворену частину теплоти Q_2 передає охолоджувачу. За законом перетворення і збереження енергії $Q_1 = Q_2 + A$;

3) робота будь-якого теплового двигуна полягає у повторюванні циклів зміни стану робочого тіла.

Розглянемо чотиритактний цикл роботи ідеального двигуна, який вперше відкрив французький учений С. Карно (1796–1832). Газ, поміщений в теплопровідний циліндр з рухомим поршнем, приведемо в контакт з нагрівником, що має температуру T_1 . При цьому газ, нагріваючись до T_1 , буде ізотермічно розширюватись, переходячи із стану 1 в стан 2 (мал. 4.4). У результаті газ отримає від нагрівника теплоту Q_1 і виконає проти зовнішніх сил роботу $A_{1,2} = Q_2$. Після досягнення газом стану 2



Мал. 5.4

перервемо контакт робочого тіла (газу) з нагрівником і помістимо циліндр в теплоізолювану адіабатну оболонку. Залишимо газу можливість додатково адіабатно розширитись до стану 3. При цьому:

– газ виконає проти зовнішніх сил роботу $A_{2,3}$ за рахунок своєї внутрішньої енергії U ;

– температура газу знизиться від T_1 до T_2 , оскільки його внутрішня енергія U зменшиться.

Після досягнення газом стану 3 приведемо його в контакт з охолоджувачем, температура якого T_2 . Газ ізотермічно стиснеться зовнішньою силою. Знову помістимо циліндр в теплоізолювану оболонку і газ, внаслідок адіабатного стиснення, набуде вихідного стану. Зобразимо ці процеси в координатах p, V . Цей цикл Карно (мал. 4.4) буде складатися з двох ізотерм ($1 \rightarrow 2, 3 \rightarrow 4$) і двох адіабат ($2 \rightarrow 3, 4 \rightarrow 1$).

Робота, яку виконує газ, пропорційна площі фігури, обмеженої ізотермами і адіабатами. Такий цикл роботи теплового двигуна найвигідніший; його називають **циклом Карно**.

Неможливість повного перетворення внутрішньої енергії газу в роботу зумовлена необоротністю теплових процесів у природі. Корисна робота, яку виконує двигун,

$$A' = |Q_1| - |Q_2|,$$

де Q_1 – кількість теплоти, яку отримало робоче тіло від нагрівника; Q_2 – кількість теплоти, віддана холодильнику.

Коефіцієнт корисної дії теплового двигуна. Коефіцієнт корисної дії для будь-якої теплової машини дорівнює відношенню корисно використаної енергії до затраченої енергії:

$$\eta = \frac{A'}{Q_1} \text{ або } \eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} \cdot 100 \% \quad (5.6)$$

Із формули (5.6) видно, що за будь-якої конструкції машини ККД залежить від температур нагрівника T_1 і холодильника T_2 :

$$\eta_{\max} = \frac{T_1 - T_2}{T_1} \cdot 100 \% \quad (5.7)$$

η_{\max} – максимальне значення ККД теплової машини. Формулу (5.7) можна використовувати лише для циклу Карно ідеальної теплової машини. Згідно формули (5.7) здійснюють удосконалення довільних теплових машин. Збільшити ККД можна:

- збільшуючи T нагрівника;
- зменшуючи T холодильника.

Згідно з формулою (6.7) ККД теплової машини міг би дорівнювати одиниці, якщо була б можливість використати холодильник з температурою $T_2 = 0$ К. Але згідно з **третім законом термодинаміки** абсолютний нуль температури – недосяжний. Холодильниками для реальних теплових двигунів, переважно, є атмосферне повітря або вода при температурі $T \approx 300$ К.

Тому основний спосіб підвищення ККД теплових двигунів – це підвищення температури нагрівника. Але її не можна підняти вище температури плавлення тих матеріалів, з яких виготовляється тепловий двигун. Наприклад, температура нагрівника сучасної парової турбіни наближається до 850 К і максимально можливе значення ККД, обчислене за формулою (5.7), становить близько 65 %.

Холодильна машина. Холодильною називають машину, яка за рахунок зовнішньої роботи здійснює передачу теплоти від тіла з нижчою температурою T_2 до тіла з вищою температурою T_1 . У холодильних машинах при виконанні зовнішньої роботи теплота від тіла, що охолоджується, передається в навколишнє середовище.

Ефективність дії холодильної машини визначається холодильним коефіцієнтом, який вимірюється відношенням теплоти, відведеної в оборотному циклі від робочого тіла, до виконаної зовнішньої роботи:

$$\varepsilon = \frac{Q_2}{A}. \quad (5.8)$$

Цей коефіцієнт може бути більшим за 1. Він залежить від різниці температур нагрівника T_1 і охолоджувача T_2 .

Холодильні машини за типом робочих тіл поділяють на газові та парові.

Робоче тіло (спеціальний газ фреон) забирає тепло Q_2 від холодильника (від морозильної камери і продуктів) і передає тепло Q_1 нагрівнику (кімнаті).

До холодильних машин відносяться і **кондиціонери**. В них морозильна камера за допомогою вентилятора обдувається повітрям, яке охолоджується, далі поширюється по приміщенню.

Якщо морозильну камеру помістити на зовнішньому боці будівлі, а теплообмінник – у приміщенні, то така холодильна машина буде забирати тепло від атмосфери та обігрівати це приміщення. Такий спосіб обігріву запропонував свого часу англійський фізик В.Томсон (лорд Кельвін), назвавши свій пристрій **тепловим насосом**, ефективність якого обчислюється за формулою:

$$K = \frac{Q_1}{A}, \quad (5.9)$$

де Q_1 –кількість теплоти, яку насос віддає кімнаті, A – робота, яку виконує компресор.

Використання теплового насоса для обігріву приміщень є економічно вигідним. Наразі широко використовуються теплові насоси з функцією кондиціонера. Одним поворотом перемикача можна змінити функцію такого теплового насоса залежно від пори року.

Перевір себе

1. Що називають тепловим двигуном?
2. Що називають нагрівником, холодильником? Яка їх роль у роботі теплового двигуна?
3. Що називають робочим тілом? Які речовини використовують як робоче тіло двигуна?

4. За якою формулою визначають роботу, виконану двигуном?
5. Що називають ККД теплового двигуна?
6. Запишіть і поясніть формулу ККД теплового двигуна.
7. За якою формулою визначають ККД ідеальної теплової машини (ККД машини Карно)?

Поміркуйте

1. Який ККД паросилових установок і двигунів внутрішнього згорання?
2. Опишіть робочий цикл холодильної машини.
3. З яких блоків складається побутовий холодильник?
4. Чому зовнішній теплообмінник вашого холодильника нагрівається?
5. За допомогою комп'ютера складіть схему «Класифікація теплових машин».

§ 51. Застосування теплових машин і проблеми охорони навколишнього середовища

Основні знання параграфа: екологічні проблеми теплової енергетики, енергетична криза.

Екологічні проблеми теплової енергетики

Широке застосування теплових машин для добування зручної у використанні енергії найбільше впливає на навколишнє середовище порівняно з усіма іншими видами виробничих процесів. Адже з їх допомогою виробляється біля 80 % електроенергії.

Досягненню високих температур нагрівника заважає неповне згорання палива, зокрема, у двигунах внутрішнього згорання. Це призводить і до **екологічних проблем**.

За законами термодинаміки електричну й механічну енергію неможливо виробляти без відведення в навколишнє середовище значних кількостей теплоти. Це може призвести до підвищення середньої температури на Землі і створити загрозу підвищення рівня Світового океану.

Підвищення температури на Землі може спричинити і подальше істотне збільшення концентрації вуглекислого газу в атмосфері, зумовлене спалюванням палива в теплових машинах. За останні двадцять років кількість вуглекислого газу в атмосфері Землі збільшилась майже на 20 %.

Молекули вуглекислого газу здатні поглинати інфрачервоне випромінювання. Тому збільшення вмісту вуглекислого газу в атмосфері змінює її прозорість. Інфрачервоне випромінювання, що надходить від поверхні Землі, все більшою мірою поглинається атмосферою.

Під час спалювання палива атмосфера також забруднюється попелом, азотистими та сірчаними сполуками, шкідливими для здоров'я людей. Особливо істотне це забруднення у великих містах і промислових центрах. Більше половини всіх забруднень атмосфери створює транспорт. Крім оксиду вуглецю, викидаються в атмосферу 2–3 млн. т свинцю. Сполуки свинцю додають в автомобільний бензин для запобігання детонації палива в двигуні, тобто дуже швидкого згорання палива.

З метою зменшення таких викидів дедалі більше випускається автомобілів, у яких замість бензинових використовують дизельні двигуни, у паливо яких не додають сполук свинцю. Однак найбільш перспективними вважаються електромобілі і автомобілі, які працюють на водні. Продуктом згорання у водневому двигуні є звичайна вода.

Застосування теплових двигунів призводить до значного споживання кисню, який виробляється зеленими рослинами (10–25 %), через що його кількість в повітрі постійно зменшується.

Застосування парових турбін на електростанціях потребує відведення великих площ під ставки, в яких охолоджується відпрацьована пара. Зі збільшенням потужностей електростанцій різко зростає потреба у воді.

Для економії площ і водних ресурсів споруджуються комплекси електростанцій, насамперед атомних, із замкненим циклом водопостачання.

Одним із заходів захисту довкілля є встановлення різного роду фільтрів як на теплових станціях, так і на автомобільних двигунах. Розробляються нові зразки газотурбінних, роторних і навіть парових двигунів.

Енергетична криза. Оскільки в основу дії теплових машин покладено використання енергетичних ресурсів, запаси яких вичерпуються і не відновлюються, то це може призвести до енергетичної кризи. Менше використовуючи не поновлювані джерела енергії, ми зменшуємо кількість шкідливих викидів у атмосферу. Гостро постала проблема енергозбереження та використання нетрадиційних джерел енергії.

Перспективним є підвищення коефіцієнта корисної дії теплових машин за рахунок винайдення нових сумішей палива, удосконалення конструкції двигунів, використання теплових насосів тощо.

Зменшує теплові втрати пряме перетворення теплової енергії в електричну за допомогою потужних магнітогідродинамічних генераторів (МГД — генераторів), які набудуть значного поширення. У них тепла енергія плазми перетворюється в електричну.

Ефективним є використання нетрадиційних джерел енергії таких як вітроенергетичні установки, сонячні батареї, біодизельні установки тощо. Сировиною для отримання біопалива в клімато-географічних умовах України є ріпак. З гектара плантації олійного ріпака можна одержати біля однієї тонни біодизельного палива.

Запобігти енергетичній кризі і екологічній катастрофі може і кожен з вас, турбуючись про раціональне використання енергії у школі та побуті.

Перевір себе

1. У чому полягає негативна дія теплових машин на довкілля?
2. Що ви знаєте про вплив парникового ефекту на клімат?
3. Чому людству слід економити вугілля, нафту та іншу сировину, а не спалювати її для отримання теплової енергії ?

Поміркуйте

1. Які ви знаєте альтернативні джерела енергії ?
2. Що вам відомо про теплові процеси в живих системах?
3. Наведіть приклади необоротних теплових процесів довкіллі.

Лабораторна робота № 6

Вивчення принципу дії холодильної машини

Мета: вивчення роботи побутового холодильника та визначення його характеристик.

Обладнання: холодильник побутовий.

Теоретичні відомості

Найважливішою характеристикою холодильної машини є **холодильний коефіцієнт**, що дорівнює відношенню кількості теплоти, що відбирається від холодильної камери, до роботи електродвигуна (витрати електроенергії):

$$\varepsilon = \frac{Q_2}{A} = \frac{Q_2}{Q_1 - Q_2},$$

де Q_1 – кількість теплоти, яку віддає робоче тіло нагрівнику (кімнати).

В ідеальній холодильній машині максимальний холодильний коефіцієнт дорівнює:

$$\epsilon_{\max} = \frac{T_2}{T_1 - T_2}, \text{ в реальних машинах — } \epsilon_p < \frac{T_2}{T_1 - T_2},$$

Ще однією характеристикою холодильної машини є холодопродуктивність, що показує, яку кількість теплоти q здатна відбирати машина в охолоджуваних тіл за одиницю часу: $q = \frac{Q_2}{t}$.

Якщо холодильну камеру винести на вулицю, а теплообмінник залишити у приміщенні, то при виконанні компресором роботи A за рахунок електроенергії від холодного повітря на вулиці буде відібрано кількість теплоти Q_2 . А теплоту повітря в кімнаті буде передано кількість теплоти $|Q_1| = Q_2 + A$.

У цьому випадку холодильник працюватиме як тепловий насос. Ефективність такого теплового насоса характеризується опалювальним коефіцієнтом:

$$K_{\max} = \frac{Q_1}{A} = \frac{|Q_1|}{|Q_1| - Q_2} = \frac{T_1}{T_1 - T_2}$$

Виконання роботи

1. Ознайомитися з будовою побутового холодильника, що використовується у фізичному кабінеті.
2. Скласти план дослідження його ефективності.
3. Встановити, яка кількість теплоти відбирається від холодильної камери за певний час і яку роботу виконує компресор за той же час.
4. Оцініть ефективність роботи холодильника.
5. Розрахуйте кількість теплоти, що передається теплообмінником навколишньому середовищу.
6. Оцініть ефективність роботи холодильника як теплового насоса в умовах досліду.
7. Обчисліть абсолютну і відносну похибки вимірювань. Запишіть здобуті результати з урахуванням похибки вимірювань.
8. Порівняйте здобуті результати і зробіть висновок щодо ефективності досліджених теплових машин.

§ 53. Приклади розв'язування задач. Теплові явища

Задачі на теплові явища умовно можна поділити на три групи, але їх розв'язують на основі закону збереження і перетворення енергії для теплових

процесів – першого закону термодинаміки. До першої групи віднесемо задачі, для розв’язування яких необхідно застосувати власне перший закон термодинаміки: $Q = \Delta U + A$, де A – робота, виконувана тілом.

Задачі другої групи – це задачі, в яких за умовою кількість теплоти Q , яка надається тілу або тілам в процесі теплообміну з іншими тілами, що входять до замкненої системи, витрачається тільки на збільшення внутрішньої енергії цих тіл ΔU (механічна робота із розширення або стиснення тіла або тіл при цьому дорівнює нулю): $Q = \Delta U$.

У задачах третьої групи розглядається процес взаємодії тіл без теплообміну: $Q = 0$. Тоді перший закон термодинаміки має вигляд $\Delta U = -A$. Інакше, внутрішня енергія тіла (тіл) змінюється за рахунок роботи, що виконується цим тілом. Зміна внутрішньої енергії ΔU буде визначатися відповідно до процесів, що відбуваються з тілом: нагрівання (охолодження), пароутворення (конденсація), плавлення (кристалізація).

Задача 1. Газ, що здійснює цикл Карно, за рахунок кожних 2 кДж енергії, отриманої від нагрівника, виконує роботу 300 Дж. Який ККД цього циклу? У скільки разів абсолютна температура нагрівника більша від абсолютної температури холодильника?

<i>Дано:</i>	<i>Розв’язування</i>
$Q = 2000 \text{ Дж},$	Коефіцієнт корисної дії машини $\eta = \frac{A}{Q}; \eta = \frac{300}{2000} = 0,15; \eta = 15 \%$
$A = 300 \text{ Дж}.$	
$\eta = ? \quad \frac{T_1}{T_2} = ?$	Відношення абсолютної температури нагрівника T_1 до абсолютної температури холодильника T_2 можна знайти, використавши вираз для ККД машини Карно:
$\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$	

Звідки $\frac{T_1}{T_2} = \frac{1}{1-\eta}; \frac{T_1}{T_2} = \frac{1}{1-0,15} \approx 1,18.$

Відповідь: $\eta = 15 \%, \frac{T_1}{T_2} = 1,18.$

Вправа 24

1. При ізотермічному розширенні газ виконав роботу 20 Дж. Яку кількість теплоти надано газу?

Відповідь: 20 Дж.

2. Винахідник оголосив, що він сконструював машину, яка дає змогу від тонни вугілля одержати $9 \cdot 10^{19}$ Дж енергії. Чи можна вірити цьому ?

3. Ідеальна теплова машина має ККД $\eta = 60\%$. У скільки разів кількість теплоти, що одержує робоче тіло від нагрівника, більша за кількість теплоти, що віддає робоче тіло холодильнику ?

Відповідь: у 2,5 рази.

4. Одноатомний ідеальний газ під час ізобарного нагрівання виконує роботу 8 кДж. Обчислити зміну внутрішньої енергії та кількість теплоти, що передали газу.

Відповідь: $\Delta U = 12 \cdot 10^3$ Дж, $Q = 2 \cdot 10^4$ Дж.

§ 53. Тепловий рух у довкіллі

Урок у довкіллі 3

Мета уроку: спостереження проявів теплового руху у довкіллі.

Маршрут учнів на уроці: Приміщення школи, подвір'я школи, вулиця, екологічна стежка.

Обладнання: фотоапарат (телефон) у кожній групі, термометр, бінокль, блокнот.

1. Дослідження будівлі школи, приміщень на подвір'ї школи з метою виявлення зменшення втрати теплоти в зимовий період (фото).

2. Погода (температура повітря, хмарність), як наслідок пори року і руху Землі навколо Сонця. Стан рослин і тварин, пристосування їх до пори року. Як змінюється теплообмін живих систем з довкіллям зі зміною пір року?

3. Рух на вулиці: люди, тварини, машини. За рахунок якої енергії відбувається рух? Прояв закономірності збереження під час руху об'єктів спостереження і в стані спокою.

4. Як змінилась екологічна стежка порівняно з попередніми уроками в довкіллі? Які причини змін? Прояв у них загальних закономірностей природи.

5. Звертайся до народного календаря. Які народні прикмети відповідають дню спостережень у довкіллі? Чи можете в них побачити прояв загальних закономірностей природи?

6. Проведіть змагання: «Яка група згадає більше віршів (пісень) в яких відображено дію загальних закономірностей природи».

Наприклад:

Ні спраги ти не знав, ні голоду не чув

Ти все, чим мучишся, від чотирьох здобув.

Та кожному повернеш ти дарунок

І станеш тим, чим ти раніше був.

Омар Хайям (поет, астроном, математик, XII ст..)

«Від чотирьох здобув» – від чотирьох стихій – вогню, води, повітря, землі).

НАЙГОЛОВНІШЕ У РОЗДІЛІ 4

Усі закономірності термодинаміки стосуються макроскопічного тіла (термодинамічної системи) в рівноважному стані. Тому поняття «Термодинамічна система» є головним у цьому розділі поряд з головним поняттям усієї частини «Молекулярна фізика і термодинаміка» – «Температура».

Будь-яка термодинамічна система має внутрішню енергію, що дорівнює сумі кінетичних енергій хаотичного руху всіх молекул системи і потенціальних енергій взаємодії всіх молекул одна з одною. Внутрішня енергія є однозначною функцією термодинамічних параметрів: температури і об'єму. Для ідеального одноатомного газу внутрішня енергія залежить тільки від температури:

$$U = \frac{3}{2} \frac{m}{\mu} RT.$$

За першим законом термодинаміки зміна внутрішньої енергії системи, коли вона переходить з одного стану в інший, дорівнює сумі роботи зовнішніх сил і кількості теплоти, переданої системі:

$$\Delta U = A' + Q.$$

Під час нагрівання й охолодження кількість теплоти дорівнює $Q = cm(T_2 - T_1)$, де c – питома теплоємність, а $T_2 - T_1$ - зміна температури.

Перший закон термодинаміки є законом збереження енергії і заперечує можливість створення вічного двигуна: не можливо створити машину, яка б необмежено виконувала роботу, не отримуючи енергію ззовні.

Робота і кількість теплоти – характеристики процесів, під час яких змінюється енергія.

Під час ізохорного процесу ($V = \text{const}$) робота A дорівнює нулю і $\Delta U = Q$.

Під час ізотермічного процесу ($T = \text{const}$) внутрішня енергія ідеального газу не змінюється і $Q = A$

Під час ізобарного процесу ($p = \text{const}$) теплота, яка передається системі, використовується для зміни внутрішньої енергії і виконання роботи:

$$Q = \Delta U + A.$$

Під час адіабатного процесу (в теплоізольованій системі) $Q = 0$,

$$\Delta U = A.$$

Багато процесів, цілком можливих з погляду закону збереження енергії, ніколи насправді не відбуваються. До них належать і оборотні процеси. Необоротність теплових процесів у природі виражає другий закон термодинаміки вказуванням на пряму можливих енергетичних перетворень. Зокрема цей закон встановлює, що у природі неможливий процес, під час якого теплота самочинно переходила б від менш нагрітих до більш нагрітих тіл.

Закони термодинаміки дозволили людству знайти пристрій для перетворення теплової енергії в механічну – тепловий двигун. Розроблення теплових двигунів спиралось на теорію ідеального циклу Карно, а також на одну із теорем Карно про максимальність ККД ідеальної машини і на цій основі підвищення ККД реальних теплових двигунів:

$$\eta_{\text{max}} = \frac{T_1 - T_2}{T_1} \cdot 100 \%,$$

де T_1 – температура нагрівника, T_2 – температура холодильника.

Значні досягнення має термодинаміка і в дослідженні внутрішньої структури речовини, адже знаючи характер зміни теплових потоків, що пропускають через зразок матеріалу, можна робити певні висновки і про його внутрішню будову.

Тестова самоперевірка знань з розділу «Основи термодинаміки»

I рівень

1. Встановіть відповідність між ізопроцесом і першим законом термодинаміки для цього процесу.

- | | |
|-----------------|-------------------|
| 1) ізохорний | а) $Q=\Delta U$ |
| 2) ізотермічний | б) $Q=\Delta U+A$ |
| 3) ізобарний | в) $A=\Delta U$ |
| 4) адіабатний | г) $Q=A$ |

2. Коефіцієнт корисної дії теплової машини 50%. Виберіть правильне співвідношення між кількістю теплоти, яку одержано від нагрівання (Q_1), кількістю теплоти, яку передано холодильнику (Q_2) та корисною роботою.

- а) $Q_2=0,4Q_1$; б) $A_{\text{кор.}}=0,5(Q_1-Q_2)$; в) $A_{\text{кор.}}=0,5Q_1$;

3. Газ не виконує роботу при...

- а) ізохорному процесі;
 б) ізотермічному процесі;
 в) адіабатному процесі.

II рівень

4. На скільки змінилась внутрішня енергія 0,2 кг води, якщо її охолодили від 80°C до 20°C ?

- а) $48,5 \cdot 10^3 \text{ Дж}$; б) $60 \cdot 10^3 \text{ Дж}$; в) $50,4 \cdot 10^3 \text{ Дж}$;

5. Газ, розширюючись ізобарно при тиску $2 \cdot 10^5 \text{ Па}$, виконує роботу 0,2 кДж. Який початковий об'єм газу, якщо його кінцевий об'єм $2,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$?

- а) $1,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$; б) $2,0 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$; в) $3 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3$;

6. Визначити ККД ідеальної теплової машини, якщо температура нагрівника 200°C , а холодильника 15°C .

- а) 39%; б) 45%; в) 30%.

III рівень

7. Свинцева куля, що летіла із швидкістю $10^4 \frac{\text{м}}{\text{с}}$, влучивши у дошку, застряла в ній. На скільки градусів підвищилась температура кулі, якщо половина теплоти, яка виділилась при ударі, пішла на її нагрівання.

- а) 24°C ; б) 20°C ; в) 30°C .

8. Яку кількість теплоти треба передати 2 кг льоду, температура якого — 10°C , щоб одержану з нього воду закип'ятити?

- а) $6 \cdot 10^6 \text{Дж}$; б) $4 \cdot 10^6 \text{Дж}$; в) $6 \cdot 10^8 \text{Дж}$;

9. Теплова машина працює за циклом Карно. Чому дорівнює ККД цієї машини, якщо температура нагрівника 727°C , а температура холодильника 23°C .

- а) 25% ; б) 30% ; в) 67% .

10. У посудині нагрівають 1 л води і 50 г льоду. Початкова температура їх 0°C . Скільки потрібно часу, щоб вода закипіла, якщо потужність нагрівника 500 Вт, а його ККД 60%?

Відповідь: 25,4 хв.

11. При якій швидкості свинцева куля, вдарившись об перешкоду, розплавиться, якщо температура кулі до удару 100°C , а при ударі 60% її енергії перетворилось у внутрішню.

Відповідь: $420 \frac{\text{м}}{\text{с}}$.

IV рівень

12. У калориметр теплоємністю $2,1 \frac{\text{кДж}}{\text{к}}$, що містить 0,5 кг води при 40°C , вливають 20 кг розплавленого свинцю при температурі плавлення. Яка маса води випарувалась?

Відповідь: 360 г.

13*. Складіть структурно-логічну схему розділу на основі закономірності збереження та направленості самочинних процесів до рівноважного стану.

14*. За допомогою структурно-логічних схем розділів фізико-астрономічного модуля змодельуйте фізико-астрономічну складову образу природи та природничо-наукової картини світу.

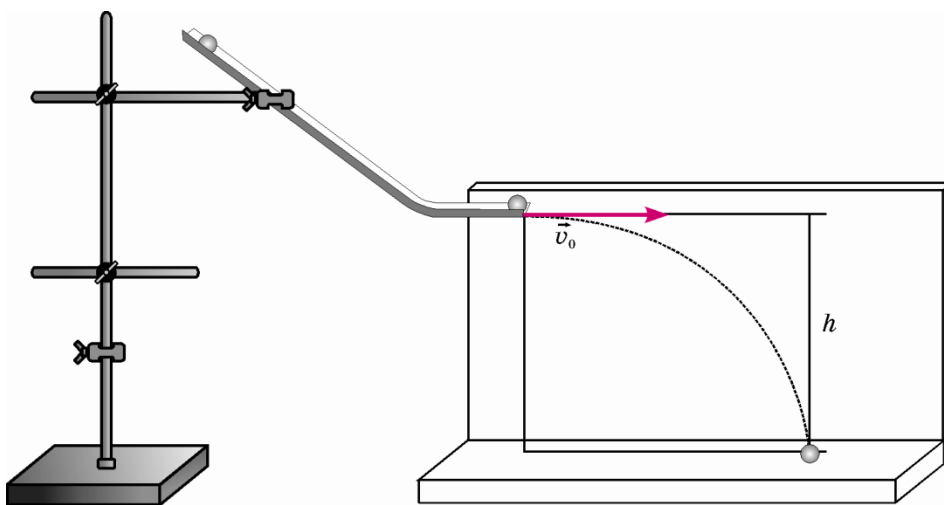
ФІЗИЧНИЙ ПРАКТИКУМ

Лабораторна робота № 1

Дослідження руху тіла під дією сили тяжіння

Мета роботи: виміряти початкову швидкість тіла під час його руху під дією сили тяжіння.

Прилади і матеріали: штатив з муфтою і лапкою; лоток для пускання кульки; кулька; папір; копіювальний папір; фанерна дошка; лінійка; секундомір.



Мал. 1. Прилади до лабораторної роботи № 1 фізичного практикуму

Хід роботи

1. Зберіть установку за мал. 1, зверніть увагу — кінець лотка, з якого скочується кулька, має бути горизонтальним, щоб кулька набула початкової швидкості \vec{v}_0 в горизонтальному напрямку.
2. Прикріпіть до фанери кнопками аркуш білого паперу і біля основи установки на смужку білого паперу покладіть копіювальний папір.
3. Пускайте кульку кілька разів з тієї самої точки лотка. Кулька буде рухатися по вітці параболі і вдарятися біля основи установки, залишаючи через копіювальний папір слід на білій смужці. Відстань, яку пройде кулька в

горизонтальному напрямку, виміряєте лінійкою (l_1, l_2 і т.д., в залежності від того, скільки разів повторите дослід).

$$l = u_0 t, \text{ звідки } v_0 = \frac{l}{t}.$$

4. Час руху кульки визначите з формули висоти вільного падіння, вимірявши висоту h .

$$h = \frac{gt^2}{2}, \text{ звідки } t = \sqrt{\frac{2h}{g}}; \quad v_0 = l \sqrt{\frac{2h}{g}} \quad \text{або} \quad v_0 = l \sqrt{\frac{g}{2h}}.$$

5. Виміряйте висоту падіння і дальність польоту кульки.

Дані досліду запишіть у таблицю.

№	$h, \text{ м}$	$l, \text{ м}$	$l_c, \text{ м}$	$u_{0c}, \frac{\text{м}}{\text{с}}$

6. Обчисліть середнє значення початкової швидкості кульки.

7. Виміряйте час руху кульки за допомогою секундоміра та визначіть швидкість її руху за формулою $v_0 = \frac{l}{t_1}$, де t_1 — час, визначений за допомогою секундоміра. Порівняйте отримані значення u_0 з попереднім, та зробіть висновок.

*8. При наявності часу за формулами $x = u_0 c t$, $y = \frac{gt^2}{2}$ знайдіть координати тіла через кожні 0,05 с і побудуйте траєкторію руху кульки на аркуші паперу, прикріпленому до фанерної дошки.

Пустіть кульку по жолобу і переконайтесь, що траєкторія її руху близька до побудованої параболи.

Поміркуйте

1. Як у даній роботі використано принцип незалежності рухів, який полягає в наступному: якщо тіло перебуває в кількох рухах, то кожен відбувається (описується) незалежно від інших.

2*. Як в даній роботі проявляється однорідність простору і часу і, отже, закономірність збереження?

Лабораторна робота № 2

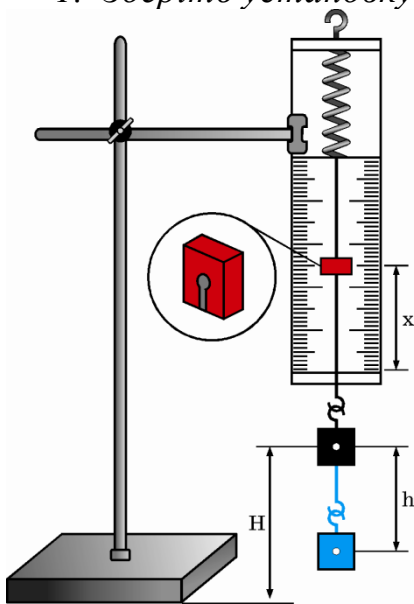
Вивчення закону збереження механічної енергії

Мета роботи: порівняти дві величини — зменшення потенціальної енергії тіла, прикріпленого до пружини, під час його падіння і збільшення потенціальної енергії розтягнутої пружини.

Прилади і матеріали: динамометр, жорсткість пружини якого дорівнює 40 Н/м; лінійка вимірювальна; вантаж з набору з механіки; маса вантажу (0,100±0,002) кг; фіксатор; штатив з муфтою і лапкою.

Хід роботи:

1. Зберіть установку за мал. 2.



Мал. 2. До лабораторної роботи №2 фізичного практикуму

2. Вантаж з набору з механіки міцно закріпіть на гачку динамометра.
3. Підніміть вантаж рукою, встановіть фіксатор унизу біля скоби.
4. Опустіть вантаж. Падаючи, вантаж розтягне пружину. Зніміть вантаж і за положенням фіксатора виміряйте лінійкою максимальне видовження x пружини.

5. Повторіть дослід три рази.

6. Обчисліть $E_{1c} = mgh_c$ і $E_{2c} = \frac{kx_c^2}{2}$

№/п	x_{max} , м	$x_s = h_c$, м	E_{1c} , Дж	E_{2c} , Дж	E_{1c} / E_{2c}

--	--	--	--	--	--

7. Порівнявши відношення E_{1c}/E_{2c} з одиницею, зробіть висновок про похибку, з якою було перевірено закон збереження енергії.

8*. Закон збереження механічної енергії в змісті закономірності збереження, його зв'язок із симетрією – однорідністю простору і часу.

Лабораторна робота № 3

Дослідне підтвердження закону Бойля-Маріотта

Мета роботи: на досліді підтвердити закон Бойля-Маріотта.

Прилади і матеріали: скляна трубка довжиною 300-350 мм, діаметром 8-10 мм, запаяна з одного кінця, посудина циліндрична (діаметром 40-50 мм, довжиною 350-400 мм або скляна трубка, закрита знизу пробкою), лінійка вимірювальна з міліметровими поділками, штатив, барометр (один на весь клас).

Хід роботи:

1. Наповнити укріплений на штативі циліндричну посудину водою.
2. Виміряти за допомогою барометра атмосферний тиск.
3. Виміряти об'єм повітря в скляній трубці (в умовних одиницях по шкалі лінійки).
4. Знайти добуток тиску повітря на його об'єм.
5. Занурити скляну трубку у воду запаяним кінцем вгору.
6. Виміряти об'єм повітря в трубці.
7. Виміряти різницю рівнів води в посудині і трубці.
8. Визначити новий тиск повітря в трубці.
9. Обчислити добуток тиску повітря на його об'єм.
10. Повторити експеримент кілька разів.
11. Результати вимірів занести в таблицю.

№/п	Тиск p	Об'єм V	Добуток pV

Порівняти отримані результати і зробити висновок про об'єктивність закону Бойля—Маріотта.

12*. Вказати зв'язок закону із закономірністю збереження та направленості процесів до рівноважного стану.

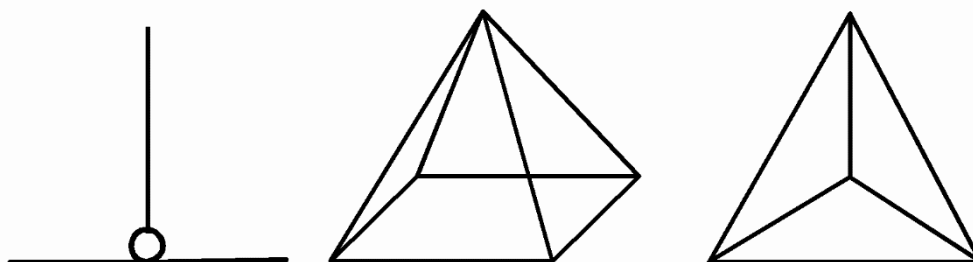
Лабораторна робота № 4

Визначення коефіцієнта поверхневого натягу рідини

Прилади і матеріали: терези з гирями, склянка з дистильованою водою, штатив, пробірка з піском, штангенциркуль або вимірювальна лінійка з міліметровими розподілами, лист паперу, дротик або дротова рамка на нитках (мал. 3).

Хід роботи:

1. Затиснути терези в лапці штативу.
2. Прив'язати до однієї з чашок терезів нитку з підвішеним дротиком або рамкою і зрівноважити ваги піском (пісок сипати на лист паперу, покладений на чашку).
3. Домогтися горизонтального положення дротика або рамки.



Мал. 3. До лабораторної роботи №4 фізичного практикуму

4. Під чашкою установити склянку з дистильованою водою так, щоб поверхня води знаходилася від дротика на відстані 1—2 см.

5. Обережно опустити дротик або рамку так, щоб вона, торкнувшись поверхні води, «прилипла» до неї.

6. Дуже обережно додавати пісок до «відриву» дротика або рамки з поверхні води.

7. Осушити дротик або рамку фільтрувальним папером і знову зрівноважити терези, але вже за допомогою гир.

8. Виміряти штангенциркулем або масштабною лінійкою довжину дротика (периметр рамки).

9. Обчислити коефіцієнт поверхневого натягу води за формулою:

$$\sigma = \frac{mg}{2l},$$

де m — маса гир, g — прискорення вільного падіння, l — довжина дротика або периметр рамки.

10. Повторити вимір кілька разів і знайти середнє значення коефіцієнта поверхневого натягу. Порівняти отриманий результат з табличним значенням.

11*. Як у поверхневому натязі рідини втілюється закономірність направленості процесів у природі?

Лабораторна робота № 5

Визначення модуля пружності гуми

Прилади і матеріали: штатив, чашечка від лабораторного трибометра, гирі, штангенциркуль або мікрометр, лінійка вимірювальна з міліметровими розподілами, два гумових шнури різного перетину довжиною близько 40 см.

Хід роботи:

1. Підвісити один з гумових шнурів за кінець на штативі.

2. Прикріпити до нижнього кінця шнура чашечку для вантажів.

3. Нанести на середній ділянці шнура олівцем або чорнилом дві тонкі мітки на відстані приблизно 20 см одну від другої.

4. Виміряти початкову відстань l_0 між мітками.

5. Вимірити діаметр шнура між мітками (не стискаючи гуми) і розрахувати площу його поперечного перерізу (S).

6. Навантажити чашечку гирями, записати їхнє значення деформуючої сили F і, після того, як закінчиться розтягування шнура; виміряти відстань l між мітками.

7. Проробити те ж, поступово збільшуючи навантаження до максимальної, а потім зменшуючи неї. Для кожного навантаження визначити абсолютне подовження $\Delta l = l - l_0$ гуми.

8. Результати вимірів занести в таблицю:

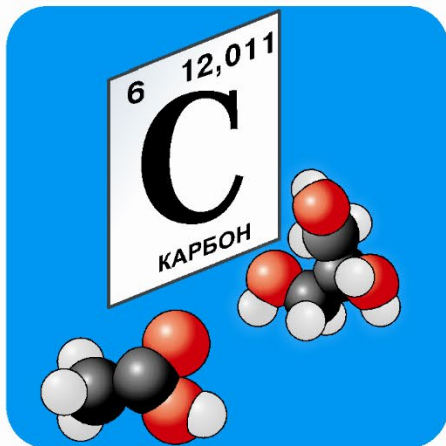
Площа поперечного перерізу шнура, $S, \text{ м}^2$	Сила деформації $F, \text{ Н}$	Довжина шнура (між мітками), м		Абсолютне видовження Δl частини шнура (між мітками), м		
		при збільшенні навантаження	при зменшенні навантаження	при збільшенні навантаження	при зменшенні навантаження	середнє

9. Обчислити модуль пружності E гуми за формулою:

$$E = \frac{l_0 F}{\Delta l \cdot S}$$

для двох значень модуля сили (у межах прямолінійної частини графіка) і знайти середнє значення E .

10.* При наявності часу за отриманими даними побудувати графік розтягання гуми, відкладаючи модуль F сили по вертикальній осі, а абсолютне подовження Δl — по горизонтальній. Зробити висновок про залежності між цими величинами.



*Во всем подслушать жизнь, стремясь,
Спешат явления обездушить,
Забыв, что если в них нарушить
Одушевляющую связь,
То больше нечего и слушать.*

Й. Гете



ПРИРОДНИЧО-ХІМІЧНИЙ МОДУЛЬ

РОЗДІЛ 1. НЕМЕТАЛІЧНІ ЕЛЕМЕНТИ, ЇХНІ СПОЛУКИ ТА РОЛЬ У ПРИРОДІ І ТЕХНІЦІ

Всі хімічні елементи поділяють на металічні та неметалічні. Із матеріалу цього розділу ви дізнаєтесь про властивості, застосування та біологічну роль неметалічних елементів та їхніх сполук.

§1. Періодичний закон і періодична система елементів Д.І. Менделєєва як засіб передбачення властивостей елементів та їх сполук

Повторюючи раніше вивчений матеріал курсу хімії, ви систематизуєте знання про зв'язок властивостей хімічних елементів з їх місцем у періодичній системі та будовою електронної оболонки атома, про типи хімічного зв'язку, які визначають властивості речовин, взаємозв'язки між основними класами неорганічних сполук.

Періодична система і будова атомів. Усі відомі на сьогодні хімічні елементи систематизовані у періодичній таблиці (системі) хімічних елементів, створеній російським ученим Д.І. Менделєєвим на основі відкритого ним *періодичного закону*. Періодична система є не лише зручною формою класифікації хімічних елементів, а і робочим інструментом хіміків, засобом передбачення невідомих елементів та їх властивостей.

Фізичне обґрунтування періодичний закон і періодична система дістали після створення теорії будови атома та його електронної оболонки. Згідно із сучасним формулюванням періодичного закону, *властивості хімічних елементів при зростанні заряду ядер їх атомів періодично повторюються.*

Основні закономірності періодичної системи з погляду будови атома узагальнені в табл. 1.

Таблиця 1

Періодична система хімічних елементів з погляду будови атома

Періодична система елементів	Будова атома
Порядковий номер елемента	Позитивний заряд ядра. Число протонів у ядрі. Загальне число електронів у атомі.
Номер періоду	Число електронних шарів (енергетичних рівнів) у атомі.
Номер групи	Число електронів на зовнішніх рівнях (у атомів елементів головних підгруп).
Періодичність у зміні властивостей елементів	Періодична повторюваність будови зовнішнього електронного шару.
Послаблення металічних і посилення неметалічних властивостей елементів в періодах зліва направо	При зростанні заряду ядра атома збільшується число електронів у зовнішньому електронному шарі. Радіус атома зменшується, а притягування електронів до ядра посилюється.
Послаблення неметалічних і посилення металічних властивостей елементів в групах (головних підгрупах) зверху вниз	Збільшується число електронних шарів. Радіус атома зростає, а притягування електронів до ядра послаблюється.

Будова електронної оболонки атома, особливо зовнішнього електронного шару, визначає важливі властивості атомів, зокрема їх *валентність*.

- Що називають валентністю хімічного елемента? Чим вона визначається? Як пов'язана валентність із місцем елемента в періодичній системі?

Атоми, сполучаючись між собою, утворюють молекули хімічних речовин, кристали.

Хімічний зв'язок і властивості речовин. Сили, що діють між атомами чи іншими частинками в хімічних сполуках, називають *хімічним зв'язком*. Хімічний зв'язок виникає внаслідок притягування позитивно заряджених (ядра, катіони) та негативно заряджених (електрони, аніони) частинок, тобто має електричну природу. Розрізняють ковалентний, йонний, металічний, водневий хімічні зв'язки.

Ковалентний зв'язок – це хімічний зв'язок, що виникає внаслідок утворення спільних електронних пар між атомами. Розрізняють полярний і неполярний ковалентні зв'язки. При взаємодії атомів одного і того ж неметалічного елемента утворюються молекули з ковалентним *неполярним* зв'язком (H_2 , O_2 , Cl_2 тощо). Сили притягування між окремими молекулами слабкі, тому речовини з таким типом зв'язку леткі, мають низькі температури плавлення і кипіння. Якщо ковалентний зв'язок виникає при взаємодії атомів, різниця в електронегативностях яких невелика, то його називають ковалентним *полярним* зв'язком (HCl , H_2O , CuS , NH_3 тощо). В такому разі спільна електронна пара зміщується до атома з більшою електронегативністю.

- Що називають електронегативністю? Як змінюється величина електронегативності елементів в групах і періодах?

Між полярними молекулами (диполями) існують досить значні сили електростатичного притягання, і температури плавлення та кипіння таких речовин значно вищі, ніж у речовин з ковалентним неполярним зв'язком.

Сполуки з *йонним* типом хімічного зв'язку утворюються при взаємодії атомів з дуже відмінною електронегативністю – типових металічних та типових неметалічних елементів. Найтиповіший йонний зв'язок виникає в солях, утворених елементами головних підгруп I та VII груп періодичної системи ($NaCl$, KI , KF тощо). Йонний зв'язок можна розглядати як граничний випадок ковалентного полярного зв'язку, коли спільна електронна пара майже повністю належить атому з більшою електронегативністю. Речовини з йонним типом хімічного зв'язку відзначаються високою твердістю, високими температурами плавлення і кипіння.

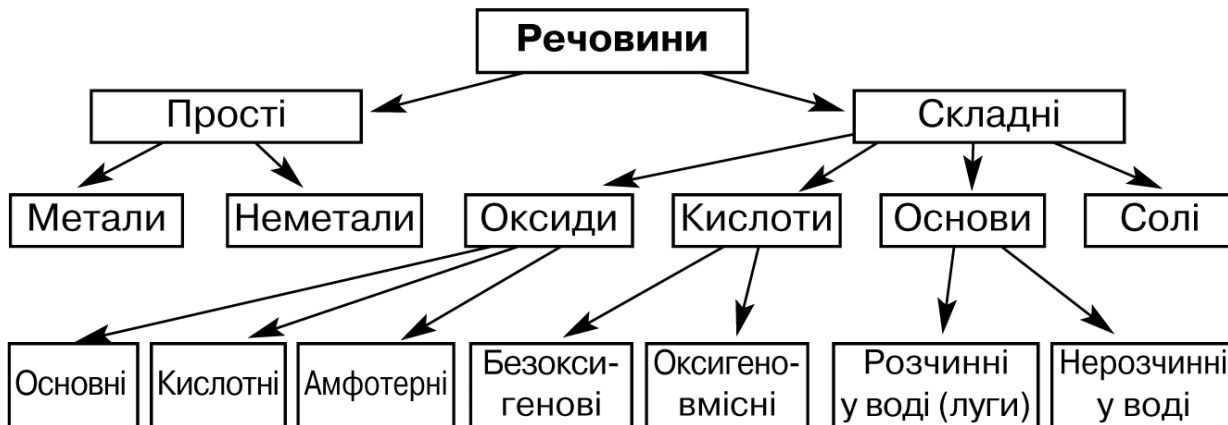
Зв'язок, який здійснюють відносно вільні електрони між йонами металів у металічних ґратках, називають *металічним* зв'язком (докладніше про цей тип зв'язку ви дізнаєтесь у 10 класі).

- Який тип хімічного зв'язку називають *водневим*? Які умови його утворення? Яку роль відіграє він у живій природі?

Утворення хімічного зв'язку супроводжується виділенням енергії. Внаслідок виникнення зв'язку атоми в молекулі утворюють стійкий зовнішній електронний шар. Отже, при утворенні молекул чи кристалів проявляється дія загального закону спрямованості процесів до найстійкішого стану, тобто стану з найнижчою енергією.

Найважливіші класи неорганічних сполук. Хімічні речовини для зручності їх вивчення класифікують, поділяють на класи. *Прості* речовини, як ви знаєте, поділяють на *метали і неметали* (з властивостями найважливіших із них ви познайомитесь у 10 класі).

Серед *складних* речовин виділяють *оксиди* (сполуки певного елемента з Оксигеном), *кислоти* (сполуки, утворені Гідрогеном і кислотним залишком), *основи* (речовини, утворені металічним елементом і гідроксидною групою OH) та *солі* (до їх складу входять атоми металічного елемента і кислотні залишки). Кожний клас сполук піддається подальшій класифікації (*мал. 1*). Наприклад, оксиди поділяють на основні (їм відповідають основи), кислотні (їм відповідають кислоти), амфотерні (вони в залежності від умов здатні виявляти і основні, і кислотні властивості).



Мал. 1. Схема класифікації основних класів неорганічних речовин

Представники кожного класу сполук мають спільні властивості. Найважливіші хімічні властивості основних класів неорганічних сполук представлені на вже відомій вам схемі (мал. 2). Із схеми видно, наприклад, що метали можуть взаємодіяти з неметалами, кислотами, деякими солями; основні оксиди – з кислотними оксидами та кислотами, а кислотні оксиди – з основними оксидами та основами. Солі реагують з кислотами, основами (лугами) та іншими солями.

- Склади рівняння реакцій, характерних для: а) кислот; б) основ (лугів).

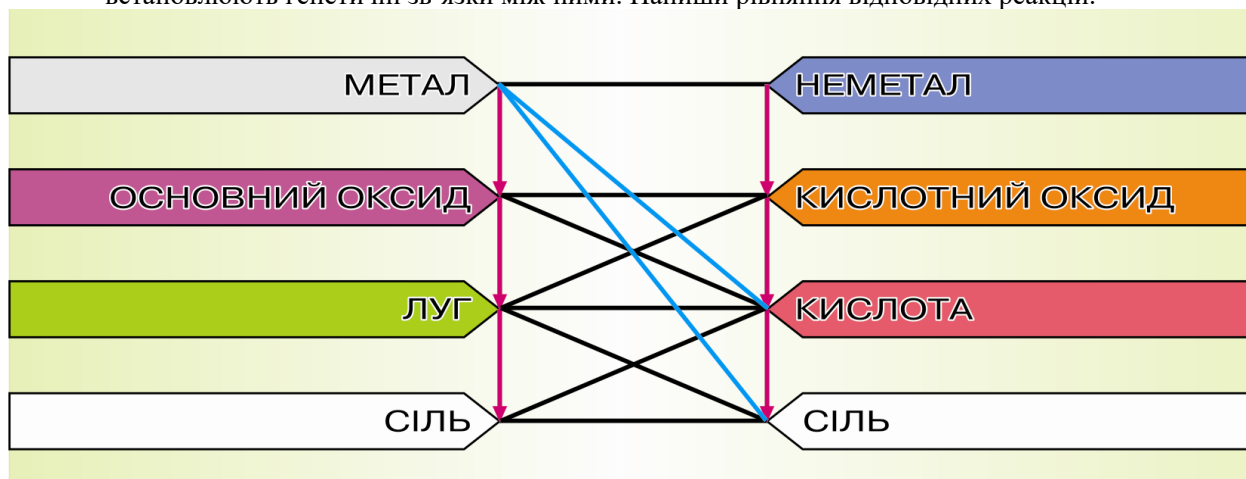
Вертикальні колонки схеми (мал. 2) відображають два ряди генетичних зв'язків (від грецького «генезис» – походження) між класами неорганічних сполук. Один ряд починається металом:

метал → основний оксид → основа (луг) → сіль,

а інший – неметалом:

неметал → кислотний оксид → кислота → сіль.

- Дано речовини: Ca, SO₃, Ca(OH)₂, S, H₂SO₄, CaO, CaSO₄. Склади ланцюжки реакцій, що встановлюють генетичні зв'язки між ними. Напиши рівняння відповідних реакцій.



Мал. 2. Взаємодія між речовинами різних класів

Перевір себе

1. Чим схожі та чим відрізняються два різновиди ковалентного зв'язку – полярний і неполярний?
2. Який з елементів – А чи Б – має більшу електронегативність, коли відомо, що вони знаходяться в одному періоді, але заряд ядра атома елемента А менший від заряду ядра атома елемента Б?
3. Два елементи, атоми яких зв'язані ковалентним зв'язком, утворюють газоподібну речовину, одним із продуктів згоряння якої є сульфур(IV) оксид. Визнач сполуку, склади молекулярну та структурну формули, напиши рівняння реакції згоряння.
4. Карборунд (силіцій карбід) використовується як абразивний матеріал. Які властивості має ця речовина?
5. Дано хімічні елементи:
1) S, Ca, H, Mg, Cu, Fe, Na, F. 2) Cl, H, Zn, N, O, F, Al.

Використовуючи їх, склади формулу з ковалентним (полярним і неполярним) та йонним зв'язками. На одному із прикладів покажи механізм утворення хімічного зв'язку.

Поміркуй.

1. Склади формулу сполуки, яка, на твою думку, буде мати найбільш виражений йонний характер. Визнач, як змінюється полярність зв'язку в сполуках у ряду HF, HCl, HBr, HI. Поясни свою відповідь.
2. Камфора і нафталін мають різкий запах, а йод при зберіганні в склянці без пробки сублімується. Який вид хімічного зв'язку і будова кристалічних ґраток цих речовин?
3. На конкретних прикладах покажи, як, знаючи фізичні властивості речовини, можна встановити тип її кристалічних ґраток. У чому полягає відмінність у будові йонних і молекулярних кристалічних ґраток?
4. Чому інертні гази у вільному стані є одноатомними, а молекули водню, хлору, кисню – двоатомними?

Тренувальні вправи.

1. Вибери правильні твердження щодо зміни властивостей хімічних елементів у вказаних стрілкою напрямках:

I. $\text{Li} \rightarrow \text{Na} \rightarrow \text{Rb} \rightarrow \text{Cs} \rightarrow \text{Fr}$;

II. $\text{At} \rightarrow \text{J} \rightarrow \text{Br} \rightarrow \text{Cl} \rightarrow \text{F}$;

III. $\text{Na} \rightarrow \text{Mg} \rightarrow \text{Al} \rightarrow \text{Si} \rightarrow \text{P}$;

IV. $\text{Li} \leftarrow \text{Na} \leftarrow \text{Rb} \leftarrow \text{Cs} \leftarrow \text{Fr}$;

V. $\text{N} \rightarrow \text{P} \rightarrow \text{As} \rightarrow \text{Sb} \rightarrow \text{Bi}$;

VI. $\text{Li} \leftarrow \text{Be} \leftarrow \text{B} \leftarrow \text{C} \leftarrow \text{N}$;

VII. $\text{Zn} \rightarrow \text{Ga} \rightarrow \text{Ge} \rightarrow \text{Br} \rightarrow \text{Kr}$;

VIII. $\text{P} \rightarrow \text{Si} \rightarrow \text{Al} \rightarrow \text{Mg} \rightarrow \text{Na}$.

- 1) радіус атома зростає; 2) радіус атома зменшується; 3) електронегативність зростає; 4) електронегативність зменшується; 5) металічні властивості посилюються; 6) металічні властивості послаблюються; 7) неметалічні властивості посилюються; 8) неметалічні властивості послаблюються; 9) число електронів на останньому енергетичному рівні атома зростає; 10) число електронів на останньому енергетичному рівні атома зменшується; 11) число електронів на останньому енергетичному рівні не змінюється; 12) число енергетичних рівнів збільшується; 13) число енергетичних рівнів зменшується; 14) число енергетичних рівнів не змінюється; 15) здатність атома приєднувати електрони зростає; 16) здатність атома віддавати електрони зростає; 17) ступінь окиснення атома елемента зростає; 18) ступінь окиснення атома не змінюється; 19) ступінь окиснення атома зменшується; 20) атомна маса зменшується; 21) атомна маса збільшується; 22) посилюються кислотні властивості оксидів цих елементів; 23) посилюються основні властивості оксидів цих елементів; 24) заряд ядра атома збільшується; 25) заряд ядра атома зменшується; 26) кількість протонів у ядрі збільшується; 27) кількість протонів у ядрі зменшується; 28) кількість нейтронів у ядрі збільшується; 29) кількість нейтронів у ядрі не змінюється; 30) прості речовини, утворені цими елементами, мають металічний зв'язок; 31) прості речовини, утворені цими елементами, мають ковалентний неполярний зв'язок; 32) оксиди, утворені цими елементами, мають йонний зв'язок; 33) оксиди, утворені цими елементами, мають ковалентний полярний зв'язок.
2. Склади електронну формулу атома хімічного елемента, обраного тобою на свій розсуд, і формулу його сполуки з Оксигеном.

3. Дано формули або назви речовин:

Варіант I. H_2O , фосфор, Ca, $Ca(OH)_2$, H_2S , цинк гідроксид, ортофосфатна кислота, $CaSO_4$, кальцій оксид, калій ортофосфат, SO_3 .

Варіант II. $Zn(OH)_2$, C, хлоридна кислота, Na_2CO_3 , ферум(II) сульфат, карбон(IV) оксид, ZnO , вода, H_2CO_3 , калій гідроксид, цинк.

Варіант III. $AlCl_3$, сульфур(IV) оксид, HBr , вода, $Al(OH)_3$, ферум(II) сульфат, сульфатна кислота, Al, сірка, Al_2O_3 , натрій гідроксид.

Варіант IV. Барій гідроксид, HI , $BaSO_4$, вода, барій оксид, алюміній хлорид, SO_2 , Na_2SO_3 , Ba.

Варіант V. Br_2 , натрій оксид, HCl , Na, сульфатна кислота, $NaOH$, вода, CO_2 , натрій хлорид, карбонатна кислота, $CaCO_3$, ферум(III) гідроксид.

Для обраного тобою або вказаного вчителем варіанту виконай такі завдання:

1. Склади формули речовин за їх назвою.
2. Назви речовини за їх формулами.
3. Що тобі відомо про практичне застосування перелічених речовин ?
4. Прокласифікуй речовини на: а) прості та складні; б) прості – на метали та неметали; в) складні – на оксиди, кислоти, основи, солі; г) оксиди – на основні та кислотні; д) кислоти – на оксигеновмісні та безоксигенові, одноосновні, двоосновні, трьохосновні; е) основи – на розчинні та нерозчинні у воді, амфотерні.
5. Із переліку речовин склади генетичний ланцюг та запиши відповідні рівняння реакцій, вказавши їх тип.
6. Яку речовину необхідно додати до переліку речовин, щоб утворити ще один генетичний ряд? Запиши цей генетичний ряд і рівняння реакцій.
7. З якими речовинами буде взаємодіяти метал? Склади рівняння реакцій.
8. З якими речовинами буде взаємодіяти кислотний оксид? Склади рівняння реакцій.
9. З якими речовинами буде взаємодіяти основний оксид? Склади рівняння реакцій.
10. З якими речовинами буде взаємодіяти оксигеновмісна кислота? Склади рівняння реакцій.
11. З якими речовинами буде взаємодіяти безоксигенова кислота? Склади рівняння реакцій.
12. З якими речовинами буде взаємодіяти луг ? Склади рівняння реакцій.
13. Склади рівняння реакції окиснення металу та обчисли, який об'єм кисню (н.у.) необхідно взяти, щоб метал кількістю речовини 5 моль перетворився на оксид.

§ 2. Місце хімічних знань серед наук про природу

Вивчивши параграф, ви дізнаєтесь про місце хімічних явищ у ПНКС, зможете оцінити роль хімічних знань у пізнанні природи, назвати імена видатних вітчизняних і зарубіжних учених-хіміків.

Одні загальні закони управляють як фізичними, так і хімічними явищами.

Д.І. Менделєєв

Місце хімічних явищ у природничо-науковій картині світу. Ви вже знаєте, що кожному із структурних рівнів матерії відповідає специфічна для нього форма руху. Щойно ви познайомились із взаємодіями елементарних частинок, які зумовлюють появу мікрофізичної форми руху. Хімічні явища є проявом хімічної форми руху. Вони пов'язані із взаємодіями між атомами – складовими частинами молекул – та їх

перегрупуваннями. Дещо пізніше ви розглянете рух та взаємодії більш складних об'єктів – біополімерів, клітин, організмів; вони зумовлюють виникнення біологічної форми руху. Різні форми руху як ви пам'ятаєте вивчаються окремими науками: мікрофізична – ядерною та атомною фізикою, хімічна – хімією, біологічна – біологією тощо.

Знаєте ви і про те, що всі форми руху взаємозв'язані. Хімічні явища тісно пов'язані з фізичними, біологічними, геологічними. Хімічні реакції відбуваються під дією температури, тиску, світла, електричного струму та інших фізичних факторів. В той же час перебіг хімічних реакцій супроводжується фізичними явищами – виділенням або поглинанням тепла, світла, появою електричного струму тощо. Хімічні реакції окиснення, що відбуваються в живих організмах при перетравлюванні їжі, дають необхідну організму енергію; геологічні перетворення, виникнення нових мінералів теж є наслідком перебігу хімічних реакцій.

Хімічні явища, пов'язані з розривом одних і утворенням інших хімічних зв'язків, зумовлені фізичними електростатичними взаємодіями між протилежно зарядженими електронами та ядрами атомів. У свою чергу, численні хімічні реакції, які щомиті відбуваються у клітинах живих організмів, є основою виникнення біологічної форми, а ті, що протікають у неживій (мінеральній) природі – геологічної форми руху.

Таким чином, хімічні явища перебувають, так би мовити, на своєрідному перехресті різних форм руху матерії – хімічні перетворення базуються на фізичних взаємодіях, а самі є основою біологічних та геологічних явищ. Можна сказати, що хімія знаходиться в центрі природничих наук.

Отже, знання про склад і будову речовин та процеси їх перетворення є хімічною складовою природничо-наукової картини світу. Поряд із знаннями з інших природничих наук, вони доповнюють ПНК до цілісності, без них не можна створити цілісне уявлення про світ, а отже, і сформувані науковий світогляд.

Роль хімічних знань у пізнанні природи. Створення сучасної природничо-наукової картини світу стало можливим завдяки спільним зусиллям вчених різних галузей знань. Важливу роль у створенні цілісної ПНК відіграє і хімія. Для досягнення сучасного рівня розвитку хімія пройшла довгий і нелегкий шлях. У 7-му класі ви вже знайомились із початковими етапами розвитку цієї галузі знань – ремісницькою хімією, алхімією, ятрохімією. Ці періоди об'єднуються назвою донаукової хімії.

Хімія як наука почала складатись у XVII-XVIII ст. Саме тоді завдяки дослідженням Р.Бойля, М.В.Ломоносова, А.Л.Лавуазьє та інших вчених розпочалось впровадження в хімію кількісних методів дослідження, зважування, було встановлено закон збереження маси. Головним завданням науки вчені стали вважати пізнання природи, використання її законів для задоволення потреб людини, покращення її життя. Задача хіміків полягала у виявленні властивостей та закономірностей тих об'єктів природи, що вивчаються хімією – речовин та їх перетворення. Головним же практичним завданням хімії стали вважати одержання речовин із наперед заданими властивостями.

Вчені-хіміки того часу вважали, що властивості речовин визначаються їх складом, і хімія розвивалась як наука про склад речовини. В цей період виникають неорганічна і аналітична хімії, утверджується атомно-молекулярне вчення. Останнє стало основою не лише хімії, а всього природознавства. За допомогою уявлень про атоми і молекули дістали пояснення кількісні співвідношення при перебігу хімічних реакцій, агрегатні перетворення, фізичні процеси електропровідності, розширення тіл при нагріванні, дифузії, осмосу, геологічні перетворення, процеси обміну речовин в живих організмах тощо.

Найбільший внесок у розвиток хімії цього періоду належить Дж. Дальтону (Англія), Ж. Гей-Люссаку (Франція), А. Авогадро (Італія), М.В. Ломоносову (Росія), Й.Я. Берцеліусу (Швеція) та ін. Періодична система хімічних елементів, створена російським хіміком Д.І. Менделєєвим, засвідчила, що всі хімічні елементи взаємозв'язані і складають одну систему. Періодична таблиця елементів стала важливим робочим інструментом хіміків, з її допомогою стало можливим передбачати властивості невідомих елементів та речовин.

У XIX ст. було встановлено, що властивості речовин значною мірою залежать і від їхньої структури. Хімію почали розглядати як науку про склад та будову речовини. Виникла і стала бурхливо розвиватись органічна хімія. Завдяки встановленню властивості атомів Карбону сполучатись між собою з утворенням довгих і розгалужених ланцюгів, відкриттю явища ізомерії та створення на цих підставах російським хіміком О.М.

Бутлеровим теорії хімічної будови органічних сполук, хіміки-органіки навчилися відтворювати речовини, створені природою, а також синтезувати сполуки, невідомі природі. Важливим досягненням хіміків того часу стало доведення єдності неорганічного та органічного світу. Після здійснення в середині XIX ст. синтезів органічних сполук – спочатку сечовини (Ф. Велер), а згодом жирів (М. Бертло) та вуглеводів (Е. Фішер) – із неорганічних речовин стало зрозумілим, що непрохідної межі між неорганічною та органічною природою не існує. І та і інша підпорядковуються однаковим законам природи.

Наприкінці XIX ст. вчені виявили, що одержувати речовину з потрібними властивостями неможливо без знання законів хімічного процесу, без врахування впливу фізичних факторів на нього. Це сприяло виникненню фізичної хімії – науки про взаємозв'язок хімічних та фізичних явищ, про причини і умови перебігу хімічних реакцій. Завдяки використанню законів і принципів фізики, хімія із стану описової науки перейшла до розряду науки експериментально-теоретичної. У XX ст. хімічний процес став одним із головних предметів хімії. основоположниками вчення про хімічний процес вважають голландського хіміка Я. Вант-Гоффа, німецького вченого В. Оствальда, шведського хіміка С. Арреніуса, вітчизняних вчених М. М. Бекетова, Д. П. Коновалова та ін.

У XX ст. з'явилися і інші пограничні науки – біохімія, геохімія, біогеохімія. Біохіміки допомагають біологам розкрити таємниці виникнення та функціонування життя. Наш співвітчизник В.І. Вернадський, один із основоположників геохімії та біогеохімії, розвинув учення про живу оболонку землі – біосферу.

Створення цілісної природничо-наукової картини світу неможливе без знань про речовини та їх перетворення, які вивчаються хімією. Хімія перебуває в центрі природничих наук. Хімічні перетворення базуються на фізичних взаємодіях, а самі є основою біологічних та геологічних явищ. Хімічні знання доповнюють ПНКС до цілісності.

Перевір себе.

1. Обґрунтуй твердження, що загальні закони та закономірності природи вони є основним засобом інтеграції знань у цілісну картину світу.
2. Назви науки що виникли на «стиках» традиційних наук. Що вони вивчають?
3. Як змінювались уявлення хіміків про чинники, що визначають властивості речовин?
4. Назви вчених, які зробили найбільший внесок у становлення і розвиток наукової хімії.
5. Яких вітчизняних вчених-хіміків ти знаєш? Назви їх.

Поміркуй

1. Часто кажуть, що природа єдина. Обґрунтуй цю думку. Що зумовлює єдність природи?
2. Чи можливе створення ПНКС без її хімічної складової?
3. Лемей та Браун назвали свій підручник «Хімія – в центрі наук». Чи мають вони для цього підстави?
4. Наведи приклади взаємозв'язку хімії з іншими природничими науками.
5. Чому атомно-молекулярне вчення вважають основою сучасного природознавства?
6. Академік М.М.Семенов назвав хімічне перетворення головним предметом хімії XX ст. Спробуй обґрунтувати його твердження.
7. Які досягнення хімії, на ваш погляд, найбільше сприяли формуванню сучасної ПНКС?
8. Видатний англійський фізик Е.Резерфорд напівжартома поділяв усі науки на фізику та... колекціонування марок. До якої із цих груп ви віднесли б хімію XVII ст.? А сучасну хімію? Чому?

Для допитливих

Теорія горіння і наукова революція. Киснева теорія горіння, створена наприкінці XVIII ст. французьким хіміком А.Лавуазьє, стала одним із тих відкриттів, що спричинили першу наукову революцію, яка поклала початок краху віри в обов'язкову істинність безпосередньо баченого. Те, що ми бачимо, не завжди відповідає істинній природі речей. Виявлення істини потребує копітких наукових досліджень.

Дійсно, горіння, на перший погляд, видається розкладом речовин, насправді ж, як це впливало із кількісних експериментів А.Лавуазьє, воно є процесом сполучення речовин з киснем. Окисненням речовин пояснюються і інші процеси: травлення, гниття, тління, дихання, іржавіння...

§3. Загальна характеристика неметалічних елементів

Засвоївши матеріал параграфа, ви зможете охарактеризувати неметалічні елементи за їх місцем у періодичній системі та будовою атома.

Неметалічних елементів значно менше (22) порівняно з металічними (понад 90), проте вони відіграють важливу роль у природі та житті людини. Без них взагалі було б неможливим життя на Землі. Для неметалічних елементів скоріше характерна відмінність, ніж схожість властивостей. Однак є і багато спільного.

Місце в періодичній системі та електронна будова атома. Неметалічні елементи розміщені переважно у правій верхній частині періодичної системи елементів, як правило, в кінці малих та великих періодів (мал. 3). Всі вони входять до головних підгруп, тому число валентних (зовнішніх) електронів у їхніх атомах, як і в усіх атомах елементів головних підгруп, дорівнює номеру групи.

Всі неметалічні елементи за винятком H та He належать до р-елементів, бо в їхніх атомах відбувається заповнення електронами р-підрівня останнього енергетичного рівня. Для завершення зовнішнього шару атоми цих елементів приєднують електрони і тому здебільшого виступають *окисниками*. Здатність до приєднання електронів, як ви знаєте, зростає у періоді при наближенні до інертного елемента, тобто зліва направо, а в групі – знизу вгору.

- Які фізичні причини зумовлюють зазначені зміни здатності атомів до приєднання електронів в періодах і в групах?

Групи \ Періоди	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
1	H							He
2			B	C	N	O	F	Ne
3				Si	P	S	Cl	Ar
4					As	Se	Br	Kr
5						Te	I	Xe
6							At	Rn
7								

Мал. 3. Розміщення неметалічних елементів у періодичній системі

Найактивніше приєднують електрони атоми F, потім O, Cl, N, S. У атомів елементів зменшення здатності до приєднання електронів відповідає зменшенню їх відносних *електронегативностей*.

- Згадай, що визначає величина електронегативності. Які її значення для неметалічних і металічних елементів?

Сполуки неметалічних елементів. Типові неметалічні елементи (галогени, Оксиген), взаємодіючи з типовими металічними елементами (насамперед, лужними), утворюють сполуки з йонним типом хімічного зв'язку, наприклад, KF, NaCl, CaO (нагадуємо, що йонний зв'язок у бінарних сполуках утворюється, як правило, тоді, коли різниця електронегативностей елементів перевищує 2). В усіх інших випадках взаємодії неметалічних елементів з металічними та іншими неметалічними виникають сполуки з полярним ковалентним зв'язком (HCl, CuS, SO₂, H₂O, NH₃). Атоми в молекулах простих речовин, утворених неметалічними елементами, сполучаються неполярним ковалентним зв'язком (H₂, N₂, O₂, Br₂).

Взаємодіючи з Гідрогеном, неметалічні елементи утворюють леткі сполуки, як, наприклад, сірководень H₂S, аміак NH₃, метан CH₄. При розчиненні у воді водневї (гідрогеновмісні) бінарні сполуки неметалічних елементів VI та VII груп утворюють кислоти з такою ж формулою, що і самі водневї сполуки: HCl, HF, HI, H₂S тощо.

З Оксигеном неметалічні елементи утворюють кислотні оксиди. В одних оксидах вони виявляють максимальний ступінь окиснення, що дорівнює номеру групи, наприклад SO₃, N₂O₅, в інших – нижчий, наприклад SO₂, N₂O₃. Кислотним оксидам відповідають кислоти, причому з двох оксигеновмісних кислот одного неметалічного елемента сильнішою буде та, в якій він виявляє вищий ступінь окиснення. Наприклад, нітратна(V) кислота HNO₃ сильніша за нітратну(III) кислоту HNO₂, сульфатна(VI) кислота H₂SO₄ сильніша, ніж сульфатна(IV) кислота H₂SO₃ (сила кислоти, як ви знаєте, визначається її здатністю дисоціювати з утворенням йонів Гідрогену).

Атоми розміщених у VIII групі інертних елементів мають стійкі електронні оболонки, бо вони повністю заповнені електронами (у атомів елементів, важчих за He, на них розміщується по 8 електронів, а у атома He – 2). Раніше вважали, що атоми цих елементів зовсім не здатні ні віддавати, ні приєднувати електрони, тобто утворювати сполуки з іншими атомами. Через це їх і назвали інертними, або благородними. Однак, у 1962 р. хімікам вдалось одержати першу сполуку благородного елемента – ксенон(IV) флуорид XeF₄. Пізніше отримали й інші сполуки Ксенону, а також Криптон у і Радону.

У атомів неметалічних елементів заповнюється р-підрівень зовнішнього енергетичного рівня, тому вони належать до р-елементів. Атоми неметалічних елементів здатні приєднувати електрони і є, як правило, окисниками. Неметалічні властивості елементів в періодах зростають зліва направо, а в групах – знизу вгору. Тому найактивніші неметалічні елементи зосереджені в правому верхньому куті періодичної таблиці.

Перевір себе.

1. Де в періодичній таблиці розміщені неметалічні елементи?
2. Що мають на увазі, коли говорять про неметалічні та металічні властивості елементів?
3. Використовуючи відповідь на попереднє завдання, вкажи, в якому із наведених рядів неметалічні властивості хімічних елементів посилюються у вказаному напрямі:
а) F → Cl → Br → I; б) Si ← P ← S ← Cl ← Ar;
в) C → Si → Ge → Sn → Pb; г) Bi → Sb → As → P → N.
4. До якої із груп елементів (s-, p-, d-, f-) належать неметалічні елементи?
5. Які властивості – окисні чи відновні — характерні для неметалічних елементів? Чому?
6. Чому неметалічні елементи VIII групи є хімічно інертними?
7. Тип кристалічних ґраток: 1) атомні; 2) молекулярні; 3) йонні характерний для речовин: а) водень; б) флуор; в) метан; г) гідрогенбромід; д) графіт; е) сульфур(IV) оксид; є) калій хлорид; ж) неон.

Поміркуй.

1. Чи можуть неметалічні елементи виявляти відновні властивості? У яких випадках? Наведи приклади.
2. Установи відповідність між хімічними елементами головних підгруп та електронною конфігурацією зовнішнього енергетичного рівня їх атомів:

1) елементи IV групи;	а) ns^2np^6 ;
2) елементи VI групи;	б) ns^2np^1 ;
3) елементи VIII групи;	в) ns^2np^4 ;
	г) ns^2np^2 .
3. У кисні об'ємом 2,24 л міститься молекул: а) $6 \cdot 10^{23}$; б) $6 \cdot 10^{22}$; в) $6 \cdot 10^{21}$; г) $12 \cdot 10^{21}$.
4. Який оксид утвориться, якщо при окисненні простої речовини масою 6 г витрачається кисень об'ємом 11,2 л: а) NO_2 ; б) CO_2 ; в) SO_2 ; г) SiO_2 ?

§4. Поширення неметалічних елементів у природі, їхня біологічна роль

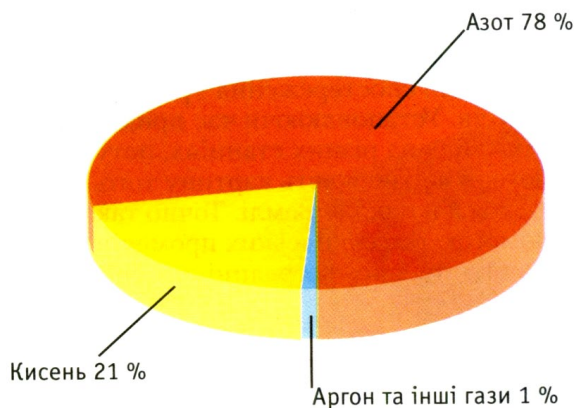
Вивчивши параграф, ви дізнаєтесь про поширеність неметалічних елементів у природі та їхню біологічну роль, зможете назвати основні природні сполуки цих елементів.

Неметалічні елементи більш поширені в природі, ніж металічні і представлені в усіх географічних оболонках Землі. У Всесвіті 99% всіх атомів — це атоми Гідрогену (92%) і Гелію (7%); в земній корі атомів неметалічних елементів понад 87%, а найбільше Оксигену (55,0%), Силіцію (16,4%) та Гідрогену (15,5%).

Неметалічні елементи в атмосфері та гідросфері. Нижній шар атмосфери (тропосфера), який являє собою власне повітря, на даному геологічному етапі існування нашої планети має досить сталий склад. На 78% за об'ємом повітря складається з азоту N_2 та на 21% — із кисню O_2 , містить воно також до 1% інертних газів (переважно аргону) (мал. 4). У гідросфері міститься близько 86% (за масою) Оксигену та 11% Гідрогену, які входять до складу води.

Азот є досить інертною речовиною, бо атоми Нітрогену в його молекулі зв'язані міцним потрійним ковалентним зв'язком. Цей хімічно пасивний газ служить як би розчинником інших газів у повітрі і створює середовище для перебігу процесів, що відбуваються в атмосфері.

Кисень необхідний для існування всього живого — людини, тварин і рослин. Його концентрація в повітрі поступово збільшується при наближенні до поверхні Землі. Саме на межі стикання атмосфери з гідросферою та літосферою спостерігається найбільше різноманіття живих організмів, які дихають киснем. Кисень розчиняється і у воді (в 100 л води при $0^\circ C$ розчиняється близько 5 л O_2), забезпечуючи життя в гідросфері.



Мал. 4. Склад атмосфери

Вуглекислий газ CO_2 , якого у повітрі близько 0,03%, належить до змінних компонентів. В останні десятиліття спостерігається зростання його вмісту в атмосфері.

Неметалічні елементи у літосфері. Земна кора складена із гірських порід, що являють собою сукупність мінералів. Останні можуть бути як простими речовинами (сірка, золото, алмаз, графіт), так і складними сполуками, що утворюються внаслідок геохімічних процесів. Більше, ніж на три чверті літосфера складена із сполук Оксигену (47,0%) та Силіцію (29,5%). На сьогодні відомо понад 2,5 тис. мінералів. Найпоширеніша магматична гірська порода граніт (мал. 5) складається переважно з мінералів кварцу (мал. 6), польових шпатів (мал. 7) та слюди, до складу яких входять Оксиген, Силіцій, Гідроген, Флуор та інші неметалічні

елементи. В іншій поширеній гірській породі базальті (мал. 8) – також переважають польові шпати. Вапнякові породи (мал. 9) складаються із кальциту CaCO_3 (мал. 10). Поширеними групами мінералів є силікати та алюмосилікати (ті ж польові шпати, слюди, мінерали глини), які становлять близько трьох чвертей маси земної кори, а також сульфати, карбонати, різні оксиди та гідроксиди.



Мал. 5. Граніт



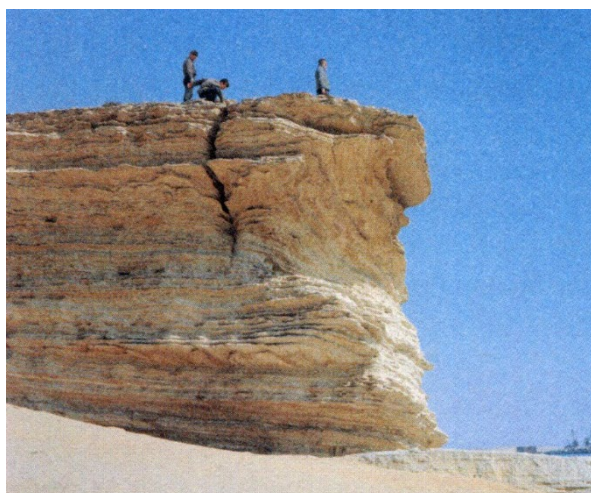
Мал. 6. Кварц



Мал. 7. Один із різновидів польового шпату



Мал. 8. Базальт



Мал. 9. Скелі вапняку



Мал. 10. Кальцит

Найпоширенішими із мінералів, що складають літосферу, є кремнезем, або кварц SiO_2 (мал. 6) та різні його різновиди. Найвідомішою формою кварцу є звичайний пісок, що має білий колір. Пісок часто містить домішки оксидів Fe, які надають йому звичного для нас жовтого забарвлення. Іншим різновидом кварцу є напівдорогоцінні камені – яшма, халцедон, сердолік, які відрізняються вмістом домішок, а тому мають різне забарвлення. Найчистішим різновидом кварцу є гірський криштал (мал. 11); він прозорий і не має кольору. У природі зустрічаються і гідратовані форми кремнезему – мінерали опал, трепел, кремій. Останній слугував огнивом для наших давніх предків, із нього виготовляли ножі, сокири, наконечники стріл.



Мал. 11. Гірський криштал

Поширення та роль неметалічних елементів у живій природі. Всі живі організми, що створюють біосферу, складаються із тих же хімічних елементів, що й об'єкти неживої природи. За вмістом у живих організмах їх поділяють на макробіогенні (понад 0,01%), мікробіогенні (від 0,01 до 0,00001%) та ультрамікробіогенні (менше 0,00001%). Найголовнішу роль тут відіграють макробіогенні елементи – Оксиген, Карбон, Гідроген, Нітроген, Фосфор, Сульфур, Хлор. Разом із металічним елементом Кальцієм їхня масова частка становить понад 99% хімічного складу клітини. Із атомів макробіогенних елементів, насамперед С, О, Н, N (їх називають ще елементами – органогенами), складені молекули вже відомих вам білків, жирів, вуглеводів, нуклеїнових кислот, гормонів, вітамінів.

- Згадай із курсу 9-го класу відомості про властивості Карбону. Які властивості зумовлюють його виняткову біологічну роль?

Гідроген і *Оксиген* є головними учасниками окисно-відновних процесів у живих системах. Вони відіграють надзвичайно важливу роль в обміні речовин та енергії. Встановлено, що близько 99% енергопостачання організму здійснюється саме за рахунок окисно-відновних реакцій при окисненні харчових продуктів.

Атом Гідрогену як відновник може легко віддавати свій електрон, сприяючи утворенню так званих високоенергетичних сполук, наприклад молекул АТФ. Крім того, частина атомів Гідрогену, перебуваючи у вигляді протонів H^+ , підтримує кислотно-лужну рівновагу організму, сприяє гідролізу молекул харчових продуктів, виявляє бактерицидні властивості.

Оксиген як окисник під дією ферментів приєднує електрони і разом із Гідроген-іонами утворює воду або гідроген пероксид.

Нітроген є обов'язковою складовою білків і відіграє важливу роль в обміні речовин. Він входить також до складу амінокислот та нуклеїнових кислот. Нітроген утворює ковалентні зв'язки, які під дією ферментів розриваються.

Атоми *Фосфору* беруть участь в побудові всіх клітин організму, обмінних процесах, входять до складу кісток. У складі аніону PO_4^{3-} цей елемент сприяє акумуляції енергії в молекулах АТФ, а в подальшому у вивільненні енергії і використанні її клітиною. Фосфор дуже важливий і для роботи мозку, його називають «елементом життя і мислення» (О.Є. Ферсман).

Сульфур входить до складу деяких амінокислот – метіоніну, цистеїну та цистину, які містяться в молекулах майже всіх білків. Знаходиться також у кістках, нервовій тканині. Важлива біологічна функція Сульфуру полягає в здатності утворювати зв'язки («сульфідні містки») між поліпептидними ланцюгами білків.

Йони *Хлору*, що входять до складу натрій хлориду NaCl , беруть участь в регулюванні водного обміну, забезпечують підтримку в організмі сталого осмотичного тиску, зокрема плазми крові, активізують ферменти, створюють сприятливе середовище для дії ферментів шлункового соку.

Важливу роль у життєдіяльності організму відіграють і мікробіогенні неметалічні елементи – Йод, Флуор, Бром, хоча їх вміст становить лише тисячні частки відсотка.

До складу тироксину, активної частини гормону щитовидної залози людини, входить *Йод*, який там переважно і концентрується. Нестача йоду в організмі призводить до тяжкого захворювання – зобу, яке супроводжується порушенням обміну речовин. Для попередження захворювання треба вживати йодовану кухонну сіль. Найбільше його міститься у водоростях та тілі деяких морських тварин.

Сусід Йоду по VII групі *Флуор* у вигляді флуоридів (фторидів) входить до складу емалі зубів, забезпечуючи їх нормальний ріст та пігментацію. Для профілактики карієсу зубів користуються фторовмісними зубними пастами.

Бром регулює нервову діяльність, посилює процеси гальмування в корі головного мозку. Броміди виявляють заспокійливу дію, застосовуються при неврозах, безсонні.

Широко представлені неметалічні елементи і в світі одноклітинних організмів та бактерій. Внутрішній скелет морської радіолярії, наприклад, побудований із кремнезему SiO_2 .

Неметалічні елементи надзвичайно широко розповсюджені у природі. Гідроген і Гелій складають основну масу космічних тіл, Оксиген та Силіцій – земної кори, Оксиген з Нітрогеном та Гідроеном – відповідно атмосфери та гідросфери. Макробіогенні елементи (C, O, H, N, P, S, Cl) є основою всіх живих організмів, разом з мікробіогенними елементами (I, Br, F) вони виконують важливі біологічні функції, забезпечуючи життєдіяльність організмів.

Для допитливих

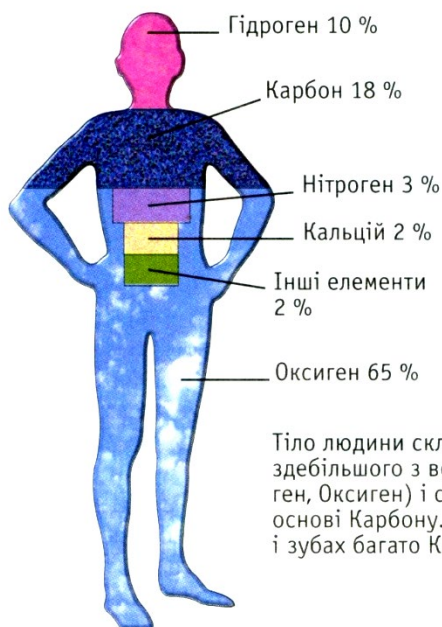
Про діяльність сірководневих та нітрифікуючих бактерій.

У різних водоймах та заболочених місцях часто трапляються колонії мікроорганізмів, які поглинають з води сірководень H_2S , розкладають його на водень та сірку і відкладають останню у своїх тілах. Ці бактерії мікроскопічно малі, але їх так багато, що в місцях їхнього скупчення нагромаджується самородна сірка. H_2S завжди виділяється при гнитті організмів, і якщо поруч є йони Fe^{2+} або Cu^{2+} , з якими він може реагувати, то утворюються кристалики залізного або мідного колчедану.

У цитоплазмі нітрифікуючих бактерій відбувається послідовне перетворення азоту до аміаку, а потім до солей нітритної (HNO_2) і нітратної (HNO_3) кислот.

З яких елементів складається тіло людини?

Людина масою 70 кг містить в середньому 45,5 кг Оксигену (65%) (мал. 12), 12,6 кг Карбону (18%), 7,0 кг Гідроену (10%), 2,1 кг Нітрогену (3%), 1,4 кг Кальцію (2%), 0,7 кг Фосфору (1%), а також близько 700 г (1%) Калію, Натрію, Хлору, Сульфур, Магнію та незначні кількості інших елементів (всього близько 60). Як бачите, в тілі людини переважають атоми легких елементів, які розміщені, головним чином, в перших трьох періодах періодичної системи.



Тіло людини складається здебільшого з води (Гідроген, Оксиген) і сполук на основі Карбону. У кістках і зубах багато Кальцію.

Мал. 12. Елементний склад тіла людини

Запиши до словника.

Мінерали – природні хімічні сполуки приблизно однорідного складу, що утворюються внаслідок фізико-хімічних процесів у земній корі; є основою гірських порід.

Біогенні елементи – хімічні елементи, що входять до складу живих організмів і відіграють важливу роль у їх функціонуванні; поділяються на макробіогенні (понад 0,01%), мікробіогенні (від 0,00001% до 0,01%) та ультрамікробіогенні (менше 0,00001%).

Перевір себе.

1. Які хімічні елементи найпоширеніші у Всесвіті, у земній корі, у гідросфері, в атмосфері?
2. Розкрий роль Оксигену та його простої речовини кисню у неживій природі.
3. Назви відомі тобі мінерали – різновиди кварцу.
4. Які неметалічні елементи належать до макробіогенних (елементів-органогенів)?
5. Яка біологічна роль Нітрогену, Гідрогену, Фосфору, Сульфуру?

Поміркуй.

1. Чому силікати є основою будови земної кори?
2. Визнач масову частку Сульфуру в мінералі мірабіліті $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$.
3. За допомогою яких закономірностей ти внесеш хімічні знання в образ природи?

Подискутуйте.

Одна із планет Сонячної системи містить складну трьохатомну речовину, яка горить в атмосфері одного із галогенів, утворюючи одну складну і одну просту газоподібні речовини. Під час розкладання невідомої речовини утворюються дві прості газоподібні речовини, відносна густина однієї з них по відношенню до іншої становить 16. Одна з них горить у кисні, а інша може утворювати за певних умов іншу газоподібну речовину. Яка формула невідомої речовини? На якій планеті вона зустрічається? Відповідь обґрунтуйте і підтвердьте рівняннями реакцій.

§5. Прості речовини-неметали, їх застосування, роль у природі

Засвоївши матеріал параграфа, ви зможете охарактеризувати практичне значення неметалів, пояснити суть явищ алотропії та адсорбції, назвати алотропні видозміни Оксигену і Карбону, висловити судження про роль озонового шару в атмосфері.

Прості речовини, утворені неметалічними елементами, називають *неметалами*. З багатьма неметалами ви, певне, уже знайомі, зустрічалися з ними у повсякденному житті або в кабінеті хімії. За нормальних умов одні неметали (водень, кисень, азот, хлор, фтор, інертні гази) перебувають у газоподібному стані, бром – у рідкому, решта (сірка, вуглець, йод, бор та ін.) – у твердому стані.

Неметали, що перебувають у газоподібному стані. Молекули більшості газоподібних речовин-неметалів (H_2 , O_2 , N_2 , Cl_2 , F_2) складаються із двох атомів, а інертних газів (He, Ar, Ne та ін.) – з одного.

Кисень O_2 і азот N_2 – прості речовини, утворені відповідно Оксигеном та Нітрогеном – основні складові повітря, яким ми щомиті дихаємо. Атмосферний *кисень* – є переважно продуктом фотосинтезу, тобто процесу життєдіяльності зелених рослин (про властивості та застосування кисню ви вже знаєте із курсу хімії 7-го класу).

Азот раніше називали «безжиттєвим газом», бо він не підтримує горіння і дихання. Причина цього в тому, що молекула N_2 дуже міцна (енергія зв'язку становить 945 кДж/моль) і через це азот з великими труднощами вступає в реакції. Вільний азот є найстійкішою формою існування Нітрогену в природі. Ті невеликі кількості сполук Нітрогену, які трапляються у довкіллі, своїм походженням повинні завдячувати живим організмам, наприклад, клубеньковим бактеріям, які переводять азот атмосфери у сполуки. У

виробництві великі кількості азоту використовують для добування аміаку, нітратної (азотної) кислоти, азотних добрив, вибухових речовин. Азотом поряд з деякими інертними газами наповнюють лампи розжарювання для створення інертного середовища.

Водень H_2 , найлегший з усіх газів, ви, мабуть, одержували в хімічному кабінеті і тому знайомі з його властивостями. Раніше його разом з гелієм використовували для наповнення повітряних куль, аеростатів, дирижаблів. Зараз застосовують переважно у різних галузях харчової та хімічної промисловості, наприклад, для виробництва аміаку. Водень вважають дуже перспективним паливом майбутнього, основою водневої енергетики.

Галогени – дуже активні речовини і у вільному стані зустрічаються рідко.

Хлор Cl_2 , газ жовто-зеленого кольору з різким запахом, є дуже отруйним. Цей газ використовують для знезараження (хлорування) питної води, вибілювання тканини і паперу, виготовлення хлоридної (соляної) кислоти і полімерних хлоровмісних матеріалів.

Фтор F_2 (світло-зелений газ) також отруйний. Його застосовують у синтезі полімерних матеріалів – фторопластів, що мають високу хімічну стійкість, а також як окисник ракетного палива.

Алотропія. Озоновий шар та його захисна роль. Із курсів природознавства та хімії ви знаєте, що багатьом елементам притаманна алотропія.

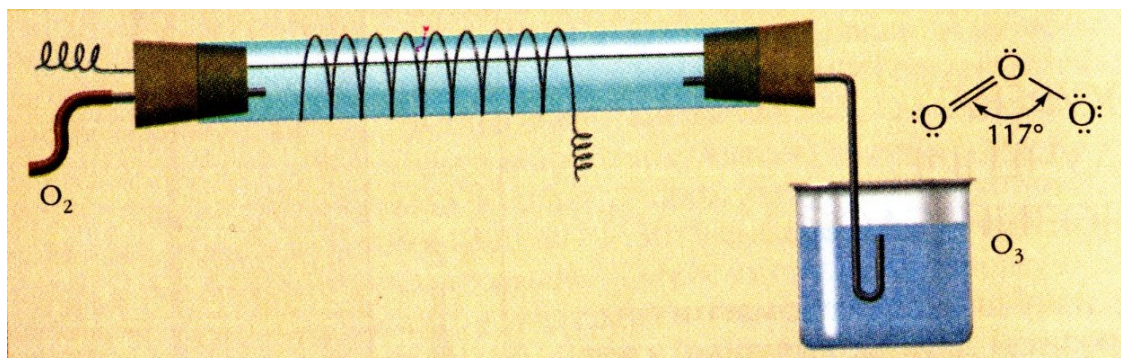
Алотропія – явище утворення атомами елемента кількох простих речовин, що відрізняються за будовою та властивостями.

Знаєте ви і про те, що елемент Оксиген утворює дві *алотропні видозміни, або модифікації*, простих речовин – кисень O_2 та озон O_3 .

Озон O_3 , молекула якого складається з трьох атомів Оксигену, є нестійкою речовиною і легко розпадається на молекулярний та атомарний кисень. Останній, як відомо, має високу хімічну активність (чому?), тому є сильнішим окисником за кисень і виявляє дезінфікуючу та бактерицидну дію. Через те його використовують для очищення питної води, знезараження повітря тощо.

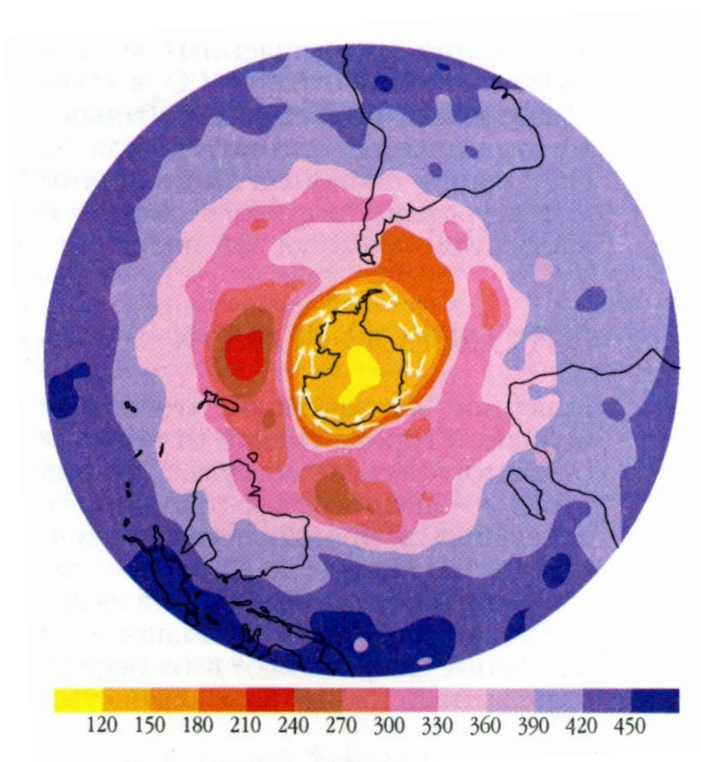
Озон можна одержати із кисню при дії електричного розряду (з цією метою часто використовують озонатори (мал. 13): $3O_2 \leftrightarrow 2O_3$. Спочатку молекула кисню розкладається на два атоми Оксигену, які сполучаються з іншими молекулами кисню, утворюючи озон: $O_2 \rightarrow O + O$; $O_2 + O \rightarrow O_3$. У повітрі озон виникає під час грози. У верхніх шарах атмосфери O_3 утворюється під дією короткохвильового ультрафіолетового випромінювання. Через це в атмосфері завжди є невелика кількість озону. Найбільша його концентрація знаходиться на висоті 20—30 км. Тому цей шар атмосфери часто називають *озоновим*.

Озоновий шар виконує дуже важливу біологічну функцію. Справа в тому, що ультрафіолетове випромінювання, яке надходить від Сонця, має вищу енергію, ніж видимі промені, і може руйнувати клітини живих істот, викликати ракові захворювання шкіри та інші шкідливі зміни в організмах. Молекули ж O_3 можуть поглинати ультрафіолетові промені (самі вони при цьому розпадаються на O_2 і O) і цим захищають все живе від їхнього шкідливого впливу. Озоновий шар виконує роль своєрідного захисного щита Землі.



Мал. 13. Найпростіший озонатор

На жаль, останнім часом вчені фіксують зменшення концентрації O_3 в окремих ділянках атмосфери, зокрема над Антарктидою. В таких випадках говорять про появу «озонових дір» (мал. 14). Серед можливих причин зменшення концентрації озону («товщини» озонового шару) називають і такі, що зв'язані з техногенною діяльністю людини. Це поява у верхніх шарах атмосфери фреонів – хлоровмісних речовин, що використовуються, наприклад, у холодильних виробництвах, та нітроген(II) оксиду NO – продукту згоряння палива реактивних літаків. Cl , NO та деякі інші речовини є каталізаторами розпаду озону. Збереження озонового шару – одне із важливих завдань суспільства.



Мал. 14. Озонова діра над Антарктидою. Вміст озону наведений у відносних одиницях

Неметали у твердому стані та їх алотропні видозміни. Найважливішими із неметалів, що за звичайних умов перебувають у твердому стані, є вуглець, фосфор, сірка та силіцій.

У природі зустрічаються дві алотропні видозміни вуглецю – алмаз та графіт.

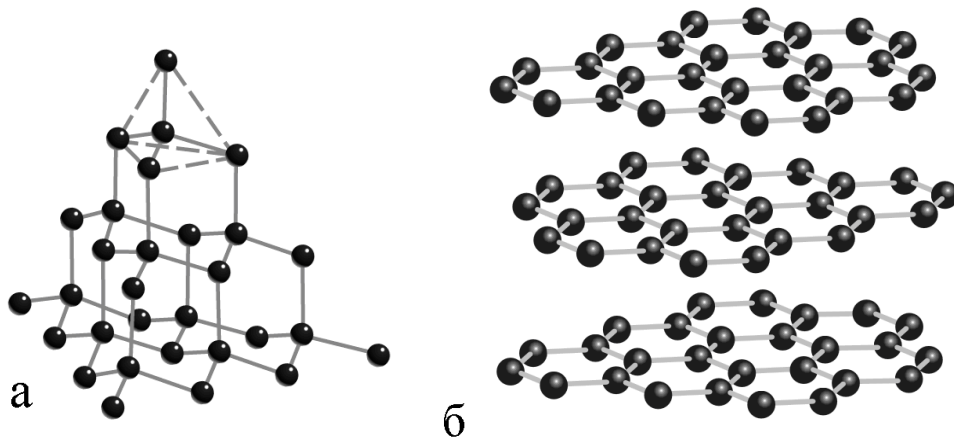
Алмаз – прозорий кристал з високою твердістю та міцністю (це найтвердіша з усіх відомих у природі речовин), не проводить електричний струм, хімічно інертний. Спеціально оброблені алмази являють собою дорогоцінні камені-діаманти (мал. 15). У техніці широко застосовуються штучні алмази, які одержують з графіту за високих температур та тиску. *Графіт* – м'яка непрозора речовина сіро-чорного кольору (мал. 16), здатна проводити електричний струм. Різка відмінність властивостей алмазу і графіту зумовлена різною будовою цих речовин, розміщенням атомів Карбону в кристалічних ґратках (мал. 17).



Мал. 15. Діамант



Мал. 16. Графіт



Мал. 17. Кристалічні ґратки алмазу (а) та графіту (б)

В алмазі кожний атом Карбону з'єднаний з чотирма найближчими атомами міцними ковалентними зв'язками. У просторі елементарна комірка алмазу нагадує тетраедр, у кожному з кутів якого та в центрі розміщені атоми Карбону (мал. 17 а). Кристали графіту складаються з окремих шарів, утворених плоскими шестикутниками, що стикаються один з одним (мал. 17 б). У кожного з атомів Карбону в утворенні ковалентних зв'язків беруть участь по три електрони зовнішнього рівня, а четвертий валентний електрон розміщується між шарами і нагадує електрони металу. Цим пояснюється електропровідність графіту.

Сусідні шари в графіті знаходяться на достатньо великих відстанях і зв'язки між ними слабкі (тут діють міжмолекулярні сили Ван-дер-Ваальса). Окремі площини ковзають одна відносно іншої і тому графіт легко розшаровується. Ось чому залишають слід на папері прості графітові олівці.

Останнім часом вчені одержали ще 2 різновиди вуглецю – карбін та фулерен, які відрізняються будовою.

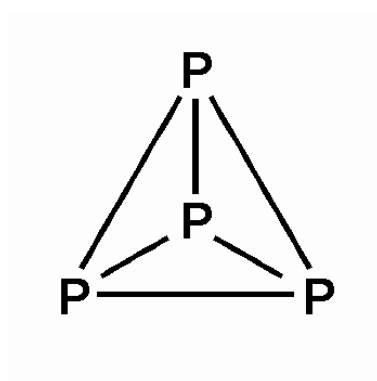
Кілька алотропних модифікацій має і фосфор. Існують білий фосфор, червоний (мал. 18) та чорний. Білий фосфор (безбарвна отруйна речовина) має молекулярну кристалічну решітку. Його молекули чотирьохатомні (P_4) і мають форму правильної тригранної піраміди (мал. 19, а). Як усі речовини з молекулярними ґратками, білий фосфор легкий, легко плавиться. На відміну від нього, червоний та чорний

фосфор мають атомну решітку (мал. 19, б); вони неотруйні. Червоний фосфор застосовують у виробництві сірників.

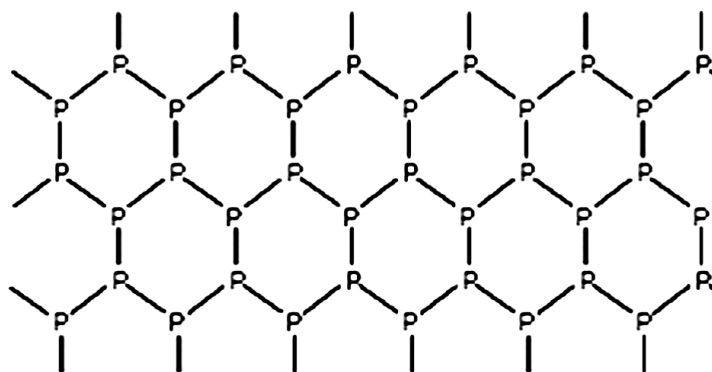
Сірка – крихка речовина жовтого кольору (мал. 20), практично нерозчинна у воді, погано проводить тепло та електричний струм. За звичайних умов молекула сірки складається з 8 атомів Сульфуру, що замикаються в кільце. При нагріванні кільце розривається на окремі ланки, що з'єднуються в ланцюги. При швидкому охолодженні розірвані ланки не встигають замкнутись у кільце – утворюється пластична сірка.



Мал. 18. Найпоширеніші види фосфору – червоний (а) та білий (б)



а



б

Мал. 19. Схема будови молекули білого фосфору (а) та кристалічної решітки червоного фосфору (б)

У виробництві сірки використовують для добування сульфатної (сірчаної) кислоти, вулканізації каучуку, виготовлення пороху, сірників, світних сумішей. Родовища самородної сірки є в Криму.

Кристали *силіцію* (кремнію) виявляють напівпровідникові властивості, тому їх застосовують для виготовлення напівпровідникових приладів, сонячних батарей (*мал. 21*), які перетворюють світлову енергію в електричну.

Адсорбція. При термічному розкладі деревини утворюється деревне вугілля – один із різновидів вуглецю з неупорядкованою структурою. Воно має величезну кількість дрібних пор і каналів (*мал. 22*) – це колишні судини дерева, по яких рухались поживні соки. Площа поверхні пор і каналів деревного вугілля, обробленого водяною парою, (активоване вугілля) масою 1 г досягає 500 – 1000 м²! Таке вугілля має здатність поглинати і утримувати на поверхні пор значну кількість газів або рідких речовин.

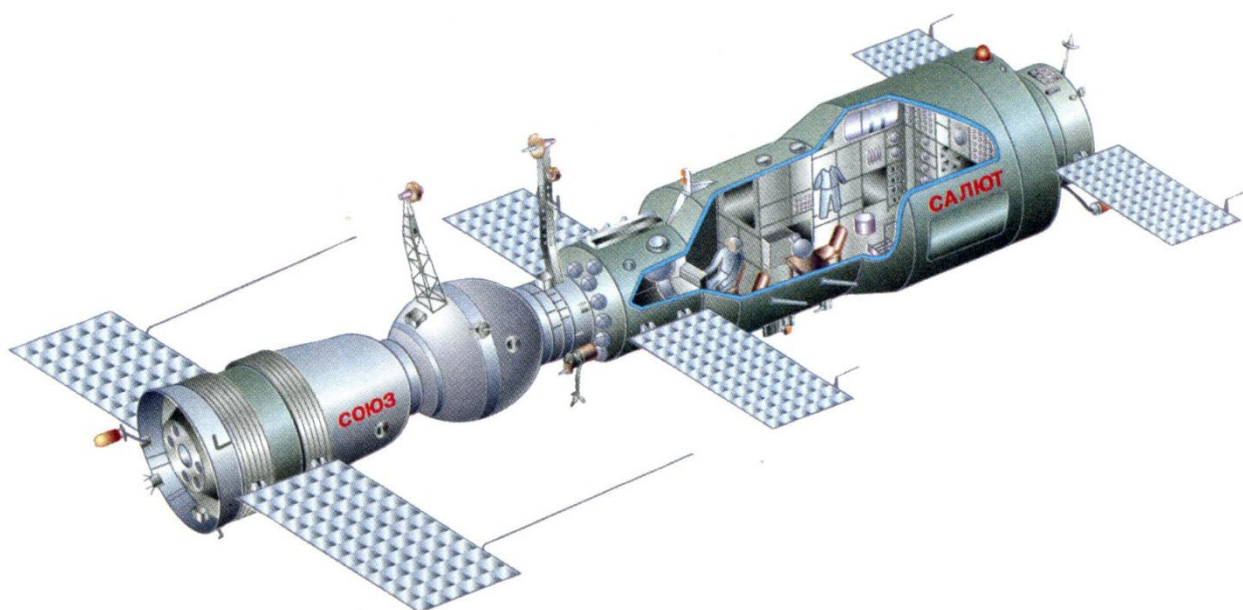


Мал. 20. Сірка

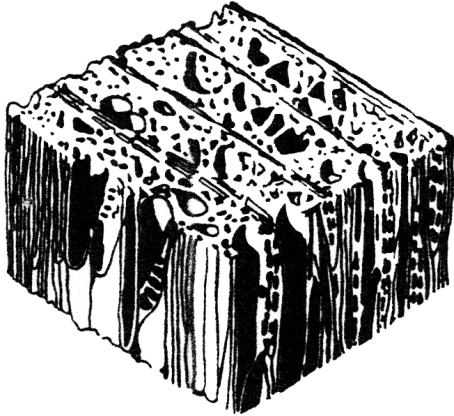
Адсорбція. При термічному розкладі деревини утворюється деревне вугілля – один із різновидів вуглецю з неупорядкованою структурою. Воно має величезну кількість дрібних пор і каналів (*мал. 22*) – це колишні судини дерева, по яких рухались поживні соки. Площа поверхні пор і каналів деревного вугілля, обробленого водяною парою, (активоване вугілля) масою 1 г досягає 500 – 1000 м²! Таке вугілля має здатність поглинати і утримувати на поверхні пор значну кількість газів або рідких речовин.

Вбирання речовин із розчинів чи газів поверхнею твердих тіл або рідин називають адсорбцією (від лат. *sorbere* — поглинати).

Виконаємо такий дослід. Візьмемо розчин фуксину або іншого барвника, збовтаємо його з дрібно розтертим вугіллям і профільтруємо. Ми одержимо безбарвну рідину (воду) – вся розчинена фарба адсорбувалась вугіллям.



Мал. 21. Сонячні батареї космічної станції, виготовлені з силіцію



Мал. 22. Тонкопориста будова деревини, що зберігається в деревному вугіллі



Мал. 23. Адсорбційний протигаз

Речовину, здатну адсорбувати на своїй поверхні інші речовини, називають *адсорбентом*, а речовину, що адсорбується – *адсорбатом*.

На виробництві як адсорбати застосовують також алюмосилікати, синтетичні смоли та інші речовини. Адсорбцію широко використовують у харчовій промисловості для очищення від домішок цукрового сиропу, рослинної олії, жирів. У медицині таблетки активованого вугілля використовують для видалення шкідливих речовин з організму. Активоване вугілля застосовують і у адсорбційних протигазах (*мал. 23*) для поглинання отруйних газів. В період першої світової війни використання протигазів врятувало життя сотень тисяч людей.

Неметали – прості речовини, утворені неметалічними елементами. Вони використовуються у виробництві і побуті, відіграють важливу роль у природі. Неметалам притаманна алотропія – здатність утворювати кілька простих речовин; Карбон утворює алмаз і графіт, Оксиген – кисень і озон тощо. Озоновий шар землі захищає живі організми від згубної дії ультрафіолетового випромінювання.

Для допитливих.

Фотохімічний смог

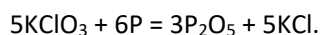
Це суміш газів, які утворюються в нижніх шарах атмосфери внаслідок дії сонячної радіації на деякі вихлопні гази (вуглеводні, оксиду Нітрогену тощо). У результаті утворюються гази з високою реакційною здатністю, одним з компонентів яких є озон. Останній вражає очі, легені, всю рослинність. Смог все частіше утворюється у великих містах з інтенсивним автомобільним рухом.

Чому спалахує сірник?

Майже щодня кожен із вас користується сірниками. До складу головки сірника входять калій хлорат (бертолетова сіль) $KClO_3$, сірка та деякі інші речовини, здатні горіти. На бокову поверхню сірникової коробки

наносять суміш червоного фосфору з манган(IV) оксидом чи іншим каталізатором, меленим склом (при терті воно подрібнює кристалики бертолетової солі), клеєм.

Під час тертя головки сірника об поверхню коробки утворюється легкозаймиста суміш $KClO_3$ і P, фосфор загорається і запалює головку сірника. Одна із реакцій, що відбуваються при цьому:



Запиши до словника.

Алотропія – явище утворення атомами елемента кількох простих речовин, що відрізняються за будовою та властивостями.

Адсорбція – вбирання речовин із розчинів та газів поверхнею твердих тіл або рідин.

Адсорбент і *адсорбат* – тіло (речовина), що адсорбує, і речовина, яка адсорбується.

Перевір себе.

1. Молекули азоту у вільному стані: а) одноатомні; б) двоатомні; в) трьохатомні.
2. Молекула сірки за звичайних умов складається з: а) 1 атома; б) 2 атомів; в) 8 атомів; г) кількох тисяч атомів.
3. Яку кристалічну решітку має білий фосфор: а) атомну; б) молекулярну; в) металічну; г) йонну?
4. Який тип кристалічних ґраток характерний для: а) алмазу; б) йоду; в) червоного фосфору?
5. Як називаються речовини, що складаються з атомів одного елемента, але мають різну просторову будову?
6. Назви алотропні модифікації Карбону і вкажи різницю між ними.
7. Будова: 1) алмазу і 2) графіту характеризується наступними ознаками:
а) всі атоми Карбону розміщені дуже щільно; б) зберігається порядок у розміщенні атомів Карбону; в) порядок у розміщенні атомів Карбону зберігається в одному шарі, в одній площині; г) шари атомів Карбону слабо взаємодіють між собою і легко зсуваються відносно один одного.

Поміркуй.

1. Яку роль виконує озоновий шар у життєдіяльності живих істот?
2. Що являє собою явище адсорбції? Де використовується адсорбція?
3. У лабораторії озон можна добути, подіявши на барій пероксид BaO_2 концентрованою сульфатною кислотою з подальшим охолодженням реакційної суміші. Склади рівняння реакції.
4. Якщо половина озону перетвориться на кисень, загальний об'єм: а) збільшиться на 25%; б) зменшиться на 25%; в) збільшиться на 50%; г) збільшиться на 75%?

Подискутуйте.

Реакція утворення озону є екзотермічною ($\Delta H = 142,3$ кДж/моль), потребує затрат енергії і самочинно відбуватись не може. Як же з'явився озоновий шар в атмосфері? Чому, на вашу думку, озон концентрується переважно на висоті 20—30 км?

§6. Фізичні та хімічні властивості неметалів

Опанувавши параграф, ви зможете описати фізичні та хімічні властивості неметалів, вмітимете складати рівняння реакцій, що характеризують їхні основні властивості.

Фізичні властивості неметалів. Із попереднього параграфа ви знаєте, що неметали за звичайних умов знаходяться переважно у газоподібному (водень, кисень, азот, хлор та ін.) та твердому (сірка, фосфор, вуглець та ін.) станах, і лише бром є рідиною (мал. 24).

Неметали мають різне забарвлення. Назви «білий фосфор», «червоний фосфор» якраз і говорять про колір цих речовин. Графіт, вугілля (різновиди вуглецю) – чорного кольору (мал. 16), а сірка – жовтого (мал. 20). По – різному забарвлені і гази. Фтор має жовто-зелений колір, хлор – зелений, пара йоду – фіолетовий. Бром – рідина буро-червоного кольору (мал. 24).

Неметали, що перебувають у твердому стані, як правило, відзначаються крихкістю, не проводять тепло та електричний струм, не мають металевого блиску. В залежності від типу кристалічної ґратки (атомна чи молекулярна) мають різні твердість, температури плавлення і кипіння.

Найтвердіший – алмаз, що утворює атомну кристалічну ґратку тетраедричної структури (мал. 17 а). Його твердість найвища – 10 (за відносною шкалою Мооса). У графіту, що має іншу структуру (мал. 17 б), твердість за цією ж шкалою 1. Температура плавлення того ж алмазу досягає 3500 °С, а сірки, йоду та білого фосфору, які утворюють молекулярні решітки, лише відповідно 120°, 114° та 44 °С.



Мал. 24. Бром

Лабораторний дослід 1

Ознайомлення зі зразками простих речовин неметалів

Розгляньте та опишіть неметали – сірку та графіт. Дані спостережень занесіть у таблицю.

Назва речовини	Агрегатний стан	Колір	Запах	Відношення до води	Наявність металевого блиску	Пластичність (крихкість)

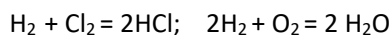
Хімічні властивості. Характерно особливістю неметалів є їхня здатність вступати в окисно-відновні реакції з металами з утворенням солей (у разі Оксигену – оксидів):



- Визнач ступінь окиснення елементів, складі електронні рівняння процесів окиснення і відновлення, вкажи окисник і відновник, назви продукти реакції.

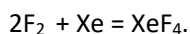
Неметали у таких реакціях виступають окисниками, а метали – відновниками; самі ж неметали при цьому відновлюються, їхні ступені окиснення набувають від'ємних значень. Найактивніше взаємодіють з металами галогени, кисень та сірка.

Неметали (за незначними винятками) безпосередньо взаємодіють з воднем. При цьому утворюються леткі водневі сполуки, молекули яких мають полярний ковалентний зв'язок:

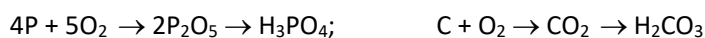


Ступінь окиснення Гідрогену в його сполуках з неметалічними елементами становить +1. Гідроген утворює сполуки і з металічними елементами – гідриди. Ступінь окиснення Гідрогену в них становить –1 (чому?).

Елемент Флуор F має найбільше значення відносної електронегативності, тому фтор F₂, утворений атомами цього елемента, окиснює практично всі неметали (за винятком He, Ne і Ar). Фтор реагує навіть з деякими інертними газами, наприклад з ксеноном, утворюючи ксенон(IV) флуорид:



Всі неметали (крім галогенів) безпосередньо реагують з киснем. Результатом такої взаємодії є утворення оксидів (оксиди галогенів утворюються непрямим шляхом). Більшість цих оксидів є кислотними, а їхні гідроксиди, як ви знаєте, являють собою оксигеновмісні кислоти:



- Напиши рівняння хімічних реакцій, що відповідають наведеним вище схемам.

Фізичні та хімічні властивості неметалів різноманітні. Вони можуть перебувати у газоподібному, рідкому та твердому станах. Прості речовини, що існують за нормальних умов у твердому стані, як правило, не проводять тепло і електричний струм, відзначаються крихкістю. Неметали виявляють переважно окисні властивості, можуть реагувати з металами та іншими неметалами – воднем, киснем, галогенами.

Перевір себе.

1. Які ти знаєш: а) тверді неметали; б) газоподібні неметали?
2. Проста речовина якого із неметалічних елементів за нормальних умов є рідиною?
3. Який із неметалічних елементів у хімічних процесах завжди виступає окисником? Чому?

Поміркуй.

1. Окисником чи відновником, виступає водень у хімічних процесах, зображених схемами:
а) $\text{Ca} + \text{H}_2 \rightarrow \text{CaH}_2$; б) $\text{H}_2 + \text{S} \rightarrow \text{H}_2\text{S}$?
2. Чим можна пояснити від'ємний ступінь окиснення Гідрогену в кальцій гідридї?
3. Маса карбон(IV) оксиду об'ємом 2 л становить: а) 3,92 г; б) 6,2 г; в) 9,32 г.
4. При взаємодії літію масою 10 г з азотом об'ємом 10 л утворюється літій нітрид кількістю речовин: а) 0,22 моль; б) 1,2 моль; в) 0,47 моль
5. Оксиген в оксидах має ступінь окиснення –2. Однак одній із бінарних сполук оксигену ступінь його окиснення становить +2. Про сполуку якого елемента з оксисеном йде мова?

§7. Сполуки неметалічних елементів з Гідрогеном

Засвоївши матеріал параграфу, ви зможете навести формули неметалічних елементів з Гідрогеном, порівняти їх властивості, зокрема аміаку і хлороводню

Всі неметалічні елементи, крім інертних, утворюють сполуки з Гідрогеном. Їх склад залежить від місця елемента у періодичній системі, тобто від його валентності. Найважливіші із цих сполук представлені в *табл. 2*.

Таблиця 2

Найважливіші сполуки неметалічних елементів з Гідрогеном

Група \ Період	IV	V	VI	VII
	EH ₄	EH ₃	H ₂ E	HE
II	CH ₄ метан	NH ₃ аміак	H ₂ O вода (гідроген оксид)	HF фтороводень (гідроген флуорид)
III	SiH ₄ силан	PH ₃ фосфін	H ₂ S сірководень (гідроген сульфід)	HCl хлороводень (гідроген хлорид)
IV		AsH ₃ арсин	H ₂ Se гідроген селенід	HBr бромоводень (гідроген бромід)
V			H ₂ Te гідроген телурид	HI йодоводень (гідроген йодид)

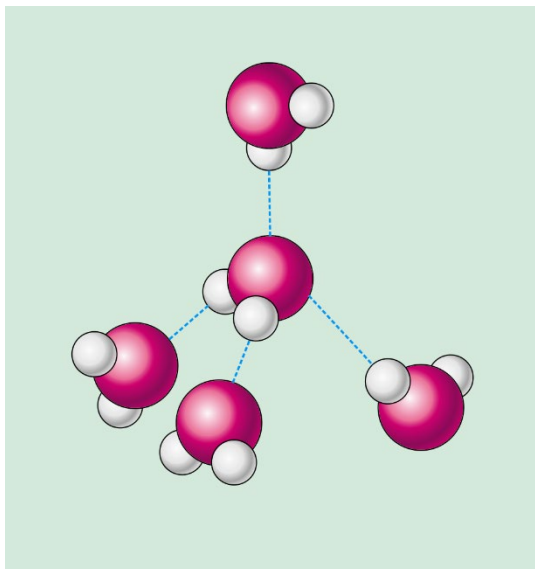
В усіх групах спостерігається така залежність – із збільшенням молярної маси речовин зменшується їх стійкість. Наприклад, молекули H₂O розпадаються на водень та кисень лише за дуже високої температури або під дією електричного струму, а молекули H₂Te можуть розпадатись навіть при легкому нагріванні.

Фізичні властивості. За нормальних умов сполуки неметалічних елементів з Гідрогеном є газами або леткими рідинами, більшість із них мають запах. Серед них є дуже отруйні речовини: фосфін PH₃, арсин AsH₃, сірководень H₂S. Гідрогеновмісні бінарні сполуки елементів VI і VII груп при розчиненні у воді, як ви вже знаєте, утворюють кислоти.

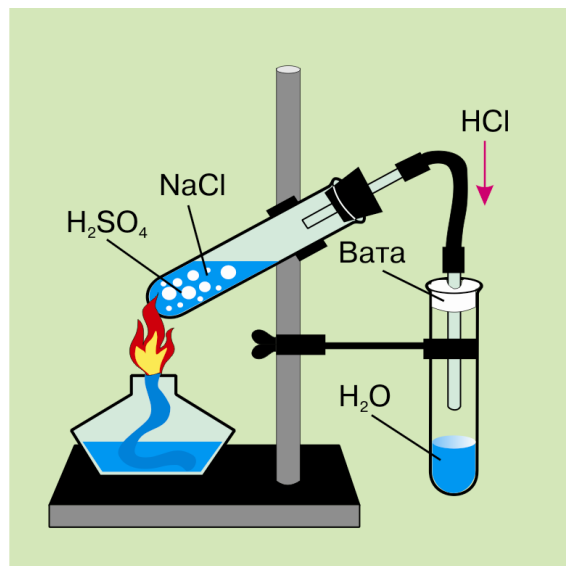
Хімічні властивості гідрогеновмісних сполук неметалічних елементів розглянемо на прикладі найважливіших із них – води, аміаку та хлороводню.

Вода. Найважливіша роль у неживій і живій природі серед водневих сполук належить воді (гідроген оксиду) H₂O. Вона утворює одну з географічних оболонок Землі – гідросферу, багато її також у літосфері і атмосфері. Вода забезпечує кругообіг речовин та хімічних елементів, впливає на формування клімату і погоди. Утворення та існування біосфери теж було б неможливим без води. Життя зародилося у воді і всі живі організми так чи інакше пов'язані з водними розчинами.

Багато важливих для існування життя властивостей води (висока розчинна здатність, зменшення густини при замерзанні, високі температури плавлення та кипіння) зумовлені полярним характером хімічних зв'язків між атомами Гідрогену і Оксигену молекули H₂O та утворенням водневих зв'язків між молекулами води (*мал. 25*).

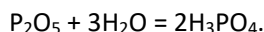
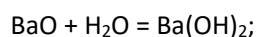
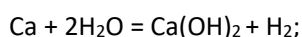


Мал. 25 Водневі зв'язки між молекулами води

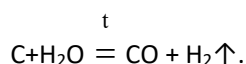
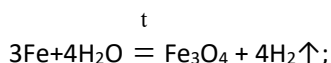


Мал. 26. Прилад для добування хлороводню та хлоридної кислоти у лабораторії

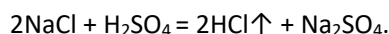
Вода є досить активною хімічною речовиною. Ви вже знаєте, що за звичайних умов вода реагує з лужними та лужноземельними металами (вони в ряді активності металів розміщені перед алюмінієм), оксидами елементів, що відповідають цим металам, а також з оксидами неметалічних елементів (за винятком SiO_2):



При нагріванні вода реагує з металами середньої активності, які в ряді активності стоять до водню, та неметалами:



Хлороводень та хлоридна кислота. В молекулі хлороводню, або гідроген хлориду, HCl атоми сполучені полярним ковалентним зв'язком. Хлороводень – безбарвний газ з різким запахом. У промисловості його добувають синтезом із простих речовин (H_2 і Cl_2), а в лабораторії – дією неметалічних кислот, наприклад концентрованої сульфатної, на солі – хлориди (мал. 26):

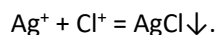


Збирають HCl методом витіснення повітря (яка обставина цьому сприяє?).

Хлороводень добре розчиняється у воді – до 500 об'ємів HCl в одному об'ємі води. Водний розчин хлороводню називають хлоридною, або соляною кислотою (про наявність Гідроген-іонів свідчить почервоніння лакмусового папірця в цьому розчині). HCl є сильною кислотою, вона має всі властивості, характерні для кислот.

- Склади рівняння реакції хлоридної кислоти з: а) оксидами металічних елементів; б) основами; в) металами, що в ряді активності стоять до водню; г) солями

Солі хлоридної кислоти – хлориди добре розчинні у воді за винятком $PbCl_2$ та $AgCl$. Тому Аргентум-іони є реактивом на виявлення хлорид-іонів:



Лабораторний дослід 2

Виявлення хлорид-іонів у розчині

Візьміть три пробірки з розчинами: хлоридної кислоти HCl , цинк хлориду $ZnCl_2$ та натрій хлориду $NaCl$. В кожну з них внесіть по 1–2 краплі розчину аргентум нітрату $AgNO_3$. Спостерігайте утворення білого драглистого осаду. Це утворилась нерозчинна сіль аргентум хлориду $AgCl$.

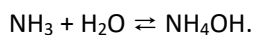
Напишіть рівняння реакцій, що відбулися у кожній з пробірок у молекулярному та йонному вигляді.

Отже, виявити хлорид-іони у розчині можна за допомогою солей Аргентуму.

Хлороводень – важливий продукт хімічної промисловості. Він використовується для виробництва соляної кислоти та синтетичних хлоровмісних полімерних речовин, наприклад поліхлорвінілу.

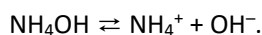
Аміак. В молекулі аміаку, або амоніаку, NH_3 атоми Гідрогену теж зв'язані з атомом Нітрогену ковалентними полярними зв'язками. Полярність зв'язку N-H сприяє утворенню водневих зв'язків між молекулами аміаку.

За звичайних умов аміак є безбарвним газом з різким задушливим запахом, добре розчинним у воді. Високу розчинність аміаку можна пояснити виникненням водневих зв'язків між молекулами NH_3 та H_2O і утворенням нестійкого амоній гідроксиду NH_4OH :

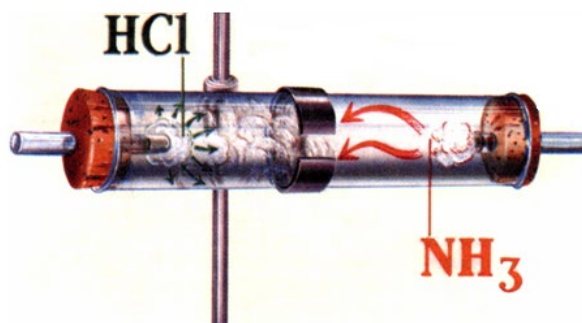
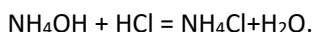
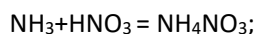


Рівновага цієї реакції значною мірою зміщена вліво, в бік розкладу NH_4OH , тому аміачна вода (розчин NH_3 у воді), завжди пахне аміаком.

Лакмусовий папірець в аміачній воді, як і в розчині $NaOH$, забарвлюється у синій колір. Утворення лужного середовища пояснюється тим, що NH_4OH є слабкою основою, яка дисоціює з утворенням йонів NH_4^+ та OH^- :



Аміак у газоподібному і розчиненому станах реагує з кислотами з утворенням розчинних у воді солей амонію (мал. 27), які складаються з катіона амонію і аніона кислоти:

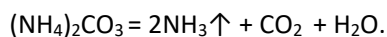


Мал. 27. Утворення амоній хлориду NH_4Cl

із аміаку NH_3 та хлороводню HCl

Як видно, амоній-іони NH_4^+ – досить стійкі, вони зберігаються під час реакції обміну. Солі амонію виявляють загальні властивості солей – взаємодіють з розчинами лугів, кислот та інших солей.

При нагріванні солі амонію розкладаються:



Розкладаються солі амонію і при дії на них лугів:



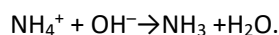
Поява різкого запаху свідчить про виділення аміаку в ході реакції. Тому такі реакції використовують як якісні реакції на наявність солей амонію.

Лабораторний дослід 3

Виявлення йонів амонію в розчині

Налийте в пробірку 2—3 мл аміачної води і додайте 1—2 краплі розчину фенолфталеїну. Спостерігайте зміну забарвлення розчину. Про що вона свідчить? Напишіть рівняння можливої реакції. Нагрійте розчин. Спостерігайте його знебарвлення та появу запаху аміаку. Як це можна пояснити?

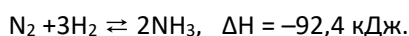
Очевидно, при нагріванні розчину, в якому містяться йони амонію, утворюються вода (знебарвлення розчину) і аміак (поява характерного запаху):



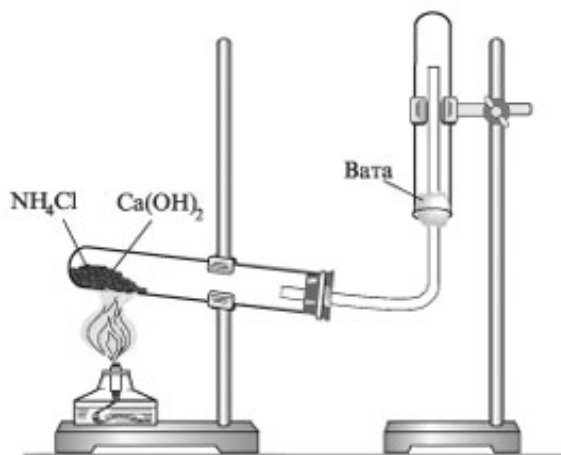
Таким чином можна виявити йони амонію в розчині.

Згадувану вище реакцію взаємодії солей амонію з лугами використовують для *добування аміаку* в лабораторії. З цією метою здебільшого підігрівають суміш амоній хлориду з гашеним вапном (мал. 28).

- Напиши рівняння реакції, що використовується для добування аміаку в лабораторії. Основним способом добування аміаку у промисловості є його синтез із азоту і водню:



Ця реакція екзотермічна і оборотна, вона відбувається при високому тиску і наявності каталізатора. Великі кількості аміаку витрачають на виробництво нітратної кислоти, азотних добрив.



Мал. 28. Прилад для добування аміаку в лабораторії

Більшість неметалічних елементів утворює сполуки з Гідрогеном, склад яких залежить від валентності елемента. Найбільше практичне значення із них мають сполуки Гідрогену з Оксигеном, Хлором та Нітрогеном – вода, хлороводень та аміак. Водний розчин хлороводню є сильною кислотою, а аміаку – слабкою основою.

Перевір себе.

1. Запиши формули бінарних сполук Гідрогену з неметалічними елементами:

- а) IV групи, б) V групи, в) VII групи та назви їх.
2. Як ти розумієш вираз – «молекули води, аміаку, хлороводню є диполями»?
3. Між якими сполуками і як можуть утворюватись водневі зв'язки?
4. Які йони обумовлюють зміну кольору індикаторів у розчинах: а) аміаку, б) хлороводню?
5. Як виявити наявність: а) йонів амонію, б) хлорид-іонів у розчині?
6. Визнач густину аміаку: а) за воднем; б) за повітрям.

Поміркуй.

1. Технічний магній масою 3 г прореагував з водою. Який об'єм водню виділився при цьому?
2. Летка воднева сполука елемента IV групи має відносну молекулярну масу 32. Визнач елемент, зобрази електронну конфігурацію його атома.
3. Який об'єм водню виділиться, якщо цинк масою 10 г прореагує з хлоридною кислотою, а вихід продукту реакції становить 95% від теоретичного?
4. Наважку цинку масою 6,5 г опустили у 3%-ний розчин хлоридної кислоти масою 160 г. Який об'єм водню зібрали, якщо вихід продукту реакції становить 90% від теоретично можливого?

§8. Оксиди неметалічних елементів

Засвоївши параграф, ви зможете написати формули оксидів неметалічних елементів, охарактеризувати їхні фізичні та хімічні властивості, вказати причини кислотних дощів та парникового ефекту.

Оксиди, як ви знаєте, – це бінарні сполуки елемента з Оксигеном. В них Оксиген проявляє, як правило, ступінь окиснення –2. Більшість із неметалічних елементів утворює по кілька оксидів. Це залежить від валентних можливостей атомів хімічного елемента та механізму об'єднання атомів у молекули. Наприклад, елементу Карбону відповідає два оксиди – CO і CO₂. Фосфор утворює теж два оксиди: P₂O₅ і P₂O₃. Як видно з хімічних формул, в цих оксидах Карбон виявляє валентності 2 і 4, а Фосфор – 5 і 3. Нітроген утворює аж п'ять оксидів: N₂O, NO, N₂O₃, NO₂, N₂O₅. Неметалічні елементи VI групи – халькогени Сульфур, Селен, Телур утворюють оксиди, в яких вони проявляють переважно валентність 4 і 6, наприклад SO₂, SO₃. Утворення кількох оксидів характерне і для галогенів – Хлору, Брому, Йоду. Хімічний елемент Флуор утворює з оксигеном сполуку F₂O; Флуор має більшу електронегативність, ніж Оксиген, тому ступінь окиснення останнього у цій сполуці становить +2.

Фізичні та хімічні властивості. Серед оксидів неметалічних елементів є гази – CO, CO₂, N₂O, NO, NO₂, SO₂, Cl₂O, ClO₂, рідини – N₂O₃, SO₃, Cl₂O₇, тверді речовини – B₂O₃, SiO₂, N₂O₅, P₂O₃, P₂O₅. Деякі з оксидів мають колір: N₂O₃ – синій; ClO₂ – зелено-жовтий, Cl₂O – жовто-коричневий, NO₂ – бурий. Відрізняються вони і за запахом, температурами конденсації та кристалізації.

Оксиди неметалічних елементів розділяють на солетворні та індиферентні. Солетворні оксиди неметалічних елементів належать до кислотних оксидів. Вони, крім SiO₂, взаємодіють з водою, утворюючи відповідні кислоти (індиферентні оксиди, як правило, не розчиняються у воді):



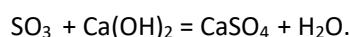
Отже, солетворним кислотним оксидам відповідають гідроксиди у вигляді оксигеновмісних кислот (табл. 3).

Таблиця 3

Оксиди неметалічних елементів та кислоти, що їм відповідають

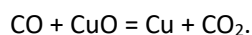
Оксид	B ₂ O ₃	CO ₂	SiO ₂	N ₂ O ₅	N ₂ O ₃	P ₂ O ₅	SO ₂	SO ₃	Cl ₂ O ₇
Кислота	H ₃ BO ₃	H ₂ CO ₃	H ₂ SiO ₃	HNO ₃	HNO ₂	H ₃ PO ₄	H ₂ SO ₃	H ₂ SO ₄	HClO ₄
Назва кислоти	боратна	карбонатна	силікатна	нітратна	нітритна	ортофосфатна	сульфітна	сульфатна	хлоратна

При взаємодії з основними оксидами кислотні оксиди утворюють солі, а з лугами – сіль та воду:



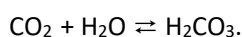
Найважливіші представники. Розглянемо докладніше специфічні властивості найважливіших оксидів неметалічних елементів.

Карбон(II) оксид (чадний газ) CO утворюється в процесі згорання вугілля при нестачі кисню. Це безбарвний газ без запаху, надзвичайно отруйний. В кількостях, небезпечних для життя, він міститься у вихлопних газах автомобілів, тому гаражі треба добре провітрювати. При високих температурах CO виявляє відновні властивості:



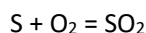
Цю властивість CO використовують при виплавлянні металів із руд.

Карбон(IV) оксид (вуглекислий газ) CO₂, що утворюється в природі при горінні та гнитті органічних речовин, диханні живих організмів, є безбарвною газоподібною речовиною, важчою за повітря. Не підтримує горіння і дихання. Нерідко в небезпечних кількостях накопичується в шахтах та погребях. При розчиненні у воді утворює слабку карбонатну кислоту:

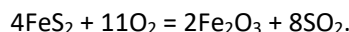


Рівновага цієї реакції зміщена в сторону вихідних речовин.

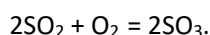
Сульфур(IV) оксид (сірчистий газ) SO₂ – безбарвний газ з різким задушливим запахом. Він утворюється при згоранні сірки:



або випалюванні залізного колчедану:



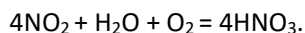
При нагріванні в присутності каталізатора взаємодіє з киснем:



Ці два хімічні процеси лежать в основі виробництва сульфатної кислоти.

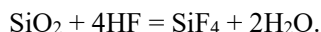
Сульфур(VI) оксид SO₃ – безбарвна рідина, яка сильно поглинає вологу. SO₂ та SO₃ виявляють всі властивості кислотних оксидів, при розчиненні у воді утворюють відповідно нестійку сульфатну(IV), або сульфітну, кислоту H₂SO₃ та сульфатну(VI) (сірчану) кислоту H₂SO₄. Останню широко використовують у хімічних виробництвах.

Нітроген(IV) оксид NO₂ – газ бурого кольору із специфічним запахом, отруйний, подразнює дихальні шляхи. Виявляє окиснювальні властивості: вуглець, фосфор, сірка горять у ньому, а SO₂ окиснюється до SO₃. При розчиненні NO₂ у воді (у надлишку кисню) утворюється нітратна кислота.



- Простав ступені окиснення елементів та склади електронні рівняння окиснення і відновлення, вкажи окисник і відновник.

Силіцій(IV) оксид, або кремнезем, SiO₂ – тверда речовина, найпоширеніша сполука в літосфері. Зустрічається переважно у кристалічному стані (наприклад, кварц), але існує і його аморфна модифікація. Штучно одержаний аморфний кремнезем – силікагель має розвинену поверхню і тому використовується як адсорбент, зокрема вологого повітря. Кристалічний SiO₂ утворює міцні атомні ґратки; цим пояснюється його висока твердість і тугоплавкість. За хімічними властивостями є типовим кислотним оксидом, який у розплавленому стані взаємодіє з лугами та основними оксидами. Із кислот взаємодіє лише з флуоридною (плавиковою):



Така реакція відбувається при травленні скла.

Таблиця 4

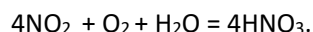
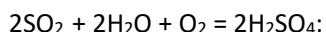
Найважливіші оксиди неметалічних елементів

Оксид	Фізичні властивості	Застосування	Дія на живі організми
CO ₂	Безбарвний газ без запаху, добре розчинний у воді	Виробництво соди, газованих напоїв, цукру, гасіння пожеж	Шкідливий у великих кількостях, може викликати ядуху
CO	Безбарвний газ без запаху, погано розчиняється	Як відновник, виробництво чавуну тощо	Дуже отруйний, зв'язує гемоглобін крові
SiO ₂	Тверда, безбарвна, тугоплавка речовина, нерозчинна у воді	У будівництві, радіотехніці	При довготривалому диханні пилу викликає силікоз
NO ₂	Бурий газ із різким характерним запахом, добре розчинний у воді	Добування нітратної кислоти	Викликає сильне подразнення дихальних шляхів
SO ₃	Безбарвна рідина з водовбирними властивостями	Добування сульфатної кислоти, осушування газів	Токсичний, викликає опіки шкіри

Поширення в природі. Деякі оксиди неметалічних елементів (SiO₂, H₂O, CO₂) широко розповсюджені у природі. Частка CO₂ в повітрі становить 0,03% (за об'ємом). Він утворюється під час дихання живих істот, горіння, окиснення карбоновмісних речовин, під час виверження вулканів. Цей газ необхідний рослинам для здійснення фотосинтезу. Люди використовують CO₂ для виробництва соди, мінерального добрива карбаміду ((NH₂)₂CO), газування напоїв. У вигляді «сухого льоду» твердий CO₂ застосовують як холодоагент. В Україні є поклади мінеральних вуглекислих вод у Закарпатті, північній частині Українських Карпат, у східних районах Криму.

На нашій планеті є величезні запаси кремнезему SiO₂. В Україні його родовища є у Донецькій, Житомирській, Київській, Львівській областях. Пісок, що міститься в них, йде здебільшого на виробництво будівельних матеріалів та скла.

Кислотні дощі. З оксидами неметалічних елементів пов'язане явище випадання кислотних дощів. Під час роботи підприємств металургійної та хімічної промисловості, роботи транспортних засобів у повітря потрапляють значні кількості оксидів Сульфуру та Нітрогену – SO₂, NO, NO₂ (оксиди Нітрогену утворюються також під час грози під дією електричних розрядів). Ці гази, взаємодіючи з атмосферною водою та киснем, утворюють сульфатну та нітратну кислоти:



Разом з дощем ці кислоти потрапляють на поверхню землі, у річки, озера, ставки. Вони призводять до ушкодження рослин (мал. 29), живих організмів, які населяють водойми. Відбувається також руйнування металічних виробів, будівель, мармурових пам'ятників. Під впливом кислотних дощів прискорюється руйнування гірських порід. Природі, господарству, здоров'ю людей, тваринам і рослинам наноситься значна шкода.



Мал. 29. Наслідки випадання кислотних дощів

Парниковий ефект. Глобальна температура на земній кулі протягом останнього століття підвищилась майже на 1 °С. Це явище пов'язують зі зростанням вмісту вуглекислого газу в атмосфері. Дія CO₂ в земній атмосфері нагадує дію скла в теплиці: він вільно пропускає сонячне випромінювання до поверхні землі, але утримує теплове випромінювання планети. Це явище назвали «парниковим ефектом». Він порушує природний теплообмін Землі з космічним простором і спричиняє потепління клімату.

Баланс вуглекислого газу в атмосфері значною мірою регулюється фотосинтезом, однак він постійно порушується господарською діяльністю людини, знищенням лісів тощо. Тому необхідні спільні зусилля індустріально розвинених країн щодо зменшення викидів CO₂ в атмосферу.

Більшість неметалічних елементів утворюють по кілька оксидів, значна частина з яких є солетворними. Вони проявляють кислотний характер, утворюючи з водою кислоти. Серед оксидів неметалічних елементів є як оксиди-відновники (CO) так і оксиди-окисники (NO₂). З деякими оксидами (CO₂, SO₂, NO₂) пов'язані такі небажані явища як «кислотні дощі» та «парниковий ефект», посилення яких несе загрозу життю на Землі.

Перевір себе.

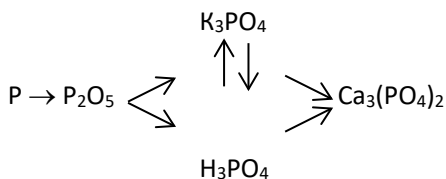
1. Напиши формули вищих оксидів неметалічних елементів IV, V, VI, VII груп.
2. Які відомі тобі оксиди неметалічних елементів за нормальних умов є: 1) газами; 2) рідинами; 3) твердими речовинами: а) CO₂; б) H₂O; в) P₂O₅; г) SO₃; д) NO₂; е) N₂O₅; є) SO₂; ж) SiO₂; з) Cl₂O₇?
3. Які оксиди неметалічних елементів називають несолетворними (індиферентними)? Зазнач приклади несолетворних оксидів:
 а) CO; в) SiO; д) SO₂; є) NO₂; з) N₂O;
 б) CO₂; г) SiO₂; е) SO₃; ж) N₂O₅; і) NO.
4. Які гідроксиди відповідають оксидам: а) SO₃; б) P₂O₅; в) N₂O₅?
5. Яке значення у природі і в житті людини відіграють карбон(IV) оксид та силіцій(IV) оксид?

Поміркуй.

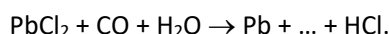
1. Закінчи рівняння хімічних реакцій:



- В одному з оксидів Сульфуру відношення мас S:O становить 2:3. Визнач формулу оксиду.
- Здійсни перетворення:



- Які властивості – окисні чи відновні виявляє NO_2 ? Чому?
- Укажи фізичний та хімічний спосіб розділення суміші карбон(II) і карбон(IV) оксидів.
- Поясни, чому CO горить, а CO_2 не горить в атмосфері кисню.
- * Якщо у повітрі міститься 9 мг/л CO , то фільтрувальний папір, змочений розчином плюмбум(II) хлориду з масовою часткою солі 0,02%, миттєво чорніє, що вказує на небезпеку отруєння. Закінчи рівняння реакції із зазначенням процесів окиснення та відновлення:



Подискутуйте.

«Парниковий ефект» викликає потепління клімату. Як ви думаєте, це «зло чи благо»? Що переважить – шкода чи користь?

§9. Сульфатна кислота і сульфати

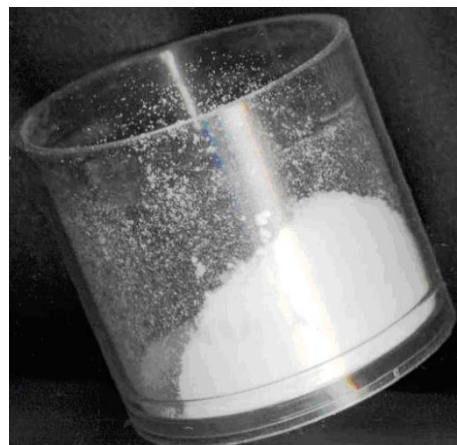
Вивчивши параграф, ви зможете охарактеризувати основні фізичні та хімічні властивості сульфатної кислоти, скласти рівняння відповідних реакцій, назвати найважливіші природні сульфати.

Фізичні властивості сульфатної кислоти. Сульфатна кислота (її традиційна назва – сірчана) є кисневмісною кислотою, Вона була відома ще алхімікам, які називали цю речовину купоросним маслом (олією). Це, мабуть, через в'язкість сульфатної кислоти, бо вона являє собою в'язку прозору рідину. Її густина становить 1,83 г/мл. За звичайної температури сульфатна кислота нелетка і не має запаху. За температури 10,3 °C вона кристалізується, а при температурі близько 280°C – кипить.

Сульфатна кислота розчиняється у воді в будь-яких співвідношеннях. Розчинення H_2SO_4 у воді супроводжується виділенням теплоти внаслідок гідратації утворених іонів. Здатність сульфатної кислоти жадібно поглинати воду використовують для осушення газів.

При виготовленні розчинів, щоб попередити розбризкування, завжди обережно наливають кислоту у воду (густина кислоти більша), а не навпаки.

Увага! Сульфатна кислота – їдка рідина: при потраплянні на шкіру або одяг її необхідно змити великою кількістю води, нейтралізувати розчином соди і знову змити водою.



Мал. 30. Безводна сульфатна кислота

Хімічні властивості. Безводна сульфатна кислота (мал. 30) не проводить електричний струм. У розчині сульфатна кислота – електроліт; вона дисоціює ступінчасто:



- Пригадай, як діють розчини кислот на індикатори.

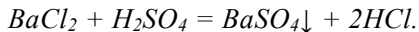
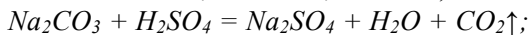
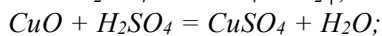
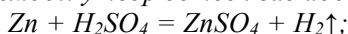
Оскільки під час дисоціації утворюються два види аніонів (HSO_4^- та SO_4^{2-}), то сульфатній кислоті відповідають два ряди солей: кислі – гідрогенсульфати, та середні – сульфати.

Завдяки досить високій температурі кипіння, ця кислота при нагріванні витісняє інші, більш легкі кислоти з їх солей. У такий спосіб можна добути хлоридну (HCl), боратну (H_3BO_3), ортофосфатну

(H_3PO_4), нітратну (HNO_3) кислоти. Ці процеси вміли здійснювати ще алхіміки. Мабуть через це вони називали сульфатну кислоту «матір'ю всіх кислот».

- Напиши рівняння реакцій добування зазначених кислот.

Розчин H_2SO_4 проявляє всі властивості, притаманні кислотам: взаємодіє з металами, які у ряді активності металів розташовані до водню, основними оксидами та гідроксидами, із солями, якщо при взаємодії утворюється газ або випадає осад нової солі:



Останнє рівняння відображає якісну реакцію на сульфатну кислоту та її солі, бо утворюється нерозчинний у воді барій сульфат. Переконайтесь у цьому, провівши дослід з розчинами різних сульфатів.

Лабораторний дослід 4 Виявлення сульфат-іонів у розчині

У три пробірки налейте по 2—3 мл розчинів: 1 – сульфатної кислоти; 2 – натрій сульфату; 3 – цинк сульфату. В усі пробірки додайте по 2—3 краплини розчину барій нітрату $Ba(NO_3)_2$. Спостерігайте випадання білого осаду в усіх трьох пробірках. Поясніть результати дослідів.

Запишіть рівняння реакцій взаємодії, що відбулися у молекулярній, повній та скороченій йонних формах.

Порівняйте йонні рівняння всіх складених вами реакцій. Вони мають вигляд: $SO_4^{2-} + Ba^{2+} = BaSO_4\downarrow$.

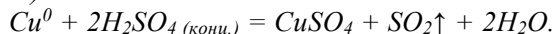
Утворений білий осад $BaSO_4$ не розчиняється ні в лугах, ні в кислотах.

Отже, реактивом на виявлення сульфат-іону є катіони Барію Ba^{2+} .

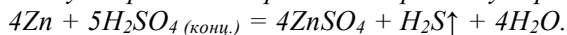
При взаємодії з гідроксидами при надлишку кислоти утворюються кислі солі – гідрогенсульфати.

Розведена сульфатна кислота виявляє слабкі окиснювальні властивості за рахунок Гідроген-іонів H^+ (ступінь окиснення Сульфору в таких реакціях не змінюється). На відміну від цього, концентрована сульфатна кислота проявляє сильну окиснювальну здатність за рахунок відновлення Сульфору(VI). Вона обвуглює органічні речовини, викликає опіки шкіри.

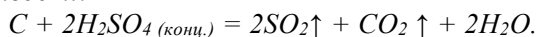
Концентрована сульфатна кислота при нагріванні може вступати у взаємодію із міддю, ртуттю та іншими металами (крім Pt і Au):



Продуктом відновлення в наведеному прикладі є сульфур(IV) оксид. При взаємодії концентрованої H_2SO_4 з більш активними металами утворюється сірка або гідроген сульфід H_2S :



Окисні властивості концентрована сульфатна кислота виявляє і по відношенню до неметалів та солей, що мають відновні властивості:



Слід пам'ятати, що холодна концентрована сульфатна кислота не реагує із залізом (сталлю), оскільки пасивує його поверхню. Тому концентровану сульфатну кислоту перевозять у сталевих цистерках.

Найважливіші природні сульфати. Сульфати досить широко розповсюджені в природі і здавна служать сировиною для хімічної та інших галузей промисловості. Найпоширенішими є нерозчинні солі Барію ($BaSO_4$), Плюмбуму ($PbSO_4$), Магнію ($MgSO_4$), Кальцію ($CaSO_4$). Сульфат кальцію у вигляді кристалогідрату $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ утворює у природі значні поклади мінералу гіпсу (мал. 31), з якого виробляють алебастр, цемент, бетон тощо. Розчинені сульфати можуть випадати із води соляних озер при її випаровуванні або при зниженні температури. Так, на дно затоки Кара-Богаз-Гол (Каспійське море) взимку осідають великі кількості мірабіліту $Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$ (глауберова сіль). Частина його штормами викидається на берег, де утворюються білі вали солі.



Мал. 31. Кристали гіпсу

Лабораторний дослід 5 Ознайомлення зі зразками природних сполук Сульфуру

Серед сполук Сульфуру найбільше практичне значення мають: залізний колчедан (пірит) FeS_2 ; мідний колчедан (халькопірит) CuFeS_2 ; мідний блиск Cu_2S ; цинкова обманка (сфалерит) ZnS ; гіпс $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$; глауберова сіль (мірабіліт) $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ та інші.

Розгляньте видані вам зразки сполук Сульфуру та запишіть у таблицю для кожної з них: 1) назву; 2) хімічну формулу; 3) агрегатний стан; 4) колір; 5) твердість.

Застосування сульфатної кислоти і сульфатів. Сульфатну кислоту застосовують для одержання інших кислот, мінеральних добрив, вибухових речовин, мийних засобів, барвників, лікувальних препаратів, штучних волокон, пластмас. Її використовують для очищення нафти, заливають у акумулятори. Ще порівняно недавно за кількістю виробленої сульфатної кислоти нерідко робили висновок про економічний розвиток країни.

Не менш важливе значення і солей цієї кислоти – сульфатів. Мірабіліт $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ здавна застосовують як лікарський засіб, мідний ($\text{CaSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) та залізний ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) купороси необхідні для боротьби зі шкідниками сільськогосподарських рослин. Гіпс ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) та алебастр ($2\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$) застосовують у будівництві. Кристалогідрат $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ є протравою при фарбуванні тканин. Натрій сульфат використовують у виробництві скла, а барій сульфат – у виробництві паперу, гуми, у медицині. Як мінеральні добрива застосовують сульфати калію та амонію.

Висновки.

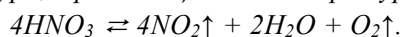
Сульфатна кислота належить до найважливіших мінеральних кислот. Вона виявляє властивості, типові для класу кислот: взаємодіє з металами, основними та амфотерними оксидами і гідроксидами, багатьма солями, проявляючи при цьому окиснювальні властивості. Сульфатна кислота та її солі – сульфати широко використовуються у виробництві.

Для допитливих.

Сульфатна кислота... в пустелі.

З глибокої давнини до нас дійшла легенда: коли через одну з пустель, що розкинулася в безкраїх просторах Середньої Азії проходили каравани, то світле войлочне взуття погонщиків, шерсть верблюдів та мулів у тих місцях, де ноги людей і тварин грузли у розжарений пісок, робилися чорними, мов обгорілими. Кара-Кумами – чорними пісками назвали люди ту пустиню.

Фізичні та хімічні властивості нітратної кислоти. Нітратна, або азотна кислота HNO_3 – рідина, що не має кольору. Густина нітратної кислоти становить 1,51 г/мл. Кипить вона за температури 83°C , а при -42°C утворює прозору кристалічну масу. Нітратна кислота – досить нестійка речовина. Вже за температури, трохи вищої за температуру плавлення, вона розпадається:

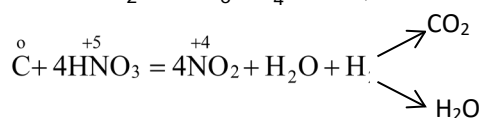
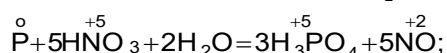
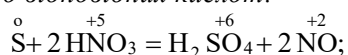


Нітроген(IV) оксид NO_2 , який утворюється під час розкладання, надає розчину бурого забарвлення (мал. 32).

Нітратна кислота, як і хлоридна, «димить» на повітрі. Це її пара разом з вологою повітря утворюють краплини туману. З водою HNO_3 змішується у будь-яких співвідношеннях.

Нітратна кислота – сильний електроліт, у розчинах вона повністю дисоціює: $\text{HNO}_3 \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{NO}_3^-$.

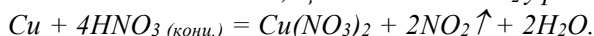
HNO_3 належить до енергійних окисників. Вона взаємодіє з багатьма неметалами (сіркою, фосфором, вуглецем), окиснюючи їх до відповідних кислот:



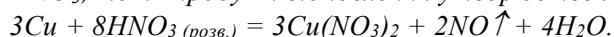
При окисненні виділяється багато теплоти, тому розжарена вуглинка, занурена у концентровану нітратну кислоту, не тухне, а яскраво розгорається. Легкозаймисті речовини (скипидар, суха тирса, пакля) при стиканні з концентрованою HNO_3 самозаймаються.

Окисні властивості HNO_3 яскраво проявляються у реакціях з металами. Характерно, що при цьому водень не виділяється, а відбувається відновлення атома Нітрогену нітратної групи. В залежності від концентрації кислоти і активності металу як відновника, HNO_3 може відновлюватися до сполук (NO_2 , NO , N_2O , N_2 , NH_3), в яких Нітроген виявляє ступені окиснення від +4 до -3. Чим активніший метал і чим більша розведена кислота, тим повніше відновлюється Нітроген.

Концентрована нітратна кислота окиснює метали, що стоять після H_2 у ряді активності (крім Au та Pt):



При цьому продуктами реакції є сіль (нітрат), вода та нітроген(IV) оксид NO_2 . Якщо з такими металами реагує розбавлена HNO_3 , то як продукт відновлення утворюється нітроген(II) оксид:



Залізо, алюміній, хром не реагують з холодною концентрованою нітратною кислотою. На поверхні цих металів утворюється оксидна плівка, яка захищає їх від подальшого окиснення. Це явище, як ви вже знаєте, називається пасивацією металів. Саме тому концентровану HNO_3 перевозять у сталевих цистернах.

Суміш, яка містить один об'єм концентрованої HNO_3 і три об'єми HCl , називають «царською водою» – ця суміш окиснює навіть благородні метали: золото, платину.

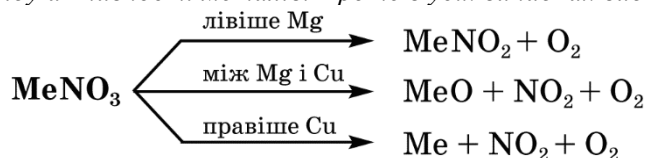
Для нітратної кислоти характерні і всі інші загальні властивості кислот – взаємодія з оксидами та гідроксидами металів, з солями менш сильних кислот тощо.

- Напиши приклади хімічних реакцій, які характеризують зазначені властивості нітратної кислоти.

Нітрати. Солі нітратної кислоти називаються нітратами. Це розчинні кристалічні речовини. Нітрати, як і інші солі, реагують з кислотами, лугами, солями, металами за умови, що один із продуктів реакції виділяється із сфери реакції у вигляді осаду, газу або є малодисоційованою сполукою.

- Наведи по одному прикладу реакції, що ілюструє згадані властивості нітратів.

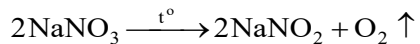
Але нітрати мають і специфічні хімічні властивості. При нагріванні вони розкладаються. Якими будуть продукти розкладу нітрату (сіль, оксид чи метал) залежить від розміщення металу, що входить до складу солі, у ряду активності металів. Проте в усіх випадках виділяється кисень:



Мал. 32. При розкладі нітратної кислоти виділяється бурий газ – NO_2

Щоб підтвердити сказане, проробимо такий дослід.

Помістимо у суху пробірку на $\frac{1}{4}$ її об'єму сіль натрій нітрату. Пробірку закриємо пробкою із газовідвідною пробкою. Кінець газовідвідної трубки опустимо у колбу-збірник. Нагріємо сіль на спиртівці протягом 1—2 хвилин. Обережно відставимо колбу-збірник і внесемо туди тліючу скіпку. Вона спалахує. Це свідчить про наявність у колбі кисню; який утворився внаслідок розкладання натрій нітрату:



Нітрати реагують з міддю в присутності концентрованої H_2SO_4 з виділенням газу бурого кольору (NO_2):



Це один із способів виявлення нітратів.

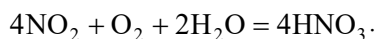
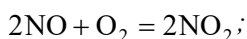
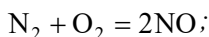
Лабораторний дослід 6

Ознайомлення зі зразками нітратів та солей амонію

Розгляньте видані вам зразки солей нітратів та амонію і запишіть у таблицю для кожної з них: 1) назву; 2) хімічну формулу; 3) агрегатний стан; 4) колір; 5) запах; 6) твердість; 7) розчинність у воді.

Зробіть висновки щодо розчинення у воді цих солей, порівнявши ваші спостереження з даними таблиці розчинності.

Поширення в природі та застосування. Нітратна кислота в чистому вигляді у природі не зустрічається. Невелика її кількість утворюється у повітрі під час грози. Грозові розряди викликають послідовне протікання таких процесів:



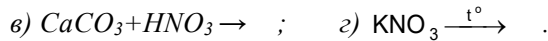
Підраховано, що таким чином на землю за рік на кожний гектар потрапляє від 4 до 10 кг Нітрогену, зв'язаного у вигляді йону NO_3^- .

Немає у земній корі і великих покладів нітратів, адже вони розчинні. Нітратну кислоту добувають штучно, бо вона є одним із важливих хімічних продуктів для промисловості. HNO_3 застосовують для одержання барвників, хімічних волокон, пластмас, ліків, для виготовлення кіноплівки, бездимного пороху, піроксиліну, для відділення золота від срібла, як окисник у ракетній техніці. «Лєвова» частка добутої нітратної кислоти йде на виготовлення мінеральних азотних та комбінованих добрив.

Нітратна кислота має всі властивості, характерні для класу кислот. Вона є сильним електролітом, виявляє яскраво виражені окиснювальні властивості. При взаємодії її з металами та неметалами водень не виділяється, а відбувається окиснення атома Нітрогену нітратної групи. Нітратна кислота та її солі широко використовуються у виробництві, зокрема для виробництва азотних добрив.

Перевір себе.

1. опиши фізичні властивості нітратної кислоти.
2. Чому розчини нітратної кислоти мають забарвлення?
3. Який ступінь окиснення Нітрогену у складі нітратної кислоти? Як, виходячи з цього, можна пояснити, чому кислота – сильний окисник? Наведи приклади, що підтверджують окисні властивості нітратної кислоти.
4. Вибери твердження та властивості, які відрізняють нітратну кислоту від сульфатної: а) безбарвна, легка рідина; б) добре розчиняється у воді; в) має різкий запах; г) двохосновна кислота; д) оксигеновмісна кислота; е) сильний електроліт; є) з часом набуває жовтого кольору; ж) у водному розчині дисоціює ступінчасто; з) утворює тільки середні солі; и) розбавлена реагує з активними металами, утворюючи сіль і водень; і) під час нагрівання розкладається з виділенням бурого газу; ї) сильний окисник; й) використовується для виробництва добрив.
5. Як називаються солі нітратної кислоти? Склади формули нітратів: амонію, Калію, Кальцію. Де застосовуються нітратна кислота та її солі, формули яких складені тобою? Яка загальна назва цих солей?
6. Що таке «царська вода»?
7. Закінчи рівняння хімічних реакцій:
а) $\text{MgO} + \text{HNO}_3 \rightarrow$; б) $\text{Cu}(\text{OH})_2 + \text{HNO}_3 \rightarrow$;



Поміркуй.

1. Як можна пояснити те, що нітратну кислоту перевозять у алюмінієвих чи сталевих цистернах?
2. Які хімічні реакції відбуваються при утворенні HNO_3 в атмосфері?
3. Вкажи, у яких речовинах Нітроген в окисно-відновних реакціях може бути: 1) тільки окисником; 2) тільки відновником; 3) окисником або відновником в залежності від умов:
 а) N_2 ; в) N_2O_3 ; д) N_2O_5 ; є) NO_2 ; з) AgNO_3 ;
 б) HNO_3 ; г) NH_3 ; е) KNO_2 ; ж) $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$; и) HNO_2 .
4. Склади рівняння можливих реакцій розчину нітратної кислоти з:
 1) металами: 2) оксидами: 3) основами: 4) солями:
 а) алюміній; а) Fe_2O_3 ; а) KOH ; а) BaSO_4 ;
 б) платина; б) SO_3 ; б) $\text{Zn}(\text{OH})_2$; б) NaNO_3 ;
 в) свинець; в) Ag_2O ; в) $\text{Al}(\text{OH})_3$; в) $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$.
- 5.* Промисловий синтез нітратної кислоти відбувається за схемою: $\text{N}_2 \rightarrow \text{NH}_3 \rightarrow \text{NO} \rightarrow \text{NO}_2 \rightarrow \text{HNO}_3$.
 Склади відповідні рівняння реакцій.
6. Яку масу розчину з масовою часткою HNO_3 12% слід взяти для взаємодії з магній оксидом масою 6 г?
- 7.* Яка маса HNO_3 вступила у реакцію з міддю, якщо зібрали нітроген(IV) оксид об'ємом 8,2 л, що становить 90% від теоретично можливого?

§11. Мінеральні добрива

Засвоївши матеріали параграфа, ви зможете навести приклади мінеральних добрив, обґрунтувати їхню роль як джерел живлення рослин, оцінити значення хімічних добрив для розв'язування продовольчої проблеми.

Для чого потрібні мінеральні добрива? Для нормального росту і розвитку рослин потрібні поживні речовини, до складу яких входять Карбон, Оксиген, Гідроген, Нітроген, Фосфор, Калій, а також деякі інші елементи, які необхідні рослинам у невеликих кількостях. Більшість поживних речовин всмоктуються рослинами у вигляді водних розчинів із ґрунту, Карбон у складі CO_2 засвоюється із повітря.

Сполук С, О, Н у ґрунті та повітрі цілком достатньо для живлення рослин. А от речовин, до складу яких входять N, P, K часто не вистачає, бо при збиранні врожаю культурних рослин значна частина цих елементів виноситься із ґрунту. Частково витрати можна поповнити при внесенні *органічних добрив* – гною, пташиного посліду, різних компостів. Але цього виявляється недостатньо – щоб стабільно збирати високі врожаї сільськогосподарських культур, потрібні їм поживні речовини необхідно вносити у вигляді *мінеральних добрив*. Останні добувають із природної сировини на хімічних заводах. Виробництво мінеральних добрив – одна із важливих галузей хімічної промисловості.

Мінеральні добрива умовно поділяють на дві групи – *прості*, що містять лише один поживний елемент, та *комплексні*, до складу яких входить кілька таких елементів. Прості добрива поділяють на азотні, фосфорні та калійні.

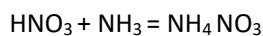
Азотні добрива. Нітроген необхідний для утворення білка, без якого неможливе існування ні рослинного, ні тваринного світу. Ви знаєте, що незважаючи на значні запаси вільного азоту у повітрі, рослини його не засвоюють (чому?). Тому ще на початку ХХ ст. перед вченими постало важливе завдання – знайти способи зв'язування атмосферного азоту у сполуки, які б легко засвоювались рослинами. Найефективнішим способом виявився синтез аміаку, який потім переробляли в розчинні нітрогеновмісні солі.

Сировиною для вироблення азотних добрив найчастіше є аміак, нітратна кислота та її солі (нітрати лужних елементів та амонію називають селітрами).

Натрієву селітру (натрій нітрат) NaNO_3 , яка містить 16% N, добувають при взаємодії соди з нітратною кислотою:



Для виробництва багатой на Нітроген (34—35%) *амонійної* (аміачної) *селітри* (мал. 33 а) (амоній нітрату) NH_4NO_3 використовують нітратну кислоту і аміак:



Амоній сульфат $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ – добриво, що не злежується (зберігає дрібнокристалічний стан) при зберіганні, добувають із аміаку та сульфатної кислоти.

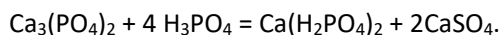
- Склади рівняння реакції добування амоній сульфату.

Значного поширення набуло використання у якості добрива карбаміду (сечовини) (мал. 33 б), склад якого виражається формулою $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$. Це найбагатше на нітроген добриво.

- Визнач масову частку Нітрогену у карбаміді.

Фосфорні добрива. Фосфор є одним із основних елементів, необхідних для рослин. Він сприяє росту зернових, утворенню сахарози в цукрових буряках і крохмалю в картоплі, прискорює дозрівання. При нестачі сполук Фосфору в ґрунті рослини гірше засвоюють Нітроген та інші елементи. Особливо потрібні фосфорні добрива молодим рослинам.

Основною сировиною для виробництва фосфорних, або фосфатних, добрив є природні мінерали – фосфорити та апатити, головною складовою яких є кальцій ортофосфат $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$. В процесі хімічної обробки фосфоритів та апатитів сульфатною кислотою нерозчинні у воді середні солі перетворюються у кислі:



Кислі солі фосфатної кислоти частково розчиняються у воді і можуть засвоюватись рослинами. Утворена суміш кальцій дигідрогенфосфату та кальцій сульфату використовується як добриво – *суперфосфат*. Як і інші добрива, суперфосфат застосовують переважно у гранульованому вигляді, тоді він не злежується і краще засвоюється рослинами.

Більш цінним фосфорним добривом є *подвійний суперфосфат* $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$, який не містить нерозчинного баласту (CaSO_4); його добувають дією ортофосфатної кислоти на фосфорит чи апатит:



При взаємодії фосфатної кислоти з кальцій гідроксидом або вапняком добувають *преципітат* $\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, який містить іншу кислу сіль – кальцій гідрогенфосфат. Преципітат добре розчиняється в органічних кислотах і його вносять переважно у кислі ґрунти.



Мал. 33. Азотні добрива



Мал. 34. Сильвін KCl – поширене калійне добриво

Калійні добрива. Наявність Калію пришвидшує процес фотосинтезу, сприяє накопиченню в рослинах вуглеводів, укріпленню стебла злакових культур і цим запобігає їх виляганняю.

Найпоширенішими калійними добривами є *калій хлорид* KCl (мінерал сильвін) (мал. 34), значні поклади якого містить Стебниківське родовище у Прикарпатті, та *калій нітрат* (калійна селітра) KNO_3 . Останнє містить два поживні елементи – Калій та Нітроген і належить до комплексних добрив. Значну кількість сполук Калію, головним чином у вигляді поташу K_2CO_3 , містить деревний попіл, який також нерідко використовують як калійне добриво.

Цінними комплексними добривами є *амофос* $(NH_4)H_2PO_4$, до складу якого входять Нітроген і Фосфор, а також *нітрофоска*, що містить всі три найнеобхідніші рослинам елементи – Нітроген, Фосфор і Калій.

Лабораторний дослід 7

Ознайомлення зі зразками азотних, фосфорних, калійних добрив

Розгляньте видані вам зразки азотних, фосфорних, калійних добрив і запишіть у таблицю для кожного з них: 1) назву; 2) хімічну формулу; 3) агрегатний стан; 4) колір; 5) запах; 6) твердість; 7) розчинність у воді.

Зробіть висновки щодо розчинення у воді цих добрив, порівнявши ваші спостереження з даними таблиці розчинності. Яке практичне значення має здатність добрив розчинятися у воді?

Про раціональне використання добрив. У розвинених країнах світу внаслідок інтенсивного ведення аграрного виробництва ґрунти швидко збіднюються основними поживними речовинами і їх родючість падає. Для стабільного вирощування високих урожаїв у ґрунти необхідно регулярно вносити мінеральні добрива, тому їх використання з кожним роком зростає. Зараз у світі щорічно виробляється до 300 млн. т добрив. Поповнення ґрунт мінеральними добривами є важливою ланкою розв'язання однієї з найпекучіших проблем сучасності – продовольчої, забезпечення людей продуктами харчування.

Важливо, однак, постійно дбати про раціональне використання добрив, внесення їх у ґрунт у певний час і в необхідній кількості. Так, усі нітрати добре розчиняються у воді, тому азотні добрива доцільно вносити в

ґрунт переважно навесні. Якщо робити це восени, то атмосферні опади вимийуть частину добрив у річки і озера. Більшість же фосфорних добрив є малорозчинними, тому їх краще вносити восени, а не під час весняної сівби.

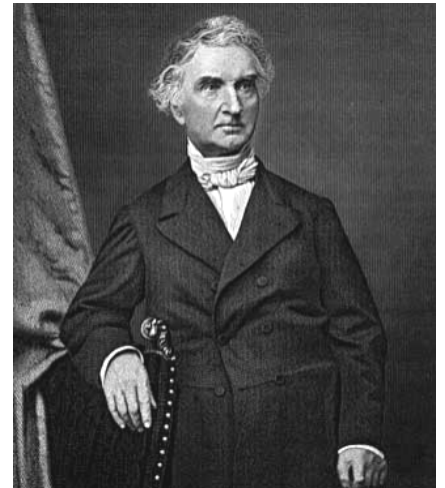
В залежності від типу ґрунтів та їх виснаженості за головними поживними речовинами, розраховують агротехнічно оптимальні кількості добрив, що вносять на кожний гектар посівів. Надмірна їх кількість урожай не підвищить, але може завдати шкоди і довкіллю, потрапляючи у річки та озера, і людині. Так, надлишок нітрат-іонів (та нітрит-іонів NO_2^- , які утворюються з нітратів під впливом мікроорганізмів), може накопичуватись у плодах овочів і потрапляти разом з їжею в організм людини. Максимально допустимий вміст нітратів становить від кількох сотень до десятків міліграмів на кілограм кожного виду овочів. Більша їх концентрація шкідлива і може призвести до отруєння, яке супроводжується загальною слабкістю, запамороченням, нудотою, проносом. В окремих випадках вони викликають набряк легень, серцеву недостатність, уражують печінку, призводять до розвитку злоякісних пухлин. Тому вміст нітратів в овочах постійно контролюють.

Для нормальної життєдіяльності культурні рослини потребують поживних речовин, до складу яких входять, насамперед, Нітроген, Фосфор, Калій. Їх вносять у ґрунт у вигляді мінеральних добрив – азотних, фосфорних, калійних, а також комплексних. Найпоширеніші добрива – калійна і аміачна селітра, простий і подвійний суперфосфат, преципітат, амофос, нітрофоска.

Творці природознавства.

Юстус Лібіх (1803—1873) – німецький хімік-органік, один із засновників агрохімії (мал. 35).

Відкрив (разом з Ф. Велером) явище ізомерії органічних сполук (1823), встановив, що жири та вуглеводи постачають організм енергією. Автор хімічної теорії бродіння і гниття, теорії мінерального живлення рослин. Заклав основи агрохімії – науки про хімічні та біохімічні процеси в рослинах та середовищі їх існування (ґрунті).



Мал. 35. Ю. Лібіх

Запиши до словника.

Мінеральні добрива — природні або хімічно добуті неорганічні речовини, переважно солі, що містять необхідні для живлення рослин хімічні елементи, здатні в ґрунтовому розчині дисоціювати на йони.

Прості добрива — мінеральні добрива, що містять один поживний елемент – N, P або K. Поділяють на азотні, фосфорні та калійні.

Комплексні добрива — добрива, до складу яких входить кілька поживних елементів.

Перевір себе.

1. Чому потрібно вносити в ґрунт мінеральні добрива?
2. Охарактеризуй роль основних поживних елементів (N, P, K) у житті рослини.
3. Перелічи найпоширеніші азотні добрива. Склади рівняння реакцій, на яких ґрунтується виробництво цих добрив.
4. Напиши рівняння реакцій, за допомогою яких добувають найважливіші фосфорні добрива.
5. Охарактеризуй роль хімії у розв'язанні продовольчої проблеми.
6. Чому треба слідкувати за раціональним використанням добрив? Яку шкоду може нанести внесення їх надмірних кількостей?

Поміркуй.

1. Напиши рівняння реакцій, які відбуваються при виробництві преципітату.

- Для підживлення озимої пшениці на площі 80 га треба внести на кожний гектар 30 кг Нітрогену. Яка маса амоній нітрату потрібна для цього? Якою кількістю (кг) сечовини можна замінити обчислену кількість амоній нітрату?
- Середній урожай пшениці виносить за один сезон понад 100 кг Нітрогену з кожного гектара. Яка маса амонійної селітри може компенсувати таку втрату на площі в 1000 га, якщо врахувати, що близько 20% Нітрогену, необхідного для живлення рослин, надходить у ґрунт внаслідок природних процесів (діяльність мікроорганізмів, гниття залишків рослин, дощ та ін.)?
- Скільки суперфосфату можна добути з 10 т природного фосфориту, який містить 20% сторонніх домішок?
- З кожною тонною зерна пшениці з ґрунту виноситься 5 кг Калію. Яку масу калійної селітри треба внести в ґрунт, щоб поповнити убуток сполук Калію в ґрунті?
- Попіл стебел соняшника містить близько 28% поташу K_2CO_3 . Яку масу попелу слід внести в ґрунт, щоб замінити за вмістом Калію 1 т калій хлориду?

Подискутуйте.

- Чому азотні добрива, що являють собою амонійні солі, не можна змішувати з вапном і вносити в ґрунт зразу після внесення вапна?
- Мінеральні добрива нерідко наносять шкоду довкіллю і здоров'ю людини. Як ви гадаєте, чи можна обійтись без використання добрив?

§12. Карбонатна кислота та її солі

Засвоївши матеріал параграфу, ви вмітимете характеризувати фізичні та хімічні властивості карбонатної кислоти, скласти рівняння відповідних реакцій, експериментально визначити карбонат-іони.

Фізичні та хімічні властивості кислоти. Карбонатна, або вугільна, кислота H_2CO_3 також належить до числа найважливіших мінеральних кислот. Вона є слабким електролітом і дуже нестійкою сполукою, існує лише у розчині. Утворюється карбонатна кислота під час розчинення карбон(IV) оксиду у воді:



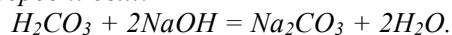
При підвищенні температури рівновага такої реакції зміщується вліво, кислота повністю розкладається на вуглекислий газ та воду. Це оборотний процес.

Карбонатна кислота, як і сульфатна, належить до двохосновних кислот, тому дисоціює ступінчасто:

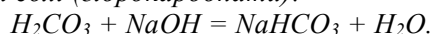


При дисоціації утворюються катіони Гідрогену H^+ і два види аніонів: HCO_3^- – гідрогенкарбонат-іон та CO_3^{2-} – карбонат-іон. Тому існує два види солей цієї кислоти: гідрогенкарбонати та карбонати.

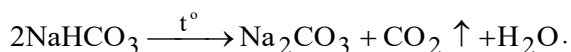
Карбонатна кислота виявляє всі хімічні властивості, типові для кислот. Так, при взаємодії з лугами утворюються карбонати – середні солі:



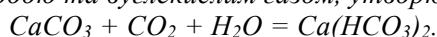
Якщо кислота в надлишку – кислі солі (гідрокарбонати):



Гідрогенкарбонати добре розчиняються у воді; при нагріванні перетворюються на карбонати (середні солі):



Карбонати, взаємодіючи з водою та вуглекислим газом, утворюють кислі солі:



Серед карбонатів найстійкішими і найкраще розчинними є солі лужних металів. Карбонати Магнію, Кальцію, Барію при нагріванні розкладаються на оксиди: $CaCO_3 \xrightarrow{t^\circ} CaO + CO_2 \uparrow$.

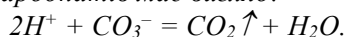
Взаємоперетворення солей карбонатної кислоти в природних умовах. Процес взаємоперетворення карбонатів та гідрогенкарбонатів постійно протікає в природі. Вапнякові гірські породи поступово руйнуються внаслідок вивітрювання. Нерозчинний $CaCO_3$ взаємодіє з вуглекислим газом та вологою повітря. Утворюється розчинний кальцій гідрогенкарбонат $Ca(HCO_3)_2$. Водними потоками сіль зноситься у моря, океани. З морської води ці розчинні солі вилучаються коралами, молюсками, найпростішими організмами на побудову своїх скелетів. В тілах цих істот

гідрогенкарбонати знову перетворюються у карбонати. Коли морські організми відмирають і осідають на дно, їх панцирі накопичуються у вигляді величезних шарів CaCO_3 . Якщо вода відступає – поклади вапняків опиняються на суші. Знову йде вивітрювання і розпочинається процес утворення розчинних гідрогенкарбонатів.

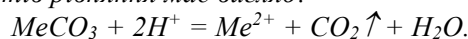
Лабораторний дослід 8 Дослідження властивостей карбонатів

У пробірку налейте 2—3 мл розчину натрій карбонату Na_2CO_3 . Додайте сюди ж 2—3 краплини хлоридної чи іншої сильної кислоти. Спостерігайте характерне спінювання. Спробуйте пояснити спостереження. Сильна кислота (HCl) витісняє слабку карбонатну кислоту. Остання – дуже нестійка і миттєво розкладається на вуглекислий газ та воду. Наявність карбон(IV) оксиду можна виявити за допомогою вапняної води. Що відбувається з вапняною водою при пропусканні газу? Напишіть рівняння цієї реакції.

Отже, наявність карбонат-іонів у розчині можна виявити з допомогою кислоти. При взаємодії карбонатів з кислотами виділяються вуглекислий газ та вода. Скорочене йонне рівняння, яке відображає якісну реакцію визначення карбонатів має вигляд:



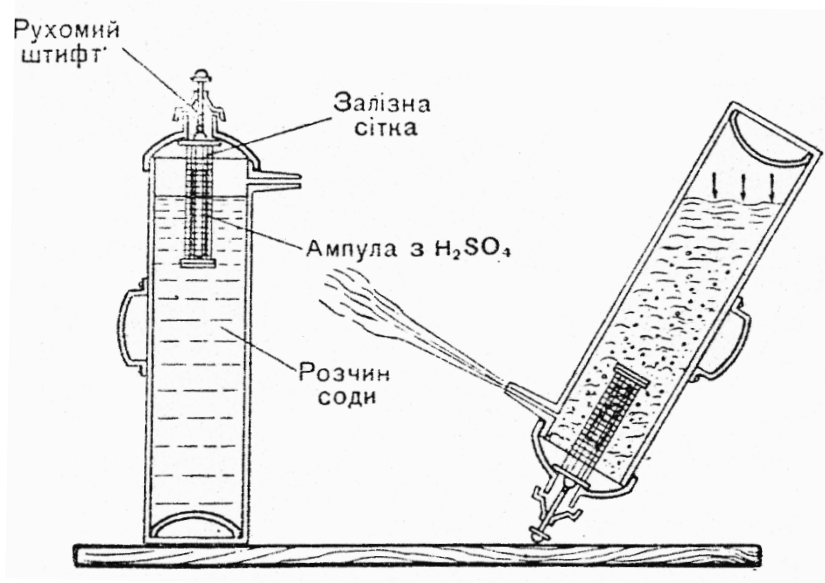
У випадку нерозчинних карбонатів рівняння має вигляд:



Вогнегасник. Властивість вуглекислого газу не підтримувати горіння використовується при гасінні пожеж. Для цього використовують спеціальні пристрої – вогнегасники (мал. 36). Кожне приміщення, де можливе виникнення пожеж, повинне обладнуватись цим переносним пристроєм.



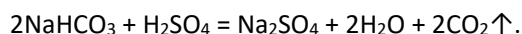
а



б

Мал. 36. Вогнегасник: зовнішній вигляд (а), заряджений та в момент роботи (б)

На мал. зображено схему вогнегасника – зарядженого і в момент роботи. При зарядці стальний балон вогнегасника наповнюють розчином соди (натрій гідроген карбонату). У верхній частині балона в залізній сітці закріплюється скляна ампула з сульфатною кислотою. Щоб привести вогнегасник у дію, його перевертають догори дном і вдаряють головою бійка – металевого стержня, закріпленого в головці, об щось тверде. При цьому бійок розбиває скляну ампулу, сульфатна кислота змішується з розчином соди і між ними вмить починається реакція:



Вуглекислий газ разом з рідиною утворює струмінь піни, яка виривається з отвору вогнегасника і гасить полум'я.

Поширення карбонатів в природі. Карбонати широко розповсюджені на Землі. Мармур, вапняк, крейда складаються переважно з CaCO_3 . В Україні є значні родовища крейди. Основні її запаси зосереджені у Донецькій, Сумській, Луганській, Харківській, Чернігівській областях. У Закарпатті та у Криму містяться родовища високоякісного мармуру та мармуроподібного вапняку. Вапняки використовують як будівельний матеріал, при виплавленні чавуну, у виробництві цукру. Важливе значення мають і карбонати магнію. Це мінерали магнезит MgCO_3 та доломіт $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$. Цілі гірські кряжі складаються з доломіту. Карбонат двовалентного Феруму – сидерит FeCO_3 є рудою, з якої виплавляють залізо. Родовища сидериту є на Полтавщині поблизу м. Комсомольська.

Карбонатна (вугільна) кислота існує лише у розчині, з підвищенням температури вона повністю розкладається на вуглекислий газ та воду. Існує два види її солей: карбонати та гідрогенкарбонати, які здатні взаємно перетворюватись.

Перевір себе.

1. Опиши фізичні властивості карбонатної кислоти.
2. Який ступінь окиснення виявляє Карбон у карбонатній кислоті? Як це впливає на силу кислоти, її стійкість?
3. Які хімічні властивості характерні для карбонатної кислоти?
4. Склади формули: а) карбонатів Li , Be , Ga ; б) гідрогенкарбонатів Na , In , Mg .
5. Склади рівняння реакцій за схемами:
а) $\text{KOH} + \text{H}_2\text{CO}_3 \rightarrow$; б) $2\text{KOH} + \text{H}_2\text{CO}_3 \rightarrow$; в) $\text{CaCl}_2 \rightarrow \text{CaCO}_3$; г) $\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaCl}_2$; д) $\text{BaCO}_3 \rightarrow \text{Ba}(\text{NO}_3)_2$;

Поміркуй

1. Запиши рівняння хімічних реакцій, за допомогою яких можна здійснити перетворення:
 $\text{C} \rightarrow \text{CO}_2 \rightarrow \text{CaCO}_3 \rightarrow \text{Ca}(\text{HCO}_3)_2 \rightarrow \text{CO}_2$.
2. Прожарили вапняк масою 309 г, який на 92% складається з кальцій карбонату. Який об'єм вуглекислого газу виділяється при цьому?
3. Розрахуй співвідношення мас елементів у малахіті $(\text{CuOH})_2\text{CO}_3$.
- 4.* Коли ми відкриваємо пляшку з газованою водою, яку під тиском насичують вуглекислим газом, тиск усередині пляшки зменшується і бульбашки газу виходять з води. Поясни процеси, що відбуваються при цьому, згідно з принципом Ле Шательє.
5. Як очистити яйце, не розбиваючи його?
- 6.* Кажуть, що королі розчиняли перли у воді. Чи розчиняються там перли? Чому?

Практична робота 1

Добування вуглекислого газу. Взаємоперетворення карбонатів і гідрогенкарбонатів

Виконуючи практичну роботу, ви навчитесь збирати гази, важчі за повітря, закріпите знання про фізичні і хімічні властивості вуглекислого газу.

Перевірте свою готовність до виконання роботи

1. Як добути і зібрати вуглекислий газ у лабораторних умовах? Складіть відповідні рівняння реакцій. Як довести, що виділяється вуглекислий газ?
2. Як називається розчин вуглекислого газу у воді?
3. Як дисоціює карбонатна кислота?

4. Чому карбонатна кислота утворює як середні, так і кислі солі?
5. Чи всі карбонати під час нагрівання розкладаються? Наведіть приклади.
6. Як кальцій гідрогенкарбонат у водному розчині перетворити на кальцій карбонат без нагрівання? Напишіть рівняння реакції.
7. Як хімічним способом розпізнати хлориди, карбонати, сульфати натрію?
8. Наведіть правила техніки безпеки під час роботи з хімічними речовинами, зокрема кислотами та лугами.

Хід роботи

1. Проведіть досліди і результати з висновками занесіть у таблицю.

Дослід 1. Складіть прилад для добування газів. У пробірку-реактор покладіть кусочок крейди і долийте хлоридної кислоти об'ємом 2 – 3 мл. Закрийте пробірку-реактор корком з газовідвідною трубкою. Що спостерігаєте? Поясніть спостереження. Переконайтесь, що газ, який виділяється – вуглекислий (його можна зібрати в пробірку-приймач). Замалюйте прилад. Чому пробірку-приймач ви розмістили саме в такому положенні?

Дослід 2. Налийте в пробірку трохи «вапняної води»: пропустіть в неї одержаний газ. Що спостерігаєте? Як пояснити явище, яке ви спостерігаєте?

Дослід 3. Продовжуйте пропускати газ до того часу, доки у пробірці не відбудуться нові зміни. Що відбулося і чому?

Дослід 4. Нагрійте пробірку з розчином солі $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$. Спостерігайте нове помутніння розчину. Чому воно відбулося?

Дослід 5. Пропустіть вуглекислий газ у пробірки з водою, додавши в неї попередньо кілька крапель лакмусу, та в пробірку з розчином натрій гідроксиду, додавши в неї кілька крапель фенолфталеїну. Що спостерігаєте? Чому змінюється колір розчинів в обох пробірках?

Дослід 6. У трьох пробірках знаходяться розчини речовин:

- а) калій хлорид, натрій карбонат, калій сульфат;
- б) цинк сульфат, калій карбонат, амоній хлорид.

Визначте кожну речовину.

Результати дослідів занесіть до таблиці.

Номер досліду	Що робили	Спостереження	Рівняння реакцій	Висновки

Зробіть загальний висновок до практичної роботи.

§13. Продукти силікатних виробництв

Вивчивши параграф, ви дізнаєтесь про найпоширеніші будівельні матеріали – скло, цемент, бетон та інші продукти силікатної промисловості.

Найважливішими продуктами силікатної промисловості є будівельні матеріали, скло і кераміка. Їх добувають із природних силікатів.

Скло. Скло являє собою аморфний, прозорий, крихкий, твердий матеріал, до складу якого входять Натрію, Кальцію та Силіцію. Склад звичайного скла можна наближено виразити формулою $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{CaO} \cdot 6\text{SiO}_2$. Його добувають сплавлянням у електричних печах суміші соди, вапняку та піску.

При додаванні до суміші, з якої варять скло, оксидів Плюмбуму одержують *кристаль*. Таке скло добре заломлює світлові промені і застосовується для виготовлення художнього посуду. Додатки оксиду Бору B_2O_3 сприяють утворенню тугоплавких, хімічно стійких стекел. Розплав чистого піску SiO_2 утворює при охолодженні *кварцове* скло. Воно пропускає ультрафіолетове проміння. А ще таке скло має низький коефіцієнт термічного розширення і з нього виготовляють термічно стійкий хімічний посуд, який витримує значне нагрівання та різке охолодження і при цьому не розтріскується (мал. 37).



Мал. 37. З кварцового скла виготовляють термічно стійкий хімічний посуд

Скло здавна відоме людям. Скловаріння існувало у стародавньому Єгипті за 3000 років до нашої ери. Із скла виробляють прикраси, посуд (мал. 38), скловолокна, склопластики. Виробництво скла – одна із основних галузей силікатної промисловості.

Силікати Натрію і Калію (Na_2SiO_3 і K_2SiO_3) добре розчиняються у воді, їхні концентровані розчини називають *рідким склом*. Воно застосовується як зв'язуючий матеріал при виготовленні кислототривких бетонів, а також для виготовлення замазок, конторського клею.

Кераміка. З найдавніших часів люди займаються також керамічними виробництвами, виготовленням виробів із глини (мал. 39, 40).

Вироблення керамічних виробів ґрунтується на властивості глини при змішуванні її з невеликою кількістю води утворювати кластичну масу, якій можна надати будь-якої форми. Ця форма зберігається після



Мал. 38. Побутові вироби зі скла

висихання і закріплюється випалюванням при високій температурі. До керамічних виробництв належать гончарство, випалювання цегли, виготовлення черепиці, дренажних труб.



Мал. 39. Гончарні вироби трипільської культури



Мал. 40. Сучасні художні керамічні вироби народних майстрів

Виробництво керамічних виробів неможливе без піску. Його додають до глини для придання виробам міцності. Із суміші піску, глини, води формують виріб. Потім його обпалюють у печах. Глина спікається з піском, утворюючи алюмосилікати, склад яких приблизно такий: $3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$.

При виготовленні посуду зверху його покривають прозорою водонепроникною плівкою – поливою. Поливу виготовляють із суміші польового шпату, боратної кислоти, станум(II) оксиду.

Із білих глин, що не містять домішок оксидів Феруму, і при більш високій температурі обпалювання одержують *фаянс*. Це матеріал для виготовлення посуду, сантехніки, кахлю. Застосовуючи певні технології із білої глини, польового шпату, піску виготовляють *фарфор*, або порцеляну. Порцелянові вироби напівпрозорі, їх поверхня щільна і блискуча (мал. 41). Фаянс та фарфор належать до декоративних матеріалів.

Технічні вироби із кераміки відзначаються, порівняно з металічними, вищою жароміцністю, твердістю, корозійною стійкістю, меншою густиною. Тому вироби технічної кераміки вважають дуже перспективними для застосування у високотемпературній техніці, авіа- та машинобудуванні, хімічному машинобудуванні.

Цемент та бетон. Важливим продуктом силікатної промисловості є *цемент*. До його складу входять переважно силікати Кальцію. Цемент виробляють прожарюванням суміші з таких доступних природних матеріалів, як глина і вапняк. При змішуванні цементу з водою утворюється тістоподібна маса. Сюди ж додають пісок. Така суміш поступово втрачає воду і твердне. Цементним розчином закріплюють цеглу у кладці.



Мал. 41. Вироби із фарфору

Додаванням до цементного розчину щебеню, гравію одержують *бетон*. Для міцності у бетон вмонтовують залізну арматуру і отримують залізобетон. Із бетону та залізобетону виготовляють плити, опори, блоки та інші вироби, необхідні у будівництві.

Природні силікати є сировиною для виготовлення різних будівельних матеріалів, скла і кераміки, які широко використовуються у виробництві та побуті.

Для допитливих.

Що таке ситали?

Це склокристалічні матеріали, які відзначаються високою міцністю, твердістю і термічною стійкістю, незначним тепловим розширенням. Їх одержують, вводячи в розплавлене скло каталізатори (центри кристалізації), на яких відбувається ріст кристалів основної фази. Із ситалів виробляють електроізолятори, підшипники, хімічну апаратуру, фільтри, труби тощо.

Запиши до словника.

Скло – прозорий крихкий матеріал, який отримують при остиганні розплаву природних силікатів та деяких оксидів металічних елементів.

Кераміка – будівельні або декоративні матеріали, отримані при сплавленні глин та їх сумішей з мінеральними добавками при високих температурах. До кераміки відносять цеглу, шамот, черепицю, фаянс, фарфор.

Цемент – поширений будівельний матеріал; подрібнений продукт високотемпературної обробки суміші вапняків, глини, піску тощо.

Перевір себе.

1. Назви найважливіші продукти силікатної промисловості.
2. Які види скла тобі відомі? Чим вони відрізняються? З якого скла виготовляють хімічний посуд?

3. Сировиною для виробництва скла є: а) вода, глина, пісок; б) сода, вапняк, пісок; в) пісок, вапняк, силіцій; г) сода, пісок, гашене вапно.
4. Рідке скло – це: а) натрій і калій карбонат; б) силікатна кислота H_2SiO_3 ; в) натрій і калій силікати Na_2SiO_3 , K_2SiO_3 ?
5. На яких властивостях глини ґрунтується виробництво керамічних виробів?
6. Що являє собою цемент? Які властивості цементу лежать в основі його використання?
7. Як отримують бетон та залізобетон? Де їх використовують?
8. Яка з названих галузей не належить до силікатної промисловості: а) виробництво мінеральних добрив; б) виробництво скла; в) виробництво цементу; г) виробництво кераміки; д) виробництво соди?

Поміркуй.

1. Силікатна цегла, яку виготовляють із білого піску та гашеного вапна, являє собою зерна кварцу, зцементовані кальцій силікатом. Напиши рівняння реакції, яка відбувається в процесі виготовлення силікатної цегли.
2. Необхідно одержати скло складу $Na_2O \cdot CaO \cdot 6SiO_2$ масою 10 т. Яку масу соди, вапняку, в якому масова частка домішок складала 10%, та силіцій(IV) оксиду необхідно взяти для цього?
- 3*. Азбест $3MgO \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$, складений з природного різновиду гідросилікатів, дуже термостійкий і не горить. Але азбест починає горіти з речовиною, утвореною хімічним елементом, атоми якого мають у сполуках тільки від'ємний ступінь окиснення. Склади рівняння реакції горіння азбесту.

§14. Кругообіг хімічних елементів

Засвоївши зміст параграфа, ви зможете пояснити кругообіг Оксигену, Карбону, Нітрогену у довідці, значення цих процесів у збереженні біосфери.

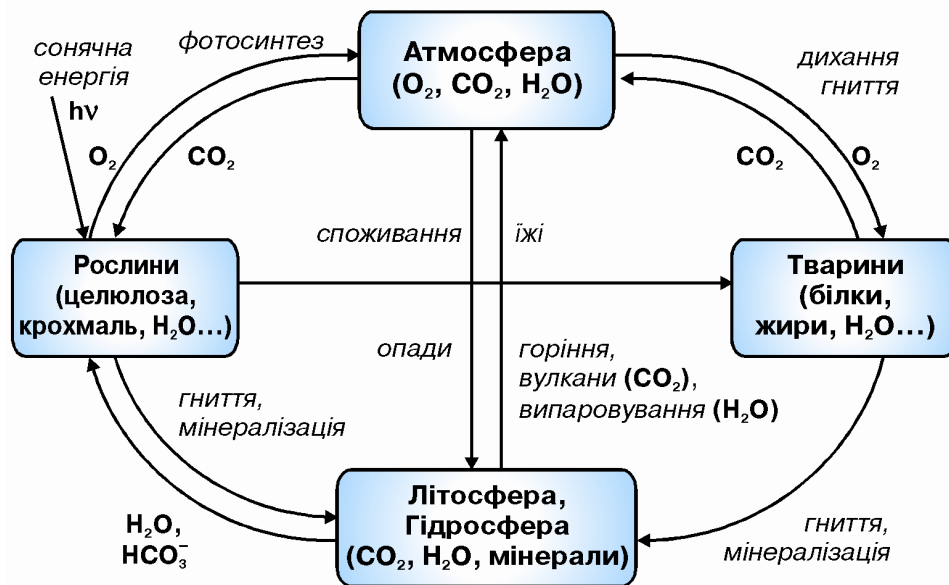
Кругообіг елементів як один із механізмів забезпечення єдності природи. Вивчаючи фізику, хімію, біологію, ви вже, мабуть, переконались, що природа єдина і, одночасно, нескінченно різноманітна. Всі процеси і явища у навколишньому світі взаємозв'язані. Характерним прикладом такого зв'язку є постійний обмін речовиною і енергією між різними складовими географічної оболонки Землі – повітряною (атмосферою), водною (гідросферою) і твердою (літосферою), а також між ними та оболонкою життя – біосферою. Внаслідок такого взаємообміну, всі вони утворюють одне ціле. Якщо кожному з оболонок якимось чином відокремити одну від одної, то життя на планеті припинилось би. Розвиток життя і постійне його відновлення, наприклад, стали б неможливими, якби на Землі не відбувався безперервний процес утворення органічних речовин із неорганічних.

Основним джерелом енергії, за рахунок якої відбувається еволюція не лише живої, а й неживої природи, є Сонце. Саме завдяки енергії сонячного випромінювання проходять численні перетворення земної кори, функціонує і постійно розвивається органічний світ.

За сотні мільйонів років еволюції Землі між різними сферами її географічної оболонки встановився певний, так званий рівноважний, розподіл хімічних елементів. Рівноваги, що виникають при цьому, є рухливими, динамічними. Між різними геосферами планети щохвилини проходить безперервний обмін елементами: в одних процесах атоми певного елемента «поглинаються», зв'язуються у більш стійкі сполуки, в інших, навпаки, вивільняються. Процеси обміну атомами елемента між різними сферами географічної оболонки називають кругообігом (колообігом) елемента.

Розглянемо докладніше процеси кругообігу найважливіших для життя біосфери елементів — Оксигену, Карбону і Нітрогену. Об'єднуючою ланкою кругообігу цих елементів є атмосфера, в якій Оксиген і Нітроген перебувають у вигляді простих речовин — кисню O_2 і азоту N_2 , а Карбон — у складі вуглекислого газу CO_2 .

Кругообіг Оксигену. Численні процеси, зв'язані з кругообігом Оксигену, можна звести до двох основних груп. Перша – це участь кисню в реакціях окиснення і зв'язування Оксигену в сполуки з іншими елементами. Друга – утворення вільного кисню зеленими рослинами в процесі фотосинтезу (мал. 42).

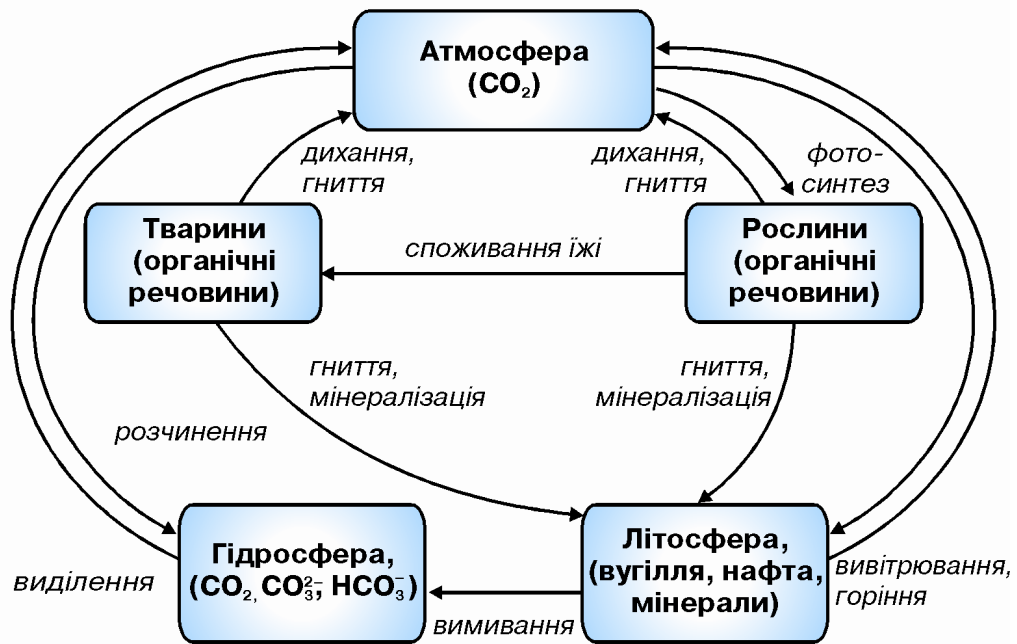


Мал. 42. Кругообіг Оксигену

До першої групи належать процеси мінерало- та ґрунтоутворення, руйнування гірських порід, горіння, а також дихання і гниття. Тварини і рослини дихають киснем, який окиснює органічні речовини в організмі. Енергія, що виділяється в ході біологічного окиснення, необхідна для процесів життєдіяльності. При гнитті Оксиген, окиснюючи рештки загинлих рослин і тварин, виконує на планеті роль своєрідного санітара. Внаслідок процесів горіння, дихання і гниття Оксиген і Карбон органічних сполук переходять до складу H₂O і CO₂.

У ході усіх процесів окиснення відбувається вилучення кисню із атмосфери. Поповнення атмосфери цією речовиною здійснюється в результаті діяльності «зелених фабрик» — рослин. Вони вбирають H₂O і CO₂, що утворюються в процесах окиснення, і за рахунок енергії сонячного випромінювання синтезують із них вуглеводи, а «надлишок» Оксигену виділяють у формі кисню в атмосферу. Щорічно рослини збагачують повітряний океан близько 250 млрд. тонн кисню. Приблизно така ж його кількість витрачається на природні процеси окиснення. Тому вміст кисню в земній атмосфері з часом майже не змінюється.

Кругообіг Карбону. Серед сукупності перетворень сполук Карбону найголовнішими є ті, що відбуваються за участю живих організмів. У результаті процесів фотосинтезу Карбон із атмосфери, в якій він знаходиться у вигляді карбон(IV) оксиду, переходить у рослини. Тут він входить до складу органічних речовин, які є їжею тварин. Окиснюючись в тваринних організмах в ході перетравлювання їжі, Карбон знову утворює CO₂, який повертається через органи дихання в атмосферу. Так здійснюється один із циклів кругообігу Карбону (мал. 43).



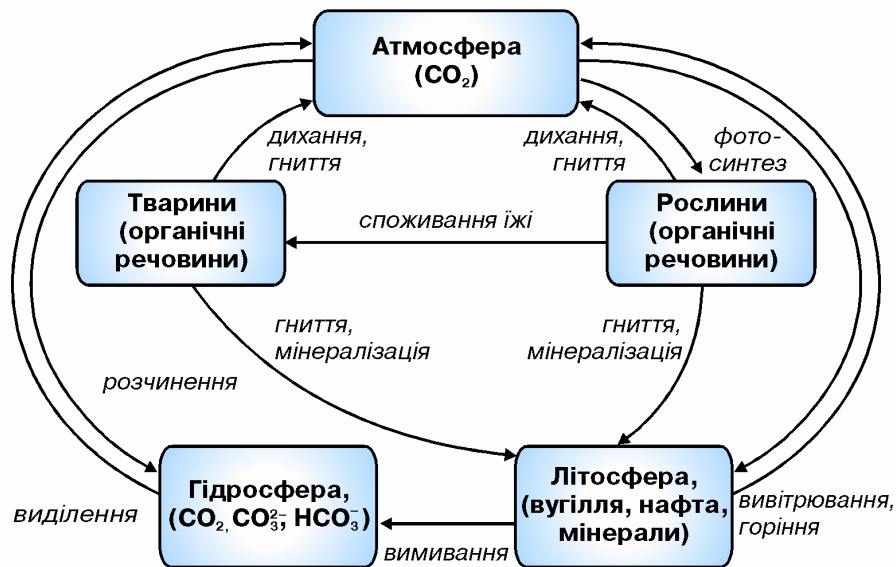
Мал. 43. Кругообіг Карбону

Деяка частина Карбону витрачається на утворення солей — переважно карбонатів, які накопичуються у покладах вапняку та крейди. Інша частина карбоновмісних сполук, що містилась у рослинних і тваринних рештках, в глибинах земної кори поступово перетворювалась у поклади вугілля, нафти та газу і також вилучалась із кругообігу. Щоправда, деяка кількість Карбону повертається в атмосферу у складі CO₂ при виверженні вулканів. Останнім часом люди втручаються в природні процеси кругообігу, спалюючи ці корисні копалини і повертаючи Карбон у вигляді CO₂ в атмосферу.

Через те, що CO₂ розчиняється у воді, атмосфера може обмінюватись Карбоном з океаном, який підтримує рівноважну концентрацію вуглекислого газу більш-менш сталою.

Кругообіг Нітрогену. Основна маса Нітрогену знаходиться в атмосфері, де він існує у вигляді хімічно інертного азоту N₂. Рослини не можуть засвоювати азот із повітря. Лише під час гроз або внаслідок діяльності нітрифікуючи (азотфіксуючих) бактерій (вони оселяються переважно на коренях бобових рослин) вільний азот перетворюється в сполуки Нітрогену. У формі йонів NH₄⁺ або NO₃⁻ Нітроген попадає в ґрунт або океан, де поглинається рослинами. В результаті гниття рослинних решток Нітроген повертається в атмосферу. Так завершується кругообіг Нітрогену (мал. 44).

Нітроген, як ви знаєте, поряд із Фосфором та Калієм є одним із елементів, найнеобхідніших для живлення рослин. Досить тривалий час нестача Нітрогену в ґрунті стримувала ріст рослин, а тому і врожайність сільськогосподарських культур. Лише на початку XIX ст. вдалось у промислових масштабах перевести Нітроген із атмосферного азоту в аміак, який або безпосередньо вносять на поля у вигляді розчину, або перетворюють в нітратні добрива. За рахунок цього кризи «азотного голоду» вдалось подолати.



Мал. 44. Кругообіг Нітрогену

Порушення кругообігів внаслідок техногенної діяльності. Останнім часом встановлений природою кругообіг хімічних елементів все частіше порушується через техногенну діяльність людини.

При спалюванні в процесах виробництва величезних обсягів горючих копалин в атмосферу потрапляє надмірна кількість вуглекислого газу, концентрація якого з кожним роком поступово зростає. Це, зрештою, може викликати так званий парниковий ефект і призвести до глобальної зміни клімату. Спалювання, крім того, потребує великої кількості кисню, який вилучається з атмосфери. Хімічні сполуки, які скидають промислові підприємства у річки і озера, зв'язують розчинений в них кисень і також частково виводять його з кругообігу. Цей негативний ефект підсилюється забрудненням ґрунтів і атмосфери, вирубуванням лісів, спустошенням земель на значних територіях. У деяких промислово розвинених країнах спалюється більше кисню і викидається більше вуглекислого газу, ніж їх утворюється чи вловлюється при фотосинтезі.

Тому так важливо зберігати і поширювати зелені насадження, завдяки яким підтримуються природні рівноваги, насамперед кругообіги Оксигену та Карбону.

Кругообіг хімічних елементів є важливим механізмом забезпечення єдності неживої і живої природи. Особливо важливу роль у процесах перетворення речовин у довікллі відіграють кругообіги Оксигену, Карбону, Нітрогену. Внаслідок нераціональної господарської діяльності природні кругообіги елементів можуть порушуватись. Для підтримання природних рівноваг необхідно зберігати і поширювати зелені насадження, не забруднювати повітря, воду, ґрунт.

Для допитливих

Кругообіг речовин та загальні закони і закономірності природи.

Всі перетворення у навколишньому світі, як ви знаєте із природничих курсів базової школи, підпорядковуються загальним законам і закономірностям природи. Це добре відомі вам закони збереження (маси, енергії, електричного заряду, кількості руху), спрямованості самочинних процесів до найстійкішого стану та закономірність періодичної повторюваності природних процесів.

Зрозуміло, що в ході кругообігу речовин число атомів кожного з елементів, а отже і їхня маса зберігаються. Тобто, процеси обміну елементів чітко «дотримуються» законів збереження. Виконується при цьому і загальна закономірність періодичності.

А чи справджується закон спрямованості процесів? Згідно з ним, всі природні процеси ідуть у напрямку досягнення найнижчої потенціальної енергії, тобто найстійкішого за даних умов стану. Здавалось би, що досить швидко всі природні системи досягнуть такого стану, і будь-які процеси в природі припиняться. Ні, таке могло б статися лише за умови, що кожна система ізольована від інших, існує сама по собі, тобто за відсутності будь-яких взаємодій у довікллі. Насправді ж, численні взаємодії з навколишнім середовищем виводять систему, яку ми розглядаємо, із рівноважного стану і вона прагне перейти до іншого, найстійкішого уже за нових умов стану. Закон спрямованості справджується для самочинних процесів. У природі ж поряд із ними існують і процеси несамочинні, вимушені, тобто такі, що відбуваються лише за наявності певної зовнішньої дії. Універсальним джерелом енергії для здійснення численних несамочинних процесів, наприклад фотосинтезу, є, як ви вже знаєте, сонячне випромінювання.

Розглянемо з цього погляду процеси, що відбуваються при кругообігу води.

Вода, випаровуючись під дією енергії сонячного випромінювання з поверхні океану, внаслідок дифузії (вирівнювання концентрацій) потрапляє у верхні шари атмосфери. Там в результаті зниження температури водяна пара конденсується, утворюючи хмари. При конденсації виділяється енергія, тому такий процес є енергетично вигідним. За рахунок енергії конденсації дмуть вітри, переносяться хмари, бушують шторми (подумайте, куди дівається енергія вітру та шторму. Чи не порушуються при цьому закони збереження енергії та маси?).

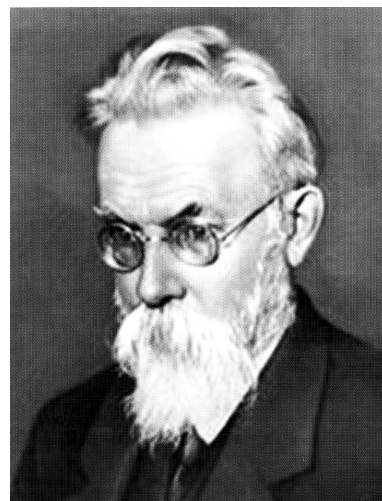
Хмари переносяться вітром (згадайте, чому дме вітер, що є причиною цього явища) на далекі відстані. Коли розмір водяних крапель збільшиться і вони стануть достатньо важкими, настане черга дії сил гравітаційного тяжіння — хмари виливаються на поля і ліси дощем. Чому іде дощ? Тому що потенціальна енергія крапель води при падінні на поверхню землі знижується. Протікаючи через ґрунти і гірські породи, вода вимиває з них їхні складові — хімічні елементи і переносить їх у море та океани, збагачуючи останні солями (чому ріки течуть до моря?). Тут вода завершує цикл кругообігу, а потім усе повторюється спочатку (повторюваність процесів – загальна закономірність природи).

Таким чином, процеси кругообміну елементів є наслідком дії загальних законів та закономірностей природи.

Творці природознавства.

Володимир Іванович Вернадський (1869 – 1945), російський і український вчений-природодослідник, засновник геохімії, біогеохімії, радіогеохімії (мал. 45).

Розвинув вчення про біосферу та її єдність, показав визначальну роль живих організмів у природному кругообігу елементів і геологічних процесах. У працях В.І. Вернадського закладені основи розв'язання однієї з найактуальніших проблем сьогодення – збереження навколишнього середовища.



Мал. 45. В. І. Вернадський

Перевір себе

1. Перелічи основні складові географічної оболонки Землі.
2. Назви найважливіші ланки кругообігу Оксигену в географічній оболонці планети.
3. Простеж основні цикли кругообігу Карбону на поверхні земної кулі.
4. Як відбувається колообіг Нітрогену у доквіллі?

Поміркуй

1. Назви по кілька самочинних і несамочинних процесів, що відбуваються при кругообігу Оксигену, Карбону, Нітрогену.
- 2*. Під дією яких загальних законів природи відбуваються кругообіг речовин у доквіллі? Наведи приклади.

Подискутуйте

1. Чому, на ваш погляд, вчені вважають, що кругообіг хімічних елементів є одним із механізмів забезпечення єдності неживої і живої природи? Підтвердіть або спростуйте цю думку.
2. Які небезпеки можуть постати перед людиною при постійному порушенні внаслідок техногенної діяльності природного кругообігу речовин?

УЗАГАЛЬНІТЬ ВИВЧЕНЕ

Неметалічні властивості елементів визначаються здатністю їх атомів приєднувати (або відтягувати на себе) електрони інших атомів. В хімічних реакціях неметали виступають переважно окисниками. Неметалічні властивості елементів посилюються при зменшенні атомного радіуса: в групах знизу вгору, а в періодах – зліва направо, тобто при зростанні атомної маси. Таму найактивніші неметали розміщуються у правій верхній частині періодичної системи.

Атоми неметалічних елементів з'єднуються між собою та з іншими атомами з утворенням ковалентних (неполярних і полярних), йонних, а в окремих випадках і водневих зв'язків. Більшість неметалічних елементів відіграють надзвичайно важливу біологічну роль, утворюючи величезну різноманітність органічних сполук.

Перевір себе

- Де розміщені в періодичній системі Д.І. Менделєєва неметалічні елементи? Чому поділ на металічні і неметалічні елементи є умовним?
- До фізичних чи хімічних явищ відноситься алотропія? Чому?
- Поясни, чому алотропні модифікації кисню існують, а галогенів – ні
- Чим можна пояснити характерний запах при роботі на ксероксі? Чи шкідлива довготривала робота на ксероксі?
- Наведи два способи розпізнавання крейди і вапна, які за зовнішнім виглядом схожі між собою. Чому краще стіни і стелю на кухні побілити вапном, а в інших кімнатах – крейдою? Підтвердь свою думку рівняннями реакцій.
- Чому палаючі об'єкти ефективніше гасити питною содою, ніж піском і водою?
- У VIII ст. в Китаї знайшли рецепт чорного пороху: калійна селітра, вугілля, сірка, взяті у рівних пропорціях. Під час вибуху відбувається реакція з утворенням калій сульфідів і ще двох газів (проста речовина, яка є складовою повітря, і складна). Склади рівняння, використовуючи метод електронного балансу.
- Встанови відповідність між речовиною, якісною реакцією її розпізнавання та результатами проходження реакції:

1) CaCO ₃ ;	а) взаємодія з лугами;	А) виділення газу;
2) FeSO ₄ ;	б) взаємодія з кислотами;	Б) утворення білого осаду.
3) NH ₄ NO ₃ ;	в) взаємодія з йонами Барію;	
4) KCl;	г) взаємодія з аргентум нітратом;	

Склади рівняння реакцій в молекулярній та йонній формах.
- Визнач, які з наведених факторів сприяють зміщенню стану рівноваги хімічної реакції вправо:

$$2\text{CO}_{(r)} + \text{O}_{2(r)} \rightleftharpoons 2\text{CO}_{2(r)} \text{ (реакція екзотермічна);}$$

$$\text{C}_{(тв.)} + \text{CO}_{2(r)} \rightleftharpoons 2\text{CO}_{(r)} \text{ (реакція ендотермічна)}$$

а) зниження тиску; б) підвищення тиску; в) зниження температури; г) підвищення температури; д) зменшення концентрації CO₂; е) збільшення концентрації CO₂.
- Вкажи, у якій послідовності можна проводити дослід з розпізнавання розчинів карбонату, сульфату, хлориду та гідроксиду. Вибери правильні відповіді та склади відповідні рівняння реакцій:

а) дослідити розчином лакмусу, потім на окремі проби подіяти розчином хлоридної кислоти;

б) подіяти розчином барій хлориду, потім на окремі проби подіяти розчином хлоридної кислоти;

в) подіяти розчином лугу, потім на окремі проби подіяти розчином лакмусу;

г) дослідити розчином фенолфталеїну, потім на окремі проби подіяти розчином аргентум нітрату.
- Складіть структурно-логічну схему розділу.

Домашня контрольна робота

- Із наведеного переліку випишіть неметалічні елементи та складіть формули їхніх простих речовин із зазначенням назви та агрегатного стану за стандартних умов:

а) Н; б) Na; в) С; г) Sn; ґ) S; д) He; е) Ti; є) N; ж) Cl; з) Os; і) O; к) Si; л) Br.
- В основному стані атом Карбону на зовнішньому енергетичному рівні має неспарених електронів: а) 1; б) 2; в) 3; г) 4.
- Для атомів неметалічних елементів характерна така будова зовнішнього енергетичного рівня:

а) ns^2np^1 ; б) ns^2np^2 ; в) ns^2 ; г) ns^2np^6 .

4. Неметалічний характер елементів і хімічна активність неметалів посилюється:
а) зліва направо в періодах; б) згори вниз у головних підгрупах; в) знизу догори в головних підгрупах; г) по діагоналі з верхнього правого кута в нижній лівий кут періодичної системи хімічних елементів.
5. Алотропія зумовлена в основному утворенням речовин: а) які мають однаковий якісний і кількісний склад; б) з різною структурою кристалів; в) з різним числом однакових атомів; г) в результаті реакцій, коли один хімічний елемент перетворюється в інший.
6. Запиши формули вищих оксидів неметалічних елементів Карбону, Нітрогену, Сульфуру. Склади відповідні їм формули кислот і розташуй у послідовності посилення кислотних властивостей. Зроби узагальнюючий висновок про те, від чого залежить сила оксигеновмісних кислот, що відповідають вищим оксидам елементів одного періоду.
7. Напиши хімічну формулу кожної з наведених речовин: кухонна сіль, мрамур, вапняк, крейда, негашене вапно, питна сода, граніт, кварц, чадний газ, гіпс, каолін (біла глина), силікатний клей, озон, калієва селітра, нашатирний спирт, бромна вода.
8. Із поданого переліку властивостей випишіть ті, що характеризують за стандартних умов: 1. Карбон(II) оксид; 2. Карбон(IV) оксид; 3. Нітроген(IV) оксид; 4. Сульфур(IV) оксид; 5. Сульфур(VI) оксид:
а) газ; б) рідина; в) має запах; г) немає запаху; г) безбарвний; д) отруйний;
е) легший за повітря; є) важчий за повітря; ж) розчиняється у воді; з) основний; і) амфотерний; к) кислотний; л) несолеутворний; м) горить, окиснюється; н) не підтримує горіння; о) взаємодіє з водою; п) окисник; р) відновник; с) реагує з оксидами металів; т) реагує з розчинними основами; у) гідрат оксиду проявляє найсильніші кислотні властивості; ф) спричиняє помутніння вапняної води або утворює з нею відповідні сполуки.

Склади рівняння можливих реакцій.

9. Наявність яких йонів зумовлює загальні хімічні властивості розбавлених кислот? Згідно з якою теорією? Назви специфічні хімічні властивості кислот.
10. Для очищення димових газів від оксидів Нітрогену використовують реакцію:



Склади рівняння реакції на основі електронного балансу із зазначенням процесів окиснення і відновлення.

11. Напиши рівняння реакцій за допомогою яких можна здійснити перетворення:
а) $\text{N}_2 \rightarrow \text{NH}_3 \rightarrow \text{NH}_4\text{NO}_3 \rightarrow (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{Na}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{BaSO}_4$;
б) $\text{FeS} \rightarrow \text{SO}_2 \rightarrow \text{SO}_3 \rightarrow \text{K}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{KNO}_3 \rightarrow \text{KNO}_2$;
в) $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3 \rightarrow \text{CO}_2 \rightarrow \text{Na}_2\text{CO}_3 \rightarrow \text{BaCO}_3 \rightarrow \text{Ba}(\text{NO}_3)_2 \rightarrow \text{NaNO}_3 \rightarrow \text{O}_2$.
12. Склади якомога більше рівнянь реакцій добування: а) аміаку; б) вапняної води; в) сульфур(IV) оксиду; г) нітроген(II) оксиду.
13. У склянках без написів містяться розчини таких речовин: натрій гідроксиду; амоній сульфату; барій хлориду; калій карбонату; ортофосфатної кислоти. Як, не використовуючи інших реактивів, встановити розчин якої речовини міститься в кожній склянці? Запропонуй план таклади відповідні рівняння реакцій в молекулярній та йонній формах.
14. Об'єм газу (н.у.), що можна одержати під час термічного розкладання технічного вапняку масою 0,5 кг, що містить 20% домішок, становить: а) 11,2 л;
б) 22,4 л; в) 89,6 л; г) 44,8 л.

15. При потраплянні кислоти (особливо концентрованої) на шкіру необхідно:

а) звернутися за медичною допомогою; б) змити її великою кількістю води; в) нейтралізувати лугом; г) нейтралізувати розчином соди; г) змазати йодною настоячкою; д) змити великою кількістю води, нейтралізувати розчином соди та знову змити.

16. Добудуйте за допомогою комп'ютера структурну схему «Генетичний зв'язок між основними класами неорганічних речовин».



Виконай проект

Обери одну із запропонованих тем. При виконанні проекту проаналізуй основні екологічні загрози, внаслідок яких географічне середовище може стати непридатним для життя людини, з'ясуй причини їх виникнення та спробуй виробити пропозиції щодо зменшення їхнього згубного впливу. Необхідну інформацію знайди в бібліотеці та мережі «Інтернет».

1. Глобальні екологічні загрози та можливі шляхи їх подолання.
2. Зміна складу атмосфери, її причини та негативні наслідки.
3. Зменшення запасів питної води на планеті та заходи щодо її збереження.

РОЗДІЛ 2. МЕТАЛІЧНІ ЕЛЕМЕНТИ ТА ЇХНІ СПОЛУКИ

Чотири із кожних п'яти хімічних елементів є металічними. Із цього розділу ви дізнаєтесь про фізичні і хімічні властивості металів, їх практичне застосування, властивості сполук металічних елементів.

§15. Загальна характеристика металічних елементів.

Металічний зв'язок

Засвоївши матеріал параграфа, ви вмітимете характеризувати металічні елементи за їх місцем у періодичній системі та будовою атома, пояснювати утворення металічного зв'язку.

Металічні елементи у природі переважають – вони становлять понад 80% із відомих на сьогодні хімічних елементів. Незважаючи на деякі відмінності у властивостях, всі вони складають єдину родину. В атомах металічних елементів електрони зовнішніх електронних шарів утримуються ядром значно слабкіше, ніж в атомах неметалічних. Тому металічні елементи легко віддають валентні електрони, тобто окиснюються. Вони, як правило, є відновниками.

Металічні елементи в періодичній системі. Як ви знаєте із матеріалу хімії 8 класу, в залежності від особливостей будови електронної оболонки атомів та розміщення їх у періодичній системі відрізняють s-, p-, d- та f-елементи.

До s-елементів відносять елементи, у яких відбувається заповнення зовнішнього s-підрівня. Це елементи головних підгруп I та II груп періодичної системи (або груп Ia і IIa у довгому варіанті періодичної таблиці елементів). Їх називають відповідно *лужними* та *лужноземельними*. У атомів цих елементів останній електронний шар містить 1 або 2 електрони, які слабо зв'язані з ядром, тому вони є найактивнішими відновниками серед усіх елементів.

До числа металічних p-елементів належать елементи, що складають головні підгрупи III–VI груп (у довгому варіанті таблиці – групи IIIa – VIa) і розміщені лівіше діагоналі, проведеної між Бором і Астатом. Оксиди та гідроксиди, утворені цими елементами, виявляють, як правило, амфотерні властивості (особливо ті, що примикають до зазначеної діагоналі).

Найчисленнішою є група металічних d-елементів. В періодичній системі Д.І. Менделєєва вони розміщені в побічних підгрупах (групах Ib–VIIb). У атомів d-елементів зовнішній електронний шар містить 1 або 2 електрони, заповнюються ж d-підрівні передостаннього енергетичного рівня. Оскільки d-елементи розміщуються у періодичній системі між s- та p-елементами, їх часто називають *перехідними*. Всі вони виявляють типові металічні властивості. Переважна більшість таких елементів може мати кілька ступенів окиснення (від +1 до +8).

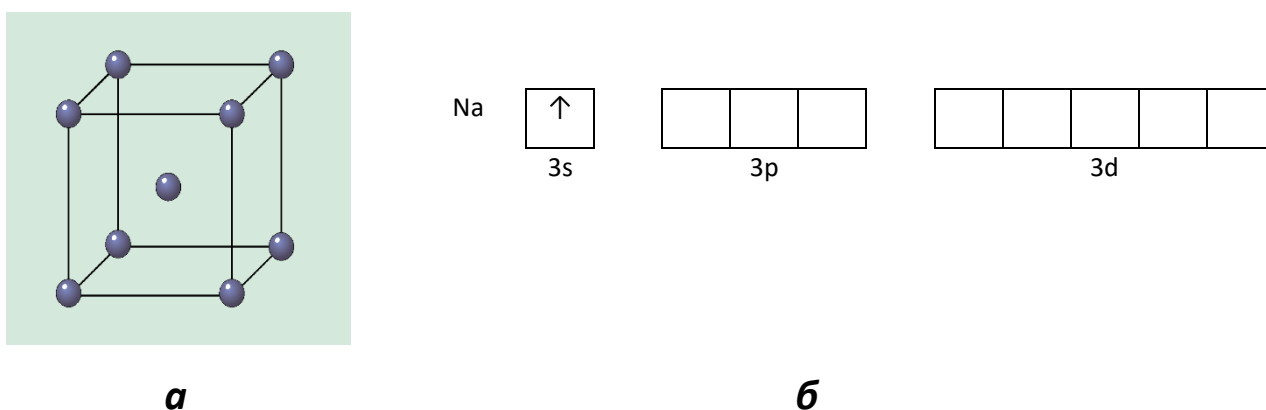
- Що називають ступенем окиснення? Визнач ступені окиснення металічних елементів у сполуках: MnO_2 , Cr_2O_7 , FeS , TiO_2 , MoO_3 , OsO_4 , $\text{Ni}(\text{OH})_3$.

Металічні елементи, у яких відбувається дозаповнення f-підрівнів, утворюють дві групи дуже схожих між собою елементів – *лантаноїдів* та *актиноїдів*. Кожне із сімейств f-елементів складається із чотирнадцяти елементів, які через схожість властивостей формально розміщують в одній клітині (№ 57 – лантаноїди та № 87 – актиноїди). Лантаноїди (4f- елементи) називають рідкісноземельними через їхню малу поширеність у природі і розпорошеність. За хімічними властивостями лантаноїди наближаються до лужноземельних елементів. Більшість актиноїдів (5f-елементи) є радіоактивними. Елементи, розміщені за

Ураном (*трансуранові* елементи) не мають стабільних ізотопів і в природних умовах не зустрічаються. Вони створені вченими — фізиками штучно в лабораторіях.

Прості речовини, утворені металічними елементами, називають, як вам відомо, *металами*. Вони мають ряд характерних властивостей, які відрізняють їх від інших речовин. Метали відзначаються високими тепло- і електропровідностями, порівняно високими температурами плавлення, характеризуються ковкістю і пластичністю, мають характерний металевий блиск. Спільні властивості металів зумовлені особливостями будови атомів металічних елементів та кристалічних ґраток, утворених ними, а також характером хімічного зв'язку між атомами.

Кристалічні ґратки металів та металічний зв'язок. Метали (за винятком ртуті) за звичайних умов є кристалічними речовинами і утворюють кристалічні ґратки, які називають *металічними*. На мал. 46 для прикладу зображена кристалічна решітка натрію. Кожен атом Натрію в ній оточений вісьмома такими ж сусідніми атомами. Якби атоми утримувались між собою ковалентними хімічними зв'язками, то кожен із них для утворення зв'язку повинен би надати по 8 електронів. Але це неможливо, бо атом Натрію має лише один валентний електрон, що міститься на s-підрівні (p- та d- підрівні залишаються незаповненими):



Мал. 46. Кристалічні ґратки Натрію (а), схема структури зовнішнього електричного шару атома Натрію (б)

В той же час атоми Натрію не можуть з'єднуватись і йонними зв'язками, оскільки при втраті електронів кожен із них стане катіоном, утворювати ж аніони жоден із атомів металічного елемента не здатний.

В металах існує особливий вид хімічного зв'язку – **металічний**. Його особливості визначаються властивістю атомів металічних елементів легко віддавати електрони зовнішніх електронних шарів, перетворюючись у позитивно заряджені йони. У кристалі металу близько розміщені енергетичні підрівні сусідніх атомів перекриваються і втрачені атомами електрони легко переміщуються з одного підрівня на інший в межах усього кристалу. Тобто, у зразку металу валентні (зовнішні) електрони атомів можуть вільно переміщуватись між утвореними йонами. Ці відносно вільні електрони (їх нерідко називають *електронним газом*) безперервно переміщуються між позитивними йонами металу (мал. 47) і утримують їх разом внаслідок сил електростатичного притягання (електрони при цьому стають делокалізованими, вони усупільнюються, тобто належать одразу багатьом атомам, тому металічний кристал часто умовно розглядають як одну гігантську молекулу).

Металічний зв'язок – це хімічний зв'язок, утворений внаслідок електростатичної взаємодії між йонами кристалічних ґраток металу та відносно вільними усупільненими електронами.

Металічний зв'язок має спільні ознаки і відмінності як з ковалентним, так і з йонним зв'язком. Схожість з ковалентним зв'язком виявляється в тому, що в обох випадках відбувається усупільнення електронів. Однак на відміну від ковалентного зв'язку, який обумовлений парами електронів, спільними для двох атомів, металічний зв'язок здійснюють електрони, усупільнені всіма йонами металу.

Металічний зв'язок схожий з йонним наявністю йонів. Проте в металі йони мають однаковий заряд і утримуються разом не протилежно зарядженими йонами, а усупільненими електронами.

За звичайних умов атоми металів не утворюють окремих молекул. Молекули металів існують лише при високій температурі, коли метали перебувають у газоподібному стані.

Більшість хімічних елементів є металічними елементами. Вони характеризуються тим, що їхні атоми здатні легко віддавати валентні електрони, тобто окиснюватись. Прості речовини, утворені металічними елементами, називають металами. В металах існує особливий тип хімічного зв'язку – металічний, зумовлений електростатичною взаємодією між йонами металів і усупільненими електронами. Об'єднані усупільненими електронами, йони металу утворюють кристали.

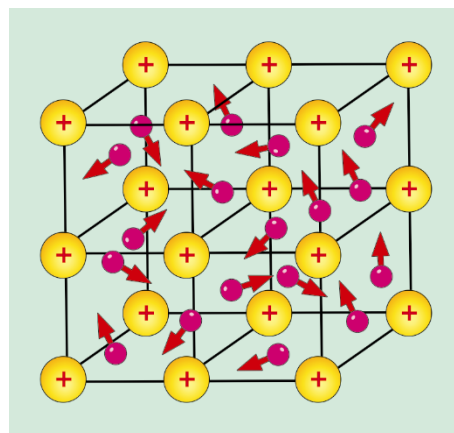
Запиши до словника

Металічний зв'язок – тип хімічного зв'язку, утворений внаслідок електростатичної взаємодії між йонами кристалічних ґраток металу і усупільненими електронами (електронним газом).

Електронний газ – відносно вільні, делокалізовані електрони, які легко переміщуються між катіонами металу, утримуючи їх разом за рахунок сил електростатичної взаємодії.

Перевір себе

1. Які властивості елементів називають металічними?
2. Які елементи належать до металічних, де в періодичній системі вони розміщені? До яких груп (сімейств) елементів (з погляду будови електронних оболонок) вони належать?
3. Встанови відповідність між назвою частинки і її електронною формулою:
 - 1) атом Натрію а) $1s^22s^22p^5$
 - 2) йон Натрію б) $1s^22s^22p^6$
 - 3) йон Алюмінію в) $1s^22s^22p^63s^1$
 - 4) атом Неону г) $1s^22s^22p^63s^23p^1$
 - 5) йон Флуору
4. Який хімічний зв'язок називають металічним? Які елементи можуть його утворювати?
5. Чи зберігається металічний зв'язок при переході металу до газового стану?
6. Який тип кристалічної решітки характерний для металів?
7. Вкажи тип кристалічної решітки речовин:



Мал. 47. Модель, що ілюструє утворення металічного зв'язку

- | | |
|----------------------|----------------|
| 1) калій | а) атомна |
| 2) калій хлорид | б) молекулярна |
| 3) йод | в) йонна |
| 4) силіцій (кремній) | г) металічна |

Поміркуй

1. Чим відрізняються за будовою атома металічні елементи від неметалічних?
2. До якої групи елементів (s-, p-, d- чи f) належать:
а) Mg; б) Cu; в) Tl; г) U?
3. Порівняй металічний зв'язок з ковалентним та йонним зв'язком.
4. Спробуй пояснити електричну провідність металів, використовуючи уявлення про металічний зв'язок.

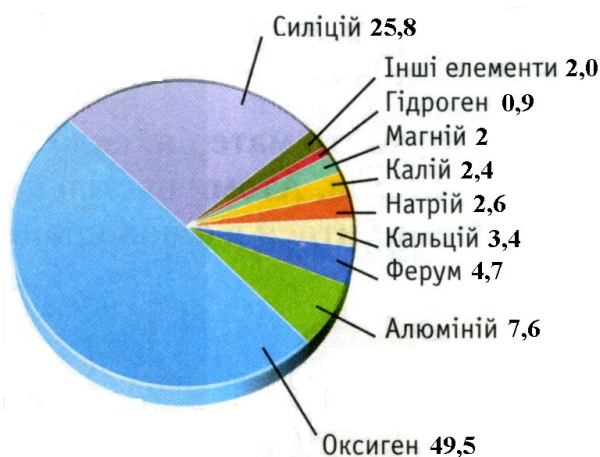
Подискуйте

Відомо, що деякі неметали мають окремі властивості, притаманні металам: проводять електричний струм (графіт), мають металевий блиск (йод), пластичність (пластична сірка). За якими ж критеріями можна відрізнити метали від неметалів? Чи достатньо для цього однієї ознаки?

§16. Металічні елементи та їхні сполуки у природі

Вивчивши матеріал параграфа, ви дізнаєтесь про поширеність металічних елементів та їхніх сполук у неживій і живій природі, зможете висловити судження про біологічну роль цих елементів.

Металічні елементи та їхні сполуки у неживій природі. Основу земної кори складають, як ви знаєте, переважно неметалічні елементи; масова частка металічних елементів становить близько 20%. Найпоширенішими із металічних елементів є Алюміній (7,6%), Ферум (4,7%), Кальцій (3,4%), Натрій (2,6%), Калій (2,4%), Магній (2,0%), Титан (0,4%) (мал. 48). Інші металічні елементи містяться у незначній кількості, вміст кожного з них у земній корі не перевищує 0,1%. Частка багатьох із них становить лише 10^{-5} — $10^{-10}\%$; у геології та техніці їх називають рідкісними та розпорошеними.



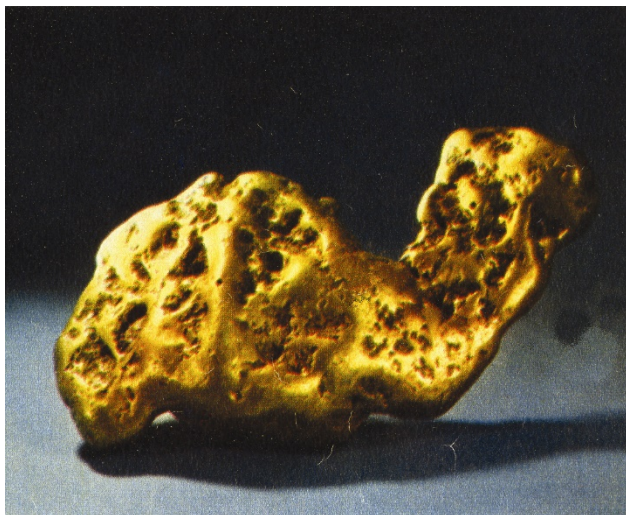
Мал. 48. Поширення хімічних елементів у земній корі (масові частки)

Лише кілька металів – золото (мал. 49), платина (мал. 50), срібло, мідь зустрічаються у самородному стані. Більшість металічних елементів існує в природі у складі складних речовин – мінералів. Чому? Гадаємо, вам це зрозуміло: утворення хімічних сполук супроводжується виділенням енергії, отже перебування елементів у складі сполук (мінералів) є енергетично вигідним.

В земній корі знайдено понад 2,5 тис. мінералів, що містять металічні елементи, деякі з них наводяться у табл. 5.

Багато мінералів, утворених металічними елементами, є корисними копалинами; їх добувають із надр Землі і використовують у виробництві.

Металічні елементи у живій природі, їхня біологічна роль. Досить поширені металічні елементи і в живій природі, їхня масова частка в організмі становить близько 3%. За вмістом в живих організмах хімічні елементи, як ви знаєте, поділяють на макро-, мікро- та ультрамікробіогенні. До макробіогенних елементів, вміст яких перевищує соті частки відсотка, належать Кальцій, Магній, Натрій, Калій. До числа мікробіогенних елементів, вміст яких вимірюється від сотих до сотисячних часток відсотка, відносять Ферум, Манган, Цинк, Купрум, Кобальт, Молібден. Ще деякі металічні елементи (ультрамікробіогенні) містяться в організмах у мізерних кількостях.



Мал. 49. Золотий самородок «Верблюд» (9288,2 г), знайдений на Колімі у 1947 р.



Мал. 50. Платиновий самородок (5900 г), знайдений на Середньому Уралі

Біологічна роль металічних елементів дуже різноманітна.

Головна функція макроелементів полягає в побудові тканин, підтриманні сталого осмотичного тиску, йонного та кислотно – основного балансу. Мікроелементи, які входять до складу ферментів, гормонів, вітамінів, біологічно — активних речовин, беруть участь в обміні речовин, процесах розмноження, тканинного дихання, знешкодження токсичних сполук.

З допомогою йонів металічних елементів налагоджуються і розриваються хімічні зв'язки, транспортуються та активуються біомолекули. Вони, образно кажучи, виконують функції своєрідних організаторів життя.

В організмі людини масою 70 кг міститься близько 1,5 кг Кальцію, 250 г Калію, 70 г Натрію, 40 г Магнію, 5 г Феруму, 3 г Цинку, 0,2 г Купруму, по 0,1 г Мангану, Молібдену і Кобальту. Ці десять елементів часто називають «металами життя».

Найпоширенішим металічним елементом у живій природі є Кальцій. Із сполук цього елемента морські безхребетні утворюють покрови свого тіла, а хребетні тварини будують свої скелети. Під впливом йонів Ca^{2+} у рослинах краще транспортуються вуглеводи, білки, поліпшується синтез хлорофілу, краще розвивається коренева система. В організмі людини Кальцій міститься у кістках та крові, в тканинах зубів. Він відіграє важливу роль у скороченні м'язів, регулюванні роботи серця та зсідання крові. Додаткова норма цього елемента для людини – близько 1 г. В організм Кальцій потрапляє з водою та продуктами харчування. Його багато у молоці, молочних продуктах, свіжій зелені. При нестачі Кальцію сповільнюється ріст кісток скелету, можливе виникнення рахіту.

Важливими біоелементами є Натрій і Калій. Йони Na^{+} і K^{+} беруть участь у передачі нервових імпульсів, підтримують нормальний осмотичний тиск крові та кислотно-лужний баланс її плазми. Натрій бере участь у водному обміні, сприяє утриманню води тканинами; його ж надлишок викликає набряки. Найважливішими джерелами Натрію є кухонна сіль, риба, сир, Калію – овочі, ізюм, м'ясо. Людині щодня потрібно 10—15 г Натрію та 2—3 г Калію.

Магній входить до складу зеленого пігменту хлорофілу, без якого неможливий процес фотосинтезу. В організмі людини йони Mg^{2+} містяться у кістках, м'язах, плазмі крові. Цей елемент необхідний для роботи багатьох ферментів, регулює обмін холестерину, синтез білків, жирних кислот, має спазмолітичну та судинорозширювальну дію. Нестача Магнію зумовлює синдром

хронічної втоми, гіпертонію, судинні порушення. Багато Магнію є у крупах, горосі, квасолі, рибі, чорному шоколаді.

Елемент Ферум, що належить до мікроелементів, відіграє важливу роль у житті рослин, тварин, людини; у вигляді йонів Fe^{2+} входить до складу гемоглобіну – білка, за допомогою якого здійснюється перенесення кисню до всіх клітин. Докладніше про біологічну роль цього елемента ви дізнаєтесь пізніше (§23).

Елемент Купрум входить до складу ферментів, прискорює перебіг хімічних процесів у клітинах, бере участь у процесах окиснення. У рослин за наявності Купруму підвищується стійкість до грибкових захворювань. У вищих тварин та людини він посилює дію гормону гіпофізу, забезпечує краще всмоктування Феруму. Денна норма людини в цьому елементі – 2—3 мг. Джерелом надходження Купруму в організм людини є зелені овочі, фрукти, хліб, бобові.

Цинк також міститься у клітинах живих організмів. Він бере участь в утворенні хлорофілу, входить до складу дихальних ферментів, регулює гормональну діяльність тварин та людини, бере участь у синтезі білка інсуліну, каталізує процес функціональної діяльності гіпофізу.

Кобальт входить до складу вітаміна B_{12} , який відіграє важливу роль у формуванні еритроцитів крові. В численних обмінних процесах, що відбуваються в організмі, помітна роль належить також Молибдену, Мангану та деяким ультрамікробіогенним елементам.

Не слід забувати, однак, про негативний вплив деяких металічних елементів на живі організми, зокрема тих, що утворюють важкі метали (Hg, Pb, Cd, Cr тощо). Йони таких елементів потрапляють зі стічними водами в ґрунт та водойми і можуть проникати в організм людини з їжею та питною водою, викликаючи інтоксикацію організму, гострі та хронічні отруєння, порушення процесів метаболізму. Окремі елементи (Hg, Pb, Cd), накопичуються в організмі, можуть стати причиною ракових захворювань.

Дуже небезпечними для життєдіяльності організму є радіоактивні елементи, зокрема Стронцій та Цезій, потрапляння яких призводить до появи небажаних мутацій. Так, радіоактивний Стронцій-90, що утворюється при роботі ядерних реакторів або при випробуваннях ядерної зброї, має період напіврозпаду близько 30 років. Потрапивши з їжею або через органи дихання в організм, він може накопичуватись у кістках, де атоми Sr заміщують атоми Ca. Накопичення цього та інших радіонуклідів в організмі може призвести до важких захворювань. Щоб запобігти цьому, вчені розробляють безпечні методи переробки і захоронення радіоактивних відходів.

Металічні елементи поширені як у неживій природі, так і в живих організмах. У земній корі вони перебувають переважно у складі мінералів. В живих організмах металічні елементи відіграють важливу біологічну роль. Потрапляння окремих елементів (Hg, Pb, Cd, Cs, Sr тощо) в організм людини може призвести до тяжких захворювань.

Довідник ерудита

Найпоширеніші мінерали, утворені металічними елементами

Елементи	Назва мінералу	Склад мінералу
Натрій	Галіт, або кам'яна сіль Мірабіліт, або глауберова сіль	$NaCl$ $Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$
Калій	Карналіт Сильвініт Сильвін	$KCl \cdot MgCl_2 \cdot 6H_2O$ $NaCl \cdot KCl$ KCl
Кальцій	Кальцит (вапняк, крейда, мармур)	$CaCO_3$
Магній	Гіпс Магнезит Доломіт	$CaSO_4 \cdot 2H_2O$ $MgCO_3$ $MgCO_3 \cdot CaCO_3$
Алюміній	Боксит Корунд Ортоклаз	$Al_2O_3 \cdot H_2O$ Al_2O_3 $K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$
Ферум	Магнетит, або магнітний залізняк Гематит, або червоний залізняк Гетит, або бурий залізняк Пірит, або залізний колчедан	Fe_3O_4 Fe_2O_3 $Fe_2O_3 \cdot H_2O$ FeS_2

Купрум	Халькозин, або мідний блиск Куприт Малахіт	Cu ₂ S Cu ₂ O (CuOH) ₂ CO ₃
Хром	Хромовий залізняк	FeO • Cr ₂ O ₃
Цинк	Сфалерит, або цинкова обманка	ZnS
Меркурій	Кіновар	HgS
Плюмбум	Галеніт, або свинцевий блиск	PbS

Перевір себе

1. Які металічні елементи існують у природі у вигляді простих речовин (у самородному стані)?
2. Назви мінерали, що містять: а) Na; б) Fe; в) Ca; г) Al?
3. Які металічні елементи називають "металами життя".
4. Розкрий роль Кальцію, Натрію, Калію, Магнію, Феруму, Купруму, Цинку в житті живих організмів.
5. Наявність якого хімічного елемента в організмі забезпечує зсідання крові, захист від карієсу, формування кісткової тканини: а) Fe; б) Na; в) K; г) Ca; д) Zn?
6. Потрапляння яких металічних елементів є шкідливим для організму?

Поміркуй

1. Одна із руд Феруму містить речовину, що має склад: Fe – 70%; O – 30%. Визнач формулу сполуки, назви руду, до складу якої вона входить.
2. Яка маса Натрію міститься в мірабіліті Na₂SO₄·10H₂O масою 200 г?
3. Розрахуй співвідношення мас елементів у кальцій карбонаті, що є основою вапняку.
4. Масова частка Цинку, що міститься в отруті кобри (цінні ліки), становить 5%. Щоб виробити одну краплю (30 мг) своєї отрути кобрі потрібно число атомів Цинку: а) 6·10²³; б) 1,4·10¹⁸; в) 2,8·10¹⁸; г) 3·10²³.
5. В організмі людини йони Na⁺ разом з йонами K⁺ беруть участь у передачі нервових імпульсів та підтриманні електричного потенціалу на мембрані клітин. Число йонів Na⁺ в організмі людини масою 70 кг, якщо масова частка Натрію 0,1%, становить: а) 6·10²³; б) 18·10²³; в) 9·10²³; г) 12·10²³.

Подискууйте

Чи можна розплавленим металом заморозити воду?

§17. Загальні фізичні властивості металів

Опанувавши матеріал параграфа, ви зможете охарактеризувати загальні фізичні властивості металів, зробите висновки про зумовленість властивостей металів будовою їх атомів та типом кристалічних ґраток.

Метали відомі людині з найдавніших часів. До металів відносили ковкі тверді речовини з характерним металевим блиском. «Металом називається тверде тіло, яке кувати можна» – писав російський учений-енциклопедист М.В. Ломоносов у праці «Перші основи металургії». Пізніше виявили багато інших відмінних властивостей, властивих металам.

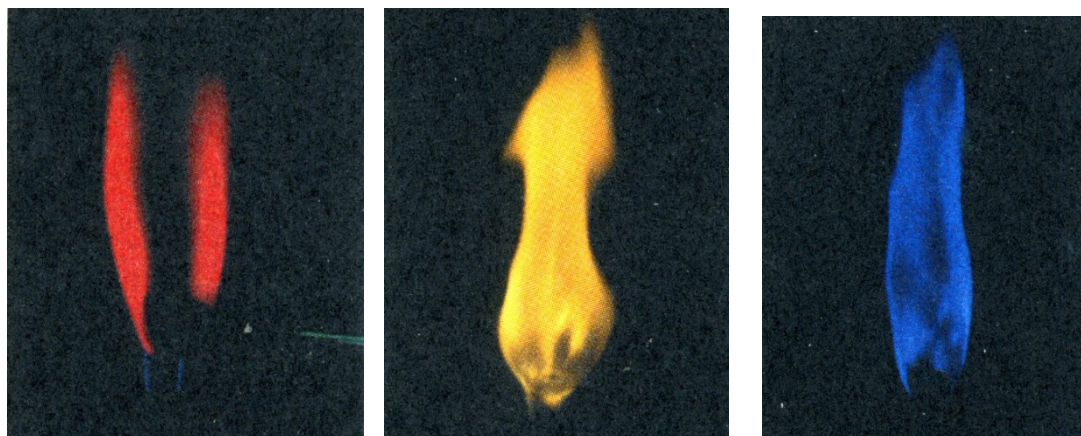
Всі метали, за винятком ртуті, за звичайних умов є *твердими кристалічними* речовинами (мал. 51), які мають *металевий блиск*, обумовлений здатністю їх поверхні відбивати світлові промені, що падають на неї.

Найбільшою мірою така здатність виявляється у срібла та індію, тому ці метали використовують для виготовлення дзеркал та рефлекторів. Більшість металів відбиває приблизно однаковою мірою всі світлові промені видимого спектру, тому вони мають сріблясто – білий колір. Метали – непрозорі речовини, а свій характерний блиск виявляють лише перебуваючи в стані компактної маси. Коли ж метали переходять до високодисперсного (порошкоподібного) стану, то блиск втрачається, а поверхня набуває чорного кольору.



Мал. 51. Поширені прості речовини – метали

Пара летких солей деяких металів забарвлює полум'я газової горілки в характерні кольори (мал. 52): калію – в фіолетовий, натрію – в жовтий, літію – в червоний, кальцію – в цегельно-червоний. Ця властивість використовується для розпізнавання йонів у методах якісного хімічного аналізу речовин.



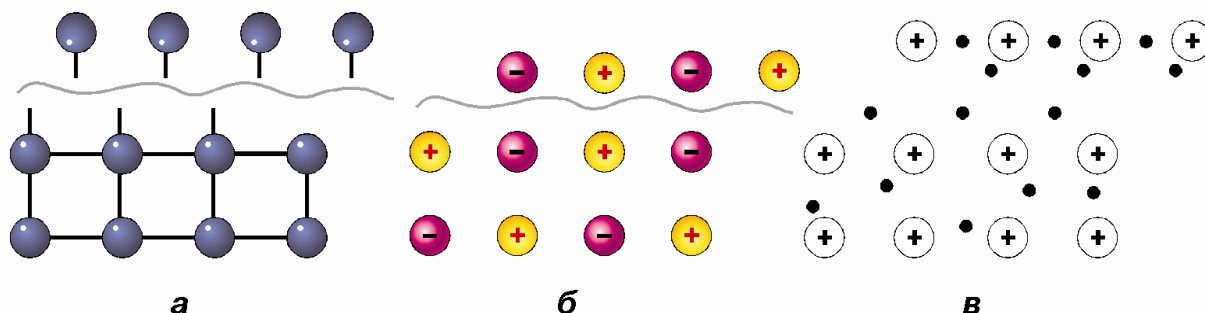
Мал. 52. Характерні кольори, в які забарвлюють полум'я солі лужних металічних елементів

Всі метали – *провідники* тепла та електричного струму. Метали з високою електричною провідністю мають також і високу теплопровідність. Найкращими провідниками є срібло, мідь та алюміній. Електропровідність металів залежить від температури, зі зростанням температури вона зменшується.

Важливими властивостями металів є їхні *міцність* та *пластичність* – вони здатні під тиском змінювати свою форму, не руйнуючись. Завдяки цьому метали прокатують в листи та витягують у дріт. Найбільш пластичний метал – золото; з нього можна виготовляти дуже тонку фольгу і тягнути тонкі нитки. Міцність та пластичність металів залежать від температури: з підвищенням температури міцність знижується, а пластичність зростає.

Розглянуті властивості, характерні для металів, зумовлені особливостями електронної структури атомів та типом їхніх кристалічних ґраток.

Відомо, що речовини з атомною та йонною структурою відзначаються крихкістю. При механічній дії на кристали окремі шари кристалічної решітки зміщуються один відносно іншого. Зміщення частинок призводить до розриву напрямлених ковалентних зв'язків у атомних решітках або до порушення енергетично вигідного розміщення різнойменно заряджених йонів у йонних кристалах. В обох випадках енергія взаємодії між частинками зменшується і кристали можуть руйнуватись (мал. 53 а, б).



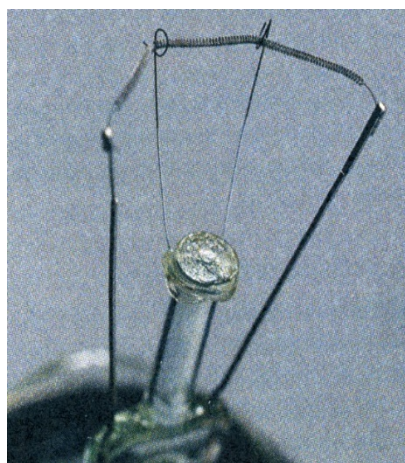
Мал. 53. Зміщення шарів атомів при механічній дії в кристалах з решіткою: атомною (а), йонною (б), металічною (в)

На відміну від цього, в кристалах металів йони один з одним безпосередньо не зв'язані і тому зміщення одного шару кристалічної ґратки відносно іншого не призводить до розриву хімічного зв'язку (мал. 53 в), що і обумовлює високу пластичність та ковкість металів. Наявність електронів, слабо зв'язаних з окремими йонами і здатних легко переміщуватись між ними, є причиною високої електро- та теплопровідності металів.

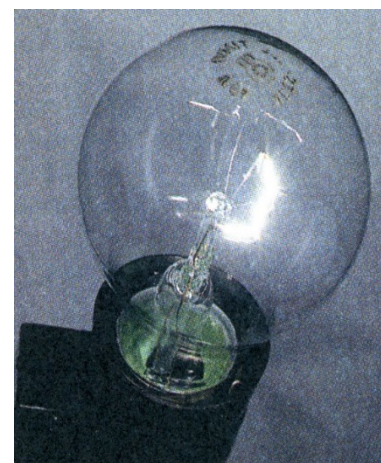
Метали мають різну *густину*. Вона тим менша, чим менша атомна маса металічного елемента і чим більший радіус його атома. Найлегший з металів – літій (мал. 54), що має густину 0,54 г/см³, а найважчий – осмій (густина 22,6 г/см³). Метали з густиною, меншою за 5 г/см³ називають *легкими*, а решту – *важкими*.



Мал. 54. Літій настільки легкий метал, що плаває в гасі



Мал. 55. Нитки розжарювання електроламп виготовляють із тугоплавкого вольфраму

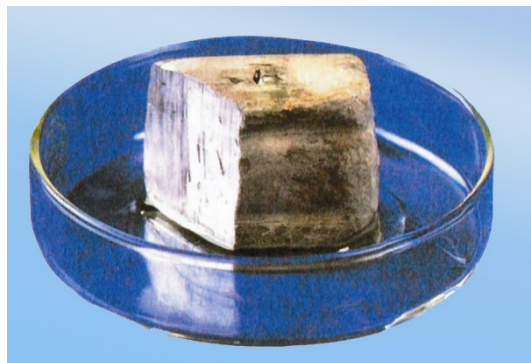


Температури плавлення і кипіння металів теж помітно відрізняються. Найбільш легкоплавкий метал – ртуть, її температура плавлення становить –38,9 °С; цезій і галій можна розплавити теплотою руки, вони плавляться відповідно при 28,5 і 29,8 °С. Найтугоплавкіший метал – вольфрам, температура плавлення якого становить 3420°С. Він застосовується для виготовлення ниток електроламп (мал. 55). Метали, які плавляться при температурі понад

400 °С називають *тугоплавкими*, при нижчій – *легкоплавкими*. Температура кипіння вольфраму становить 5700°С, а от температура кипіння цезію – лише 690 °С.

Така різниця в температурах плавлення та кипіння зумовлена, очевидно, різною міцністю кристалічних ґраток металів, яка залежить від між'ядерних відстаней в кристалічних ґратках та числа електронів у зовнішніх електронних шарах. Найменшу кількість делокалізованих електронів, які утворюють "електронний газ" і утримують йони разом, мають лужні метали. Тому і міцність кристалічних ґраток лужних металів найменша. В межах одного періоду при зростанні атомного номера елемента збільшується число електронів на зовнішніх енергетичних рівнях. У цьому ж напрямку зростають, як правило, міцність кристалічної решітки та температури плавлення і кипіння.

Від міцності кристалічної решітки залежить і *твердість* металів. Найтвердіший метал – хром (ріже скло), найбільш м'який – калій, натрій, рубідій та цезій. Вони легко ріжуться ножом (*мал. 56*).



Мал. 56. Натрій – м'який метал, він ріжеться ножом

Отже, ту або іншу просту речовину можна віднести до металів лише за сукупністю ознак.

Лабораторний дослід 9

Ознайомлення зі зразками металів

Розгляньте зразки металів: натрію, кальцію, ртуті (медичний термометр), алюмінію, заліза, міді, свинцю. Опишіть їх властивості за планом: агрегатний стан; колір; блиск; запах, твердість, дія магніту. З'ясувати – легші чи важчі метали за воду. Зверніть увагу на їх відношення до води. Чи тьмяніє метал на повітрі? Чому? Чому лужні і лужноземельні метали зберігають під шаром гасу? Чи вдається розплавити алюміній, залізо, мідь в лабораторних умовах? Що відбувається при цьому з міддю?

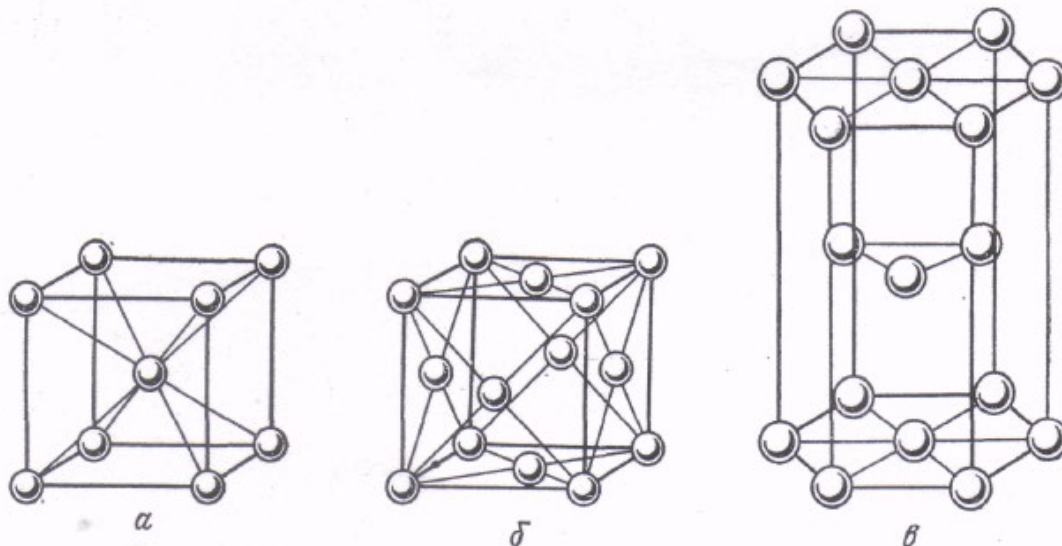
Зробіть висновки, за якими метали можна відрізнити від неметалів.

Метали мають ряд загальних властивостей – високі тепло- та електропровідність, міцність, пластичність, характерний металевий блиск, порівняно високі температури плавлення та кипіння. Характерні властивості металів зумовлені особливостями електронної структури атомів та типом їхніх кристалічних ґраток.

Для допитливих

Типи кристалічних ґраток у металах.

Для металів характерні три типи кристалічних решіток. Це кубічна об'ємноцентрована, кубічна гранецентрована та гексагональна щільно упакована (*мал. 57*). Розміщення атомів (йонів) у решітках двох останніх типів є енергетично найвигіднішим. Тому більшість металів утворює саме такі типи кристалічних ґраток.



Мал. 57. Кристалічні решітки металів: а) кубічна об'ємноцентрована; б) кубічна гранецентрована; в) гексагональна щільноупакована

Запиши до словника

Пластичність – здатність деяких тіл легко змінювати форму під дією зовнішніх сил і зберігати одержану форму після припинення цієї дії.

Перевір себе

1. Назви найважливіші фізичні властивості металів.
2. Чим можна пояснити високу електро- та теплопровідність металів?
3. З наведеного ряду металів: хром; золото; мідь; вольфрам; літій назви: а) найлегший метал; б) найтвердіший метал; в) найтугоплавкіший; г) метал з найвищою електропровідністю; д) найпластичніший метал.
4. Які ознаки не є спільними для срібла і ртуті: а) агрегатний стан; б) теплопровідність; в) електропровідність; г) металевий блиск; д) розчинність у воді.

Поміркуй

1. Чому кам'яна сіль крихка, а мідь – пластична? Чим зумовлена висока пластичність металів?
2. Чому натрій і калій можна різати ножом, а залізо і хром – ні? Чим зумовлена міцність кристалічних ґраток металів?
3. Назви кілька відомих тобі ознак (крім наведених у тексті), за якими можна класифікувати метали чи виділяти їх в окремі групи.
4. Які ознаки є спільними для заліза і графіту: а) колір; б) твердість; в) агрегатний стан; г) електропровідність; д) густина? Чи достатньо спільних ознак для віднесення їх до одного класу простих речовин?

Подискутуйте

Відомо, що електропровідність металів при підвищенні температури зменшується. Чому?

Вивчивши матеріал параграфа, ви зможете охарактеризувати загальні хімічні властивості металів, зробити висновки про зумовленість властивостей металів будовою їх атомів.

Будова атомів металічних елементів зумовлює не лише характерні фізичні, а й загальні хімічні властивості металів. Типовою хімічною властивістю металів є здатність їх атомів під час реакції віддавати валентні електрони, число яких на зовнішньому енергетичному рівні невелике. Під час хімічних перетворень атоми металів, втрачаючи електрони, окиснюються:



Окиснюючись, метали завжди виступають відновниками, тобто віддають свої валентні електрони іншим атомам або йонам. І чим легше атоми металів віддають електрони, тим вони хімічно активніші.

- Проаналізуй розміщення металічних елементів у періодичній системі з точки зору будови електронної оболонки атома та поясни, як це буде впливати на їхню хімічну активність (здатність віддавати електрони).
- Чи відображена ця властивість металів в електрохімічному ряді активності металів: Li, K, Ba, Ca, Mg, Al, Mn, Zn, Fe, Ni, Sn, Pb, (H₂), Cu, Hg, Ag, Pt, Au?

Оскільки метали є відновниками, вони вступатимуть у хімічні реакції з окисниками, тобто атомами чи йонами речовин, які будуть приймати електрони від металів.

Розглянемо найхарактерніші хімічні властивості металів.

Взаємодія з простими речовинами — неметалами. Найбільш енергійно метали взаємодіють з неметалами, що є сильними окисниками (галогени, кисень, сірка), можуть реагувати і з менш активними неметалами (вуглець, водень).

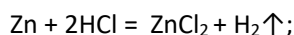
Таблиця 5

Взаємодія металів з неметалами

Неметал	Рівняння реакції	Продукти реакції	Метали, що реагують
Кисень	2 Zn + O ₂ = 2ZnO 2 Na + O ₂ = Na ₂ O ₂	Оксиди або пероксиди	Усі (крім аналогів платини та золота)
Хлор	2Al+3Cl ₂ = 2AlCl ₃	Хлориди	Усі
Сірка	2K + S = K ₂ S	Сульфід	Усі (крім золота та платини)
Азот	3Ca + N ₂ = Ca ₃ N ₂	Нітриди	Лужні й лужноземельні метали
Фосфор	3Mg + 2P = Mg ₃ P ₂	Фосфіди	Усі
Водень	Ba + H ₂ = BaH ₂	Гідриди	Усі
Вуглець	3 Fe + C = Fe ₃ C	Карбіди	Усі

- Проаналізуй рівняння наведених реакцій (табл. 5) з погляду окиснювально-відновних процесів. Визнач окисник і відновник, вкажи що окиснюється, а що – відновлюється. Зроби висновки

Взаємодія металів з кислотами. Метали, що стоять в електрохімічному ряді активності до Гідрогену, витісняють водень із розбавлених кислот (за винятком нітратної):



Цинк і алюміній окиснюються йонами Гідрогену, що містяться в розчинах кислот (складіть електронні рівняння окиснення і відновлення, зазначте, що окислюється, а що відновлюється).

Взаємодія з водою. Активні метали, що стоять в електрохімічному ряді активності до Алюмінію, реагують з водою (мал. 58), утворюючи основи (луги) і водень:

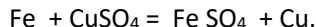
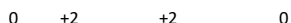


Магній гідроксид утворюється при кип'ятінні магнію у воді, а алюміній гідроксид – після очищення алюмінію від оксидної плівки.

Метали середньої активності (Mg-Pb) за високих температур реагують з водою, утворюючи оксиди і водень: $\text{Zn} + \text{H}_2\text{O} = \text{ZnO} + \text{H}_2 \uparrow$.

- Поясни з точки зору електронної будови атома, чому вода – окисник, а цинк – відновник.

Взаємодія з солями. Пригадайте, що відбувається з цвяхом, опущеним у розчин мідного купоросу. Повторивши цей дослід, ви переконаєтеся, що активніші метали, витісняють менш активні метали із розчинів їхніх солей.

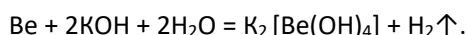
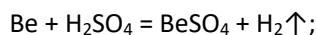


- Чому для взаємодії з розчинами солей не можна брати метали, активніші за магній?
- Для яких ще реакцій не можна брати активні метали?

Хімічні властивості металів визначаються будовою їхніх атомів і особливостями металічного зв'язку. Характерні хімічні властивості певного металу залежать від того, наскільки легко його атоми віддають електрони (окиснюються) і виступають відновником.

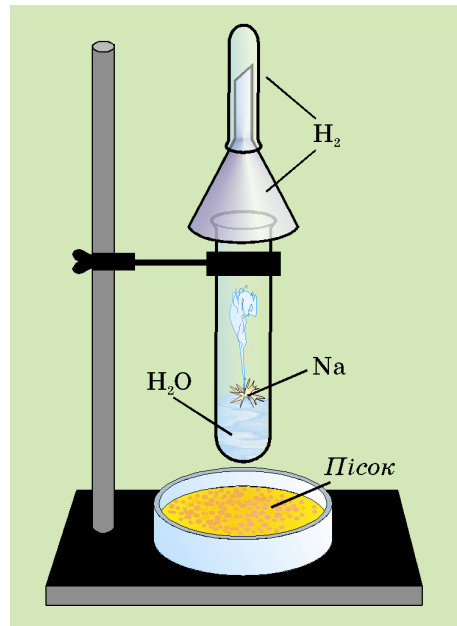
Для допитливих

Метали, гідроксиди яких проявляють амфотерні властивості, реагують як з кислотами, так і з основами:



В останньому випадку утворюється тетрагідроксоберилат калію, який належить до так званих комплексних солей.

Перевір себе



Мал. 58. Взаємодія Натрію з водою

1. У чому полягають особливості будови атомів металічних елементів і природи хімічного зв'язку між ними?
2. Чим пояснити те, що метали легко вступають у реакцію з неметалами?
3. Які складні речовини вступають у реакції з металами?
4. Як впливає положення металічних елементів в електрохімічному ряді активності на їхні хімічні властивості?
5. Як реагують метали з розчинами кислот?
6. За яких умов метали реагують з розчинами солей?
7. Характеризуючи загальні хімічні властивості металів, учень допустив помилки. Назви їх: а) атоми металів відносно легко віддають електрони, окиснюючись при цьому; б) активні метали взаємодіють з водою; в) метали як прості речовини є окисниками, а йони металічних елементів відновниками; г) у реакціях з кислотами всі метали витісняють водень з них; д) тільки активні метали взаємодіють з розчинами солей; е) малоактивні метали при високій температурі з киснем утворюють оксиди і водень .
8. Під час взаємодії лужноземельного металу масою 10 г з водою виділяється водень об'ємом 5,6 л. Цей метал: а) барій; б) кальцій; в) стронцій.

Поміркуй

1. Вкажи, виходячи з уявлень про будову атома, чому металічних елементів більше, ніж неметалічних?
2. Є розчин залізного купоросу $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ з домішкою мідного купоросу $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$. Яким простим способом можна позбутися домішки? Склади рівняння реакції.
3. До розчину, що містить три хлориди: цинк хлорид, ферум(III) хлорид, купрум(II) хлорид додали залізо. Що спостерігатиметься? Склади рівняння реакцій.
4. Знайди метал у електрохімічному ряді активності за такими ознаками: а) він не витісняє водень із розчинів кислот; б) витісняє благородні метали із розчинів їхніх солей; в) входить до складу сплавів бронзи і латуні. Поясни свій вибір. Склади рівняння відповідних реакцій.

§19. Корозія металів, захист від корозії

Засвоївши матеріал параграфа, ви зможете описати явище корозії, обґрунтувати необхідність запобігання корозії металів, висловити судження про її наслідки.

Корозія металів і сплавів, її наслідки. Кожний із вас постійно стикається із явищем корозії (від лат. «корозіо» – роз'їдання) (мал. 59).

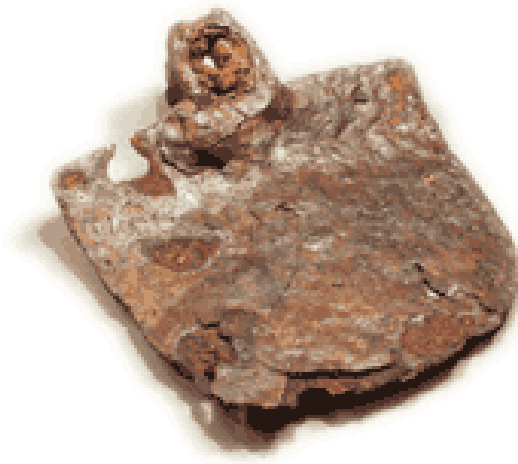
Корозією називають руйнування металів внаслідок їх взаємодії з речовинами зовнішнього середовища.

Корозія наносить величезних збитків світовій економіці. Втрати металів і сплавів від корозії щорічно сягають 30% тієї кількості, що виробляється, і лише дві третини із них повертається виробництву у вигляді металобрухту, близько ж 10% втрачається безповоротно. Це значить, що кожного року перетворюються в іржу десятки мільйонів тонн металу. Крім того, великі кошти витрачаються на ремонт машин, суден, апаратури хімічних виробництв, різних приладів, що вийшли з ладу через корозію. Значні і опосередковані збитки, викликані, наприклад, витіканням газу та нафти із трубопроводів, що піддалися корозії. Щоб запобігти корозії, треба знати механізм цього процесу.

Фізико-хімічна суть процесу корозії. Найчастіше корозії піддаються вироби із заліза та сталі. Суть корозії зводиться до окиснення металу і утворення на його поверхні суміші оксидів та гідроксидів – іржі (мал. 60). Чому метали іржавіють? Та тому, що існування елементів у вигляді сполук, як правило, енергетично вигідніше, ніж у формі простих речовин чи окремих атомів. Через те процеси корозії відбуваються самочинно – це наслідок дії загального закону спрямованості процесів до найстійкішого стану.



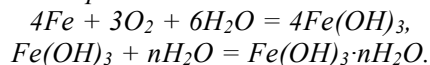
Мал. 59. Корозія «роз'їдає» вироби із металів



Мал. 60. Іржа на поверхні металів

Розрізняють хімічну та електрохімічну корозію. Хімічна корозія відбувається в середовищах, які не проводять електричний струм. Прикладами цього виду корозії є окиснення поверхні металів газами (O_2 , SO_2 , H_2S , CO_2 тощо) при високих температурах, взаємодія металів з неелектролітами. Найбільших збитків завдає електрохімічна корозія – руйнування металів в середовищах, які проводять електричний струм.

Умови для її здійснення виникають при контакті металів з електролітами (водою, розчинами кислот, солей, лугів), вологою атмосфери. Прикладом електрохімічної корозії є іржавіння заліза у водному середовищі або вологій атмосфері. В присутності кисню і води, які завжди є в повітрі, залізо окиснюється: $Fe^0 = Fe^{2+} + 2e$. Електрони, що вивільняються при цьому, витрачаються переважно на відновлення кисню: $\frac{1}{2}O_2 + H_2O + 2e = 2OH^-$. Утворені гідроксид-іони сполучаються з йонами Феруму(II), утворюючи ферум(II) гідроксид. Останній зазнає подальшого окиснення, перетворюючись в ферум(III) гідроксид. Сумарне рівняння корозії заліза можна записати так:

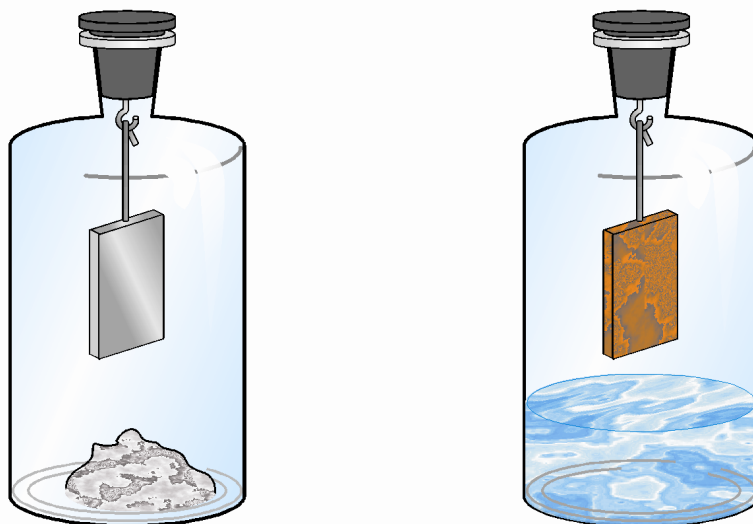


Утворений крихкий шар іржі (до його складу можуть входити і інші окисеновмісні сполуки Феруму, наприклад $Fe_2O_3 \cdot H_2O$, Fe_3O_4) не захищає сталеві предмети від доступу води і повітря, тому вони можуть повністю зруйнуватись.

Отже, фізико-хімічна суть будь-якого виду корозії полягає в окисненні металу – при взаємодії з компонентами навколишнього середовища він втрачає електрони, переходячи із вільного стану в сполуки (оксиди, гідроксиди, сульфідні тощо).

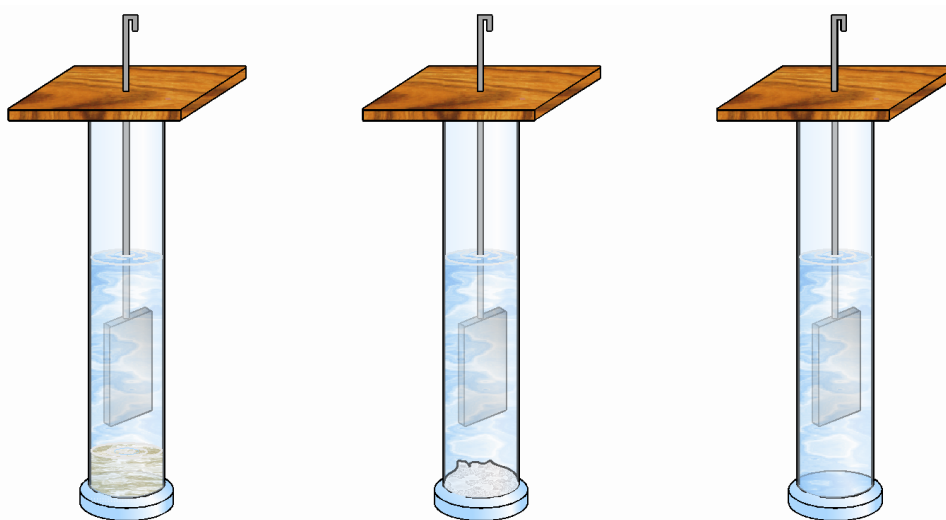
Які ж чинники прискорюють корозію, а які, навпаки, сповільнюють її?

- Візьміть дві однакові за розмірами залізні пластинки (можна взяти звичайні цвяхи) і підвісьте їх у двох скляних посудинах. На дно однієї посудини насипте кілька кусочків кальцій хлориду (ця речовина вбирає вологу з повітря), а в другу посудину налейте трохи води. Закрийте посудини пробками і залиште на деякий час (мал. 61). Через кілька днів порівняйте зовнішній вигляд пластинок (або цвяхів) – з першою ніяких змін не відбулося, а на поверхні іншої з'явилися коричневі островці іржі. Отже, у вологому середовищі корозія прискорюється.



Мал. 61. Швидкість корозії металів залежить від умов середовища

- У три посудини налейте дистильовану воду. В першу з них додайте 1—2 мл розбавленої сульфатної кислоти, а в другу всипте 2—3 г кухонної солі. В кожну посудину підвісьте залізні пластинки або цвяхи, занутивши їх повністю в рідину (мал. 62). Через кілька днів порівняйте зовнішній вигляд пластинок і зробіть висновок про інтенсивність корозії. Отже, корозію посилюють хлорид-йони, кислоти та інші електроліти, яких особливо багато у морській воді.



Мал. 62. Корозія металів у різних середовищах

Якщо пластинку перед дослідом змастити жиром чи змазати вазеліном, то тривалий час на її поверхні іржа з'являтися не буде.

Захист металів від корозії. Практично немає жодного металу, який мав би абсолютну антикорозійну стійкість. Можна говорити про стійкість металу за даних умов до дії навколишнього середовища. Для захисту металів від корозійних руйнувань використовують різні методи – ізолюють їхню поверхню від зовнішнього середовища, зменшують агресивність середовища, підвищують корозійну стійкість самого металу, застосовують електрохімічний захист. Для ізолювання металу від впливу середовища найчастіше використовують різні покриття. Металеві вироби змащують жирами та мастилами, які не окиснюються, покривають лаками, фарбами, емалями. Дуже поширене нанесення тонкого шару одного металу на інші під дією електричного струму (такі покриття називаються гальванічними). Для нанесення покриття використовують переважно метали, на поверхні яких можуть утворюватись захисні оксидні плівки – нікель, цинк, хром, кадмій, олово.

Часто використовують сповільнювачі (інгібітори) корозії, спеціально підібрані органічні речовини, які адсорбуються на поверхні металу і перешкоджають його руйнуванню. Корозійну стійкість металу можна підвищувати, вводячи до його складу невеликі кількості інших металів. Так, додаючи до складу сталі невеликі кількості хрому, нікелю, мангану тощо, одержують неіржавіючі сталі.

Один із методів електрохімічного захисту базується на приєднанні до металу, який треба захистити, більш активного металу – протектора. Протектор, як більш активний метал буде руйнуватись, а основний метал – ні. Наприклад, для захисту від корозії до корпусу морських суден прикріплюють цинкові пластини.

Корозія металів і сплавів завдає величезної шкоди господарській діяльності людини. Корозія прискорюється у присутності газів (O_2 , SO_2 , H_2S) та інших агресивних речовин (Cl^- тощо). Існує багато способів захисту металів від корозії, дуже поширеним є нанесення на їхню поверхню різних покриттів (метали, мастила, фарби, лаки тощо).

Для допитливих

Біологічна та радіаційна корозія.

Окрім хімічної та електрохімічної корозії існують і інші її види, зокрема біологічна та радіаційна. Біологічна корозія виникає під дією мікроорганізмів. Метали можуть руйнувати так звані водневі та метаноутворюючі бактерії, залізобактерії, сіркобактерії тощо.

Радіаційна корозія виникає під дією радіаційного опромінення металів, яке впливає на фізико-хімічні властивості металевих конструкцій. Це також викликає корозійне руйнування металів і сплавів.

Запиши до словника

Корозія – руйнування металів та сплавів внаслідок їх взаємодії з речовинами зовнішнього середовища.

Електрохімічна корозія – руйнування металів у середовищі, яке проводить електричний струм.

Інгібітори – спеціально підібрані органічні речовини, які сповільнюють руйнування (корозію) металу.

Перевір себе

1. Що являє собою корозія?
2. Наведи реакції, що відбуваються при іржавінні заліза у вологій атмосфері.
3. Які способи використовують для захисту металів від корозії?
4. Назви не менше трьох способів захисту залізних виробів від корозійних руйнувань.

Поміркуй

1. Чому відбувається корозія металів?
2. Чому у вологому повітрі залізо іржавіє сильніше, ніж у сухому?
3. Процес корозії найбільш прискорюється, якщо метал занурити в електроліт, що містить:
 - а) відновник у кислому середовищі за звичайної температури;
 - б) окисник у кислому середовищі за звичайної температури;
 - в) відновник у лужному середовищі за підвищеної температури;
 - г) окисник у кислому середовищі за підвищеної температури.
4. Зразок металу масою 9 г прореагував з надлишком хлоридної кислоти, при цьому виділився водень об'ємом 11,2 л (н.у.). Вкажи цей метал, враховуючи, що ступінь його окиснення в утвореній сполуці +3.

Подискутуйте

1. Одну частину сталевих деталей покрили цинком, а іншу – міддю. Який із металів буде краще захищати деталі від корозії?
2. У складі певного металу є домішки іншого металу. Як, на вашу думку, будуть впливати ці домішки на корозію – прискорюватимуть чи гальмуватимуть її?

§20. Лужні, лужноземельні елементи та їх сполуки

Засвоївши матеріал параграфа, ви вмітимете характеризувати фізичні та хімічні властивості лужних, лужноземельних металів, магнію, складати рівняння відповідних реакцій, формули найважливіших сполук s-елементів.

Розміщення в періодичній системі і електронна будова атомів. Найяскравіше металічні властивості виявляються у металічних s-елементів, які входять до головних підгруп I та II груп періодичної системи. Хімічні елементи, що складають головну підгрупу першої групи прийнято називати *лужними*, а такі елементи II групи як Ca, Sr, Ba і Ra – *лужноземельними*. Ці назви склалися історично. Гідроксиди металів головної підгрупи I групи є сильними основами – лугами. Лужні властивості проявляють і гідроксиди Кальцію, Стронцію, Барію, Радію. А от оксиди цих елементів II групи – тверді, тугоплавкі речовини. Раніше їх називали «землями». Звідси і назва – лужноземельні елементи.

До головної підгрупи другої групи входять ще Берилій та Магній. Берилій поєднує металічні та неметалічні властивості. Магній за властивостями виявляє схожість з Цинком. На відміну від лужноземельних елементів, вони утворюють нерозчинні гідроксиди.

У атомів лужних та лужноземельних елементів найсильніше виявляються відновні властивості, оскільки вони найлегше втрачають електрони останнього електронного шару.

Атоми лужних елементів на зовнішньому рівні (s-підрівні) містять 1 електрон, а атоми лужноземельних елементів – 2 електрони. Тому у сполуках вони виявляють відповідно валентності 1 і 2 (у атомів s-елементів II групи обидва валентні електрони спарені, однак при утворенні зв'язку атом «збуджується» і один з електронів переходить на p-підрівень – електрони «розпарюються»).

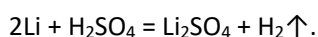
- Дайте порівняльну характеристику Натрію і Магнію за їх місцем у періодичній системі та будовою атома.

Усі s-елементи дуже активні, тому у природі вони існують лише у вигляді сполук, переважно солей.

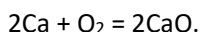
Фізичні та хімічні властивості лужних, лужноземельних металів та магнію. Прості речовини, утворені s-елементами, виявляють типові властивості металів. Всі вони мають високу електро- та теплопровідність, пластичність, сріблясто – біле забарвлення, утворюють кристалічну решітку з металічним зв'язком між атомами (йонами). Проте через невелике число електронів, що утворюють електронний газ, металічний зв'язок у них порівняно неміцний. Він послаблюється із збільшенням розміру атома (при русі в межах груп зверху вниз). Тому лужні та лужноземельні метали характеризуються невисокою твердістю, низькою густиною (всі вони, за винятком Радію, належать до легких металів), низькими температурами плавлення і кипіння (цезій, наприклад, плавиться при температурі, нижчій за 30 °C).

Через те, що розміри атомів лужноземельних елементів дещо менші, ніж у атомів відповідних лужних елементів (чому?), то міцність їх кристалічної ґратки зростає і тому лужноземельні метали дещо твердіші за лужні, мають більші густини, вищі температури плавлення і кипіння.

Виходячи з розміщення металів s-елементів у ряді активності, ми можемо передбачити їхні хімічні властивості. Ці метали витісняють водень із води і кислот:



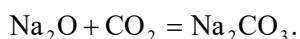
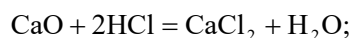
Реакції заміщення є окисно-відновними, в них лужні та лужноземельні метали виявляють властивості сильних відновників. Відновні властивості виявляють ці метали і у реакціях із неметалами (воднем, киснем, сіркою, галогенами):



Через високу хімічну активність лужні і лужноземельні метали вимагають особливих умов зберігання. Як правило, їх поміщають у скляні банки під шар гасу. Такий посуд потрібно щільно закрити.

Хімічні властивості оксидів та гідроксидів. У сполуках лужні елементи проявляють ступінь окиснення +1, а лужноземельні +2. (Чому?).

Оксиди лужних та лужноземельних елементів мають основний характер. Вони взаємодіють з водою, кислотами та кислотними оксидами:

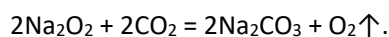


Гідроксиди лужних та лужноземельних елементів також проявляють хімічні властивості, характерні для лугів. Вони вступають у реакції нейтралізації (з кислотами), реагують з кислотними оксидами, розчинами деяких солей.

- Напиши рівняння відповідних хімічних реакцій.

Основний характер оксидів та гідроксидів s-елементів посилюється у підгрупах зверху вниз. Основні властивості оксидів та гідроксидів Калію, наприклад, виражені яскравіше, між таких же сполук Літію. В той же час, основні властивості зазначених сполук лужноземельних елементів проявляються дещо слабкіше, ніж оксидів та гідроксидів лужних елементів тих же періодів. З оксидами та гідроксидами s-елементів теж слід поводитись дуже обережно. Наприклад, рубідій гідроксид RbOH не можна зберігати у посуді із звичайного скла, бо ця речовина «роз’їдає» скло.

Застосування простих речовин та сполук s-елементів. Найширшу сферу застосування мають сполуки та прості речовини Натрію, Калію, Кальцію. Наприклад, натрій і калій є теплоносіями у ядерних реакторах, вони служать каталізаторами у реакціях органічного синтезу, відновниками у кольоровій металургії, наповнювачами газорозрядних ламп. Їдкий натр NaOH, або каустична сода, застосовується для виробництва мила, очистки нафтопродуктів, у текстильній промисловості. Пероксид натрію Na_2O_2 – незамінна речовина для регенерації повітря в ізольованих приміщеннях (наприклад, у підводних човнах). Ця речовина вбирає вуглекислий газ із повітря і поповнює останнє киснем:



Питну соду NaHCO_3 та кухонну сіль NaCl споживають разом з їжею, Na_2CO_3 та Na_2SO_4 застосовують у скловарінні.

Серед сполук Калію важливе значення мають калійні добрива – речовини, які застосовують для живлення рослин. Як калійні добрива використовують природні солі, в яких міститься Калій, – сильвініт $\text{NaCl}\cdot\text{KCl}$, карналіт $\text{KCl}\cdot\text{MgCl}_2\cdot 6\text{H}_2\text{O}$, а також золу рослин.

У будівництві незамінними є негашене вапно CaO , гіпс $\text{CaSO}_4\cdot 2\text{H}_2\text{O}$, алебастр $2\text{CaSO}_4\cdot\text{H}_2\text{O}$. Гашене вапно $\text{Ca}(\text{OH})_2$ в суміші з піском та водою (вапняний розчин) використовується в будівництві для зв’язування цегли або штукатурних робіт. В’язучі властивості гашеного вапна зумовлені його здатністю поглинати вуглекислий газ з повітря та утворювати кристалічний кальцій карбонат.

- Напиши рівняння реакції, що відбувається при висиханні вапняного розчину.

Кальцій гідроксид $\text{Ca}(\text{OH})_2$ застосовують також для очищення цукру, у виробництві скла, для пом’якшення води, вапнування кислих ґрунтів. Кальцій фосфат $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$, кальцій гідрогенфосфат $\text{CaHPO}_4\cdot 2\text{H}_2\text{O}$ – використовують як мінеральні добрива.

Лабораторний дослід 10

Ознайомлення зі зразками сполук Натрію і Калію

Розгляньте зразки сполук Натрію і Калію: натрій хлорид, натрій сульфат, калій хлорид, калій сульфат, натрій гідроксид, калій гідроксид, калій нітрат. Зверніть увагу на агрегатний стан, колір, запах.

Помістіть декілька кристалів кожної сполуки лужних металів у пробірки з водою. З'ясуйте, чи розчиняються вони у воді. Чи змінює забарвлення фенолфталеїн у розчинах гідроксидів?

Внесіть солі Натрію і Калію в полум'я спиртівки. Чи змінюється забарвлення. Зробіть висновки.

Лабораторний дослід 11

Ознайомлення зі зразками сполук Кальцію і Магнію

Розгляньте зразки сполук Кальцію і Магнію: кальцій оксид, кальцій гідроксид, гіпс $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, алебастр $2\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$, магній оксид, палена магнезія. Зверніть увагу на агрегатний стан, колір, запах. Помістіть декілька кристалів кожної сполуки у пробірки з водою. З'ясуйте, чи розчиняються вони у воді. Де використовуються ці речовини? Зробіть висновки.

Добування. Лужні та лужноземельні метали добувають електролізом розплавів солей або лугів. Під час електролізу через розплав солі пропускають постійний електричний струм. У розплаві солі, наприклад NaCl , відбувається електролітична дисоціація: $\text{NaCl} = \text{Na}^+ + \text{Cl}^-$. Катіони натрію Na^+ розряджаються на поверхні катода (негативно зарядженого електрода): $\text{Na}^+ + \text{e}^- = \text{Na}^0$. Тобто, на катоді йде відновлення металу із його йона.

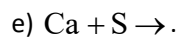
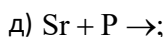
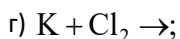
Лужні і лужноземельні елементи та Магній є s-елементами, поширені у природі у вигляді сполук. Їх прості речовини – метали є одними із найсильніших відновників і вступають у реакцію з водою, неметалами. Основний характер оксидів та гідроксидів посилюється зверху вниз у підгрупах. Основні властивості оксидів та гідроксидів лужноземельних елементів виражені дещо слабкіше, ніж оксидів і гідроксидів лужних елементів. Сполуки найактивніших металів мають широкий спектр застосування: побут, медицина, харчова, аграрна, будівельна, космічна галузі.

Перевір себе.

1. Перелічи металічні s-елементи: а) I групи; б) II групи.
2. Які з елементів II групи відносять до лужноземельних?
3. Поясни походження назви «лужноземельні метали».
4. У якого елемента I групи найяскравіше виражені металічні властивості: а) Аргентум; б) Калій; в) Цезій; г) Барій?
5. Таку саму електронну оболонку, що й катіон Кальцію мають: а) Ba^{2+} ; б) Ar^0 ; в) S^{2-} ; г) O^{2-} . Відповіді обґрунтуй.
6. Спираючись на будову атомів, поясни, який із елементів – Калій чи Кальцій виявляє металічні властивості більшою мірою?
7. Яке застосування мають натрій та сполуки Натрію?
8. Де використовують сполуки Кальцію?
- 9*. Як виявити наявність йонів Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Ba^{2+} ?
10. Як одержують лужні та лужноземельні метали?

Поміркуй.

1. Закінчи рівняння хімічних реакцій із зазначенням відновника і окисника, процесів відновлення і окиснення:
а) $\text{Na} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow$; б) $\text{Mg} + \text{H}_3\text{PO}_4 \rightarrow$; в) $\text{Ba} + \text{HCl} \rightarrow$;



2. Запиши рівняння хімічних реакцій, за допомогою яких можна здійснити перетворення:

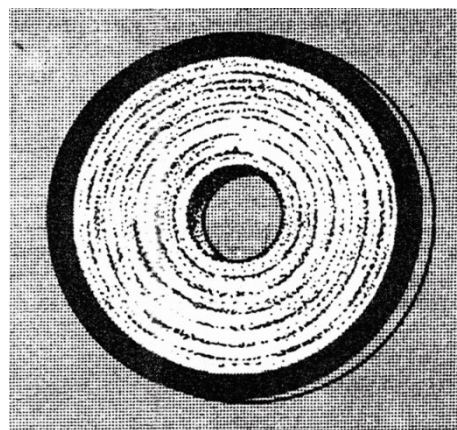


3. Назви процеси та склади окисно-відновні реакції під час яких змінюється ступінь окиснення магнію: а) горіння магнію в кисні; б) термічний розклад магній карбонату; в) взаємодія магній оксиду з кислотою; г) взаємодія магнію з водою при нагріванні.
4. У промислових регіонах повітря забруднене різними шкідливими газами. Назви гази, від яких можна звільнити повітря, пропускаючи його крізь трубку, наповнену кальцій оксидом та склади відповідні рівняння реакцій: а) CO_2 ; б) NH_3 ; в) H_2O (пара); г) SO_2 ; д) CO ; е) H_2S ; є) NO_2 .
5. Натрій масою 2,3 г помістили у воду масою 50 г. Визнач масову частку натрій гідроксиду у розчині, який утворився після закінчення реакції.
6. Яка маса натрію міститься у мірабіліті $Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$ масою 32 г: а) 2,3 г; б) 4,6 г; в) 46 г; г) 6,9 г?

§21. Твердість води і методи її усунення

Вивчивши параграф, ви дізнаєтесь про причини твердості води, зможете обґрунтувати способи її усунення.

Вода, як ви знаєте, є універсальним розчинником. У природній воді в розчиненому стані можуть міститись тисячі різних сполук майже всіх елементів періодичної системи. Саме тому природні води за хімічним складом надзвичайно різноманітні. Вода морів і океанів має гіркувато-солоний присмак. Гіркоту їй надають солі Магнію. Існують технології добування із морської води деяких металів – магнію, золота. То ж морську воду можна вважати рідкою «рудю». Гірські озера й струмки, що утворюються під час танення снігу на гірських вершинах, містять незначну кількість мінеральних та органічних речовин. Вода ж артезіанських колодязів – мінеральна, вона містить від 300 до 600 мг солей на кожен літр. В озерах та прісних водоймах солоність води значно менша – 50—100 мг/л, але вона часто насичується органічними речовинами. Є води, насичені вуглекислим газом, сірководнем, радоном.



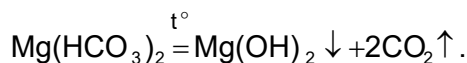
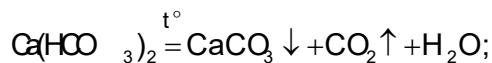
Мал. 63. Розріз труби водяного опалення: провіт майже забитий накипом

Саме розчинні у воді речовини обумовлюють її фізико-хімічні властивості. Виділяють таку характеристику води, як *твердість*.

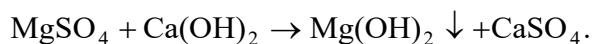
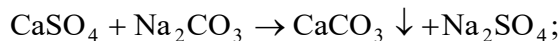
Під твердістю води розуміють властивості, обумовлені наявністю в ній солей Магнію та Кальцію. У твердій воді погано розчиняється мило, вона утворює товсті шари накипу у котлах, бойлерах, чайниках, трубах водяного опалення (мал. 63). Накип уповільнює нагрівання води, прискорює зношування стін котлів і побутових приладів, викликає збільшення витрат енергоресурсів. У твердій воді прискорюється корозія металів, тобто їх руйнування.

Твердість води розділяють на карбонатну та некарбонатну. Карбонатну твердість обумовлюють наявні у воді розчинні гідрогенкарбонати Магнію та Кальцію – $Mg(HCO_3)_2$, $Ca(HCO_3)_2$. Коли ж у воді містяться солі сильних кислот – хлориди або сульфати Магнію і Кальцію, то твердість такої води називають некарбонатною. Карбонатна та некарбонатна твердості створюють загальну твердість води.

Карбонатну твердість води називають тимчасовою, бо при кип'ятінні такої води гідрогенкарбонати руйнуються:



Некарбонатна твердість є постійною. Позбавитися постійної твердості можна хімічним шляхом, наприклад додаванням соди Na_2CO_3 чи вапняної води $\text{Ca}(\text{OH})_2$:



Для зв'язування йонів Ca^{2+} і Mg^{2+} у тверду воду додають також натрій фосфат (Na_3PO_4), поташ (K_2CO_3) та інші солі. Останнім часом для пом'якшення води застосовують йоніти. Це високомолекулярні органічні речовини, які мають у своєму складі рухливі йони, наприклад H^+ , Na^+ та ін. Коли вода проходить через колонки, заповнені йонітами, йони H^+ і Na^+ виділяються у розчин, а йони Ca^{2+} і Mg^{2+} зв'язуються йонітом.

Лабораторний дослід 12

Усунення накипу з поверхні побутових приладів.

1. Визначення карбонатів у складі накипу. Обережно, щоб не пошкодити емаль, зніміть декілька кристалів накипу з внутрішніх стінок чайника. Помістіть їх в пробірку і долийте розчин оцтової або хлоридної кислоти. Одразу закрийте пробірку газовідвідною трубкою, направивши кінець її у пробірку з вапняною водою. На основі спостережень напишіть рівняння реакцій в молекулярній і йонній формах та зробіть висновок, за допомогою яких реактивів можна довести, що у складі накипу є карбонати.

2. Видалення накипу з поверхні побутових приладів. Візьміть чайник або нагрівальний елемент з тонким шаром накипу. Для видалення накипу скористайтеся водним розчином оцтової кислоти (харчовий оцет, в якому масова частка кислоти становить 3—9%) або оцтовою есенцією (розчин оцтової кислоти з масовою часткою розчиненої речовини 80%). Можна використати розчин хлоридної кислоти, а також засіб для видалення накипу заводського виготовлення. Розчин для видалення накипу об'ємом 0,5 л влийте в чайник, щоб він покривав стінки частково (у випадку нагрівного елемента – опустіть його на третину в посудину з розчином). Що спостерігається через деякий час? Порівняйте ті частини побутових приладів, які були заглиблені в розчин і ті, які були над його поверхнею. Після обробки чайника злийте розчин, розм'якшені продукти реакції видаліть за допомогою щітки або дерев'яного шпателя, ополосніть чистою водою та знову обробіть чайник (водонагрівний елемент) розчином кальцинованої соди Na_2CO_3 з масовою часткою розчиненої речовини 5%. У чому полягає суть цієї операції? Після обробки побутові прилади знову ретельно ополосніть чистою водою. Які реакції відбуваються під час цих процесів? Зробіть загальний висновок, складіть хімічне рівняння, яке виражає реакцію, що лежить в основі видалення накипу.

Взаємодія солей карбонатної кислоти, які входять до накипу, із сильнішими кислотами лежить в основі видалення накипу. Сильніша кислота витискує із солі слабкішу, нестійку карбонатну кислоту. Накип втрачає міцність, відокремлюючись від поверхні чайника (нагрівного елемента, посуду, парових котлів) і розчиняється:



Природна вода містить багато розчинених солей. Солі Магнію та Кальцію створюють твердість води, яка призводить до утворення накипу на стінках котлів і посуду, прискорює їх корозію тощо.

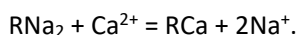
Позбуваються тимчасової твердості кип'ятінням води, постійної – додаванням соди, вапняної води, використанням йонітів.

Для допитливих

Що таке йоніти?

Йоніти – це тверді нерозчинні речовини, які містять у своєму складі рухливі йони, здатні обмінюватись на йони зовнішнього середовища, наприклад розчину. Особливо поширені йонообмінні смоли, які виробляють на основі синтетичних полімерів. Їх поділяють на катіоніти, здатні обмінювати свої катіони на катіони середовища, і аніоніти, що можуть обмінюватись аніонами. Для усунення твердості води застосовують катіоніти, які містять здебільшого рухливі йони Na^+ .

Якщо пропускати воду крізь шари катіоніту, то йони Натрію будуть обмінюватись на йони Кальцію і Магнію, наприклад:



У цьому прикладі R позначає частинку катіоніту, що несе негативний заряд. Отже, йони Ca^{2+} і Mg^{2+} переходять з розчину в катіоніт, а йони Na^+ – з катіоніту в розчин; твердість води при цьому усувається.

Використані йонообмінні смоли можна регенерувати і застосовувати для зм'якшення нових порцій твердої води.

Запиши до словника.

Твердість води – сукупність властивостей (здебільшого, негативних), зумовлених вмістом у воді солей Кальцію та Магнію.

Перевір себе.

1. Чим обумовлена твердість води? Назви основні види твердості води?
2. Чому слід позбавлятися від твердості води?
3. Яку твердість води називають: а) карбонатною; б) некарбонатною; в) тимчасовою; г) постійною; д) загальною?
4. Найм'якіша вода в природі – це: а) дощова; б) річкова; в) джерельна; г) озерна.
5. Найтвердіша вода в природі – це: а) дощова; б) річкова; в) морська; г) колодязна.
6. Накип: а) містить тільки карбонати; б) видаляють дією сильнішої кислоти; в) прискорює нагрівання води; г) уповільнює нагрівання води; д) прискорює зношування стінок котлів, побутових приладів.
7. Формули солей, що визначають постійну твердість води: а) MgCO_3 і CaCO_3 ; б) $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ і $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$; в) MgCl_2 і CaCl_2 ; г) CuSO_4 , MgSO_4 , CaCl_2 , MgCl_2 .
8. Як можна пом'якшити воду з: а) карбонатною твердістю; б) некарбонатною твердістю?
9. Що таке йоніти? Де вони застосовуються?

Поміркуй.

1. Чи можна випарити з розчину сіль кальцій гідрогенкарбонат? Поясни.
2. Чому тверду воду, що містить кальцій гідрогенкарбонат не можна використовувати для пральних машин, охолодження двигунів машин?
3. Карбонатна твердість води виникає під час природних процесів:
 - а) хімічних реакцій що відбуваються в ґрунті;
 - б) взаємодії вапняків ґрунту з ґрунтовими та дощовими водами, які насичені атмосферним вуглекислим газом;
 - в) взаємодії природних кислот з вапняками ґрунту;

г) розчиненні у воді гіпсових порід ґрунту.

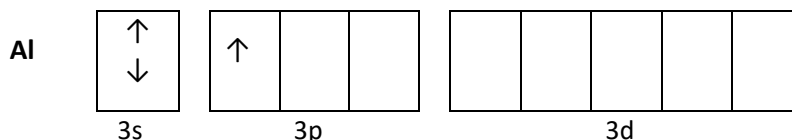
4. Яка сіль, кисла чи середня, утвориться, якщо через розчин, що містить кальцій гідроксид масою 5,92 г, пропустити вуглекислий газ об'ємом 3л?

§22. Алюміній та його сполуки

Вивчивши параграф, ви зможете охарактеризувати фізичні та хімічні властивості алюмінію, амфотерні властивості оксиду та гідроксиду Алюмінію, скласти рівняння відповідних реакцій.

Алюміній належить до металічних р-елементів, він розміщений у третьому періоді в головній підгрупі третьої групи. Просту речовину, утворену атомами Al, теж називають алюмінієм. Цей метал – один із найуживаніших у сучасній техніці.

Електронна будова атома Алюмінію. Атомний номер Al – 13, отже електронна оболонка його атома містить 13 електронів, які розміщені на трьох енергетичних рівнях: ${}_{13}\text{Al} \left(\begin{array}{c} \text{)} \\ 2 \ 8 \ 3 \end{array} \right)$. На останньому енергетичному рівні перебуває 3 електрони: 2 з них розміщені на s-підрівні і один – на p-підрівні: (мал. 64)



Мал. 64. Електронна будова атома Алюмінію

Електронна конфігурація атома Алюмінію така: $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^1$. Алюміній має сталий ступень окиснення +3. При утворенні сполук атоми Алюмінію перебувають у збудженому стані – один із електронів s-підрівня переходить на p-підрівець. Отже, збуджені атоми Алюмінію на зовнішньому рівні мають три неспарених електрони, тому їх валентність становить 3.

- Зобрази електронну конфігурацію атома Al у збудженому стані та графічну схему розміщення електронів у електронних (квантових) комірках.

Поширеність у природі. Елемент Алюміній досить поширений у природі. За поширеністю в земній корі (7,6%) він займає третє місце (після Оксигену та Силіцію) серед усіх елементів і перше – серед металічних. В земній корі Алюміній перебуває переважно у складі алюмосилікатів – гірських порід, до складу яких поряд з Алюмінієм входить Силіцій. Дуже поширені *польові шпати*, наприклад, ортоклаз $\text{K}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$. Серед інших відомих мінералів, що містять Al – корунд, або глинозем Al_2O_3 , боксит $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ (мал. 65), криоліт Na_3AlF_6 .



Мал. 65. Боксит



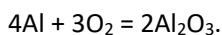
Мал. 66. Алюміній

Фізичні властивості алюмінію. Алюміній – сріблясто-білий метал (мал. 66). Його густина становить $2,7 \text{ г/см}^3$. За цим показником він майже в 3 рази легший за залізо, тому його відносять до легких металів. Плавиться алюміній за температури $660 \text{ }^\circ\text{C}$. Цей метал – дуже пластичний, він легко витягується у дріт, прокатується у фольгу. Алюміній є прекрасним провідником електричного струму.

Хімічні властивості. Виходячи із розміщення алюмінію в ряді активності металів, ми можемо прогнозувати його високу хімічну активність. Зокрема, він повинен взаємодіяти з водою з виділенням водню:

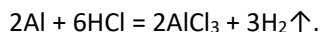


Дехто може заперечити таку властивість алюмінію, адже у побуті ми користуємось алюмінієвим посудом і не помічали, щоб каструлі чи ложки при контакті з водою перетворювались на білий порошок алюміній гідроксиду. Не спостерігали і виділення водню. Справа в тому, що алюміній покритий тонкою оксидною плівкою Al_2O_3 , що утворюється при його взаємодії з киснем повітря і запобігає його подальшому окисненню та зумовлює високу корозійну стійкість:



Саме вона захищає метал від дії повітря, води, деяких кислот. Якщо ж оксидну плівку з поверхні видалити, то алюміній енергійно реагуватиме з водою.

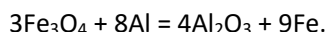
Алюміній активно взаємодіє також з неметалами, кислотами та лугами (у реакціях він виступає відновником, ступінь його окиснення у сполуках +3):



- Напиши рівняння реакцій взаємодії алюмінію з вуглецем, хлором, сіркою, розбавленою сульфатною кислотою.

Холодні концентровані сульфатна та нітратна кислоти не реагують з алюмінієм, бо вони пасивують його поверхню, збільшуючи товщину захисної оксидної плівки на ній.

Алюміній легко відновлює метали з їхніх оксидів, наприклад:



Цей процес відбувається тому, що хімічні зв'язки між атомами Алюмінію і Оксигену в алюміній оксиді дуже міцні (вони міцніші, ніж у більшості оксидів інших металічних елементів) і тому при утворенні Al_2O_3 виділяється велика кількість енергії. (мал. 67) Отже, такі реакції є енергетично вигідними. Реакції відновлення металів з оксидів алюмінієм широко використовують у виробництві. Такий спосіб одержання металів називають *алюмінотермією*, або *алюмотермією* (різновид металотермії).

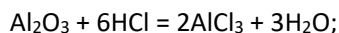
Оксид і гідроксид Алюмінію. Найпоширенішою сполукою Алюмінію є його оксид Al_2O_3 . Це біла, нерозчинна у воді речовина, її технічна назва глинозем. Алюміній оксид існує в природі у вигляді кількох модифікацій. Найстійкішою є кристалічна, яка зустрічається в земній корі у вигляді мінералу корунду. Прозорі забарвлені кристали корунду – рубін (червоний) і сапфір (синій) є коштовними каменями.

Велика міцність зв'язку між атомами Al і O зумовлює високу температуру плавлення алюміній оксиду (понад 2000 °C), твердість, хімічну стійкість.

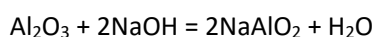
Основна галузь застосування оксиду Алюмінію – виробництво металу алюмінію. Його використовують також як адсорбент та каталізатор, абразивний матеріал.

Алюміній оксид виявляє амфотерні властивості, тобто може реагувати як з кислотами, так і з лугами:

а) з хлоридною кислотою



б) при сплавлянні з твердим натрій гідроксидом

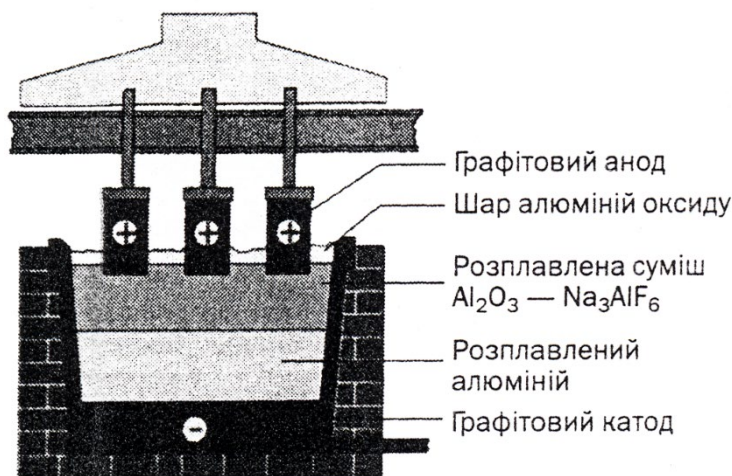


Алюміній гідроксид $\text{Al}(\text{OH})_3$ – нерозчинна у воді речовина білого кольору, яку не можна одержати при безпосередній взаємодії оксиду з водою. Тому цей гідроксид добувають дією розчинів лугів на солі Алюмінію. $\text{Al}(\text{OH})_3$ також є амфотерною сполукою – при взаємодії з кислотами виявляє основні властивості, а з лугами – кислотні.

- Напиши рівняння взаємодії алюміній гідроксиду з хлоридною кислотою.



Мал. 67. Відновлення заліза із ферум оксиду алюмінієм. Цей процес називають алюмотермією



Мал. 68. Схема електролізера для добування алюмінію в промисловості

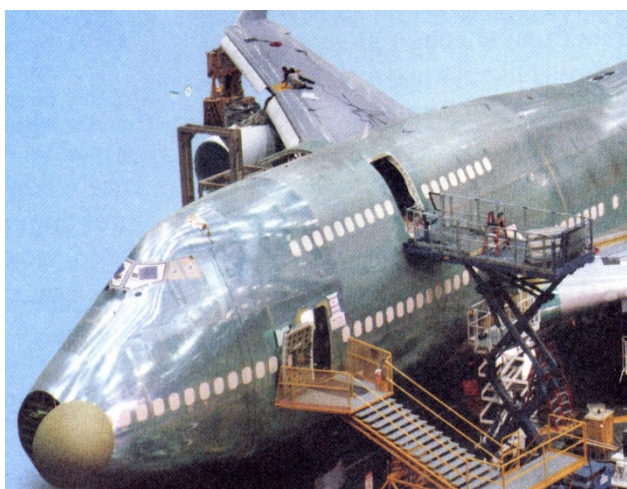
Лабораторний дослід 13

Добування алюміній гідроксиду і доведення його амфотерності

У дві пробірки влийте по 2—3 мл розчину солі Алюмінію і додайте до них стільки ж водного розчину лугу. Що спостерігаєте? Складіть рівняння хімічної реакції. До добутих білих драглистих осадів алюміній гідроксиду в обох пробірках долейте: у першу пробірку розчин хлоридної кислоти, а в другу – невеликими порціями розчин лугу. Що спостерігаєте? Напишіть рівняння реакції, що відбулася в першій пробірці, в молекулярній і йонній формах. Зробіть висновок про кислотно-основні властивості алюміній гідроксиду.

Добування та застосування алюмінію. У промисловості алюміній добувають електролізом розчину алюміній оксиду (його одержують з бокситу або нефеліну) у розплавленому криоліті (мал. 68). Електроліз, який здійснюють при температурі 950—980 °С, потребує великих затрат електроенергії.

Алюміній посідає друге місце серед металів (після заліза) за обсягом виробництва. Основна маса добутого алюмінію йде на виготовлення сплавів. Сплави алюмінію мають ряд важливих переваг: вони легкі, добре обробляються, стійкі проти корозії. Найпоширеніші із них *дуралюмін* (сплав алюмінію з міддю та невеликими кількостями магнію і мангану) та *силумін* (сплав алюмінію з силіцієм) широко використовуються як конструкційний матеріал у авіа-, судно- та машинобудуванні (мал. 69). Сплави алюмінію з магнієм та силіцієм під загальною назвою *авіал* застосовують у ракетно- та літакобудуванні.



Мал. 69. Із міцних, легких та жаростійких сплавів алюмінію виготовляють корпуси сучасних літаків



Мал. 70. Посуд із алюмінію

Важливим споживачем алюмінію є електротехнічна промисловість. Дріт високовольтних ліній електропередач, обмотки моторів і трансформаторів, кабелі, цоклі ламп, конденсатори та багато інших виробів виготовлені із цього металу. З нього виготовляють посуд (мал. 70), апаратуру для олійної, цукрової, кондитерської, пивоварної промисловостей.

Металурги використовують алюміній для видалення кисню із сталі. Із нього виготовляють нові матеріали, наприклад піноалюміній, 1 см³ якого має масу лише 0,2 г; цей матеріал на 25—30% легший за корок, але він міцніший і пластичніший.

Алюміній – один із найпоширеніших у природі р-елементів, входить до складу багатьох мінералів і гірських порід. Алюміній та його сплави широко використовують у різних галузях виробництва. Основною хімічною властивістю алюмінію, як і більшості інших металів, є здатність виступати в реакціях відновником (при цьому утворюються сполуки Алюмінію зі ступенем окиснення +3). Оксид та гідроксид Алюмінію виявляють амфотерні властивості.

Запиши до словника

Алюмінотермія – спосіб добування металів (хром, марганець, ванадій, титан, цирконій тощо) з оксидів шляхом їх відновлення за допомогою алюмінію. Відкрита вітчизняним хіміком М.М. Бекетовим.

Дуралюмін (дюралюміній) – поширений сплав алюмінію з міддю та деякими іншими металами. Широко використовується як конструкційний матеріал у різних галузях виробництва.

Перевір себе

1. Назви мінерали, до складу яких входить елемент Алюміній.
2. Опиши фізичні властивості алюмінію. Які властивості алюмінію дають змогу широко використовувати його в електротехніці: а) легкість; б) металевий блиск; в) ковкість; г) висока електропровідність; д) корозійна стійкість?
3. Чому побутові прилади з алюмінію слугують довго і не руйнуються?
4. Електронну формулу йона Алюмінію записують так: $1s^2 2s^2 2p^6$. Які з наведених частинок хімічних елементів подібні до нього за електронною будовою: а) Na^0 ; б) Ne^0 ; г) Mg^{2+} ; д) Si^{4+} ?
- 5.* Спираючись на електронну будову атомів вкажи, який із елементів – Бор чи Алюміній – більшою мірою виявляє металічні властивості.
- 6.* Яка маса і кількість речовини алюмінію вступає в реакцію відновлення манган(IV) оксиду кількістю речовини 1,5 моль: а) 27 г; б) 54 г; в) 1 моль; г) 2 моль?

Поміркуй

1. Є речовини: Fe, FeO, K, KOH, S, SO₂, NaCl, H₃PO₄. З якими з них прореагує алюміній? Запиши рівняння відповідних хімічних реакцій.
- 2.* Алюміній масою 1,66 г прореагував з надлишком хлоридної кислоти. Який об'єм водню зібраний, якщо вихід продукту становить 95% від теоретично можливого?
3. Чи вистачить кисню об'ємом 9 л (н.у.) для взаємодії з алюмінієм масою 9 г?
4. Технічний алюміній масою 1,2 г, що містить 2% домішок, прореагував з надлишком розчину натрій гідроксиду. Який об'єм водню (н.у.) виділиться при цьому?

§23. Ферум та його сполуки

Вивчивши параграф, ви зможете охарактеризувати Ферум за його місцем в періодичній системі та будовою атома; описати основні властивості його сполук; скласти рівняння реакцій, що характеризують ці властивості.

Місце Феруму в періодичній системі та будова його атома. Ферум належить до перехідних, або d-елементів. Всі вони входять до побічних підгруп великих періодів. У цих елементів валентні електрони розміщені на останньому (зовнішньому) та передостанньому енергетичних рівнях. Зовнішній енергетичний рівень містить 2 електрони на s-підрівні. Передостанній рівень повністю електронами не заповнений, зі зростанням атомного номера елемента відбувається поступове заповнення електронами його d-підрівня.

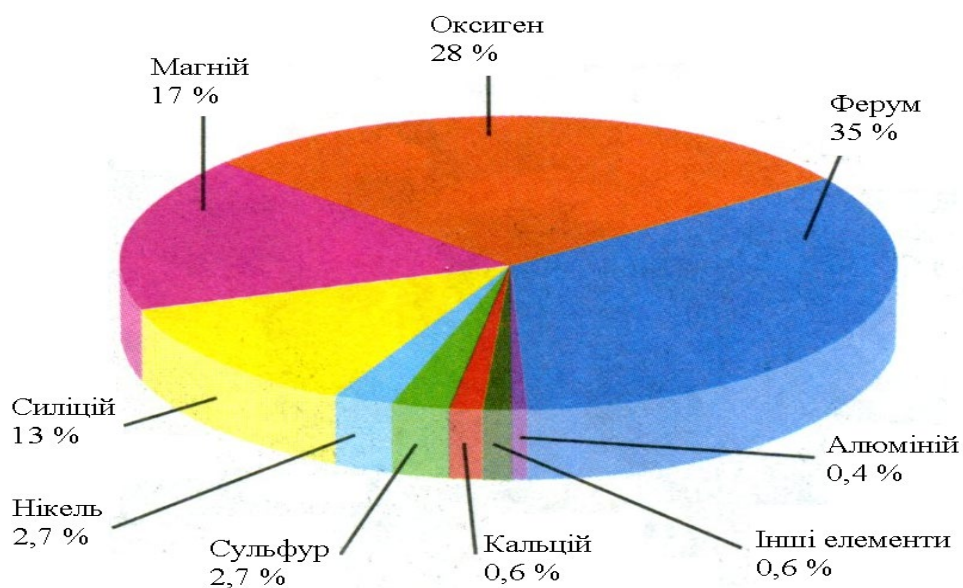
Особливістю VII групи, в якій розміщений Fe, є те, що побічні підгрупи в кожному періоді містять не один, а одразу три елементи. Вони утворюють так звані тріади, наприклад, Fe, Co, Ni, складені з елементів, схожих за властивостями.

У Феруму валентні електрони розміщуються на зовнішньому (четвертому) та передостанньому (третьому) енергетичних рівнях. Розподіл електронів по енергетичних рівнях у атомі Феруму такий: ${}_{26}Fe \left(\begin{array}{c} \text{)))) \\ 2 \ 8 \ 14 \ 2 \end{array} \right) .$

Електронна конфігурація останнього та передостаннього енергетичних рівнів має вигляд: $3s^23p^63d^64s^2$. В утворенні зв'язків, як правило, беруть участь два електрони зовнішнього рівня та часто один із електронів d-підрівня передостаннього рівня. Тому для Феруму найхарактерніші валентності II і III, а ступені окиснення — +2 і +3.

- Порівняй властивості металічних елементів головних підгруп перших трьох груп з Ферумом і вкажи, чому перші мають сталий, а Ферум – змінний ступінь окиснення.
- Охарактеризуй елемент Ферум за його місцем в періодичній таблиці та будовою атома. Спрогнозуй його властивості.

Поширення Феруму в природі, його біологічна роль. За поширеністю в земній корі (4,7%) Ферум серед металічних елементів перебуває на другому місці, поступаючись лише Алюмінію, і на четвертому – серед усіх хімічних елементів (які з елементів найпоширеніші в земній корі?). Якщо ж розглядати всю Землю, з її ядром і мантиєю, то за поширеністю Ферум виходить на перше місце – його масова частка становить близько 35% (мал. 71).



Мал. 71. Елементний склад Землі

У земній корі Ферум знаходиться практично тільки у вигляді хімічних сполук – мінералів (табл. 7).

Таблиця 7

Найважливіші природні сполуки Феруму

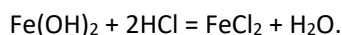
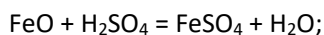
Назва мінералу	Хімічна формула	Найважливіші родовища в Україні
Магнетит (магнітний залізняк)	$Fe_3O_4(FeO \cdot Fe_2O_3)$	
Гематит (червоний залізняк)	Fe_2O_3	Криворізький залізорудний басейн
Лимоніт (бурий залізняк)	$Fe_2O_3 \cdot nH_2O$ $2 Fe_2O_3 \cdot 3H_2O$	Керченське родовище
Сидерит (залізний шпат)	$FeCO_3$	

Пірит (залізний колчедан)	FeS ₂	
------------------------------	------------------	--

Ферум відіграє важливу роль у живій природі. Він належить до числа мікробіогенних елементів, необхідних для нормального розвитку організмів. В організмі людини Fe входить до складу гемоглобіну крові, з допомогою якого відбувається перенесення кисню від легенів до інших органів та тканин. Його багато в м'ясі, печінці, яблуках, яйцях, гречці. Добова потреба Fe для людини становить 10—20 мг. Ферум – необхідний елемент для кровотворення. Тому лікувальні препарати на основі Феруму застосовують при малокрів'ї. Цей елемент необхідний і для утворення в рослинах хлорофілу, хоч до його складу і не входить. При нестачі в ґрунті Феруму рослини перестають утворювати хлорофіл і втрачають зелене забарвлення.

Сполуки Феруму. Оскільки, як ми вже з'ясували, для Феруму найхарактернішими є ступені окиснення +2 і +3, то можна зробити висновок, що цей елемент утворює два ряди сполук – оксидів, гідроксидів і солей: FeO – Fe(OH)₂ – FeSO₄, FeCl₂ та ін. і Fe₂O₃ – Fe(OH)₃ – Fe₂(SO₄)₃, FeCl₃ та ін.

Оксиди і гідроксиди Феруму. Ферум(II) оксид FeO (чорного кольору) і ферум(II) гідроксид Fe(OH)₂ (зеленуватого кольору) мають основні властивості і взаємодіють з кислотами, утворюючи сіль і воду:



Ферум(III) оксид Fe₂O₃ (бурого кольору) і ферум(III) гідроксид Fe(OH)₃ (має червоно-буре забарвлення) виявляють аморфні властивості і тому розчиняються як у розбавлених кислотах, так і в концентрованих розчинах лугів.

- Напиши рівняння реакцій взаємодії Fe₂O₃ і Fe(OH)₃ з нітратною кислотою.

Відому вам залізну ожарину Fe₃O₄ розглядають як подвійний оксид FeO·Fe₂O₃, в якому Ферум виявляє різний ступінь окиснення (+2 і +3).

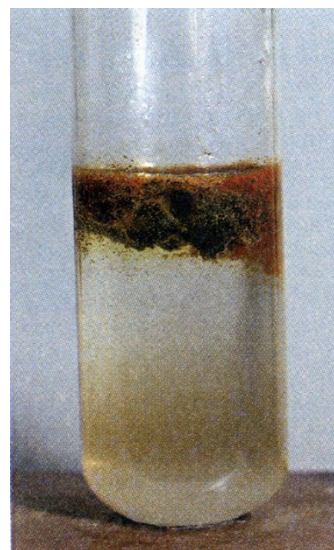
Лабораторний дослід 14

Добування ферум(II) гідроксиду та ферум(III) гідроксиду реакцією обміну

Дослід 1. Підберіть реактиви, які є у кабінеті хімії, і добудьте ферум(II) гідроксид та ферум(III) гідроксид. Спостерігайте за кольором утворених оксидів. Чому в одній з пробірок утворений зеленуватий осад Fe(OH)₂ на повітрі з часом буріє (мал. 72)? Складіть рівняння реакцій в молекулярній, повній та скороченій йонній формах.

Дослід 2. Дослідіть дію кислот на добути осади ферум(II) гідроксиду та ферум(III) гідроксиду. Що спостерігаєте? Складіть рівняння реакцій в молекулярній, повній та скороченій йонній формах.

Солі Феруму. Солі Феруму(II) утворюються при дії розбавлених кислот (крім нітратної) на залізо. Це кристалогідрати блідо-зеленого кольору, хімічно нестійкі, легко окиснюються на повітрі до солей Феруму(III), що мають буре забарвлення. Найбільше практичне значення із них має залізний купорос FeSO₄·7H₂O – світло-зелені кристали, що добре розчиняються у воді. Його



Мал. 72

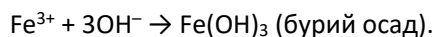
розчини використовують у боротьбі зі шкідниками сільськогосподарських культур, при виготовленні мінеральних фарб, фарбуванні тканин, для просочування деревини, щоб уберегти її від гниття.

Через те що, солі Феруму(II) легко окислюються, їх застосовують як відновники.

Солі Феруму(III) утворюються в результаті розчинення $\text{Fe}(\text{OH})_3$ у деяких кислотах, при спалюванні заліза у хлорі, його взаємодії з концентрованими сульфатною та нітратною кислотами при нагріванні. Солі Феруму(III) є окисниками.

Найбільше практичне значення мають ферум(III) хлорид FeCl_3 та ферум(III) сульфат $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$, які застосовуються як коагулянти при очищенні води, а також для травлення металів та як протрава при фарбуванні тканини. Природні сполуки, які містять Fe_2O_3 , охра (має жовтий колір) та мумія (червоний колір) використовуються як пігменти у виробництві мінеральних фарб та емалей. На здатності солей Феруму вступати в окисно-відновні реакції базується поглинання кисню гемоглобіном крові, який переноситься нею до тканин організму.

Солі Феруму(II) та Феруму(III) можна розпізнати, діючи на їх розчин лугом:



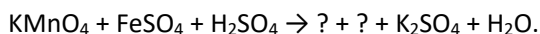
Ферум – один з найпоширеніших елементів земної кори. Він належить до перехідних, або d-елементів; утворює сполуки (оксиди, гідроксиди, солі), у яких виявляє ступені окиснення +2 або +3. Сполуки Феруму мають практичне застосування. Завдяки здатності Феруму вступати в окисно-відновні реакції здійснюється живлення тканин організму киснем.

Перевір себе

1. В чому полягають особливості електронної будови атомів перехідних елементів?
2. Чим відрізняються хімічні властивості Феруму(II) і Феруму(III)?

Поміркуй

1. Солі Феруму(II) застосовуються як відновники, а солі Феруму(III) – як окисники. Чим це можна пояснити?
2. Як добути із заліза ферум(II) гідроксид і ферум(III) гідроксид? Склади схему перетворень і напиши відповідні рівняння реакцій.
3. Напиши рівняння реакції добування ферум(II) хлориду 3–4 різними способами.
4. Здійсни перетворення:
а) $\text{Fe} \rightarrow \text{FeCl}_2 \rightarrow \text{FeCl}_3 \rightarrow \text{Fe}(\text{OH})_3 \rightarrow \text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \rightarrow \text{Fe}_2\text{O}_3$;
б) $\text{Fe}^{3+} \rightarrow \text{Fe}^0 \rightarrow \text{Fe}^{2+} \rightarrow ? \rightarrow \text{Fe}(\text{OH})_3 \rightarrow \text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \rightarrow \text{Fe}_2\text{O}_3 \rightarrow \text{Fe}$.
5. Враховуючи, що солі Феруму(III) є окисниками, а гідрогенсульфід – відновник, в якому Сульфур в процесі окиснення перетворюється на вільну сірку,клади, використовуючи метод електронного балансу, рівняння реакції: $\text{FeCl}_3 + \text{H}_2\text{S} \rightarrow ? + ? + \text{HCl}$.
6. Враховуючи, що солі Феруму(II) є відновниками,клади, використовуючи метод електронного балансу, рівняння реакції між калій перманганатом, в якому Манган(VII) відновлюється до Мангану(II), і ферум(II) сульфатом у кислому середовищі:



Подискууйте

В земній корі Ферум перебуває у вигляді сполук – руд, в той же час у метеоритах – переважно у вигляді простої речовини заліза. З чим, на ваш погляд, це зв'язано?

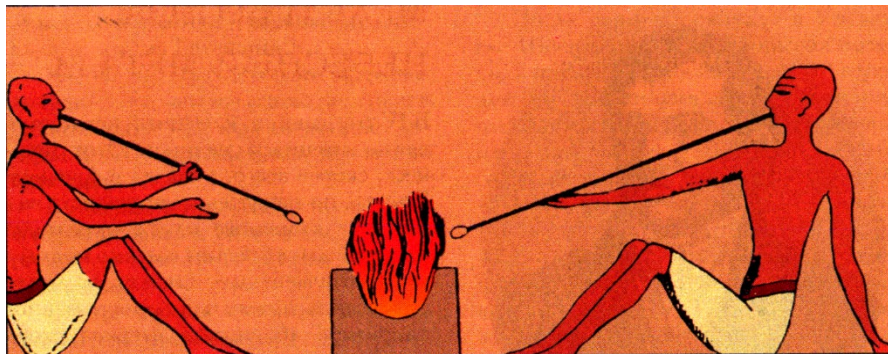
§24. Залізо, його властивості

Опанувавши матеріал параграфа, ви вмітимете характеризувати фізичні та хімічні властивості заліза, скласти рівняння відповідних реакцій.

Просту речовину, утворену атомами Феруму, називають залізом. Воно відоме людині з найдавніших часів.

Історична довідка. Перше залізо, що потрапило в руки наших предків, скоріш за все, було не земного, а космічного походження: залізо входить до складу метеоритів, які падають на нашу планету із космосу. Недаремно, мабуть, у деяких країнах залізо називали «небесним каменем». Залізо в метеоритах знаходиться у вигляді майже чистого металу. Воно порівняно легко піддавалось обробці, і стародавні люди виготовляли з нього прикраси і найпростіші знаряддя праці.

Оскільки попит в залізі був постійним, а метеорити не падали «на замовлення», люди намагались навчитись добувати його із земних надр (мал. 73). В земній корі залізо знаходиться тільки у вигляді сполук Феруму, мінералів і руд, а у вільному стані трапляється вкрай рідко.



Мал. 73. Виплавляння металу в Стародавньому Єгипті (із давньоєгипетського малюнку)

Перше залізо, виплавлене із руд, ще дуже поступалось бронзі за твердістю, але технологія його добування постійно вдосконалювалась, збільшувались розміри горнів, для подачі повітря стали застосовувати великі міхи. Пізніше давні металурги навчились загартовувати залізо, надавати йому потрібні властивості.

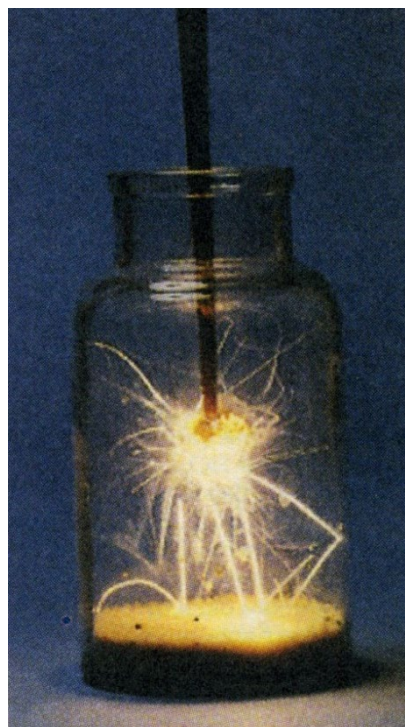
Уже з початку першого тисячоліття до н.е. на зміну добі бронзи прийшла залізна. Зараз залізу належить провідна роль серед усіх металів, які використовує людина.

Фізичні властивості. Чисте залізо (мал. 74) – порівняно м'який і пластичний метал сріблясто-сірого кольору, який легко кується, має металевий блиск. Густина його становить $7,87 \text{ г/см}^3$, температура плавлення $1539 \text{ }^\circ\text{C}$. Серед інших металів залізо виділяється магнітними властивостями: його притягують

магніти, і само воно намагнічується, якщо кусок заліза обмотати дротом і пропустити по ньому електричний струм.



Мал. 74. Залізо



Мал. 75. При горінні залізного дроту в кисні утворюється залізна отарина Fe_3O_4

Хімічні властивості. Вам уже відомі загальні хімічні властивості металів та деякі властивості заліза (із курсу 7-го класу). Це здатність взаємодіяти з неметалами (киснем (мал. 75), хлором, сіркою), водою; відома і здатність заліза піддаватись корозії (іржавіти).

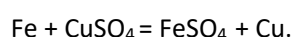
Тепер звернемо увагу на умови проходження цих реакцій і розглянемо, в які ще реакції вступає залізо.

Залізо належить до металів з середньою хімічною активністю. Як і інші метали, залізо виступає в хімічних реакціях відновником, утворюючи сполуки Феруму із ступенем окиснення +3 (при взаємодії з сильними окисниками, наприклад киснем, хлором, нітратною та концентрованою сульфатною кислотами тощо) або +2 (в реакціях із окисниками меншої активності, наприклад сіркою, хлоридною та розведеною сульфатною кислотами тощо).

За звичайних умов (при кімнатній температурі) воно реагує з розведеними кислотами (хлоридною, сульфатною) з виділенням водню, оскільки Fe в ряді активностей стоїть лівіше за H_2 .

- Склади відповідні рівняння реакцій в молекулярному та йонному вигляді. З концентрованими кислотами (сульфатною, нітратною) залізо за цих умов, як ви знаєте, не реагує, бо на його поверхні утворюється пасивна оксидна плівка, яка перешкоджає взаємодії.

Залізо вступає в реакції і з солями у водному розчині:



- Склади рівняння реакції у йонному вигляді. З солями яких металічних елементів залізо не реагуватиме?

Як ви вже знаєте, у вологому повітрі та воді, у якій розчинений кисень, залізо легко піддається корозії.

- Склади рівняння процесу іржавіння заліза, використовуючи метод електронного балансу.

При нагріванні активність заліза зростає і воно реагує з хлором, сіркою, парою води.

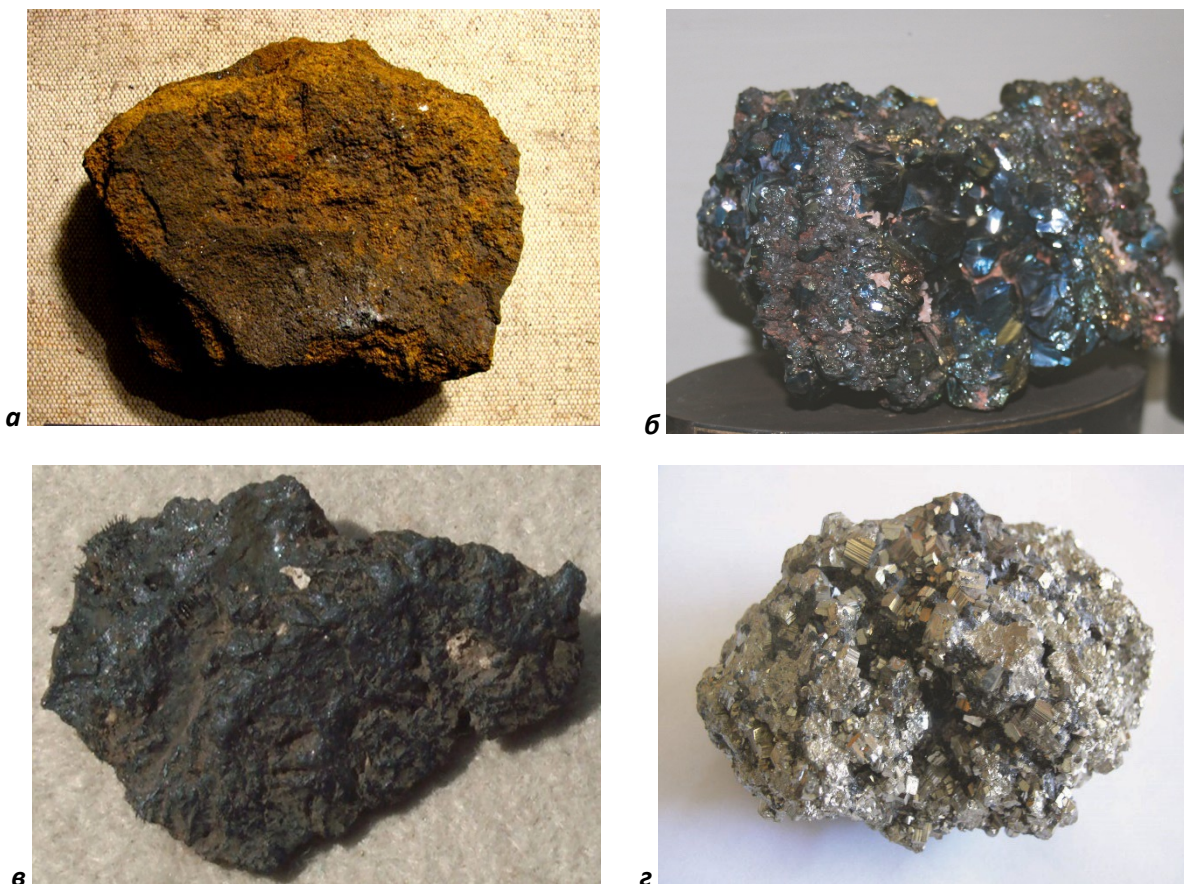
- Пригадай матеріал курсу хімії 7-го класу та склади рівняння цих реакцій.

В разі підвищення температури залізо починає реагувати і з концентрованими кислотами, однак внаслідок реакції виділяється не водень, а відповідні оксиди:



Сьогодні практично жодна виробнича галузь не обходиться без використання заліза або сплавів на його основі. Про практичне застосування заліза та його сплавів ви дізнаєтесь із матеріалу наступних параграфів.

Залізо дуже широко використовується у сучасному виробництві та техніці. Основною хімічною властивістю заліза (як і інших металів) є здатність виступати в реакціях відновником, утворюючи сполуки Феруму зі ступенями окиснення +2 і +3.



Мал. 76. Найпоширеніші залізні руди лімоніт (а), гематит(б), магнетит (в), пірит (г)

Для допитливих

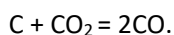
Як виробляють чавун і сталь

Чавун і сталь – найголовніші матеріали сучасної техніки. Понад 90% від загального обсягу виробництва металів припадає на ці сплави заліза. Залізо одержують із залізних руд (мал. 76) шляхом їх відновлення коксом за високих температур. При цьому утворюється сплав заліза з вуглецем (до 4—5%), який називають чавуном.

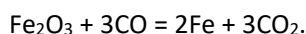
Чавун виплавляють у *домених печах (домнах)* – сталених баштах висотою до 30—60 м, викладених зсередини вогнетривкою цегло (*мал. 77*). Одну з найбільших домен у світі (об'ємом бл. 5000 м³) збудовано в Україні у Кривому Розі. За рік така піч виплавляє понад 4 млн. тонн чавуну.

У верхню частину домни (колошник) завантажують залізну руду, кокс та *флюс*. Флюс (як правило, вапняк CaCO₃) потрібен для відділення тугоплавкої пустої породи, що міститься у руді, – кремнезему SiO₂). Вапняк у домні розкладається на CO₂ і CaO; при взаємодії останнього з SiO₂ утворюється кальцій силікат CaSiO₃, який легко відділяється у вигляді шлаку.

У нижню частину доменної печі (горн) через спеціальні отвори вдувають нагріте повітря, часто разом з киснем (кисневе дуття). Зверху до низу у домні температура підвищується від 450° до 1500 °С. У середній частині домни (шахті) вуглекислий газ, що утворюється при згоранні коксу, відновлюється до CO:

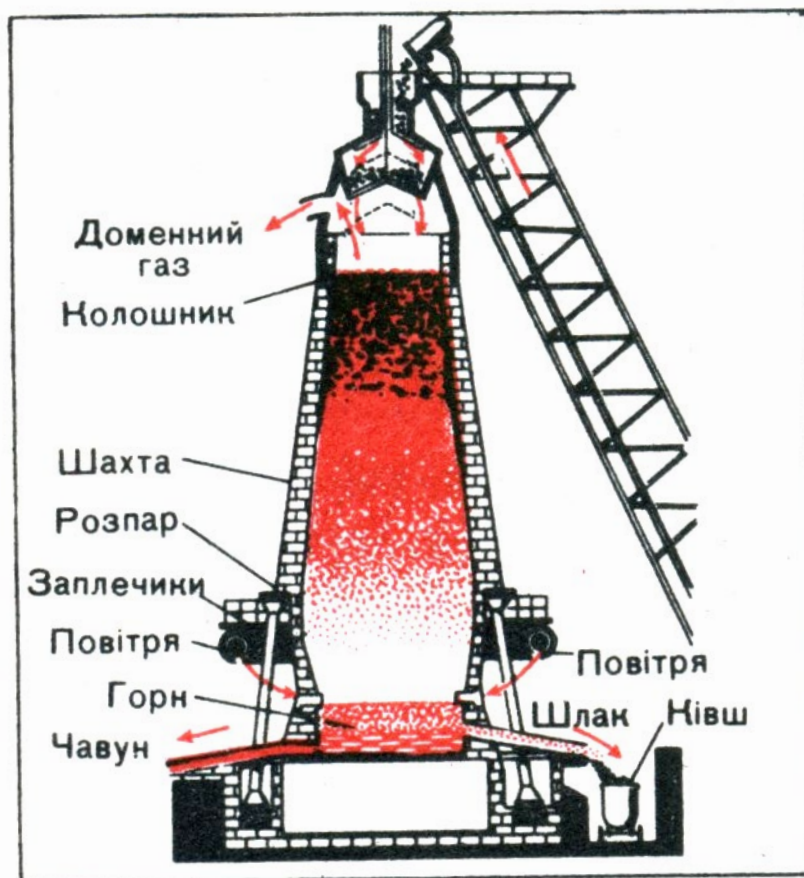


Карбон (II) оксид поступово відновлює оксиди Феруму до вільного заліза:



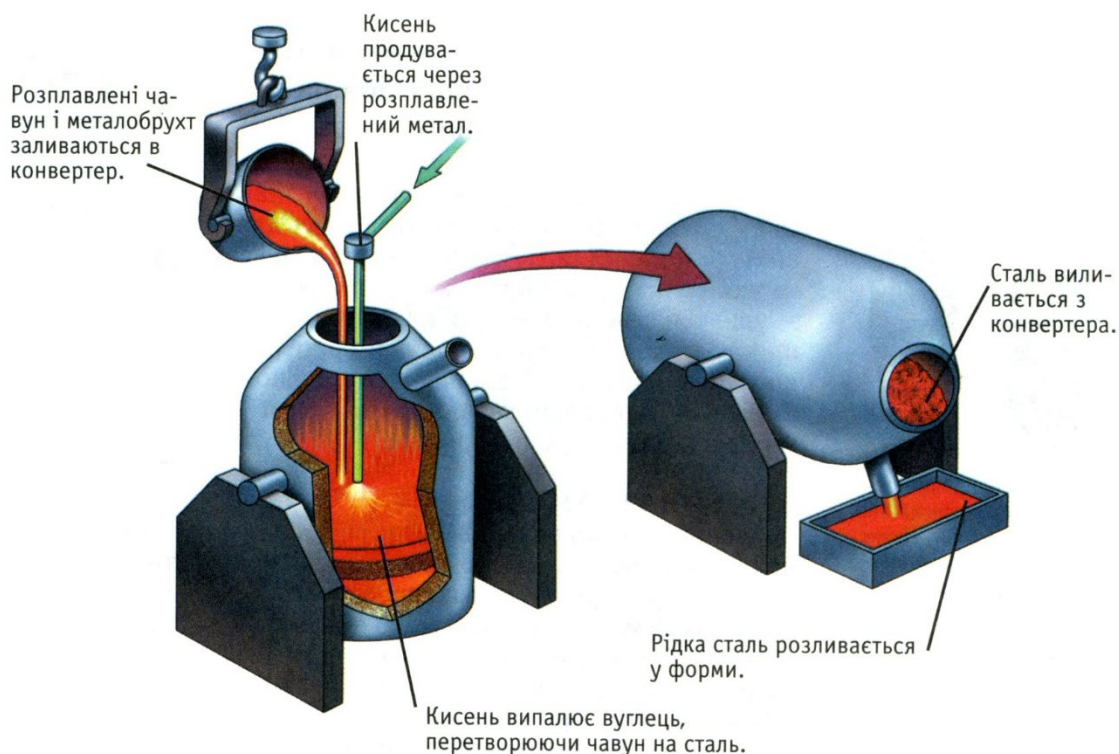
Домішки сполук Si, P, Mn, S також відновлюються, тому чавун, що утворюється в результаті доменного процесу, крім вуглецю містить також невелику кількість домішок силіцію, мангану, фосфору, сірки.

Основна маса чавуну переробляється в *сталь* – сплав заліза, в якому міститься 0,1—2% вуглецю. У промисловості для переробки чавуну на сталь використовують три способи: конверторний (бесемерівський) (*мал. 78*), мартенівський та електротермічний (варку сталі в електропечах). Для перетворення чавуну на сталь з нього необхідно видалити домішки. Це здійснюють продуванням через розплавлений чавун кисню, внаслідок чого утворюються вуглекислий газ, оксиди Мангану, Силіцію. Останні



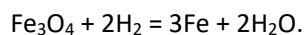
видаляються у вигляді шлаку.

Мал. 77. Доменна піч (схема)



Мал. 78. Виробництво сталі конвертерним способом

Останнім часом розроблені способи безпосереднього виробництва сталі з очищеної руди прямим її відновлення (без використання доменного процесу). Відновником служить водень. Процес відбувається при температурі, нижчій за температуру плавлення заліза:



Із добутого таким способом заліза в електропечах виробляють сталь.

Запиши до словника

Чавун – один із основних продуктів чорної металургії, сплав заліза, що містить від 2 до 4—5% вуглецю; виплавляють із руд в доменних печах.

Сталь – основний матеріал сучасної техніки, сплав заліза, що містить до 2% вуглецю; виплавляють із чавуну мартенівським, конверторним або електротермічним способом.

Домна – велика промислова піч, у якій при високих температурах виплавляють із залізних руд чавун.

Флюси – речовини (переважно вапняк), які додають при виплавлянні чавуну до руди для відділення від неї пустої породи.

Перевір себе.

1. Назви найважливіші фізичні властивості заліза. Чому вони обумовлюють широке використання заліза у практиці
2. Які фізичні властивості заліза обумовлені наявністю металічного зв'язку у кристалічних ґратках?

3. Ступінь окиснення Феруму в сполуках залежить від:
 - а) сили відновника; б) сили окисника? Чому?
4. Порівняй хімічні властивості кальцію і заліза. Обґрунтуй причини схожості та відмінності властивостей цих металів.
- 5*. Як виплавляють чавун? Назви основні способи переробки чавуну на сталь.

Поміркуй

1. Здійсни перетворення: $\text{Fe} \rightarrow \text{FeSO}_4 \rightarrow \text{Fe}(\text{OH})_2 \rightarrow \text{Fe}(\text{OH})_3 \rightarrow \text{Fe}_2\text{O}_3 \rightarrow \text{Fe}$.
2. На суміш порошоків заліза та ферум(II) оксиду масою 6,4 г подіяли розчином хлоридної кислоти. Виділився газ об'ємом 2,24 л (н.у.). Обчислити масові частки речовин у суміші.
- 3.* Залізну пластину масою 10,2 г занурили в розчин купрум(II) сульфату. Яка маса заліза перейшла в розчин до моменту, коли маса пластини стала дорівнювати 11 г?
4. Обчисли атомну масу елемента (і назви його), якщо внаслідок взаємодії двовалентного металу, утвореного цим елементом, масою 1 г із сульфатною кислотою виділяється водень об'ємом 0,4 л (н.у.).
5. Чому залізна пластинка, оброблена концентрованою HNO_3 , не витісняє мідь із розчину солі Купруму?

Подискутуйте.

1. При температурі, близькій до температури плавлення, електропровідність заліза: а) значно підвищується; б) не змінюється; в) значно зменшується? Чому?
2. Для боротьби із шкідниками садових дерев використовують розчин мідного купоросу. Чи можна готувати і зберігати розчин мідного купоросу у залізному відрі?

§25. Загальні методи добування металів

Засвоївши матеріал параграфа, ви зможете назвати основні металічні руди, їх родовища та металургійні виробництва в Україні, описати загальні методи добування металів, обґрунтувати необхідність охорони середовища у металургійному виробництві.

Виплавка металів із руд. Метали добувають переважно шляхом хімічної обробки (відновлення) сполук відповідних металічних елементів, що входять до складу гірських порід (руд).

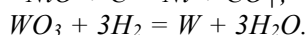
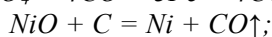
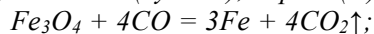
Рудами називають гірські породи, що містять металічні елементи в таких сполуках і концентраціях, при яких виділення із них металів є технічно можливим і економічно доцільним.

Руди розрізняють за типом сполук (мінералів), що входять до їх складу, на оксидні (гематит Fe_2O_3 , магнетит Fe_3O_4 , рутил TiO_2 , боксит $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, піролюзит MnO_2), карбонатні (магnezит MgCO_3 , сидерит FeCO_3), сульфідні (пірит FeS_2 , сфалерит ZnS , халькопірит CuFeS_2), хлоридні (галіт NaCl , сильвін KCl) тощо.

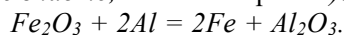
За хіміко-технологічними особливостями розрізняють три основні методи добування металів:

- 1) пірометалургійний, який базується на відновленні безводних металічних руд за високих температур;
- 2) гідрометалургійний, що полягає у відновленні металів із водних розчинів їх сполук, в які попередньо переводяться природні руди за звичайних температур;
- 3) електрометалургійний, який забезпечує відновлення активних металів із розплавів їх солей постійним електричним струмом. Цей процес отримав назву електролізу розплавів.

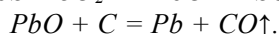
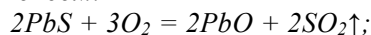
Вміст металічних елементів у рудах здебільшого невисокий. Тому руди спочатку збагачують, видаляючи з них пусту породу. Металічні елементи, що містяться у збагаченій руді, відновлюють. Найчастіше з цією метою використовують кокс (вугілля), карбон(II) оксид, водень:



Металічні елементи можна відновлювати з їхніх оксидів та галогенідів іншими, активнішими металами (Mg, Al, Zn тощо). Такі процеси називають металотермією. Найчастіше з цією метою використовують алюміній (в такому разі процес називають, як ви вже знаєте, алюмінотермією):



Сульфідні руди спочатку випалюють, а потім добутий оксид відновлюють коксом:



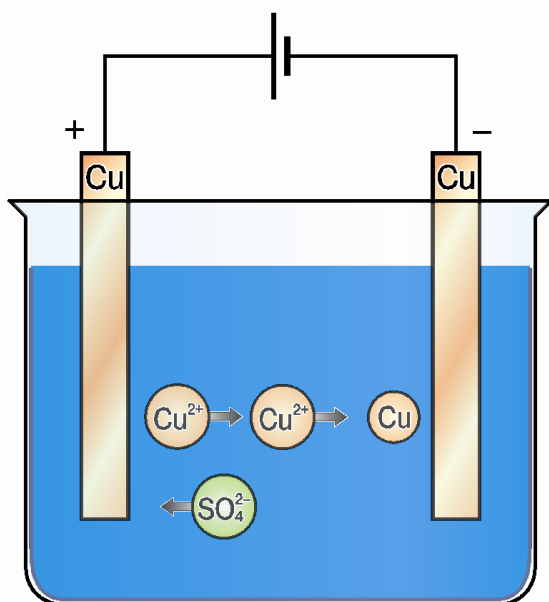
Металічні руди – основна сировина металургії – галузі промисловості, що виробляє метали. У промисловості зазначені вище процеси відновлення металічних елементів із їхніх руд проводять при високих температурах на металургійних заводах (мал. 79).



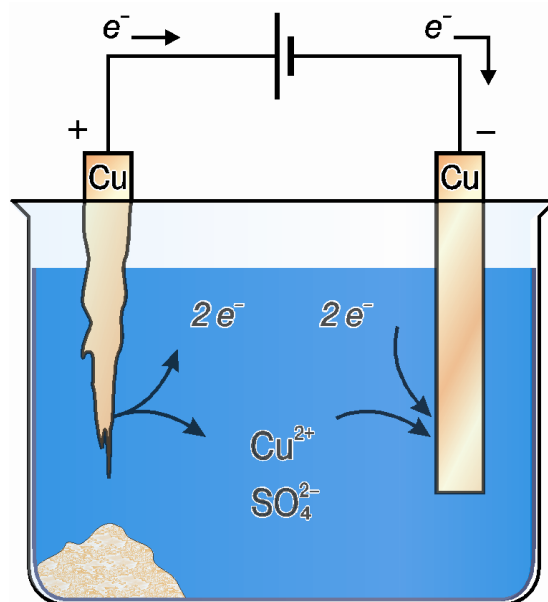
Мал. 79. У цеху металургійного комбінату

Добування металів електролізом. Відомо, що електричний струм є одним із найсильніших відновників. Тому метали із сполук можна відновлювати, використовуючи з цією метою електричний струм. Процес вилучення металів із їхніх сполук з використанням електричного струму називають електролізом (від гр. «електро» – електрика і «лізіс» – розклад, розчинення). В ході електролізу під дією електричного струму, який пропускають через розчини чи розплави електролітів, відбувається хімічне перетворення речовин, що містяться у них.

Електроліз проводять в електролізерах, що являють собою заповнену електролітом посудину, в яку занурені дві металеві або графітові пластинки – електроди. Один із електродів – катод – приєднаний до негативного полюса джерела струму, а інший – анод – до позитивного полюса. На катоді відбуваються процеси відновлення, а на аноді – окиснення. В процесі електролізу метали виділяються на катоді (мал. 80).



Мал. 80. Схема електролізу мідного купоросу



Мал. 81. Очищення (рафінування) міді за допомогою електролізу

Електроліз застосовують для добування активних металів (натрію, калію, кальцію, магнію, алюмінію), а також деяких неметалів (фтору, хлору), лугів, солей тощо. Очищення металів від домішок (цей процес називають рафінуванням) також здійснюють за допомогою електролізу (мал. 81). При рафінуванні міді, наприклад, її приєднують до анода електролізера і опускають в розчин солі

Купруму. На аноді «чорнова» мідь розчиняється (окиснюється), домішки переходять у розчин або випадають на дно електролізера, а на катоді йони Cu^{2+} відновлюються – виділяється чиста мідь.

Металургійні виробництва в Україні та захист довкілля. Україна має значні родовища чорних та кольорових металів. Найбільшими залізорудними басейнами є Криворізький, Кременчуцький, Білозерський та Керчинський. Є в Україні родовища й інших металічних елементів – Алюмінію (Дніпропетровська область, Закарпаття, Приазов'я), Мангану (Нікопольське та Велико-Токмацьке родовища), Титану (Дніпропетровська область), Цинку, Меркурію, знайдені поклади золота. Наявність необхідної сировини сприяла значному розвитку в Україні металургійної промисловості.

Перші металургійні заводи з'явилися тут ще в XIX ст. – у Юзівці (нині Донецьк), Луганську, Катеринославі (нині Дніпропетровськ). За роки радянської влади могутні металургійні комбінати споруджені в Запоріжжі, Кривому Розі, Жданові (нині Маріуполь), Дніпродзержинську, Алчевську та інших містах. За рівнем розвитку металургійного виробництва Україна займає провідні позиції в світі.

Не слід забувати, однак, що металургійні заводи є значним джерелом забруднення навколишнього середовища. Добування (мал. 82) та збагачення руди, підготовка сировини і завантаження її в плавильні печі супроводжуються утворенням великої кількості пилу. Та й самі коксові, доменні та сталеплавильні печі, в яких виробляють відповідно кокс, чавун та сталь, є серйозними забрудниками повітря шкідливими для здоров'я газами (CO , H_2S , SO_2 тощо).

На сучасних заводах для вловлювання та утилізації шкідливих відходів виробництва встановлюють фільтри, газо- та пиловловлювачі, інші очисні споруди.

Для нашої планети сьогодні важливо, щоб відходи людської діяльності органічно вписувалися у природний колообіг речовин, як це робить природа, де відходи одних організмів є ресурсом розвитку для інших організмів.

Перспективними способами боротьби із забрудненням довкілля є розробка та впровадження у виробництво безвідходних технологій, в яких відходи вловлюються і використовуються як сировина для інших виробництв, створення так званих виробництв із замкнутими циклами тощо.



Мал. 82. Добування руди в залізорудному кар'єрі

Прикладом безвідходного виробництва може бути кольорова металургія. У процесі випалювання руд кольорових металів (Cu , Zn , Pb , Sn , Ni) утворюються гази, що містять сульфур(IV) оксид, який уловлюють за допомогою спеціальних пристроїв і використовують для виробництва сульфатної кислоти. Так, при виробництві 1 тонни міді уловлюється стільки SO_2 , що з нього можна добути до 10 тонн сульфатної кислоти. У результаті цього не забруднюється довкілля і галузь одержує додаткові прибутки.

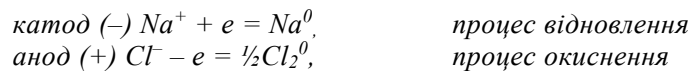
Метали в промисловості добувають переважно із руд, відновлюючи їх при високих температурах коксом, карбон(II) оксидом, воднем, активними металами на металургійних заводах. Активні метали добувають шляхом електролізу розплавів. В Україні створено потужну металургійну промисловість. Це вимагає вирішення екологічних проблем шляхом впровадження безвідходних виробництв з метою збереження здоров'я людини і охорони довкілля.

Для допитливих Електроліз

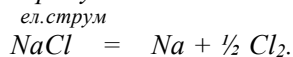
Із основного тексту підручника ви вже знаєте, що у виробництві для отримання деяких речовин використовують електроліз розплавів або розчинів електролітів. Pozнайомимось із цим процесом докладніше.

Розглянемо для прикладу процеси, що відбуваються при електролізі розплаву кухонної солі NaCl (мал. 83). Після приєднання електродів до акумулятора чи іншого джерела живлення позитивно заряджені катіони Na^+ , що є в розплаві солі, починають рухатись до катода, а негативно заряджені аніони Cl^- – до анода. Наблизившись до катода, катіони Na^+ отримують від нього по одному електрону, перетворюючись в нейтральні атоми Натрію (метал натрій має меншу густину ніж розплавлена сіль, і спливає на її поверхню), а аніони Cl^- віддають аноду по електрону і також стають нейтральними атомами (вони зразу ж сполучаються в молекули простої речовини хлору Cl_2).

Отож, йони натрію відновлюються, а хлорид — іони — окиснюються:



Сумарне рівняння електролізу натрій хлориду таке:



Схожі процеси відбуваються і при електролізі розчинів солей, якщо відповідний метал розміщений в ряді активності після водню. При електролізі водних розчинів солей лужних та лужноземельних елементів на катоді замість йонів металів відновлюються молекули води і виділяється водень, а на аноді відбувається окиснення не аніонів, а води, внаслідок чого виділяється кисень. Коли ж метал розміщений в ряді активності між алюмінієм і воднем, то на катоді осаджується метал і спільно з ним виділяється водень.

Електроліз із розчинним анодом (мідь, цинк та ін.) широко використовують для нанесення на поверхню виробів захисних металевих покриттів із цинку, нікелю, хрому, міді, срібла тощо. Цей процес називають гальваностегією. Іноді метали осаджують на поверхні рельєфних виробів для одержання точних копій цього рельєфу. Такий метод називають гальванопластикою, його винайшов російський учений Б.С. Якобі.

Запиши до словника.

Руди металічні – гірські породи, що містять такі кількості металічних елементів, що виділення із них металів є економічно доцільним.

Збагачення руди – збільшення частки металічних елементів у руді шляхом вилучення із неї пустої породи.

Металургія – галузь промисловості, що виробляє метали.

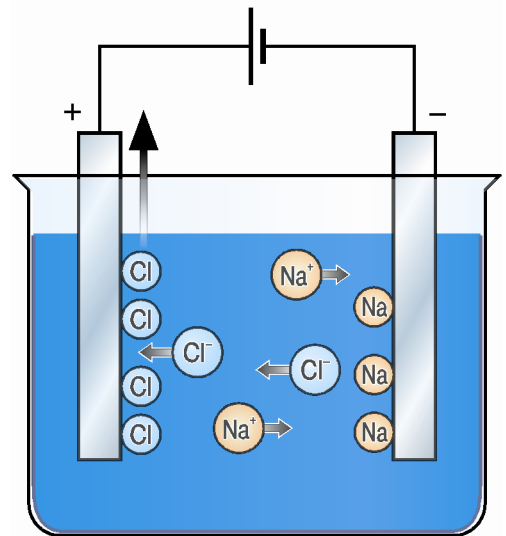
Безвідходні технології – прогресивні виробництва, зокрема добування металів, в яких відходи вловлюються і використовуються як сировина для інших виробництв.

Електроліз – перетворення речовин при проходженні електричного струму через розплав чи розчин електроліту; являє собою сукупність окисно-відновних реакцій, що відбуваються на електродах електролізера.

Катод і анод – електроди, на яких відбуваються відповідно процеси відновлення і окиснення; в електролізерах катод приєднаний до негативного полюса джерела струму, а анод – до позитивного.

Перевір себе

1. Назви найпоширеніші види металічних руд. Напиши для кожної з них формулу основної речовини (мінералу).
2. Які гірські породи можна вважати рудами?
3. Поклади яких металічних елементів є на території України?
4. Назви найбільші центри металургійного виробництва в Україні.
5. Як впливають на стан довкілля металургійні виробництва?
6. Які частинки переносять струм у розплаві та розчині солі?



Мал. 83. Схема електролізу натрій хлориду

7. Які відновники використовують при добуванні металів із руд? Які метали добувають шляхом електролізу?

Поміркуй

1. Ферум в природі буває у складі сполук:

- а) бокситу; в) вапняку; д) лимоніту; е) піриту;
б) магнетиту; г) сфалериту; е) сидериту; ж) сильвініту.

2*. В чому полягає суть електролізу?

3. Які процеси відбуваються на електродах при електролізі розплаву калій йодиду?* При електролізі розчину цієї солі?

4*. При електролізі солей яких металічних елементів на катоді буде виділятися водень?

5. При відновленні магнітного залізняку Fe_3O_4 масою 29 кг карбон(II) оксидом можна добути залізо масою:

- а) 2,1 кг; б) 21 кг; в) 42 кг; г) 84 кг.

6. Яка із реакцій відображає процес алюмотермії:

- а) $4Al + 3O_2 = 2Al_2O_3$; б) $4Al + 3C = Al_4C_3$; в) $4Al + MoO_3 = Al_2O_3 + Mo$?

Подискутуйте

Кажуть, що найкращий спосіб позбутися відходів – не виробляти їх взагалі. Як бути?

§26. Метали та їх сплави в сучасній техніці

Засвоївши параграф, ви зможете обґрунтувати широке застосування металів і сплавів, навести приклади найпоширеніших сплавів.

Найпоширеніші метали сучасної техніки. Метали відзначаються міцністю і пластичністю, здатністю до обробки. Ці та ряд інших важливих властивостей зробили їх основою людської цивілізації. Згадайте хоча б мідну, бронзову, залізну добу в історії суспільства. Залізна доба, до речі, продовжується і сьогодні. Частка заліза у світовому виробництві металів перевищує 90%. У великих кількостях добувають також алюміній, хром, мідь, марганець та інші метали.

Залізо, яке люди навчились виплавляти ще за кілька століть до нашої ери, має, як ви знаєте, низку суттєвих переваг: високі міцність і пластичність, тепло- та електропровідність, здатність куватись і намагнічуватись, утворювати сплави з іншими металами та вуглецем. Сплави заліза з вуглецем – чавун і сталь – і сьогодні залишаються основою сучасної техніки (мал. 84).



Мал. 84. Сплави заліза з вуглецем — чавун і сталь

Певні переваги за рядом властивостей має *алюміній*. Легкість цього металу у поєднанні з високою міцністю і пластичністю його сплавів робить алюміній незамінним конструкційним матеріалом у літакобудуванні (мал. 69) і сприяє розширенню його застосування в наземному і водному транспорті, будівництві. Алюміній має високу корозійну стійкість і вироби з нього не потребують спеціального захисту. Відносно висока електропровідність дозволяє застосовувати його в електротехніці. Використання алюмінію дещо стримується порівняно невисокою міцністю та легкоплавкістю, а також досить високою ціною його виробництва. Все ж частка застосування алюмінію, а також *титану*, *хрому*, *марганцю* в сучасній техніці помітно зростає.

Знаходять застосування і інші метали. Ядерній енергетиці, наприклад, потрібні *уран*, *торій*, *цирконій*, *натрій*, електротехніці – *мідь*, *вольфрам*, *молібден*, фото- та кінотехніці – *срібло*. Без *германію*, *індію*, *стібю* не набули б сьогодні розвитку напівпровідники, без *рідкісноземельних металів* – електронно-обчислювальна та лазерна техніка. А чистий *тантал* – один із не багатьох металів, які суміщаються з біологічними тканинами. Тантал не вступає з ними в реакції, не викликає подразнення у м'язах та кістках. Танталові пластинки (скоби, дрiт, гвинти) використовують хiрурги для з'єднання м'яких тканин та кісток.

Сплави металів. Сплавами називають однорідні матеріали з металічними властивостями, що складаються з двох або більше металів (інколи – металів і неметалів). В сучасній техніці сплави металів застосовують значно частіше ніж чисті метали. Це зв'язано з тим, що сплави, як правило, мають вищі технічні характеристики порівняно з чистими металами.



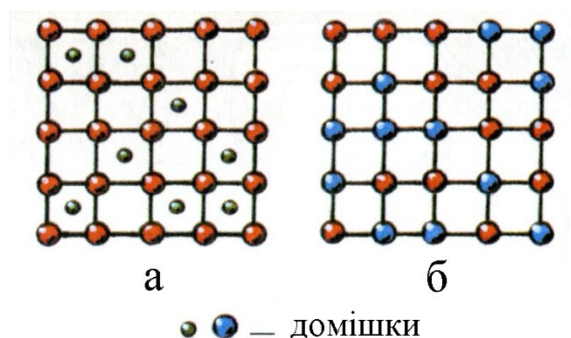
Мал. 85. Структура металів (а) і сплавів (б)

Так, латунь (сплав міді з цинком) значно твердіша за мідь і цинк, взяті окремо. Чисті метали мають меншу міцність, ніж сплави, оскільки їхні атомні шари легко ковзають один відносно іншого (мал. 85 а). У сплавах же атоми різного розміру ускладнюють таке переміщення (мал. 85 б), тому вони відзначаються більшою міцністю і твердістю. Сплави плавляться при нижчих температурах, ніж метали, що їх утворили. Температура плавлення одного із сплавів натрію і калію, наприклад, в 3 рази нижча за температуру плавлення калію і в 5 разів – натрію.

Хімічний зв'язок у сплавах металічний. Тому вони мають електричну провідність, металевий блиск та інші властивості металів.

Сплави добувають змішуванням металів у розплавленому стані, при наступному охолодженні вони твердіють.

Розплавлені метали змішуються між собою в будь-яких співвідношеннях, необмежено розчиняючись один в одному. Часто при охолодженні таких розплавів утворюються мікроскопічно однорідні системи невизначеного складу – *тверді розчини*. Це характерно для металів, які утворюють однотипні решітки, наприклад Ag-Cu, Cu-Ni. Якщо атоми обох металів близькі за розмірами, то атоми одного з них частково заміщують в кристалічній решітці атоми іншого. Так утворюються тверді розчини заміщення (мал. 86 б). Коли ж атоми компонентів мають суттєво різні розміри, утворюються тверді розчини втиснення (мал. 86 а). В чавуні та сталі, наприклад, атоми Карбону розміщуються в проміжках між атомами Феруму.



Мал. 86. Утворення твердих розчинів втиснення (а) та заміщення (б)

Нерідко розплавлені метали змішуються між собою в будь-яких співвідношеннях, однак при охолодженні твердий розчин не утворюється, а виникає маса, що складається з дрібних кристаликів кожного з металів. Це відбувається, наприклад, при утворенні сплавів Pb – Sn, Ag – Pb, Bi – Cd тощо.

Трапляється і так, що розплавлені метали, взаємодіючи при змішуванні між собою, утворюють хімічні сполуки – *інтерметаліди*. Такі сполуки утворюють мідь і цинк (CuZn , CuZn_3), натрій і свинець (Na_3Pb , Na_3Pb_5) тощо.

Значна роль у вивченні сплавів належить російському вченому М.С. Курнакову, який розробив метод фізико-хімічного аналізу – один з основних засобів дослідження сплавів.

Лабораторний дослід 15

Ознайомлення із зразками сплавів металів

Розгляньте видані вам зразки сплавів металів і запишіть у таблицю для кожного з них: 1) назву; 2) хімічну формулу; 3) агрегатний стан; 4) колір; 5) твердість. Зробіть висновки на основі спостережень та вивченої інформації про метали та їх сплави щодо таких властивостей та фізичних параметрів (у порівнянні), як

густина, температура плавлення, електрична провідність, механічна міцність, пластичність, корозійна стійкість тощо.

Використання сплавів у техніці. Першим сплавом, який люди стали широко використовувати, наприклад при виробництві знарядь праці та зброї, був сплав міді з оловом – *бронза* (мал. 87). Згодом почали застосовувати і інші мідні сплави: *латунь* (сплав міді з цинком), з якої виготовляли побутові (мал. 88) і будівельні товари, *мельхіор* (сплав міді з нікелем), який використовували для виготовлення посуду та художніх виробів.

Понад 2 тис. років основним матеріалом у виробництві, техніці, військовій справі, побуті є сплави заліза – чавун і сталь. З *чавуну*, який містить 2–5% вуглецю і відзначається високою твердістю, виготовляють деталі, що не піддаються ударам в процесі експлуатації – станини, балки, махові колеса. Значно вищі потреби виробництва і техніки у *сталі*, яка відрізняється від чавуну меншим вмістом вуглецю (до 2%). Сфера використання сталі надзвичайно широка – машинобудування, суднобудування, будівництво та інші галузі людської діяльності.



Мал. 87. Бронзова зброя кельтів



Мал. 88. Корпус старовинного (кінець XVII ст.) годинника, виготовленого з латуні

В залежності від призначення та галузі застосування розрізняють *конструкційні* сталі, які використовують для будівництва різних споруд, суден, вагонів, мостів тощо; *інструментальні* сталі, що йдуть на виготовлення різних інструментів, а також сталі *спеціального призначення* – неіржавіючі, термостійкі, зносостійкі, надлегкі тощо. Особливо важливу роль у сучасній техніці займають *леговані* сталі, тобто сталі з додаванням невеликої кількості різних за властивостями металів – хрому, марганцю, ванадію та ін.

Широко використовуються у сучасній техніці і сплави алюмінію, які відзначаються легкістю, механічною міцністю, стійкістю проти корозії. Дуралюмін (дюралюміній) – сплав алюмінію з міддю (до 5%) застосовується в авіації, на транспорті, у виробництві побутових предметів. Силумін (до його складу входить до 20% силіцію) використовують у судно-, авіа- та автобудуванні.

Сплави з кожним роком набувають все більшого поширення через те, що їхні властивості можна регулювати, змінюючи їх якісний та кількісний склад. Це дає змогу отримувати матеріали з наперед заданими властивостями.

Багато металів та їхніх сплавів відзначаються високою пластичністю, механічною міцністю, стійкістю проти корозії, тому вони застосовуються в різних галузях виробництва та побуті. Особливо широко в сучасній техніці використовуються сплави заліза (сталь, зокрема легована, чавун) та алюмінію (дюралюміній, силумін та ін.)

Склад сплавів можна легко змінювати, що дозволяє отримувати матеріали із заданими властивостями.

Довідник ерудита

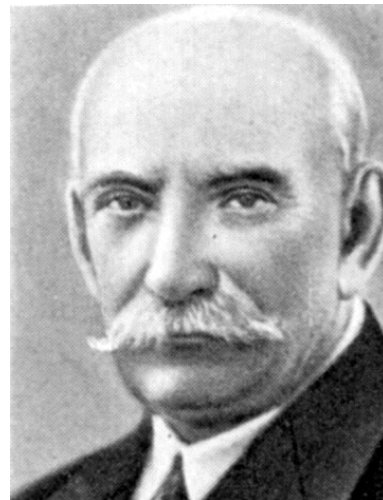
Найпоширеніші сплави кольорових металів.

Назва	Склад, %	Властивості, застосування
Дюралюмін Силумін	Al > 90, Cu 3—5, Mg, Mn, Si, Fe ~ 1 Al 80—90, Si 5—20, Fe, Mg, Mn ~ 1	Легкість (густина 2,5—2,8 г/см ³), висока міцність, корозійна стійкість; застосовується в авіа-, авто- машинобудуванні, для виготовлення хімічної апаратури
Латунь	Cu 60—90, Zn 10—40, Mn, Al ~ 1	Корозійна стійкість, легкість оброблювання. Ливарне виробництво, виготовлення побутових речей
Бронза алюмінієва	Cu ~ 90, Al 8—10, Mn 1—2	Стійкість при корозії; виготовлення деталей машин
Бронза берилієва	Cu 97—98, Be 2—3	Висока міцність; виготовлення пружин, струн музичних інструментів
Нейзильбер Мельхіор	Cu 30—70, Ni 5—35, Zn 15—45 Cu 70—80, Ni 20—30, Fe, Mn ~ 1	Висока корозійна стійкість, міцність; виготовлення штампованих виробів, радіаторів, дистиляційних апаратів, музичних інструментів, художніх виробів, монет
Константан Нікелін	Cu 60, Ni 40, Mn ~ 1 Cu 65—70, Ni 30—35, Mn ~ 1	Високий електричний опір, який мало змінюється зі зміною температури, корозійна стійкість; виготовлення елементів електровимірювальних приладів, реостатів, електронагрівачів
Ніхром	Ni 60—80, Cr 15—25, іноді з добавками Fe, Si, Al	Високий електричний опір, механічна міцність; виготовлення нагрівальних елементів електроплиток, електропечей, паяльників
Електрон	Mg 90—95, Al 3—10, Zn 1—3	Легкість (густина близько 1,8 г/см ³); ракетна техніка, авіабудування

Творці природознавства

Микола Семенович Курнаков (1860—1941) – російський фізико-хімік, академік (мал. 89).

Розробив метод фізико-хімічного аналізу розчинів і сплавів металів, за допомогою якого встановлюється залежність між складом сплавів та їхніми властивостями. Сформулював уявлення про речовини змінного і сталого складу – бертоліди і дальтоніди. Організатор вітчизняних металургійних виробництв алюмінію, магнію, платинових металів.



Мал. 89. Курнаков

Запиши до словника

Сплави металів – матеріали, що виявляють металічні властивості і складаються з двох чи більшого числа компонентів, переважно металів.

Тверді розчини – однорідні тверді речовини змінного складу (сплави); розрізняють тверді розчини заміщення та втиснення.

Інтерметаліди – сплави, при кристалізації яких утворюються хімічні сполуки між компонентами.

Сталь – сплав заліза з невеликою кількістю (до 2%) вуглецю.

Леговані сталі – сталі з додаванням невеликої кількості різних за властивостями металів; відзначаються високими технічними характеристиками.

Перевір себе

1. Назви основні галузі застосування найважливіших металів.
2. Що являють собою сплави? Чому вони широко використовуються у виробництві та побуті?
3. Які типи сплавів ти знаєш? Що таке тверді розчини, інтерметаліди?
4. Чим відрізняються чавуни від сталей? Які види сталі тобі відомі?
5. Назви сплави, знайомі тобі з повсякденного життя, та ті, що є основою сучасної техніки.

Поміркуй

1. Чому в техніці широко використовують не чисте залізо, а його сплави?
2. Сплав магнію з міддю масою 54 г розчинили у хлоридній кислоті. При цьому виділилось 33,6 л водню (н.у.). Визнач масові частки металів у сплаві.
3. Із чавунних ошурок масою 200 г добули магній оксид масою 0,2 г. Визнач масову частку магнію в чавуні.

Подискутуйте

Чому властивості сплавів відрізняються від властивостей металів, що входять до їх складу?

§ 27. Вплив металічних елементів-забруднювачів на живі організми

Вивчивши матеріал параграфа, ви дізнаєтесь про шкідливий вплив деяких металічних елементів на життєдіяльність живих систем та здоров'я людини.

Внаслідок інтенсивної техногенної діяльності людини в останні кілька десятиків років довкілля все більше забруднюється шкідливими викидами промислових підприємств та транспорту. Поряд із токсичними сполуками неметалічних елементів (CO, SO₂, NO₂, та ін.) у навколишнє середовище потрапляють металічні

елементи. Останні попадають із сточними водами в ґрунт, ріки та озера і рано чи пізно проникають в організм людини і тварин разом з їжею та питною водою.

Токсична дія металічних елементів на організми. Ви знаєте, що у невеликих кількостях металічні елементи необхідні для нормального функціонування організмів. Проте у більших концентраціях (для деяких речовин ці концентрації досить незначні) багато з елементів виявляють токсичну дію, завдають значної шкоди здоров'ю. Особливо небезпечними є йони, що відповідають важким металам – свинцю, кадмію, ртуті, хрому, нікелю, міді тощо.

Так, попадання в організм йонів Кадмію викликає гостре отруєння, нудоту, зм'якшення кісток, йонів Хрому – набряки та виразки шкіри, Плюмбуму – головні болі, порушення зору, швидку втомлюваність, біль у животі. Встановлено також, що Плюмбум, Кадмій, Нікель мають безпосереднє відношення до захворювання на рак. Тривале попадання в організм пари ртуті, яка належить до високотоксичних кумулятивних отрут, призводить до накопичення Меркурію в нирках, що викликає руйнування їх тканин, стоматит, порушення в центральній нервовій системі тощо.

Можливі шляхи фізіологічної дії токсичних елементів. Потрапляючи у значних кількостях в організм, йони металічних елементів викликають його інтоксикацію, тобто аномальні зміни функцій організму. Серед можливих механізмів шкідливої дії елементів-забруднювачів можна назвати інгібування активності біологічних каталізаторів – ферментів (блокування їхніх активних ділянок) та незворотні зміни просторової структури біологічно активних макромолекул, що беруть безпосередню участь у забезпеченні нормального функціонування клітини.

Як ви знаєте, до складу багатьох фізіологічно активних органічних речовин входять деякі металічні елементи (Fe до складу гемоглобіну крові, Mg – хлорофілу, Co – вітаміну B₁₂ тощо). Йони токсичних елементів, попадаючи в живу клітину, конкурують з необхідними організму елементами за входження до складу біологічно активних сполук. Так, йони Fe²⁺, що містяться в порфірині, витісняються йонами Mn²⁺ або Co²⁺, йони Zn²⁺ у ферменті карбоангідразі замінюються на Hg²⁺ тощо. Такі зміни призводять до порушення швидкості процесів метаболізму, окисно – відновних процесів та синтезу білка, нерідко викликають порушення дихання та виникнення мутацій.

Детоксикація зазначених елементів полягає у безпосередньому їх зв'язуванні та виведенні з організму або в переведенні у менш небезпечні форми.

Останнім часом необхідність постійного контролю хімічного складу води та продуктів харчування стає все актуальнішою. Більш гостро постає і проблема квотування промислових викидів індустріально розвиненими країнами світу.

Внаслідок техногенної діяльності людини у довкілля потрапляє значна кількість металічних елементів – забруднювачів. Особливо небезпечними для людини та інших живих організмів є елементи, що утворюють важкі метали – Кадмій, Меркурій, Плюмбум, Хром, Нікель тощо.

Для допитливих

Гранично допустимі концентрації (ГДК) хімічних елементів у продуктах харчування та воді.

У таблиці наведені ГДК (мг/кг продукту) деяких металічних елементів (а також Арсену), які ще не викликають шкідливих наслідків для здоров'я людини.

Хімічний елемент	ГДК				
	м'ясо	молоко	овочі	фрукти	питна вода

Меркурій	0,03	0,005	0,02	0,01	0,001
Кадмій	0,05	0,001	0,03	0,03	0,005
Плюмбум	0,05	0,05	0,5	0,4	0,01
Хром	0,2	0,1	0,2	0,1	0,05
Арсен	0,5	0,05	0,2	0,2	0,01
Нікель	0,5	0,1	0,5	0,5	0,02
Селен	1,0	0,5	0,5	0,5	0,01
Купрум	5,0	0,5	10,0	10,0	2
Ферум	50,0	3,0	50,0	50,0	0,2

Перевір себе.

1. Назви основні металічні елементи – забруднювачі довкілля.

2. Які головні джерела забруднення навколишнього середовища металічними елементами?

3*. Використовуючи таблицю, вкажи, які з хімічних елементів – забруднювачів є найнебезпечнішими для людини.

Поміркуй

Вкажи можливі механізми токсичної дії йонів – забруднювачів довкілля

Для допитливих

Що означають E- числа.

Сьогодні у харчовій промисловості використовують понад 600 харчових добавок. Спочатку їх назви писали на упаковці повністю, а згодом для зручності у Європі почали застосовувати літеру з цифровим кодом. E означає "Європа" (за іншою версією, це скорочення від слова edible - їстівний), а число (тризначне або чотиризначне) вказує на споживний клас добавки.

Першу сотню харчових добавок – від E100 до E182 – відносять до барвників. Їх додають переважно до солодких напоїв, цукерок, варення, пудингів. E200 - E299 – це консерванти, вони збільшують термін зберігання продуктів (захищають від мікробів і грибків) і містяться практично в усіх консервах. Антиоксиданти (E300 – E399) захищають жиромісні продукти (ковбаси, шоколад) від прогірклення. Стабілізатори та згущувачі – четверта сотня добавок, вони забезпечують збереження консистенції джемів та соусів. Емульгатори (E500 - E599) підтримують однорідність емульсій. E600 - E699 – це підсилювачі смаку та аромату, E900 - E969 – піногасники.

Фахівці вважають, що харчові добавки цілком безпечні і можуть зашкодити лише при споживанні їх великих кількостей. Все ж продуктами з харчовими добавками не слід зловживати.

Практична робота 2

Розв'язування експериментальних задач

Виконуючи практичну роботу, ви будете розвивати вміння виконувати досліди, що підтверджують властивості металів та їх сполук.

Перевірте свою готовність до проведення роботи

1. Як класифікують хімічні елементи? Що покладено в основу класифікації?

2. Який тип хімічного зв'язку і кристалічної ґратки в металах?
3. Які фізичні властивості проявляють метали? Чим вони зумовлюються?
4. Чим визначаються хімічні властивості металів?
5. Як пояснити те, що метали є добрими відновниками і легко реагують з неметалами?
6. Чим хімічні властивості сполук двовалентного Феруму відрізняються від сполук тривалентного Феруму?
7. Назвіть загальні хімічні властивості металів.
8. Які властивості металів визначають їх розміщення в ряді активності?
9. Складіть генетичний ланцюг із наведених речовин:
 - а) KOH, K, K₃PO₄, K₂O
 - б) Al(OH)₃, Al, AlCl₃, Al₂O₃.

Чим подібні і чим відрізняються оксиди і гідроксиди Магнію і Алюмінію?

10. Хімічні реакції будуть відбуватися між парами речовин: а) алюміній і розчин сульфатної кислоти; б) залізо і розчин алюміній хлориду; в) залізо і концентрована нітратна кислота без нагрівання; г) ферум(III) оксид і вода; д) кальцій оксид і вода; е) алюміній гідроксид і калій гідроксид
11. Як добути ферум(II) сульфат і ферум(III) сульфат, маючи залізо? Скласти рівняння необхідних реакцій.

Хід роботи

Згадайте правила безпечного поводження з хімічними речовинами, зокрема – кислотами та лугами. Обережно: ви будете працювати з кислотами та лугами!

Номер досліду	Варіант 1	Варіант 2
Дослід 1.	<p>Проведіть реакції, за допомогою яких можна здійснити такі перетворення:</p> $\text{Fe}_2\text{O}_3 \rightarrow \text{FeCl}_3 \rightarrow \text{Fe}(\text{OH})_3 \rightarrow \text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$	$\text{Al}_2\text{O}_3 \rightarrow \text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \rightarrow \text{Al}(\text{OH})_3 \rightarrow \text{AlCl}_3$
Дослід 2.	<p>Виходячи із магнію, добудьте магній сульфат.</p> <p>Складіть рівняння окисно-відновних реакцій, використовуючи метод електронного балансу. Зазначте окисник і відновник, вкажіть що окиснюється, а що – відновлюється</p>	<p>Виходячи із кальцію, добудьте кальцій сульфат.</p>
Дослід 3.	<p>Очистіть залізний цвях від іржі хімічним способом.</p> <p>Напишіть молекулярні та йонні рівняння проведених реакцій.</p>	<p>Вам видана тверда вода. Як пом'якшити її? Проведіть реакції, які дають змогу зменшити або усунути тимчасову твердість води.</p>
Дослід 4.	<p>Підберіть необхідні реагенти та здійсніть реакцію, що відбувається згідно з йонним рівнянням:</p> $\text{Fe}^{3+} + 3\text{OH}^- \rightarrow \text{Fe}(\text{OH})_3 \downarrow$	$\text{Fe}^{2+} + 2\text{OH}^- \rightarrow \text{Fe}(\text{OH})_2 \downarrow$

Зробіть загальний висновок до практичної роботи.

УЗАГАЛЬНІТЬ ВИВЧЕНЕ

Основною ознакою металічних елементів є слабкий зв'язок зовнішніх валентних електронів їх атомів з ядром. Між атомами цих елементів виникає металічний зв'язок, внаслідок чого утворюється метал – проста речовина з характерними для неї фізичними і хімічними властивостями. У сполуках атоми металічних елементів завжди повністю або частково віддають свої валентні електрони, в результаті чого виникає йонний або ковалентний полярний зв'язок, який досить міцний у твердих речовинах і руйнується у рідких полярних середовищах.

Металічні властивості найбільшою мірою проявляють елементи, які розміщені в періодичній системі хімічних елементів Д.І. Менделєєва на початку періоду і в кінці підгрупи (з чим це пов'язано?). Оксиди і гідроксиди металічних елементів можуть мати як основний, так і амфотерний та кислотний характер.

Перевір себе

1. Де розміщені металічні елементи у періодичній системі Д.І. Менделєєва?
2. Більше чи менше число електронів ніж протонів мають: а) атом Феруму; б) йон Fe^{+2} ; в) йон Fe^{+3} .
3. Як правило, металічні елементи на зовнішньому енергетичному рівні мають не більше: а) 1; б) 2; в) 3; г) 4 електронів.
4. Які з переліку металічних елементів: а) Al; б) Na; в) Cr; г) Ca; д) V; е) Fe належать до
1) s-елементів; 2) p-елементів; 3) d-елементів?
5. У природі: 1) лужні і лужноземельні метали; 2) алюміній; 3) залізо зустрічаються переважно у вигляді:
а) солей; б) оксидів; в) гідроксидів.
6. Який із металів характеризується вказаною фізичною властивістю?
 - 1) найвища температура плавлення; а) вольфрам;
 - 2) найнижча температура плавлення; б) хром;
 - 3) найбільша густина; в) срібло;
 - 4) найтвердіший; г) натрій;
 - 5) найбільш електропровідний; д) ртуть;
 - 6) найм'якіший, але не рідкий; е) осмій;
 - 7) найлегший серед тих, що застосовуються як конструкційні; є) залізо;
 - 8) найбільша теплопровідність; ж) алюміній;
 - 9) найбільш ковкий та пластичний; з) мідь;
 - 10) має магнітні властивості; і) золото.
 - 11) температура плавлення $1539^{\circ}C$.
 - 12) рідкий стан за звичайних умов.
7. Перелічи основні металічні елементи, які входять до складу організму людини?
8. До речовин з металічними кристалічними ґратками належать ті, у вузлах яких знаходяться: а) атоми, між якими існує ковалентний зв'язок; б) атоми і позитивні йони; в) молекули; г) позитивно і негативно заряджені йони, між якими існує зв'язок.
9. Які катіони зумовлюють твердість води: а) Na^{+} ; б) Mg^{2+} ; в) Ca^{2+} ; г) Fe^{3+} і Fe^{2+} ?
10. Встанови відповідність:

- | | |
|-------------------------|--|
| 1) ковалентний зв'язок; | а) зв'язок, пов'язаний майже з повною віддачею електронів одними атомами і приєднанням їх іншими; |
| 2) йонний зв'язок; | б) зв'язок, що здійснюється відносно вільними електронами та позитивно зарядженими йонами кристалічних ґраток; |
| 3) металічний зв'язок; | в) зв'язок, що виникає між атомами Гідрогену однієї молекули й електронегативними елементами іншої; |
| 4) водневий зв'язок; | г) зв'язок, утворений спільними електронними парами (від кожного атома по одному електрону). |

11. Встанови відповідність між металічним елементом та його біологічною роллю:

- | | |
|-------------|--|
| 1) Калій; | а) регулятор кров'яного тиску, водного обміну; |
| 2) Натрій; | б) регулятор кислотно-лужного балансу в крові; |
| 3) Кальцій; | в) будівельний матеріал для утворення кісток і зубів; |
| 4) Магній; | г) бере участь в утворенні гемоглобіну та ряду ферментів; |
| 5) Ферум; | д) має спазмолітичну та судинорозширювальну дію, входить до склад хлорофілу, багатьох ферментів. |

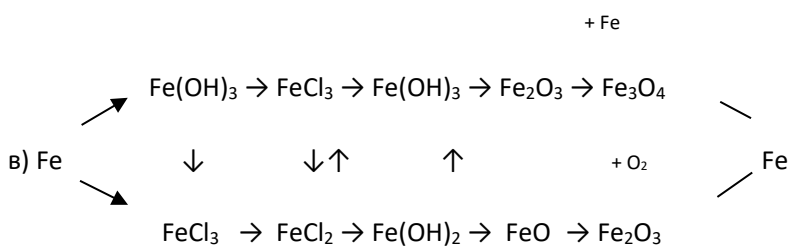
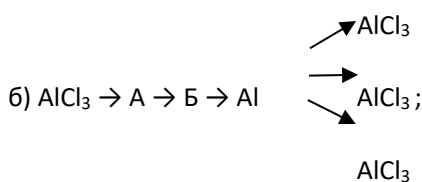
12. Речовина А, сполучаючись із водою, утворює речовину В, розчин якої забарвлює фенолфталеїн у малиновий колір. Речовина В взаємодіє з кислотою С з утворенням солі Д, яка забарвлює її полум'я в жовтий колір. Сіль Д реагує з розчинною сіллю Барію з утворенням білого осаду, нерозчинного ні у воді, ні у кислотах. Назви речовини А, В, С, Д та напиши рівняння згаданих реакцій.

13. Під впливом зовнішнього середовища кальцій перетворюється у кальцій карбонат. Склади рівняння відповідних реакцій.

14. Як, виходячи із заліза, добути ферум(II) гідроксид і ферум(III) гідроксид? Склади рівняння реакцій.

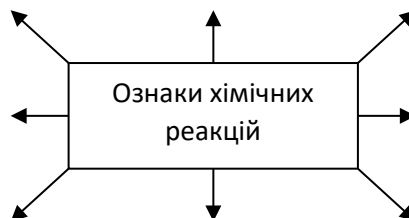
15. Напиши рівняння реакцій, за допомогою яких можна здійснити перетворення:

а) калій → калій гідроксид → калій карбонат → калій хлорид → калій → калій сульфід → калій гідрогенсульфід → сульфур(IV) оксид → калій сульфід;



16. Під час взаємодії двовалентного металу масою 12 г з водою виділяється водень об'ємом 6,72 л (н.у). Цей метал: а) Mg; б) Ba; в) Ca; г) Sr?

17. Масова частка калій гідроксиду, що утворюється в розчині внаслідок взаємодії калію масою 3,9 г з водою об'ємом 52,3 мл становить: а) 5%; б) 10%; в) 12,5%; г) 25,6%.
18. На суміш магнію і магній карбонату подіяли хлоридною кислотою. Виділилось 11,2 л суміші газів (н.у.). Після спалювання газу і конденсації водяної пари об'єм газу зменшився до 4,48 л. Визнач масові частки складових суміші.
19. Побудуйте (за допомогою комп'ютера) схему «Ознаки хімічних реакцій»



Виконай проект

1. Запропонуй проект видобутку цинку із цинкової руди, яка містить цинк сульфід та цинк оксид, застосовуючи сучасні безвідходні, замкнуті технології.
2. Запропонуй проект очистки стічних промислових вод від токсичних катіонів металічних елементів, які погіршують екологію довкілля.

УЗАГАЛЬНЕННЯ І СИСТЕМАТИЗАЦІЯ ЗНАНЬ З ТЕМ 3-4

Узагальнюючи вивчений матеріал про хімічні елементи, ви дізналися, що вони поділяються на металічні та неметалічні. Основною ознакою такого поділу є кількість електронів на зовнішньому енергетичному рівні атома (за винятком Гідрогену і Гелію).

Відомо, що кожний хімічний елемент існує у двох формах: сукупності однакових атомів (прості речовини) та сполук з атомами інших елементів. Металічні або неметалічні властивості ефективно проявляються лише в речовині, тобто в поєднанні багатьох однакових чи різнорідних атомів.

Природа хімічного зв'язку як у простих речовинах, так і в сполуках елементів визначається узагальненими валентними електронами атомів, які можуть знаходитися безпосередньо біля двох атомів, що з'єднуються, або переміщатися по всій масі речовини. Для утворення ковалентного зв'язку будова атома повинна бути такою, щоб на зовнішньому енергетичному рівні було не менше трьох – чотирьох електронів. Якщо їх менше, то виникають переважно йонний або металічний зв'язок. В останньому випадку всі зовнішні (валентні) електрони атомів вільно рухаються по всій кристалічній ґратці, зв'язуючи позитивно заряджені йони. Такий зв'язок, викликаний взаємодією позитивно заряджених йонів металу з негативно зарядженими електронами (так званим електронним газом) характерний для металів. Типом зв'язку, власне, й визначаються загальні ознаки металів або неметалів.

Будовою електронних оболонок атомів визначаються і хімічні властивості металів та неметалів. Атоми металічних елементів на відміну від неметалічних, слабо утримують свої валентні електрони. Отже, вони здатні легко їх втрачати під час взаємодії з атомами, які мають більшу електронегативність. Метали в реакціях є відновниками. А яким речовинам відведено у природі роль окисників? Неметалам та сполукам неметалічних елементів. Але неметали можуть виступати не тільки окисниками, а й відновниками. Це проявляється при хімічній взаємодії неметалів з різною електронегативністю між собою.

Однією з причин різноманітності речовин у природі є явище алотропії – існування хімічного елемента у вигляді кількох простих речовин. Ви вже знаєте, що явище алотропії характерне для багатьох елементів – Оксигену, Карбону, Силіцію, Фосфору, Сульфуру тощо. З додаткової літератури ви можете дізнатись про алотропні модифікації деяких інших елементів. Але чому алотропія притаманна не для всіх хімічних елементів? У вас, мабуть, з'явиться думка, що причина цього полягає в електронній будові атома. Дійсно, алотропія можлива тоді, коли атоми хімічних елементів мають будову, яка забезпечує різні способи з'єднання їх один з одним. Наприклад, атоми галогенів, маючи один неспарений електрон, можуть з'єднуватись тільки попарно, інших варіантів у них не існує. А це означає, що явище алотропії для них не характерне. У той же час атоми Сульфуру мають два неспарені електрони, які дозволяють утворення відкритих або замкнених ланцюгів.

Отже, явище алотропії є причиною різноманітності простих речовин і пояснюється електронною будовою атомів.

Перевір себе

1. Як змінюються властивості хімічних елементів у періодах і групах головних підгруп періодичної системи?
2. За якими ознаками хімічні елементи відносять до металічних та неметалічних? Де в періодичній системі розміщуються металічні та неметалічні елементи? Яких елементів у природі більше?
3. Електронна конфігурація атома хімічного елемента:
а) ...3s²3p¹; б) 2s²2p³; в) ...3s²; г) ...3s²3p⁴; д) ...2s²2p⁶; е) ...3d⁶4s².

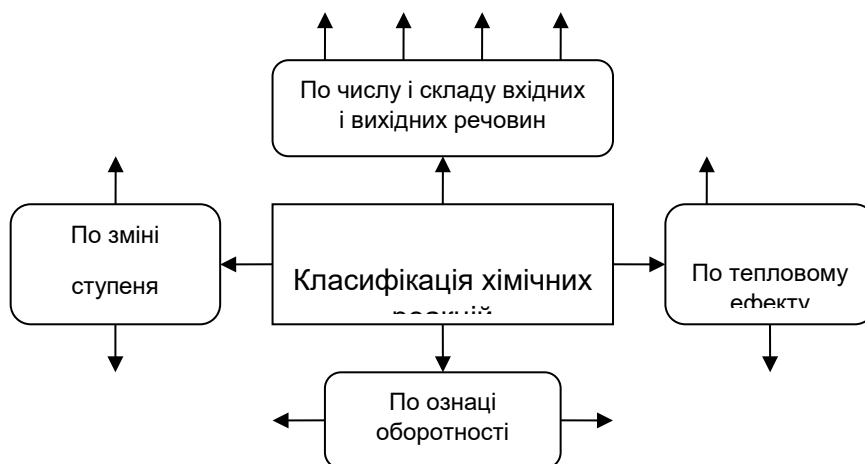
Назви прості речовини, утворені цими елементами.

4. Назви основні типові фізичні властивості неметалів і металів. Які метали і неметали існують в рідкому стані за стандартних умов?
5. Фізичні властивості металів і неметалів визначаються:
а) здатністю взаємодіяти між собою; б) будовою атома; в) особливостями хімічного зв'язку; г) агрегатним станом речовин.
6. Для: 1) металів; 2) неметалів характерна кристалічна ґратка:
а) атомна; б) молекулярна; в) йонна; г) металічна.
7. Які типи хімічних зв'язків характерні для металів і неметалів? Яка природа цих зв'язків і який механізм їх утворення?
8. Схожість металічного і ковалентного зв'язку полягає в тому, що:
а) електрони, які здійснюють зв'язок, знаходяться безпосередньо біля двох атомів, що з'єднуються; б) електрони, які здійснюють зв'язок, переміщуються по всій речовині; в) валентні електрони усуспільнюються атомами. Прокоментуйте не вибрані тобою варіанти відповідей.
9. У хімічних реакціях: 1) метали; 2) неметали можуть виступати:
а) тільки окисниками; б) тільки відновниками; в) як окисниками, так і відновниками. Відповідь обґрунтуйте. Назви просту речовину, яка в реакціях може виступати тільки окисником.
10. Чому металічні та неметалічні елементи у природі зустрічаються переважно у вигляді сполук?
11. Охарактеризуйте фізіологічну дію найважливіших сполук – представників металічних і неметалічних елементів.
12. До яких негативних екологічних наслідків можуть призвести недосконалі технології виробництва, пов'язаних з хімічними речовинами?

Поміркуй

1. Окисниками чи відновниками виступають у хімічних реакціях йони металічних і неметалічних елементів?
2. Чим можна пояснити механічні властивості металів – пластичність, електро-, та теплопровідність?
3. Як називають елементи, що знаходяться в періодах між елементами з яскраво вираженими металічними властивостями і елементами з неметалічними властивостями? Який характер мають їхні оксиди та гідроксиди?

4. Водний розчин натрій хлориду з масовою часткою NaCl 0,9% який за осмотичним тиском, величиною рН та іншими властивостями близький до сироватки крові, називають фізіологічним. Він використовується для внутрішньовенного введення у разі нестачі рідини в організмі хворого. Розливають його або в ампули, або в склянки по 400 г. Для приготування однієї склянки такого розчину необхідні маса солі й об'єм води: а) 36 г і 3,964 л; б) 3,6 г і 396,4 мл; в) 180 г і 19,82 л; г) 360 г і 39,64 л.
5. Заповніть за (допомогою комп'ютера) схему «Класифікація хімічних реакцій»



6. Узагальніть відомості про якість води

Характеристика	Тимчасова твердість, або карбонатна	Постійна твердість, або некарбонатна
Причини твердості		
Джерела твердої води		
Усунення твердості		

- 7*. Склади СЛС розділу та сплануй внесення знань з розділу в «образ природи».

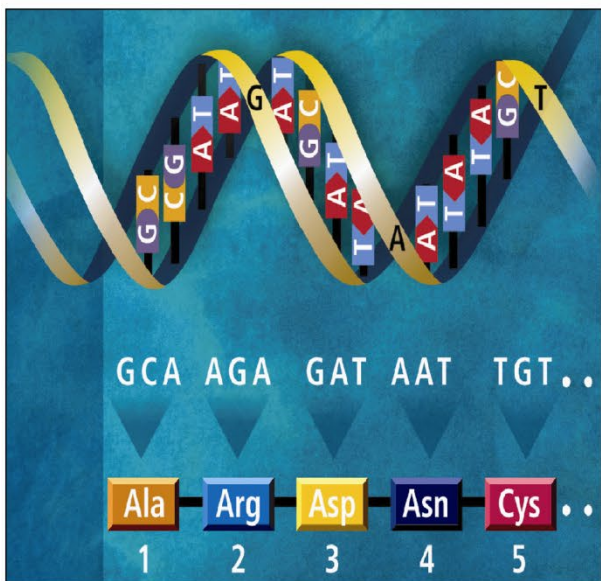
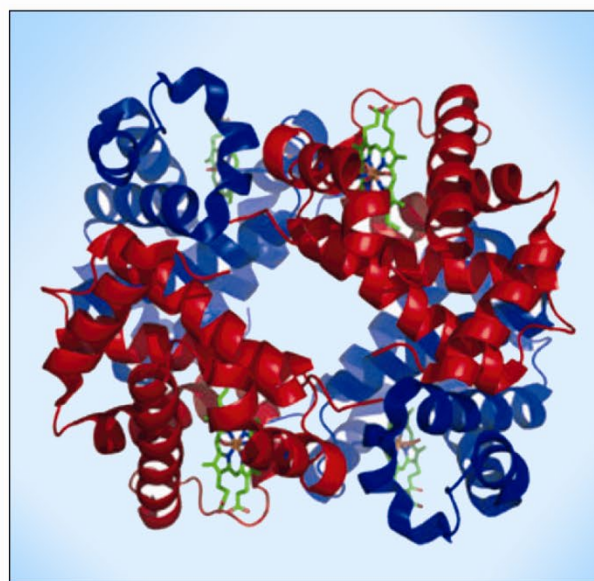
Література для самостійної роботи

- Балезин С.А. Отчего и как разрушаются металлы.- М.: Просвещение, 1976.
- Бердоносов С.С., Менделеева Е.А. Химия. Новейший справочник. – М.: Махаон, 2006.
- Бударин Л.І., Свергуненко Г.В. Досліди з хімії в школі і дома. – К.: Рад. школа, 1982.
- Венецкий С.И. В мире металлов. – М.: Metallurgia, 1982.
- Ильченко В. Р. Перекрестки физики, химии и биологии. – М.: Просвещение, 1986.
- Неорганическая химия. Энциклопедия школьника. – М.: Сов. энциклопедия, 1975.
- Кукушкин Ю. Н. Химия вокруг нас. – М.: Высшая школа, 1992.
- Опаловский А.А. Планета Земля глазами химика. – М.: Наука, 1990.
- Популярная библиотека химических элементов. – М.: Наука, 1983.
- Семенов И.Н., Максимов А.С., Макареня А.А. Химия и научно-технический прогресс. – М.: Просвещение, 1988.
- Середа І.П. Хімія. Основні закони та рівняння. – К.: Либідь, 1997.
- Фрадіна Н.В., Данильченко В.Є. Хімія. 10-11 кл. Навч. посібник. – Х.: Країна мрій, 2002.
- Фримантл М. Химия в действии ч. I, II. – М.: Мир, 1991.
- Хімія. Посібник для старшокласників, вчителів, абітурієнтів/ За ред. М.С. Слободяника. – К.: Либідь, 2003.
- Хімія: Завдання та тести/ За ред. М.Ю. Корнілова. – К.: Школяр, 2007.
- Химия. Малая детская энциклопедия. – М.: Русск. энциклоп. товарищ., 2001.
- Химия от «А» до «Я» (краткий энциклопедический словарь). – М.: Астраль, 2004.
- Цікаво про хімічні елементи та їх сполуки. – К.: Ред. загальнопед. газ, 2004.
- Шульпин Г.Б. Химия для всех. Основные понятия и простейшие опыты. – М.: Знание, 1987.
- Энциклопедический словарь юного химика. – М.: Педагогика, 1990.
- Энциклопедия для детей. Т. 17. Химия. – М.: Аванта+, 2001.
- <http://chemipedia.ru> – хімічна енциклопедія
- <http://alhimikov.net> – хімічна інформація
- <http://ximicat.com> – хімічний каталог
- <http://www.chemistry.org.ua> – довідкова інформація з хімії



*Але любить чи не любити те,
Що вколо нас і в нас самих росте,
Що творить нас, що творимо самі ми, –
Лише сліпець, що замість крові в нім
Тече чорнило струменем неживим,
Тривожиться питаннями такими.*

М. Рильський



БІОЛОГО-ЕКОЛОГІЧНИЙ МОДУЛЬ

*Проблема природи, життя – це проблема
первинної організації матерії в живих об'єктах*
академік В.О. Енгельгардт

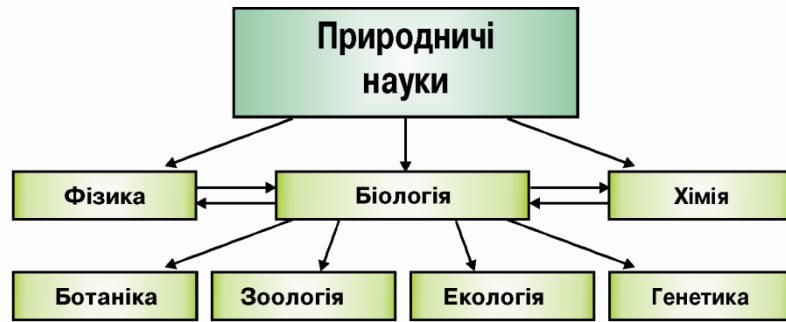
ТЕМА 1. ЦІЛІСНІСТЬ БІОЛОГО-ЕКОЛОГІЧНИХ ЗНАНЬ В КУРСІ ПРИРОДОЗНАВСТВА

§ 1. СИСТЕМА БІОЛОГІЧНИХ НАУК ТА ЇХ ЗВ'ЯЗОК З ІНШИМИ НАУКАМИ

Біологія як наука. Біологія (від грец. *bios* – життя, *logos* – наука, вчення) – система наук, що вивчає життя на всіх рівнях організації живого, про живу природу, про істот, що заселяють Землю чи вже вимерли, їхні функції, розвиток особин і родів, спадковість, мінливість, взаємини, систематику, поширення на Землі; про зв'язки істот та їхні зв'язки з неживою природою. Як самостійна природнича наука біологія зародилася ще до нашої ери, а її назву запропонували у 1802 р. незалежно один від одного два вчені: французький – Жан-Батіст Ламарк та німецький – Готфрід Рейнхольд Тревіранус.

Система біологічних наук. Історичний шлях розвитку біології призвів до формування системи біологічних наук (мал.1). За досліджуваними об'єктами серед них можна виділити, наприклад, зоологію, ботаніку, мікологію, вірусологію; за досліджуваними властивостями та функціями – фізіологію, ембріологію, генетику, етіологію; за рівнями організації живого – молекулярну біологію, цитологію, гістологію, анатомію, екологію.

Кожну з груп організмів вивчає окрема біологічна наука. Наука про рослини дістала назву ботаніка, наука про тварин – зоологія, а наука про гриби – мікологія. Будову організмів вивчають науки морфологія та анатомія, процеси життєдіяльності – фізіологія. Взаємодію живих організмів, їхніх угруповань між собою, а також з умовами неживої природи вивчає наука екологія.



Мал. 1. Зв'язок біології з науками про природу

Багато біологічних наук є комплексними, інтегрованими, наприклад біохімія, біофізика, радіобіологія, біогеографія, біологія індивідуального розвитку.

Зв'язок біології з іншими науками. Біологія тісно пов'язана з іншими природничими дисциплінами. Коротко розглянемо основні з них та їх зв'язки.

Фізика. В стародавні часи фізика вивчала всю сукупність знань про природу, тоді ще не було поділу на окремі науки. Слово «фізика» походить від грецького слова «фюзіс», що означає природа.

Фізика вивчає найбільш прості форми руху матерії: механічний, тепловий, електромагнітний, внутріатомний та внутріядерний рухи. Ці форми руху властиві не тільки фізичним явищам, а й хімічним, біологічним, географічним, астрономічним. Адже при протіканні хімічних реакцій частинки речовини рухаються, під час хімічних реакцій виділяється чи поглинається теплота; живі організми переміщуються, процеси життєдіяльності супроводяться виділенням теплоти, зелені рослини споживають енергію світла і т.д.

В біології, хімії, географії, астрономії використовуються закони, що вивчаються фізикою. Фізика вивчає найбільш загальні закони, які пояснюють протікання процесів у природі, лежать в основі систематизації знань про явища неживої і живої природи. До таких законів перш за все відносять закони збереження енергії, маси речовини, електричного заряду, закони про напрямок протікання самочинних процесів.

Зв'язок біології та екології з **фізикою** полягає у тому, що закономірності біологічних процесів перетворення речовин в харчових ланцюгах у водному та повітряному середовищах підкоряються фундаментальним законам фізики: закону збереження маси та другому закону термодинаміки.

Хімія – одна з найважливіших галузей природознавства, вона вивчає речовини та їх перетворення. Речовини хімія розглядає як найрізноманітніші

сполучення атомів хімічних елементів. Елементи та їх сполуки є основними об'єктами дослідження хімії.

Зв'язок біології та екології з хімією полягає у тому, що в основі життя лежить обмін речовин між організмами та середовищем, що міститься в асиміляції, метаболізмі та дисиміляції речовини. Все це – хімічні процеси. В наш час сформувалися специфічні області науки про Землю: хімія води, хімія ґрунту, хімія атмосфери, сформувався новий напрямок – хімія навколишнього середовища.

Отже, зв'язок хімії з біологією та екологією має велике теоретичне і практичне значення. Для розвитку теорії, наприклад, важливим стало з'ясування еволюційної ролі хімічних сполук та взаємодій, які є одними з найдавніших на планеті, більше того – своєрідним реліктом ще хімічної еволюції. Пізнання цих особливостей відкриває можливість розуміння механізмів регулювання життєдіяльності нинішніх біосистем, зокрема в боротьбі зі шкідниками рослин, хворобами тварин і людини, – з іншого. Оскільки біоценотичні зв'язки ґрунтуються головним чином саме на хімічних взаємодіях, то коректне використання таких залежностей створює можливість оптимізації чи стабілізації екосистем та штучних ценозів – залежно від нагальної потреби.

У результаті виникають *екологічна біохімія* та *хімічна екологія тварин*. Які пильну увагу привертають проблемам вивчення біохімічних основ адаптації тварин і рослин до чинників довкілля, екологічних обставин біохімічної еволюції, з'ясування біохімічних критеріїв міжвидової диференціації та формотворення загалом, складних форм поведінки.

Географія. Слово «географія» означає описання землі (грецькою мовою «гео» означає земля, «графо» — описую). Але географія не тільки описує природу земної поверхні, населення, його господарську діяльність, а й розкриває закономірності зміни клімату на Землі, різноманітність рослинного і тваринного світу, розподілу вод і суходолу по поверхні Землі, закономірності руху повітряних мас та ін.

Існує тісний зв'язок географії з біологією та екологією. Досить зауважити, що фундаментальні поняття цих наук – «геосистема» та «екосистема» – позначають об'єкти, які часто взагалі не розрізняються. З наповненням географії екосистемним підходом ця наука стає на спільні з біологією та екологією методологічні засади. Тому синтез цих наук, який прогнозує багато фахівців, є цілком можливою і виправданою справою. Вже нині, до речі, в географії стали практично нормативними такі традиційно біолого-екологічні поняття, як «екологічна ніша», «навколишнє середовище», «чинники довкілля», «культурні екосистеми» та ін.

На стижах біології з різними науками виникають і успішно розвиваються нові напрямки: біокібернетика, біоніка, математична біологія, біоінформатика.

Сучасна біологія активно освоює й гуманітарну сферу, досліджуючи біологічні витоки таких явищ, як культура, мистецтво, влада, агресивність, альтруїзм, управління, лідерство, любов. Розвиваються такі науки, як етологія людини, соціобіологія, еволюційна психологія тощо.

Біологія визнана наукою ХХІ ст. Розшифрування генетичного коду, клонування живих організмів, створення біоінформаційних технологій, вивчення спадкових хвороб людини та інші – це ті актуальні для сьогодення питання, над якими працюють біологи сучасності.

Біологія – це комплекс наук, які вивчають життя в усіх його проявах. Біологія має тісні зв'язки як з іншими природничими науками, так і з гуманітарними. Унаслідок взаємодії з іншими науками виникли біохімія, біофізика, біогеографія, радіобіологія та багато інших. Біологія відіграє важливу роль у промисловості, сільському господарстві та медицині.

Перевірте себе: 1. Що таке біологія? 2. Хто і коли запропонував термін «біологія»? 3. Які основні біологічні науки ви знаєте? 4. Наведіть приклади взаємозв'язку біології з іншими науками.

Поміркуйте: 1. У чому полягає зв'язок біології з іншими природничими і гуманітарними науками? 2. Які загальні закономірності допоможуть вам систематизувати знання з біолого-екологічного модуля? 3. Прочитайте вірш Л. Українки, присвячений фантазії, скажіть, чи потрібна творча уява, розвинена фантазія науковцю-природодосліднику?

Фантазії! Ти – сило чарівна,
Що збудувала світ в порожньому просторі,
Вложила почуття в байдужий промінь зорі,
Що будиш мертвих з вічного їх сна.
Життя даєш холодній хвилі в морі!
Де ти, фантазії, там радощі й весна. (Л. Українка)

Подискутуйте:

1. Які досягнення і яких видатних вчених-біологів України є вагомими?

§2. ЕКОЛОГІЯ ЯК НАУКА ЇЇ ЗАВДАННЯ ТА МЕТОДИ

Екологія – наука, яка досліджує функціонування систем і структур надорганізменого рівня (екосистем або біогеоценозів) у їх взаємодії один з одним та сукупністю факторів навколишнього середовища. Екологія охоплює широке коло теоретичних і практичних питань: вивчення різних рівнів біологічної організації (від окремих організмів через популяції й угруповання до екосистем); принципи й закономірності їх структури, функціонування, розвитку, регуляторні й адаптивні механізми; досліджує сутність процесів обміну і перетворення речовин та енергії, здійснює пошук природних законів організації життя на нашій планеті. Термін «екологія» був запропонований видатним німецьким біологом Ернстом Геккелем у 1866 р. Буквально слово «екологія» означає науку про дім (від гр. *oikos* - житло, дім, місце існування). Перші екологічні дослідження були започатковані ще в далеку давнину, але як наука екологія почала розвиватися на початку ХХ століття. Особливо широковживаним це слово стало в 1960-х роках, коли заговорили про назрівання глобальної екологічної кризи.

Розширення предмета екології привело до появи в літературі ряду нових її визначень, зокрема, відомий американський еколог Ю. Одум дає таке трактування: «екологія – це міждисциплінарна галузь знання про будову і функціонування багаторівневих систем у природі й суспільстві в їх взаємозв'язку». Це досить широке визначення, але воно більше інших відповідає сьогоднішньому розумінню екології.

«Сучасна екологія – нова галузь знань, наука про виживання у навколишньому середовищі, фундаментальна основа для природоохоронного і середовище охоронного знання... Для неї характерний широкий, системний міжгалузевий погляд, вона із суто біологічної науки перетворилася на значний цикл знань, увібравши в себе розділи багатьох наук (М. Реймерс, 1992).

«Екологія – у недалекому минулому одна з біологічних наук – стала міждисциплінарною наукою, проблеми якої набули глобального характеру» (К. Ситник, 1997).

Предмет, об'єкт і завдання екології. Предметом екології є різноманітність і структура зв'язків між організмами, їхніми угрупованнями та середовищем існування, а також склад і закономірності функціонування угруповань організмів: популяцій, біогеоценозів, біосфери в цілому.

Об'єкти дослідження в екології – організми, тіла і речовини – матеріальні, а процеси з їх участю підкоряються законам фізики, хімії, біології та інших природничих наук.

Серед основних завдань екології варто назвати такі:

- встановлення закономірностей взаємозв'язків між організмами, їхніми угрупованнями та умовами довкілля;
- дослідження структури та функціонування угруповань організмів;
- розроблення методів визначення екологічного стану природних і штучних угруповань;
- спостереження за змінами в окремих екосистемах та біосфері в цілому, прогнозування їхніх наслідків;
- створення бази даних та розроблення рекомендацій для екологічно безпечного планування господарської і соціальної діяльності людини;
- застосування екологічних знань у справі охорони навколишнього середовища та раціонального використання природних ресурсів.

Методи дослідження екології. Оскільки екологія – це комплексна наука, вона використовує багатий арсенал різноманітних методів дослідження. Будь-яке екологічне дослідження розпочинається зі *спостережень*. Сучасні спостереження проводяться за допомогою різноманітних приладів і технічних засобів. Для реалізації інтегральних спостережень застосовують комплексні стаціонари, які розміщують у типових і особливих біотопах так, щоб вони давали найхарактернішу інформацію про екосистему. Глобальний фоновий моніторинг екосистем земної кулі проводиться за програмою «Людина і біосфера» з 1972 р. мережею біосферних заповідників і резерватів.

У зв'язку зі складністю екологічних систем і обмеженням безпосереднього втручання у природні процеси в екології застосовують методи *моделювання*. Моделювання екологічних об'єктів є обов'язковою передумовою прийняття виважених рішень. Наприклад, застосовують такі види моделей: словесні, графічні, математичні, геоінформаційні тощо. Важливими екологічними методами є методи *прогнозного моделювання змін і динаміки* як природних процесів, так і компонентів природи.

На завершальному етапі екологічних досліджень використовують *оптимізаційні* методи, які дають змогу знайти найкращі антропогенні навантаження на природу, оптимальну ландшафтно-екологічну організацію території тощо.

Екологічна культура як основна стратегія поведінки людини в біосфері. Формування екологічної свідомості в учнів – це передусім навчання екологічній культурі. **Екологічна культура** – складова частина світової культури, якій властиве глибоке і загальне усвідомлення важливості сучасних екологічних проблем у житті і майбутньому розвитку людства.

Людство повинне докласти максимальних зусиль для раціонального пізнання законів функціонування живої природи і свою поведінку проектувати

відповідно до них. Сьогодення вимагає формування адекватної стратегії поведінки людини в біосфері, яка полягає в гармонійному співіснуванні людини з природою. Регуляторами динамічної цілісності в системі «суспільство – біосфера» мають стати екологічна відповідальність, екологічна свідомість, екологічне мислення, екологічні знання. Усе це є складовими екологічної культури. Формування екологічної культури здійснюється шляхом екологічної освіти і виховання.

Принципи екологічної культури мають витримуватися на всіх рівнях життя людини – від індивідуального до суспільного. Ці принципи можна виразити в такій простій формі: повага до всього живого, повага до людини, повага до природи, тобто до біосфери та її компонентів. Більше того, настав час дотримання ще одного принципу – поваги до Космосу.

Не поважати людину аморально, і, відповідно, аморальною є неповага до всього живого, що забезпечує її життя. Не поважати свій рідний куточок землі, де народився і виріс, велич і красу природи може тільки той, хто втратив усе людське.

Природа не тільки створила нас і забезпечує матеріальні умови нашого життя. Вона здійснює також неоціненний естетичний, емоційний вплив на нас. І, можливо, саме цей вплив природи допоможе людині прийняти рішення про необхідність загальних для всього людства екологічної моралі, екологічної і біосферної культури як етичної норми суспільства в цілому.

Тому лише стратегія поведінки людини на базі положень філософської концепції біоцентризму, згідно з якою не один і не кілька видів, а все живе на Землі має право на існування, дасть змогу сформувати основи не руйнуючої поведінки людини в біосфері, адекватної вимогам сьогодення.

Лише за такого підходу ми зможемо усвідомити себе невід'ємною часткою природи – потужного і надзвичайно складного злагодженого механізму. Адже згідно з еволюційним рядом систем, якщо складова функціонує не за загальними законами відповідної системи, то вмикаються механізми усунення такої складової.

Носієм екологічної культури має бути кожна людина, формування цієї культури треба починати ще з колиски.

Ніякі досягнення науки і техніки не можна назвати високоморальними, якщо вони завдають шкоду мільйонам людей і всій біосфері. Тому нам конче необхідна екологічна культура та мораль, яка повинна визначати і об'єднувати в одне ціле освіту, творчість, науку і практику.

Якщо ми не змінимося духовно, не станемо на шлях сповідування філософії взаємозв'язку в природі всього живого і неживого, не відмовимося від споживацького ставлення до природи, не припинимо наругу над нею, то ні про яку гармонію, співжиття і розвиток людини і природи мова не йтиме. Екологічна культура є однією з основних засад безпечного майбутнього нашої унікальної планети, прогресу людства і щастя кожної людини.

Екологія – наука, яка досліджує функціонування систем і структур надорганізованого рівня (екосистем або біогеоценозів) у їх взаємодії один з одним та сукупністю факторів навколишнього середовища.

Предметом екології є різноманітність і структура зв'язків між організмами, їхніми угрупованнями та середовищем існування, а також склад і закономірності функціонування угруповань організмів: популяцій, біогеоценозів, біосфери в цілому.

Об'єктом сучасної екології є екосистеми, геосистеми, соціоекосистеми, технооекосистеми тощо.

Під час досліджень екологія послуговується багатим методичним апаратом, в якому розрізняють загальнонаукові і спеціальні методи дослідження.

Складовими екологічної культури є: екологічна відповідальність, екологічна свідомість, екологічне мислення, екологічні знання.

Перевірте себе: 1. Що таке екологія і які визначення екології існують? 2. Які теоретичні і практичні питання охоплює екологія? 3. Який вчений і в якому році запропонував термін екологія? 4. Що є предметом та об'єктом екології? 5. Які основні завдання екології? 6. Які існують методи дослідження екології? 7. Які складові включає екологічна культура?

Поміркуйте: 1. Коли треба починати формувати екологічну культуру? Відповідь обґрунтуйте. 2. Яка на сьогодні стратегія поведінки людини в біосфері повинна переважати?

Подискутуйте: 1. Яким чином формується екологічна культура?

§3. ОСНОВИ ЦІЛІСНОСТІ ЗМІСТУ БІОЛОГО-ЕКОЛОГІЧНОГО МОДУЛЯ

Ознакою «цілого» або «цілісності» є підлягання всіх її елементів, що складають цілісність, загальним, спільним для них цих закономірностям природи. До таких закономірностей, як вам відомо із загально-природничого модуля, відносяться закономірності природи: **закономірність збереження, спрямованості самочинних процесів до рівноважного стану, періодичності процесів у природі.** До цих закономірностей ми приєднаємо екологічні закономірності, об'єднавши в три групи відомі вам екологічні закони.

Наголосимо, що всі без виключення закони екології важливі, вони детально описані в сучасних екологічних і біологічних довідниках. Наведемо ті з них, які ми об'єднуємо в загальні закономірності, необхідні для встановлення цілісності змісту біолого-екологічного модуля.

Почнемо із розгляду **закономірності збереження в екології**, до складу якої включимо наступні екологічні закони: *закон мінімуму (Ю. Лібиха)*, *закон толерантності (з-н Шелфорда)*, *закон внутрішньої динамічної рівноваги*, *закон константності (сформульований В.І. Вернадським)*, *закон кореляції (сформульований Ж.Кюв'є)*,

Історично першим для екології є закон, що встановлює залежність живих систем від факторів, котрі обмежують їхній розвиток (так званих лімітуючих факторів).

Закон мінімуму. В 1840 році Ю. Лібих встановив, що врожай зерна часто лімітується не тими поживними речовинами, котрі вимагаються у великих кількостях, а тими, котрих потрібно небагато, однак їх мало в ґрунті. Він сформулював закон, за яким «речовиною, що є в мінімумі, регулюється врожай і визначається величина та стійкість його в часі». Його більш точне формулювання: «При стаціонарному стані лімітуючою буде та речовина, доступна кількість котрої найбільш близька до необхідного мінімуму». Наступний закон узагальнює закон мінімуму.

Закон толерантності (закон Шелфорда): відсутність або неможливість розвитку екосистеми визначається не лише нестачею, але й надлишком будь-якого з факторів (тепло, світло, вода тощо). Цей закон може бути виражений іншими словами: лімітуючим фактором процвітання організму може бути як мінімум, так і максимум екологічного впливу, діапазон між якими визначає ступінь витривалості (толерантності) організму до даного фактора.

Згідно з цим законом будь-який надлишок речовини чи енергії в екосистемі стає її ворогом, забруднювачем. Надто багато хорошого – теж погано. Діапазон між двома величинами складає межі толерантності, в котрих організм нормально функціонує і реагує на вплив середовища.

Закон внутрішньої динамічної рівноваги: речовина, енергія, інформація та динамічні якості окремих природних систем та їхні ієрархії дуже тісно пов'язані між собою, тому зміна одного з показників неминуче призводить до функціонально-структурних змін інших, але при цьому зберігаються загальні якості системи — речовинно-енергетичні, інформаційні та динамічні.

Закон константності (сформульований В.І. Вернадським): кількість живої речовини біосфери, утвореної за певний геологічний час, є величиною постійною.

Цей закон тісно пов'язаний із законом внутрішньої динамічної рівноваги. За законом константності будь-яка зміна кількості живої речовини в одному з регіонів біосфери неминуче призводить до такої ж за обсягом зміни речовини в іншому регіоні, тільки зі зворотним знаком. Наслідком цього закону є правило обов'язкового заповнення екологічних ніш.

Закон кореляції (сформульований Ж. Кюв'є): в організмі як цілісній системі всі його частини відповідають одна одній як за будовою, так і за функціями. Зміна однієї частини неминуче викликає зміни в інших.

Наступною розглянемо **закономірність періодичності в екології**, до складу якої включимо такі екологічні закони: *закон конкурентного виключення, закон біогенної міграції атомів (Вернадського),*

Закон конкурентного виключення формулюється таким чином: два види, що займають одну екологічну нішу, не можуть співіснувати в одному місці нескінченно довго. Те, який з видів перемагає, залежить від зовнішніх умов. За цих умов перемогти може кожен. Важливою для перемоги обставиною є швидкість зростання популяції. Нездатність виду до біотичної конкуренції призводить до його витіснення та необхідності пристосування до більш складних умов та факторів.

Закон біогенної міграції атомів (закон В.І. Вернадського): міграція хімічних елементів на земній поверхні та в біосфері в цілому здійснюється під переважаючим впливом живої речовини, організмів.

До закономірності спрямованості самочинних процесів до рівноважного стану включимо наступні екологічні закони: *закон історичної незворотності, закон генетичної різноманітності, закон односпрямованості потоку енергії, закон піраміди енергій, закон рівнозначності умов життя, закон розвитку довкілля тощо.*

Закон історичної незворотності: розвиток біосфери й людства як цілого не може відбуватися від пізніших фаз до початкових, загальний процес розвитку однонаправлений.

Закон генетичної різноманітності: все живе генетично різне й має тенденцію до збільшення біологічної різноманітності. Закон має важливе значення в природокористуванні, особливо в сфері біотехнології, коли не завжди можна передбачати результат нововведень під час вирощування нових мікрокультур

через виникаючі мутації або поширення дії нових біопрепаратів на ті види організмів, на які вони розраховувалися.

Закон односпрямованості потоку енергії: енергія, яку одержує екосистема і яка засвоюється продуцентами, розсіюється або разом з їхньою біомасою незворотно передається консументам першого, другого, третього та інших порядків, а потім, редуцентам, що супроводжується втратою певної кількості енергії на кожному трофічному рівні як наслідок процесів, що супроводжують дихання.

У зворотний потік (від редуцентів до продуцентів) потрапляє дуже мало початкової енергії (не більше 0,25 %), тому термін кругообіг енергії є досить умовним.

Закон піраміди енергій (сформульований Р. Ліндеманом): з одного трофічного рівня екологічної піраміди на інший переходить у середньому не більше 10 % енергії. Зворотний потік з більш високих на більш низькі рівні набагато слабший – не більше 0,5–0,25 %, і тому говорити про кругообіг енергії в біоценозі не доводиться.

За цим законом можна виконувати розрахунки земельних площ, лісових угідь з метою забезпечення населення продовольством та іншими ресурсами.

Закон рівнозначності умов життя: усі природні умови середовища, необхідні для життя, відіграють рівнозначні ролі.

Закон розвитку довкілля: будь-яка природна система розвивається лише за рахунок використання матеріально-енергетичних та інформаційних можливостей навколишнього середовища.

Абсолютно ізольований саморозвиток неможливий – це висновок із законів термодинаміки.

Відомі також **чотири закони екології** метафорично сформульовані, американським вченим Б. Коммонером:

- все пов'язане з усім;
- все мусить кудись діватися;
- природа знає краще;
- ніщо не дається даремно.

Перший закон Б. Коммонера, на думку М. Реймерса, близький за змістом до закону внутрішньої динамічної рівноваги, другий – до цього ж закону та закону розвитку природної системи за рахунок довкілля, третій – застерігає

людство від самовпевненості, четвертий – знову торкається проблем, котрі узагальнюють закон внутрішньої динамічної рівноваги, закони константності й розвитку природної системи. Згідно з четвертим законом Б. Коммонера ми повинні повертати природі те, що беремо від неї, інакше катастрофа неминуча. Таким чином, закони Б. Коммонера також пов'язані із закономірностями екології.

У 1991—1993 рр. відомий американський еколог Д. Чірас дійшов висновку, що природа існує вічно (з точки зору людини) і чинить опір деградації завдяки дії **чотирьох екологічних законів**:

1) рециклічності або повторного багаторазового використання найважливіших речовин;

2) постійного відновлення ресурсів;

3) консервативного споживання (коли живі істоти споживають лише те і у тій кількості, що їм необхідно, не більше і не менше);

4) популяційного контролю (природа не допускає "вибухового" росту популяцій, регулюючи кількісний склад того чи іншого виду шляхом створення відповідних умов для його існування та розмноження).

Найважливішим завданням екології Д. Чірас вважає вивчення структури та функцій екосистем, їх врівноваженості або невраїноваженості, тобто причин стабільності й розбалансування екосистем.

Пояснюючи, інтегруючи знання, вміння навички з біолого-екологічного модуля, необхідно опиратися на загальні закономірності природи, які включають і загальні закономірності екології: збереження, періодичності процесів, направленості самочинних процесів до рівноважного стану.

Перевірте себе: 1. Як визначається поняття «цілісність знань» з Біолого-екологічного модуля? 2. Які закономірності є спільними для елементів знань біолого-екологічного модуля? 3. Назвіть екологічні закономірності і вкажіть, які закони екології вони включають? 4. В чому єдність загальних закономірностей природи і загальних екологічних закономірностей?

Поміркуйте: 1. Чи можливо загальні екологічні закономірності використати для встановлення цілісності змісту фізико-астрономічного, хімічного модулів?

§4. ЕВОЛЮЦІЯ ПРИРОДНИЧО-НАУКОВОЇ КАРТИНИ СВІТУ

До зведення знань про природу в цілісність прагнули кращі розуми людства з давніх давен. До відкриття загальних закономірностей природи, екології,

кожен вчений по-своєму шукав першооснову всіх речей. Так, Фалес, який жив близько трьох тисяч років тому в Стародавній Греції, першоосновою всього вважав воду. Він помітив, що без води не живуть ні рослини, ні тварини, і прийшов до висновку, що все існуюче походить з води. Воду він вважав божественною і живою.

Його учень Анаксимен вважав, що першоосновою всього є повітря: без повітря не може бути життя, бо навіть вода перетворюється на пару, на «повітря». В повітрі утворюється дощ, що створює умови для рослин.

Геракліт, котрий теж жив у Стародавній Греції, першоосновою всього вважав вогонь. Він вчив: «Як золото обмінюється на все, так і з вогню все виникає і в вогонь перетворюється».

Емпедокл та інші стародавні мислителі вважали, що все на Землі виникає з чотирьох стихій — води, повітря, землі, вогню.

Ні спраги ти не знав, ні голоду не чув.

Ти все, чим мучився, від чотирьох здобув.

Та кожному повернеш ти дарунок,

І знову станеш тим, чим ти спочатку був.

Так висловив цю думку відомий математик, астроном і поет Омар Хайям (XII ст.).

Пошуки першооснов світу привели вчених до думки про існування атомів — неподільних, вічних частинок, з яких складаються всі тіла. «Тіла можуть утворюватись і руйнуватись, а атоми залишаються вічними». Так вчили давньогрецькі вчені Левкіп, Демокріт, Епікур, Лукрецій Кар. Ви вже знаєте, що атоми складні і здатні руйнуватись. Немає вічних цеглинок світобудови — є закони, за якими все виникає, існує й руйнується в цьому світі. Для вас вони і є тим сущим, тією першоосновою, яка дає можливість створити картину світу природи.

Перші закони природи, які відкрили вчені, були законами механіки. За їх допомогою почали пояснювати всі явища природи — фізичні, хімічні, біологічні. Бо інших законів вчені не знали. Перша природничо-наукова картина світу була механістичною. Фізичні, хімічні, біологічні, географічні, навіть психічні явища пояснювались на основі уявлень про переміщення частинок речовини. Чи відповідала така картина світу тому, що насправді було в світі? Ні, бо складні явища природи, різноманітні процеси в ній не можна звести тільки до

переміщення частинок, з яких складаються тіла. Але в XVII—XVIII століттях таким було уявлення про світ, воно відповідало тому рівневі розвитку науки.

З відкриттям законів фізики, біології, хімії картина світу змінилась. Згідно механістичної картини світу він уявлявся величезним механізмом, у якому кожному об'єкту (планеті чи людині) відповідає повністю накреслений шлях, і змінити його неможливо. Випадки в цьому світі не «дозволялись». Таке уявлення про світ називалось механістичним.

Згідно з сучасними уявленнями у світі поряд із закономірними існують випадкові події, які також підпорядковані законам. Вони називаються статистичними законами, «правлять» великою кількістю об'єктів, що підвладні випадковим подіям. Наприклад, газові закони – статистичні закони, бо вони пояснюють стан величезної кількості молекул, що хаотично рухаються. Статистичні закони вивчає фізика, хімія, біологія. Ви також з ними мали справу, коли пояснювали напрямок самочинних процесів.

Розвиток наукової картини світу – її основної складової – природничо-наукової картини світу доводить інтерес людства до пошуку цілісності знань про природу.

Поміркуйте: 1. Чому вчені шукали першооснову пояснення всіх явищ навколишнього світу? 2. Наведіть приклади першооснови всіх речей в картинах світу вчених Стародавньої Греції. 3. Які закони лежали в основі механістичної картини світу? 4. Чи можемо ми бути впевнені, що сучасна природничо-наукова картина світу залишиться такою назавжди? Що може змінитися в ній?

Подискутуйте: 1. Мабуть, вам відомий вираз «гороскоп». Що він означає? Яку картину світу він відображає?

§5. ОБРАЗ ПРИРОДИ

Чи може одна людина вмістити в своїй свідомості повну природничо-наукову картину світу, яка створена людством? Це б означало, що вона знає зміст всіх наук про природу. Але їх навіть перелічити важко, бо кожна з названих вище наук — фізика, хімія, біологія, географія, астрономія має велику кількість галузей, як ви вже знаєте з попередніх параграфів.

Людина в своїй діяльності створює свій власний **образ знань про природу** – особистісно значиму систему природничо-наукових знань. В основі її створення, як і в основі природничо-наукової картини світу, лежать загальні закономірності

природи та екології — ті, які мають найбільшу пояснювальну здатність. Ви вже знаєте, що існують закономірності збереження, спрямованості самочинних процесів до рівноважного стану та їх періодичності у природі. Чому обрані саме ці закономірності?

Вони пояснюють вічність світу, його нестворюваність і незнищуваність, напрямок розвитку систем, які в ньому існують, моменти повторюваності в їх існуванні. Ці закономірності складають скелет наукового знання.

Незв'язані, несистематизовані знання не є осмисленими, науковими. Заучування роздріблених знань протиприродне.

Пара конденсується, рідина кристалізується, атоми об'єднуються в молекули... Процес самоорганізації матерії має напрямок до ускладнення систем, їх стабільності. А ваша свідомість хіба може суперечити цьому напрямку? Вона теж прагне системи знань, чіткої організації їх. У кожного з вас це прагнення залежить від ваших інтересів, захоплень, уподобань. Наприклад, хтось із учнів захоплюється виведенням нових сортів рослин чи порід тварин, генною інженерією. Це буде відображено у вашому образі природи.

Завдяки знанню законів спадковості та мінливості можна створювати високопродуктивні сорти культурних рослин і породи свійських тварин. Біологічні знання допомагають у боротьбі зі шкідниками та хворобами культурних рослин, паразитами тварин. Досягнення сучасної біології набули практичного застосування у промисловому біологічному синтезі амінокислот, кормових білків, ферментів, вітамінів, стимуляторів росту й засобів захисту рослин, інших необхідних речовин.

За допомогою методів генної інженерії біологи створили організми з новими комбінаціями спадкових ознак і властивостей, наприклад рослини з підвищеною стійкістю до захворювань, засолення ґрунтів, здатністю до фіксації атмосферного азоту тощо.

Генна інженерія лежить в основі розробки принципів біотехнології, пов'язаної з виробництвом біологічно активних речовин — це, наприклад, інсулін, антибіотики, інтерферон, нові вакцини для профілактики інфекційних захворювань людини та тварин.

Теоретичні досягнення біології широко застосовуються в медицині. Наприклад, генетичні дослідження дозволяють розробляти методи ранньої діагностики, лікування та профілактики багатьох спадкових хвороб людини.

Розв'язання таких важливих проблем сучасності, як охорона навколишнього середовища, раціональне використання природних ресурсів і підвищення

продуктивності рослинного світу, є можливим лише на основі біологічних досліджень.

Визначні відкриття, зроблені в різних галузях біології, висунули її на передній план природознавства, суттєво вплинули на побудову сучасної наукової картини світу.

Образи природи (особистісно значимі системи знань) тих учнів, які зацікавилися біологією, будуть відрізнятися від образів природи «фізиків», «хіміків», «ліриків» обсягом біологічних знань. Нижче наведено вірш учениці літературного профілю, яким вона пояснила свій «образ природи». у біологів, екологів це можуть бути улюблені висловлювання вчених або власні вірші.

Образ природи – особистісно значима система знань про природу, в основі якої лежать загальні закономірності природи, загальні закономірності екології.

Поміркуйте: 1. Як пояснити вираз «образ природи»? 2. Які закономірності є основою образу природи? Чому саме їх ми вибрали? Чи можуть бути інші закономірності в основі системи знань про природу? 3. Для чого людині образ природи? Чи може його замінити сукупність знань? 4. Що таке «образ природи»? Чи однаковий він у всіх учнів вашого класу? Чим відрізняються «образи природи» і чим вони схожі? 6. Як можна схематично зобразити образ природи? 7. Прочитайте вірш учениці 11 класу Богдани Винокур. Як він характеризує автора? В чому ви згодні чи не згодні з автором?

Природа все завчасно зрахувала,
Вона вже знала, що й кому потрібно...
І кожному своє подарувала –
Бери лишень і користуйся гідно!
Все таке різне, й водночас єдине.
Все неповторне, але не одне...
Навіщо ж бо природа та людина,
Що шансу зруйнувати не лише?
Гармонія – синонім до природи,
А рівновага – до її творинь...
Ми на Землі – не перші із народів,
Тож нумо не зганьбімо поколінь!

Винокур Богдана, учениця Кременчуцької ЗОШ №5 (2017 рік)

§6. РОЛЬ БІОЛОГІЇ У ФОРМУВАННІ ПРИРОДНИЧО-НАУКОВОЇ КАРТИНИ СВІТУ

Спочатку слід з'ясувати, що ж таке «світ», або «мир». «Мир» – протилежність «війні» – хаосу. «Мир» – це порядок, світопорядок. Як же встановлюється порядок? Якби ви спитали про це у людей, котрі не збираються малювати картину світу, якою була б найбільш імовірна відповідь? «Порядок» там, де панують закони. Це в світі людей. А в світі природи? На думку вчених, «мир» там також встановлюється на основі законів – об'єктивних, суттєвих, незалежних від людини зв'язків.

Отже, щоб встановити картину світу природи («миру»), слід виявити найбільш загальні, спільні для всіх відомих вам явищ природи закони і спробувати «підпорядкувати» знання про явища законам. Що означає «підпорядкувати»? Поясніть всі явища за допомогою цих найбільш загальних, фундаментальних законів природи, і тоді у вас буде єдина система знань про навколишній світ. Її і можете назвати картиною світу. А оскільки встановлювалась вона за допомогою законів наук про природу, то називають її природничо-науковою картиною світу.

Ви скажете: а де ж тут картина? Картиною цю систему знань називають умовно. Тут немає величних пейзажів – гір чи простору степів або моря. «Картину» в науці записують словами, графіками, формулами. Але така картина не менш прекрасна, ніж та, яку відкривають перед нашими очима земля і небо.

Як же «намалювати» природничо-наукову картину світу? Ви її «малювали» протягом цього і попередніх років. Адже всі явища природи – фізичні, хімічні, біологічні, географічні – ви намагались пояснювати на основі специфічних законів для тих чи інших систем природи і разом з тим на основі найбільш загальних закономірностей природи та екологічних закономірностей.

Оце зведення всіх явищ природи до загальних законів наук про природу і було «малюванням» природничо-наукової картини світу.

Віруючі люди за основу системи уявлень про світ беруть релігійні положення. Вони створюють релігійну картину світу. А скільки разів кожен з вас малював свої власні картини світу?

Отже, картини світу можуть бути різними. Вони залежать не від світу, а від тих, хто їх створює, від того, що вибирається за основу їх побудови.

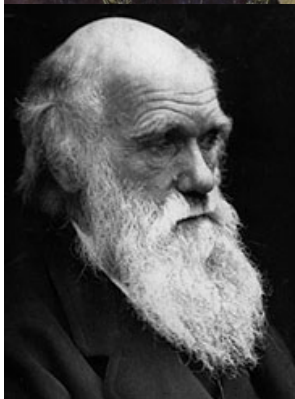
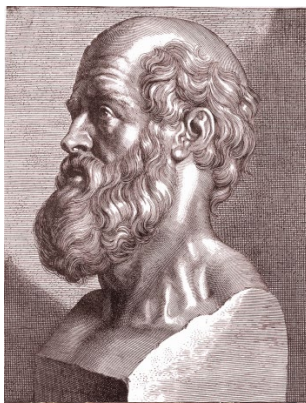
Природничо-наукова картина світу – це система знань про природу, яка створюється на основі і за допомогою найбільш загальних закономірностей природи та екологічних закономірностей.

Основні поняття науково-природничої картини світу – матерія і рух.

Розвиток біології як науки. Розвиток біології бере початок з сивої давнини і тісно пов'язаний з людською діяльністю. Спочатку люди пізнавали рослинне і тваринне різноманіття з метою його використання для харчування, лікування, виготовлення одягу тощо. Пізніше людська діяльність була спрямована на глибше пізнання, а відтак і вивчення всього живого. З цього моменту настає етап становлення біології як науки.

Першим природодослідником, хто по-справжньому займався вивченням особливостей тварин, будови їхнього тіла, був Алкмеон, який жив у VI в. до н.е. Він описав очний нерв і спостерігав за розвитком курячого ембріона. Мабуть, саме Алкмеона слід вважати основоположником анатомії (вивчення будови живих організмів) і ембріології (вивчення розвитку організмів).

Проте найвідомішим ім'ям у стародавні часи було ім'я Гіппократа (*мал. 1*) (близько 460—377 рр. до н.е.). Великою заслугою цього філософа перед біологією було те, що він вперше довів, що в здоровому тілі всі органи працюють узгоджено і гармонійно, чого не можна сказати про хворий організм. Йому належать перші відомості про будову тіла тварин і людини, опис кісток, м'язів, сухожиль, головного і спинного мозку. Гіппократ учив: "Необхідно, щоб кожен лікар розумів природу хвороби". Вчення Гіппократа збереглися і після його смерті. Він є філософом раціоналізму в біології.



*Мал.2. – Гіппократ, 2 –
Аристотель, 3 – Жан
Батіст Ламарк
4 – Чарльз Дарвін*

Антична біологія (300-
400 років до н.е.) за часів
Аристотеля (мал. 2) (384—
322 рр. до н.е.) мала всі

ознаки науки: це була усвідомлена діяльність природодослідників, вчення були раціоналістичні, явища пояснювалися без посилання на надприродні сили.

Вивчення живих організмів після Аристотеля продовжив Теофраст (372-287 рр. до н. е.), якого називають "батьком ботаніки".

За часів Середньовіччя, коли утвердилася реакційна ідеологія, наука переживала занепад. Стверджувалося, що в природознавстві всі проблеми вже вирішені ученими стародавнього часу, тому у вивченні живої природи немає необхідності.

Важливим проривом у розвитку науки про живу природу була **епоха Відродження (XIV-XVI ст.)**. З цим періодом пов'язано зародження нового суспільного класу – буржуазії. Виробничі сили, що розвивалися, вимагали конкретних знань з різних наук. Це призвело до появи цілого ряду наук про природу. У XV-XVIII ст. виникають і інтенсивно розвиваються такі біологічні науки як ботаніка, зоологія, анатомія, фізіологія. Характерною особливістю розвитку біології було **ізолюване вивчення об'єктів природи**, що породжувало уявлення про незмінність природи, зокрема незмінність видів живих організмів.

Цей період в історії розвитку біології пізніше Ф. Енгельс назве метафізичним. У боротьбі з ідеалістичними уявленнями про походження живої природи велику роль відіграли французькі матеріалісти XVIII в. – Ж. Ламетрі (1709-1751 рр.), Д. Дідро (1713-1784 рр.) та інші.

Початок природній систематизації поклав у XVII-XVIII століттях шведський натураліст Карл Лінней (1707-1778). Хоча Лінней повністю поділяв метафізичні уявлення про природу, вбачаючи у ній одвічну доцільність, яка свідчить про "мудрість творця".

У 1802 році вперше вводиться термін "біологія". Його запропонували незалежно один від одного два вчені – французький Ж. Ламарк (мал. 3) і німецький Г. Тревіранус.

Період XIX - початок XX ст. ознаменувався в

історії розвитку біології як епоха розвитку еволюційного вчення. Особливого розвитку воно набуло у працях французького ученого Жана Батіста Ламарка (1744-1829). Він вперше виклав ідеї еволюції живої природи, за якими історичний розвиток відбувався від простого до складного, піддаючи критиці метафізичні погляди про сталість і незмінність живої природи. Ламарк вперше визначає рушійними силами еволюції прагнення живого до досконалості. Пізніше видатний англійський вчений Чарльз Дарвін (*мал. 4*) (1809-1882) розкриває рушійні сили еволюції і матеріалістично пояснює виникнення та відносний характер пристосованості видів живих організмів до умов життя. Учення Дарвіна в корені підривало метафізичні уявлення про сталість видів і створення їх єдиним творцем.

Велика роль у розвитку біологічної науки на основі дарвінізму належить вітчизняним та російським вченим, зокрема братам Ковалевським, К.А. Тімірязєву, І.І. Мечникову, І.П. Павлову, М.І. Вавилову, І.І. Шмальгаузену, С.С. Четверикову та багато іншим.

Досягненнями другої половини ХІХ та першої половини ХХ століття в розвитку біології були відкриття законів спадковості та мінливості (Г. Мендель, 1865), подвійного запліднення у покритонасінних рослин (С.Г. Навашин, 1898),

закону гомологічних рядів у спадковій мінливості та вчення про центри походження культурних рослин (М.І. Вавилов, 1935).

Розвиток біології у ХХ-ХХІ ст. дозволив відкрити молекулярні основи живого і наблизитися до вирішення важливої проблеми науки — розкриття сенсу життя. Протягом ХХ ст. зміцнено зв'язки біології з точними і гуманітарними науками; розпочато розвиток комплексних і міждисциплінарних біологічних досліджень; встановлено взаємозв'язок теоретичного пізнання із сферою практичної діяльності. Актуальними в біології постають проблеми, які витікають з практичних потреб, інтересів і запитів суспільства. За останні десятиріччя встановлено більш тісні взаємозв'язки біології з аграрною, медичною, екологічною й іншими видами практичної діяльності людини. Активного розвитку набирають генна інженерія, цито- та гістотехнології.

Видатні вчені-біологи України. *Пирогов Микола Іванович* (1810-1881) – видатний вчений-анатом, хірург, засновник воєнно-польової хірургії, педагог. Автор низки фундаментальних праць із топографічної анатомії людського тіла. Учасник Кримської війни 1853-1856 рр. Організатор медичної допомоги пораненим воїнам.

Кащенко Микола Феофанович (1855-1935) – учений-біолог, ембріолог, селекціонер, академік Української Академії Наук (з 1919 р.). Основні його дослідження пов'язані з вивченням проблем ембріології хребетних тварин і людини, гістології, мікроскопічної техніки, герпетології, акліматизації та селекції рослин.

Заболотний Данило Кирилович (1866-1929) – учений-мікробіолог, епідеміолог, академік Української Академії Наук (з 1922 р.), засновник української мікробіологічної школи. Він вивчав чуму, холеру та інші інфекційні захворювання. У 1893 р., вивчаючи холеру, Д. Заболотний у лабораторії професора В. Підвисоцького в Києві провів разом із І. Савченком на собі небезпечний експеримент. Здійснивши завчасно імунізацію, він випив живу холерну культуру, чим довів ефективність щеплення.

Богомолець Олександр Олександрович (1881-1946) – вчений-патофізіолог, громадський діяч, академік АН України (з 1929 р.), академік АН СРСР (з 1932 р.), академік АМН СРСР (з 1944 р.). Народився в Києві. Досліджував актуальні проблемами патологічної фізіології, ендокринології, обміну речовин, імунології, алергології, патології кровообігу, патогенезу шоку, механізму старіння організму.

Шмальгаузен Іван Іванович (1884-1963) – учений-зооморфолог, академік ВУАН (з 1922), академік АН СРСР (з 1935 р.). У 1930 - 1941 рр. – директор Інституту зоології та біології АН УРСР, в 1936 - 1948 рр. – директор Інституту еволюційної морфології АН СРСР. Досліджував питання еволюційної морфології,

експериментальної зоології, займався вивченням закономірностей росту, проблемою кореляції, філогенії тварин.



*Мал. 3. Видатні вчені-біологи України: 1 – М.І. Пирогов; 2 – М.Ф. Кащенко;
3 – Д.К. Заболотний; 4 – О.О. Богомолець; 5 – І.І. Шмальгаузен*

Перевірте себе: 1. Як ви розумієте вирази «світ», «мир»? 2. Назвіть зміст основ ПНКС (загальні закономірності природи та пов'язані з ними загальні закони екології). 3. Вкажіть зміст загальних закономірностей природи (зверніться до загальноприродничого модуля). 4. Для чого людині необхідно мати цілісні уявлення про навколишній світ? 5. Назвіть вчених, які внесли вклад у формування біології як науки. 6. Яке вивчення явищ природи характерне для XV– XVIII ст.? Чи можна назвати його вкладом в НКС. 7. Охарактеризуйте розвиток біології в XIX ст. Чи можете вказати прояв у ньому загальних закономірностей природи?

§7. МАЛЮЄМО «ОБРАЗ ПРИРОДИ» (урок у довкіллі)

1. Вийдіть у довкілля, зручно влаштуйтеся.
2. Спостерігайте явища природи, які відбуваються у вас над головою, в небі, а також навколо вас, на поверхні землі.
3. Виберіть з них ті, які можете пояснити на основі часткових і фундаментальних законів природи.
4. Спробуйте пояснити ці фізичні, хімічні, біологічні та географічні явища.
5. Зверніть увагу на дату проведення уроку. Які народні прикмети і звичаї пов'язані з цим днем? Спробуйте знання про них пояснити на основі фундаментальних закономірностей — ввести їх в єдину систему знань.
У вашій системі знань про спостережувані явища багато пустот — «лакун». Ви будете заповнювати їх в наступних класах.
6. Послухайте «картини світу», складені вашими товаришами. Як ви думаєте, чому вони різні?

Узагальніть вивчене з теми I
«Цілісність біолого-екологічних знань в курсі Природознавство»

Тематична самоперевірка знань

I рівень

Виберіть правильну, найбільш повну відповідь.

1. Як називається особистісно значима система знань про природу, в основі якої лежать загальні закономірності природи, загальні закономірності екології:

а) біологія; б) образ природи; в) екологія; г) наукова картина світу.

2. Який вчений вперше виклав ідеї еволюції живої природи:

а) Ч. Дарвін; б) К. Лінней; в) Ж. Ламарк; г) Тревіранус.

3. З якими природничими науками біологія та екологія мають тісні зв'язки:

а) хімія, фізика, географія; б) література, хімія, образотворче мистецтво; в) фізична культура, фізика, математика; г) хімія, астрономія, українська мова.

II рівень

Виберіть правильну відповідь.

1. У якому законі екології говориться про те, що відсутність або неможливість розвитку екосистеми визначається не лише нестачею, але й надлишком будь-якого з факторів (тепло, світло, вода тощо):

а) закон мінімуму; б) закон внутрішньої динамічної рівноваги; в) закон толерантності; г) закон константності.

2. Хто з вчених поклав початок природній систематизації :

а) Ж. Ламарк; б) Карл Лінней; в) Аристотель; г) І.П. Павлов.

3. Що є ознакою цілісності:

а) підлягання всіх її елементів законам екології; б) підлягання всіх її елементів закономірності збереження; в) підлягання всіх її елементів загальним закономірностям природи; г) підлягання всіх її елементів періодичності процесів у природі.

III рівень

1. Об'єктом екології є:

а) екосистеми; б) екологічні уміння; в) організми; г) дослідницькі навички; д) екологічні знання.

2. Оберіть складові екологічної культури:

а) екологічна свідомість; б) екологічна ситуація(навички); в) екологічні знання; г) екологічне мислення; д) екологічна відповідальність.

3. Б Коммонером були сформульовані 4 закони екології, які включають:

а) все пов'язане з усім; б) ніщо нікуди не дівається; в) природа знає краще; г) ніщо не дається даремно; д) все мусить кудись діватися.

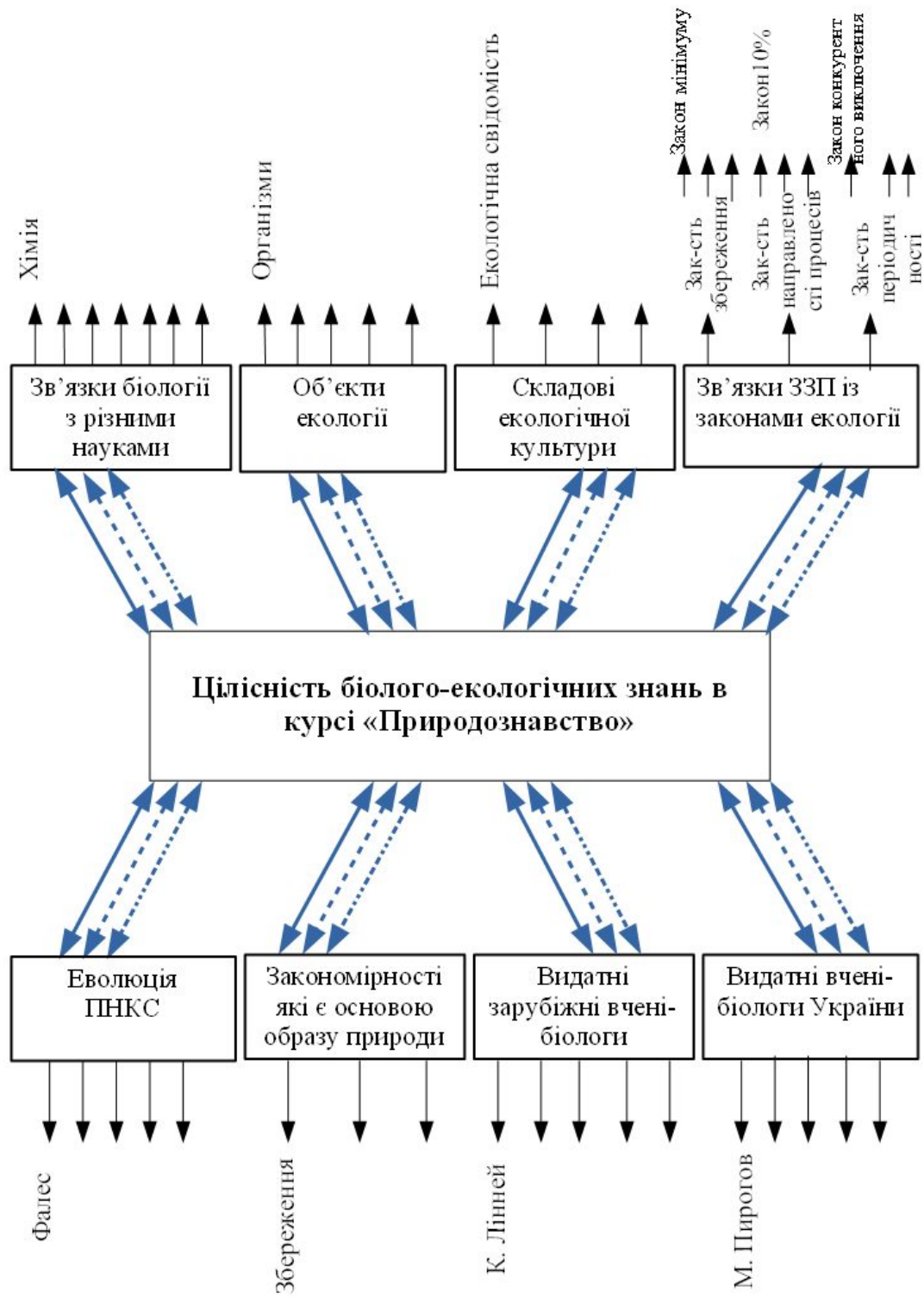
IV рівень

Дайте відповідь на запитання

1. Як біологія пов'язана з іншими науками (поясніть на основі ЗЗП)?

2. Що таке екологія та які основні її завдання?

3*. Для допитливих. Змоделюйте у зошиті структурно-логічну схему знань із розділу 1 «Цілісність біолого-екологічних знань в курсі Природознавство», використавши нижче подану. Поясніть зв'язки між елементами знань про живу природу на основі загальних закономірностей природи (збереження, періодичності, спрямованості процесів до рівноважного стану).



ТЕМА 2. КЛІТИНА, ЇЇ ОСОБЛИВОСТІ БУДОВИ ТА ФУНКЦІЇ

§ 8. РІВНІ ОРГАНІЗАЦІЇ ЖИВОЇ ПРИРОДИ

Рівні організації живої природи. Кожна жива істота має свою будову і спосіб існування. У ході еволюції системи живої природи упорядковувалися відповідно умовам довкілля, прагнучи до досконалості.

Виділяють такі основні рівні організації систем живої природи: молекулярний, клітинний, органно-тканинний, організмовий, популяційно-видовий, екосистемний або (біогеоценологічний) та біосферний (мал. 2). Вони тісно пов'язані і взаємодіють між собою. Рівень організації живої матерії відповідає її способу життєдіяльності.

На **молекулярному рівні** проходить межа між живою та неживою природою. На цьому рівні вже можна простежити важливі процеси життєдіяльності будь-якого організму: обмін речовин і перетворення енергії, збереження спадкової інформації, ріст, розвиток, травлення, дихання, подразливість тощо.



Мал. 4. Рівні організації живої природи

Молекулярний рівень живого вивчають такі науки, як *молекулярна біологія, біохімія, молекулярна генетика, вірусологія* тощо. Предметом дослідження цих наук є структурно-функціональні особливості молекул нуклеїнових кислот, білків, вуглеводів, ліпідів та інших біологічних молекул.

Біологічні системи на молекулярному рівні організації складаються з декількох молекул, що змінюють свої властивості у процесі інтеграції і лише в такій інтегрованій формі виконують певні функції в організмі. Так, ні гем, ні глобін не в змозі зв'язувати і транспортувати кисень від легенів до тканин. Гемоглобін як молекулярна біологічна система володіє цією властивістю. Багато білкових молекул проявляють ферментативну активність лише в комплексі з простими молекулами, коферментами.

Клітинний рівень організації живої природи. Особливо складною формою організації живого є клітина. Вона є самостійною одиницею життя, бо володіє всіма властивостями живого організму, як у одноклітинних організмів.

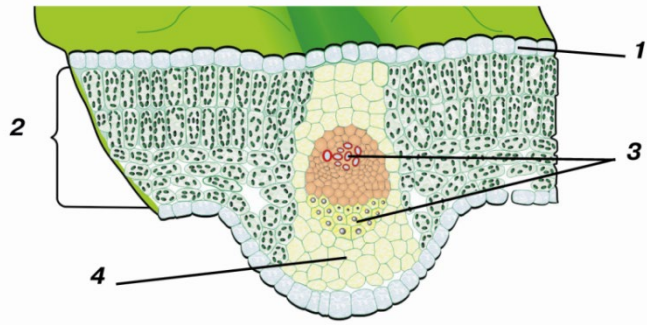
Клітина – структурна і функціональна одиниця більшості живих організмів. Лише віруси не мають клітинної будови, але живуть виключно у клітинах інших організмів. Усі процеси життєдіяльності: дихання, виділення, живлення, розмноження і передача спадкової інформації – відбуваються на клітинному рівні.

Певні порушення у функціонуванні багатоклітинного організму неодмінно пов'язані із структурно-функціональними змінами в їх клітинах. Клітинний рівень організації живого вивчають такі науки, як цитологія, цитофізіологія, цитогенетика.

Органно-тканинний рівень властивий багатоклітинним організмам, клітини яких диференційовані на виконання певних функцій. Вони об'єднані в тканини і органи і набувають здатності до певної активності та спеціалізації. Розрізняють кілька типів тканин, що мають відмінності у будові та виконують різні функції – **тканинний рівень** (мал. 4,3)

Більшість систем живої природи мають органи – об'єднання тканин на виконання спільних функцій – **органний рівень**.

Так, листок як орган рослини включає покривну, провідну, фотосинтезуючу, механічну тканини, які в сукупності виконують цілий ряд функцій (мал. 5).



Мал. 5. Внутрішня будова листка: 1 – покривна тканина; 2 – фотосинтезуюча тканина; 3 – провідна тканина; 4 – механічна тканина

Еволюція організмів супроводжується диференціацією і спеціалізацією окремих його тканин, їх функціональною інтеграцією, формуванням систем органів (кровоносної, дихальної, нервової тощо). Функціонування цілісного організму неможливо при пошкодженні його органів (легенів, печінки, нирок, серця тощо) і систем органів.

Наука, яка вивчає життя на тканинно-органному рівні організації життя, називається гістологією.

Організмівий рівень (мал. 4,4). Тканини поєднуються в органи, системи органів і функціонують як єдине ціле – організм. Елементарною одиницею цього рівня є особина, що розглядається у розвитку від моменту зародження до кінця існування, як єдина жива система.

Наприклад, організм людини – цілісна система живої природи. Він певним чином відмежований від зовнішнього середовища, але постійно з ним взаємодіє. Науки, які вивчають будову, процеси життєдіяльності цілісного організму, називаються анатомією, фізіологією, морфологією.

Популяційно-видовий рівень. Усі живі організми належать до певних біологічних видів. **Вид** – сукупність особин, які мають спільні особливості будови та процесів життєдіяльності, екологічні вимоги до середовища мешкання, вільно схрещуються і здатні залишати плодючих нащадків. Особини одного виду об'єднуються в групи – **популяції**, які мешкають на певних частинах території поширення даного виду (мал. 4,5). Процеси, що відбуваються на цьому рівні пов'язані з розмноженням і первинними еволюційними перетвореннями організмів. Популяційно-видовий рівень вивчається популяційною генетикою, біогеографією, систематикою, таксономією, екологією. Даний рівень організації

характеризується високим біорізноманіття. Нині на Землі налічується майже 2,5 млн. видів бактерій, ціанобактерій, рослин, грибів, тварин.

Біогеоценотичний рівень організації живого ще складніший, його елементарною одиницею є **екосистеми – біогеоценози** – це сукупність організмів різних видів та різної складності організації з усіма чинниками конкретного середовища їхнього життя: компонентами атмосфери, гідросфери та літосфери (мал. 4,6). Сукупність живих організмів біогеоценозу становить **біоценоз**. Біогеоценози здатні до самовідтворення, для них характерні постійні потоки енергії між популяціями різних видів, а також постійний обмін речовиною між живою та неживою частинами біогеоценозів, тобто *колообіг речовин*. Цей рівень організації вивчає екологія, зокрема водні екосистеми – гідробіологія.

Біосферний – найвищий рівень біологічної організації. Характерний для цього рівня процес – колообіг речовин та енергії в біосфері, який забезпечує цілісність життя на Землі. **Біосфера** – оболонка земної кулі, яка заселена живими організмами і перебуває під їхнім впливом; це глобальна екосистема нашої планети (мал. 4,7). Біосфера займає частину земної кори, атмосфери і гідросфери, в яких мешкають живі організми всіх царств живої природи (рослини, тварини, гриби, віруси, бактерії). Біосферний рівень організації живої матерії характеризується глобальним коло обігом речовин і потоками енергії, які забезпечують функціонування біосфери. Цей рівень включає всі попередні рівні організації живої матерії. Надорганізміві рівні організації живої матерії – популяції, екосистеми та біосферу в цілому – вивчає *екологія*.

Збереження біорізноманіття живих систем на Землі – необхідна умова виживання людини та сталого розвитку цивілізації.

Виділяють такі основні рівні організації живої матерії: молекулярний, клітинний, органно-тканинний, організмівий, популяційно-видовий, біогеоценотичний, біосферний. Вони тісно пов'язані і взаємодоповнюють один одного.

Перевірте себе: 1. Які існують рівні організації біологічних систем? 2. Наведи приклади біосистем. 3. Поясни вислів: «Всі рівні організації життя в рамках цілісного організму взаємозв'язані і взаємозалежні».

Поміркуйте: 1. Навіщо вченим знадобилося виділяти серед систем живої природи рівні їх організації? 2. У чому ви вбачаєте єдність і принципову відмінність між системами живої та неживої природи? 3. Чому біологічні системи є «відкритими» по відношенню до довкілля? 4. Чим відрізняються рівні організації живої природи і що в них спільне? 5. Як об'єднати знання про рівні живої природи на основі загальних закономірностей природи, екології?

§ 9. ЕЛЕМЕНТНИЙ СКЛАД ЖИВИХ ОРГАНІЗМІВ.

КЛАСИФІКАЦІЯ ХІМІЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ЗА ЇХ КІЛЬКІСТЮ І ЗНАЧЕННЯМ В ОРГАНІЗМАХ

Елементний склад живих організмів. Відомо, що до складу клітини входять понад 70 хімічних елементів, але яких-небудь спеціальних елементів, характерних лише для живих організмів, не знайдено. Однак лише щодо 27 елементів достовірно відомо, що вони виконують певні біологічні функції.

Деякі живі організми можуть накопичувати певні хімічні елементи. Наприклад, у бурих водоростях багато Йоду, у молюсків та ракоподібних – Купруму, у сіркобактерій – Сульфуру, у хвоців – Силіцію і Хрому, у жовтецю – Літію, у болотній рясці – Радію, у хребетних тварин – Феруму тощо (мал.6).



Мал. 6. Живі організми здатні накопичувати окремі елементи: деякі водорості – Йод, ряска – Радій

Елементний склад живих організмів та об'єктів неживої природи різний (табл. 1). У земній корі в найбільшій кількості містяться чотири елементи:

Оксиген, Силіцій, Алюміній і Ферум. А в живих організмах у найбільшій кількості містяться такі елементи, як Гідроген, Оксиген, Карбон і Нітроген. Саме ці елементи становлять основу тих хімічних сполук, що виконують важливі біологічні функції.

Гідроген, Оксиген, Карбон і Нітроген називають органогенами, або **органогенними елементами**.

Таблиця 1

**Вміст деяких хімічних елементів у земній корі
й організмі людини (% від загальної кількості атомів)**

Земна кора		Організм людини	
Хімічний елемент	Вміст, %	Хімічний елемент	Вміст, %
O	47	H	63
Si	28	O	25,5
Al	7,9	C	9,5
Fe	4,5	N	1,4
Ca	3,5	Ca	0,31
Na	2,5	P	0,22
K	2,5	Cl	0,08
Mg	2,5	K	0,06

Таблиця 2

**Деякі хімічні елементи в складі живих організмів
та їхнє біологічне значення**

Елемент і його символ	Вміст від Маса клітини, %	Біологічне значення

Оксиген (O)	65–75	Входить до складу молекул води, багатьох неорганічних та органічних сполук; завдяки окисненню сполук вивільняється енергія, необхідна організму
Карбон (C)	15–18	Входить до складу молекул усіх органічних і багатьох неорганічних сполук; входить до складу зовнішнього (черепашки форамініфер, моллюсків, кутикула десятиногих раків тощо) та внутрішнього (хребетні тварини) скелетів; вуглекислий газ (CO ₂) фіксують організми в процесі фотосинтезу
Гідроген (H)	8–10	Входить до складу молекул води, інших неорганічних та органічних сполук
Нітроген (N)	1,5–3,0	Складова амінокислот, білків, нуклеїнових кислот, АТФ та деяких інших біомолекул; сполуки Нітрогену потрібні для росту рослин
Фосфор (P)	0,2–1,0	Входить до складу білків, нуклеїнових кислот, АТФ, деяких інших біомолекул; солі ортофосфатної кислоти – компонент скелетів різних тварин
Калій (K)	0,15–0,4	Один з основних позитивно заряджених йонів живих організмів; бере участь у забезпеченні транспорту сполук через клітинні мембрани, регуляції роботи серця ссавців, створенні електричного потенціалу на мембранах клітин
Сульфур (S)	0,15–0,2	Входить до складу білків (зокрема, кератину) і деяких інших біологічно значущих органічних речовин
Хлор (Cl)	0,05–0,1	Основний негативно заряджений йон живих організмів; входить до складу хлоридної кислоти – складової шлункового соку людини і багатьох тварин, плазми крові
Кальцій (Ca)	0,04–2,0	Входить до складу зубів, кісток і черепашок, в йонній формі бере участь у регуляції обміну речовин, скорочень скелетних м'язів, діяльності серця; необхідний для забезпечення зсідання крові у людини та інших ссавців
Магній (Mg)	0,02–0,03	Як небілкова частина входить до складу багатьох ферментів, молекули хлорофілу Елемент і його символ
Натрій (Na)	0,02–0,03	Один з провідних позаклітинних позитивно заряджених йонів; бере участь у забезпеченні транспорту сполук через клітинні мембрани; входить до складу плазми крові
Ферум (Fe)	0,01–0,015	Входить до складу деяких біомолекул: (дихального пігменту – гемоглобіну, білка м'язів – міоглобіну, складних ферментів тощо)
Цинк (Zn)	0,0003	Компонент деяких ферментів і гормонів
Купрум (Cu)	0,0002	Входить до складу деяких ферментів, дихального пігменту деяких безхребетних тварин – гемоціаніну
Йод (I)	0,0001	Входить до складу гормонів щитоподібної залози
Флуор (F)	0,0001	Входить до складу емалі зубів

Макроелементи, мікроелементи й ультрамікроелементи. Хімічні елементи, що входять до складу живих організмів і виконують біологічні функції, називають біогенними. За кількісним складом їх поділяють на три групи: макроелементи, мікроелементи та ультрамікроелементи. До організму людини хімічні елементи потрапляють з їжею (*мал. 7*).



Мал. 7. Продукти харчування

Макроелементи (вміст понад 0,01 %) становлять основну масу сухої речовини організму. Вони беруть участь в утворенні органічних сполук і неорганічних речовин у живих організмах. Це Оксиген, Гідроген, Карбон, Нітроген, Фосфор, Сульфур, Калій, Кальцій, Магній, Натрій, Хлор.

Мікроелементи – переважно йони важких металів, що входять до складу життєво важливих речовин, в організмах містяться в дуже незначних

кількостях: від 0,001 до 0,000001 %. Це, наприклад, Ферум, Бор, Кобальт, Купрум, Цинк, Йод, Бром, Ванадій.

Концентрація **ультрамікроелементів** у живому організмі не перевищує 0,000001 %, їхня фізіологічна роль в організмах рослин і тварин остаточно не визначена. До цієї групи належать Уран, Радій, Аурум, Аргентум, Берилій, Цезій, Селен і багато інших.

Нестача мікроелементів, як і макроелементів у рослин призводить до пожовтіння листя, появи плямистості на них, відмирання верхівок пагонів, квіток і зав'язі, провідних тканин, гниття (мал. 8); у людей викликає анемію, порушення травлення, захворювання серця тощо.



Мал. 8. Вигляд рослин при нестачі макро- та мікроелементів

Елементний склад живих організмів представлений хімічними елементами, які здатні утворювати хімічні сполуки. Хімічні елементи, що входять до складу живих організмів і виконують функції, називають біогенними.

У живих організмах у найбільшій кількості містяться чотири елементи: Гідроген, Оксиген, Карбон і Нітроген. Їх називають органогенами, або органогенними елементами. За кількісним складом їх поділяють на три групи: макро-, мікро- та ультрамікроелементи.

Перевірте себе: 1. Які групи хімічних елементів входять до складу живих організмів? 2. Які елементи називають органогенними? 3. За яким критерієм елементи поділяються на три групи: макроелементи, мікроелементи й ультрамікроелементи? 4. Назви мікроелементи та макроелементи в клітинах живих організмів? Яка їх роль в складі живих організмів? 5. Чи важлива кількість того чи іншого хімічного елемента для живих істот? 6. Як в елементному складі організмів проявляються загальні закономірності природи?

Поміркуйте: 1. Які хімічні елементи найважливіші для організму людини? 2. Чи можливе виникнення захворювань у людини через нестачу або надлишок в її організмі деяких хімічних елементів? Поясни свою думку.

Подискутуйте: 1. Чи пов'язані причини ендемічних та екологічних хвороб у людини з елементним складом повітря в їх місцевості.

§ 10. НЕОРГАНІЧНІ РЕЧОВИНИ В КЛІТИНІ

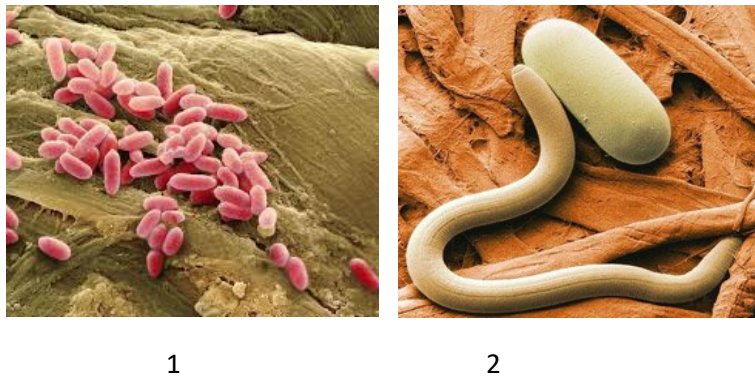
РОЛЬ НЕОРГАНІЧНИХ РЕЧОВИН У ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ ОРГАНІЗМІВ

Біологічна роль кисню. Не тільки вода, але й інші неорганічні речовини відіграють важливу роль у життєдіяльності клітин і цілого організму. Так, в енергетиці більшості живих істот важливу роль відіграє кисень. Він є окисником поживних речовин у процесі дихання тварин, рослин, грибів і багатьох бактерій, під час якого виділяється енергія, необхідна для життєдіяльності організмів (мал.9).



Мал. 9. Організми, які існують лише за наявності кисню: 1 – рослини; 2 – тварини;
3 – гриби; 4 – бактерії

Без кисню можуть існувати лише порівняно нечисленні види, що живуть у безкисневих умовах і поповнюють свої енергетичні потреби за рахунок бродіння, наприклад, деякі бактерії та гельмінти (мал. 10).



Мал. 10. Організми, які існують без кисню: 1 – деякі бактерії; 2 – гельмінти

Кисень може бути шкідливим для живого організму, якщо він є окисником ДНК та інших життєво важливих компонентів. Тому клітини мають систему захисту від його шкідливої дії.

Мінеральні солі в складі живих організмів. Більшість хімічних елементів, що входять до складу живих організмів, знаходяться в складі мінеральних солей.

Велика їх кількість міститься у черепашках молюсків, хітиновому панцирі ракоподібних, кістках хребетних тварин. У цитоплазмі клітин більшість солей перебувають у дисоційованому стані у вигляді катіонів і аніонів – K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Cl^- тощо.

Вміст у клітині катіонів має важливе значення для її функціонування. Від їх концентрації залежить надходження води у клітину, бо клітинна мембрана проникна для молекул води і непроникна для великих молекул та йонів. Якщо в навколишньому середовищі міститься менша кількість йонів, ніж в цитоплазмі клітини, то відбувається надходження води в клітину до вирівнювання концентрації солей (*завдяки осмосу*).

Особлива функція катіону NH_4^+ , який бере участь в підтриманні сталого рН у клітині. Він є також важливим компонентом синтезу білків, але його надлишок, викликаний порушенням обміну речовин, може призводити до значних функціональних розладів.

Важливу роль в організмах різних видів живих істот відіграють аніони ортофосфатної кислоти $H_2PO_4^-$ і HPO_4^{2-} , які зумовлюють буферність (від англ. баф – пом'якшувати поштовхи) клітини – здатність підтримувати внутрішньоклітинне середовище на рівні сталого значення рН 6,9, яке властиве вмісту більшої частини клітин людини. Тоді як аніони карбонатної кислоти підтримують стале рН на рівні 7,4 за межами клітини. Аніони взаємодіють з малорозчинними сполуками і таким чином позбавляють організм різних шлаків. Аніон Cl^- є компонентом шлункового соку тварин, а аніон I^- входить до складу гормону тироксину.

Мінеральні солі в тканинах і клітинах організму можуть бути у вільному і зв'язаному стані. Так, у кістках, хрящах і дентині зубів вони знаходяться у вигляді міцних нерозчинних відкладень – неорганічних солей вугільної, ортофосфатної та інших кислот. У окремих біологічних рідинах (крові, лімфі, молоці, травних соках) багато мінеральних солей містяться у вільному стані або у вигляді окремих йонів.

Значна частина мінеральних солей знаходиться у зв'язаному стані. У вигляді йонів вони входять до складу біоорганічних сполук. Так, йони феруму – складова частина гемоглобіну, каталази і трансферинів, йони фосфору входять до нуклеїнових кислот, багатьох білків, фосфатидів, фосфорних ефірів вуглеводів, АТФ, АДФ, сульфур є компонентом коензиму А, амінокислот тощо.

Мінеральні солі поділяються на розчинні і нерозчинні.

Нерозчинні солі входять до складу кісток (переважно фосфат кальцію, менше – фосфат магнію), ряду органічних речовин, черепашок молюсків і форамініфер, панцирів раків (переважно карбонат кальцію), внутрішньоклітинного скелету радіолярій (двооксид кремнію або сірчаноокислий стронцій) та губок.

Розчинні солі Калію, Натрію, Кальцію забезпечують найважливішу властивість живих клітин – подразливість. Слаболужна реакція внутрішньоклітинного середовища зумовлюється фосфат- і гідрогенофосфатіонами, міжклітинної рідини та крові – карбонат- і гідрогенокарбонат йонами.

Біологічне значення мінеральних солей. Незважаючи на незначний вміст, мінеральні речовини та йони є важливими складовими кожного організму. Саме ці сполуки, що містяться в клітинах і по за їх межами у вигляді йонів, відповідальні за найважливіші функції – подразливість і швидкість обміну речовин – входять до складу багатьох важливих речовин. Розчинені мінеральні солі беруть участь у регуляції цілого ряду фізико–хімічних процесів і, в першу чергу, явищ осмосу і осмотичного тиску. Натрієві і калієві солі фосфорної, вугільної і деяких органічних кислот утворюють з білками тканин і крові буферні системи, беручи участь у регуляції кислотно-лужної рівноваги і підтримці постійності рН у клітинах. Деякі солі сульфатної кислоти беруть участь в нейтралізації отруйних речовин, які виникають в організмі в результаті обміну речовин або поступають ззовні.

У тварин мінеральні речовини відповідальні за проведення нервового імпульсу і скорочення м'язових клітин, об'єднання клітин у тканини і міжклітинну взаємодію. Нерозчинні солі беруть участь в утворенні скелету, відповідальні за з'єднання клітин.

Потреба організму людини в мінеральних речовинах різна. Вона визначається багатьма чинниками. До них слід віднести вік, стать і фізіологічний стан, рівень продуктивності, склад харчового раціону, питної води і зону проживання. Для людини мінеральні солі можуть бути як корисними так і шкідливими.

Мінеральні солі виконують ряд життєво важливих функцій в організмі. Вони відповідальні за подразливість і швидкість обміну речовин – входять до

складу багатьох важливих речовин. Нерозчинні солі беруть участь в утворенні скелету, відповідальні за з'єднання клітин.

Перевірте себе: 1. Яку роль відіграє кисень у живих організмах? 2. Чи є організми, які можуть існувати в безкисневому середовищі? 3. До якої групи хімічних сполук належать мінеральні солі? 4. Де перебувають мінеральні солі в організмі рослин, тварин та людини? 5. Як рослини (тварини та людина) поповнюють свій організм новими порціями мінеральних речовин? 6. Яке біологічне значення солей у життєдіяльності організмів?

Поміркуйте: 1. Чи може кисень бути шкідливим для живого організму? Чому? 2. В яких харчових продуктах і які містяться мінеральні солі? Назвіть їх. 3. На які процеси життєдіяльності впливає вміст солей у клітині? 4. Де в клітині знаходяться мінеральні солі? В якому стані?

Подискутуйте: 1. Яким чином від концентрації солей залежить надходження води у клітину? 2. Чи можете ви пов'язати цей процес із закономірністю направленості процесів у природі?

Проекти: 1. Значення мінеральних солей у життєдіяльності організмів.

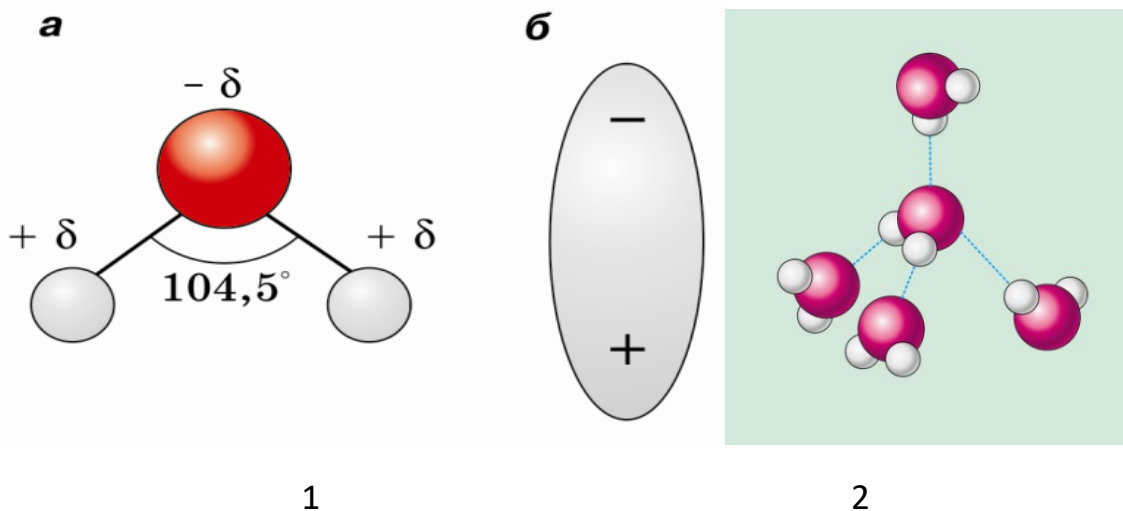
§11. ВОДА ТА ЇЇ ОСНОВНІ ФІЗИКО-ХІМІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ

Вода – основна складова частина живого організму. Вміст води в організмах становить 60-70%, а в деяких випадках – до 98%. Цитоплазма більшості клітин містить приблизно 80% води. Проте вміст води в різних клітинах може суттєво коліватися: від 10% у клітинах емалі зубів до 90% у клітинах зародка ссавців. Причому молоді клітини містять води більше, ніж старі. Так, в клітинах немовляти вода становить 86%, у клітинах старої людини лише 50%. Кров і лімфа людини містять понад 80%. Отже, вода утворює основну внутрішнього середовища організмів (цитоплазми одноклітинних тварин, крові, лімфи, порожнинної рідини багатоклітинних організмів, соків рослин тощо). У водному середовищі відбуваються процеси обміну речовин і перетворення енергії. Вода бере безпосередню участь у реакціях розщеплення органічних сполук.

Фізико-хімічні властивості води. Хімічно чиста вода – це прозора рідина без запаху і смаку. Молекула води містить 11,19% Гідрогену і 88,81% Оксигену. Молекулярна маса води складає 18,016, температура замерзання – 0°C, температура кипіння – 100°C, густина води при +4°C – 1 г/см³.

Вода – добрий розчинник багатьох органічних і мінеральних речовин. Фізико-хімічні властивості води пов'язані із структурою її молекули.

Молекула води – електричний диполь, який має чотири полюси зарядів; два позитивних, пов'язаних з атомами Гідрогену, і два негативних, створених електронними хмарами неспарених електронів, атома Оксигену (мал. 11,1).



Мал.11. Молекула води:1а – кулестрижнева модель;1б – умовне зображення диполя; 2 – водневі зв'язки між молекулами води

Для води характерний водневий зв'язок (мал.11,2), що визначає в значній мірі її властивості і значення. Водневі зв'язки виникають між частковим негативним зарядом атома кисню однієї молекули води і частковим позитивним зарядом атома водню сусідньої.

Завдяки **полярності** молекул і здатності утворювати водневі зв'язки вода є досконалим розчинником для полярних речовин, які називаються **гідрофільними**. До них належать іонні сполуки, у яких заряджені часточки (іони) дисоціюють (відокремлюються один від одного) у воді, коли речовина розчиняється (наприклад, солі). Таку саму здатність мають і деякі неіонні сполуки, в молекулі яких знаходяться заряджені (полярні) групи (у цукрах, амінокислотах, простих спиртах це ОН-групи). Неполярні речовини, наприклад ліпіди, практично не розчинні у воді, тобто вони **гідрофоби**.

Вода має найвищу питому **теплоємність** з усіх речовин. Це означає, що істотне збільшення теплової енергії викликає порівняно невелике підвищення її температури. Це зумовлене тим, що значна частина цієї енергії витрачається на розрив водневих зв'язків, що обмежують рухливість молекул води. Велика

теплоємність води захищає тканини рослин і тварин від швидкого і сильного підвищення температури, тоді як висока теплота пароутворення забезпечує надійну стабілізацію температури тіла організму. Цю властивість води можна спостерігати під час потовиділення у тварин та людини, у разі теплової задишки у собак, які в спеку сидять з відкритим ротом; відіграє важливу фізіологічну роль і в охолодженні транспіруючих органів рослин, особливо в умовах пустель і сухих степів.

Вода має також високу **теплопровідність**, що забезпечує рівномірний розподіл тепла по всьому організму. Висока питома теплоємність і висока для рідини теплопровідність роблять воду ідеальним середовищем для підтримання оптимального теплового режиму організму.

До важливих фізіологічних властивостей води належить її **здатність розчиняти гази** (O_2 , CO_2 та ін.). Крім того, вода як розчинник бере участь у процесі осмосу, що відіграє важливу роль у життєдіяльності клітин та всього організму.

Біологічне значення води. Вода в клітині живого організму забезпечує пружність клітини, розчинення різних хімічних речовин, надає об'єму. Завдяки високій теплоємності вода оберігає цитоплазму від різких коливань температури і сприяє терморегуляції клітин і організму.

Вода використовується як джерело Оксигену і Гідрогену, що виділяються в світлову фазу фотосинтезу.

В організмі вода виконує ряд життєво важливих функцій. Перш за все, вона є універсальним розчинником мінеральних і органічних речовин, що входять до складу їжі і продуктів обміну речовин. Вода – активний учасник багатьох реакцій обміну речовин; гідролізу, гідратації, окислення, відновлення тощо. Вона може взаємодіяти з атомами, іонами, окремими молекулами і їх групами. Її здатність до дисоціації створює у різних ділянках тіла організму і навіть клітини відповідну реакцію середовища, що визначає напрям і хід багатьох реакцій обміну речовин. Всі поживні речовини засвоюються в травному тракті за участю води.

Вода має велику теплоту випаровування; саме ця її особливість використовується при терморегуляції у тварин (потовиділення ссавців, випаровування вологи зі слизових оболонок тварин) і рослин (охолодження листків), в такий спосіб організми захищають себе від перегрівання.

Підраховано, що тільки внаслідок величезної теплоємності води температура тіла футболіста під час гри не підвищується до +110 градусів.

Вода – основна складова частина живого організму. Для води характерний водневий зв'язок, що визначає в значній мірі її властивості і значення. Чим вища функціональна активність клітин і організму в цілому, тим більший вміст в них води, і навпаки.

Перевірте себе: 1. До яких речовин належить вода? 2. Де і в яких кількостях вона знаходиться в організмі людини? 3. Які фізичні властивості води? 4. Яке біологічне значення води?

Поміркуйте: 1. Скільки часу людина може обійтися без води? Спробуйте пояснити. 2. У немовлят і людей похилого віку різна кількість води у клітинах. Чи позначається це якимось чином на їх конституції? 3. Чому дієтологи радять не вживати перед їжею води?

Подискутуйте: 1. Скільки води потрібно людині споживати за добу, щоб зберегти своє здоров'я? Чи можна обійтися вдень лише водою?

Проекти: 1. Норми вживання води людиною в різних умовах оточуючого середовища 2. Гранично допустимі концентрації речовин у складі води, їжі, засобів побутової хімії, косметичних препаратів.

§12. ОРГАНІЧНІ РЕЧОВИНИ.

ВУГЛЕВОДИ, ЇХ БУДОВА, ВЛАСТИВОСТІ Й ФУНКЦІЇ

Органічні речовини. Органічні сполуки складають у середньому 20-30% маси клітини живого організму. **Органічними сполуками** називаються речовини, які мають скелети з ковалентно зв'язаними атомами карбону. Органічні сполуки бувають низькомолекулярні (органічні кислоти, їх ефіри, амінокислоти, вільні жирні кислоти тощо) та високомолекулярні. Найважливішими органічними сполуками клітини, що складають майже всю суху речовину клітини, є: білки, ліпіди, вуглеводи, нуклеїнові кислоти. У різних типах клітин міститься різна кількість органічних сполук. Наприклад, у рослинних клітинах переважають складні вуглеводи – полісахариди, у тваринних – більше білків і жирів.

Органічні речовини представлені сполуками, що мають велику молекулярну масу, тому називаються *макромолекулами (біополімерами)*. Найменшу молекулярну масу мають ліпіди (молекулярна маса становить 50-1500).

Полімери (від грецьк. *полі* – багато, *мерес* – частина), або *макромолекули*, складаються з простих однакових молекул або схожих одиниць – мономерів (від грецьк. *монос* – один), що послідовно зв'язані між собою ковалентним зв'язком. Мономери мають здатність до утворення полімерів – полімеризації. Це процес утворення довгих ланцюгів, які можуть бути або розгалуженими, або нерозгалуженими. Полімери, що складаються з однакових мономерів, називаються гомополімерами. Якщо до складу полімерів входять різні мономери, то вони називаються гетерополімерами.

Особливості будови біополімерів тих чи інших організмів обумовлюють їх біохімічну своєрідність. Мономери бувають часто однаковими у представників різних груп організмів. Мономерами білків є амінокислоти, мономерами складних вуглеводів (полісахаридів) – моносахариди, нуклеїнових кислот – нуклеотиди.

У клітинах живих організмів синтезується багато макромолекул (білків, нуклеїнових кислот, полісахаридів), які відіграють роль структурних компонентів, біокатализаторів, гормонів, рецепторів або в них зосереджена генетична інформація.

Особливості будови вуглеводів. Вуглеводи – органічні сполуки, які найчастіше складаються з трьох хімічних елементів – Карбону, Гідрогену і Оксигену.

У природі вуглеводів більше, ніж інших органічних сполук взятих разом. Утворюються вуглеводи під час фотосинтезу у зелених рослинах з вуглекислого газу (CO_2) і води (H_2O) і складають 80-90% їх сухої маси. В організмі тварин вуглеводи піддаються механічній і хімічній переробці. В середньому в організмі тварин міститься 1-2% вуглеводів в перерахунку на суху речовину.

За будовою вуглеводи поділяють на: моносахариди, олігосахариди та полісахариди.

Моносахариди – це прості вуглеводи (цукри), представлені білою кристалічною речовиною, добре розчинною у воді, солодкою на смак.

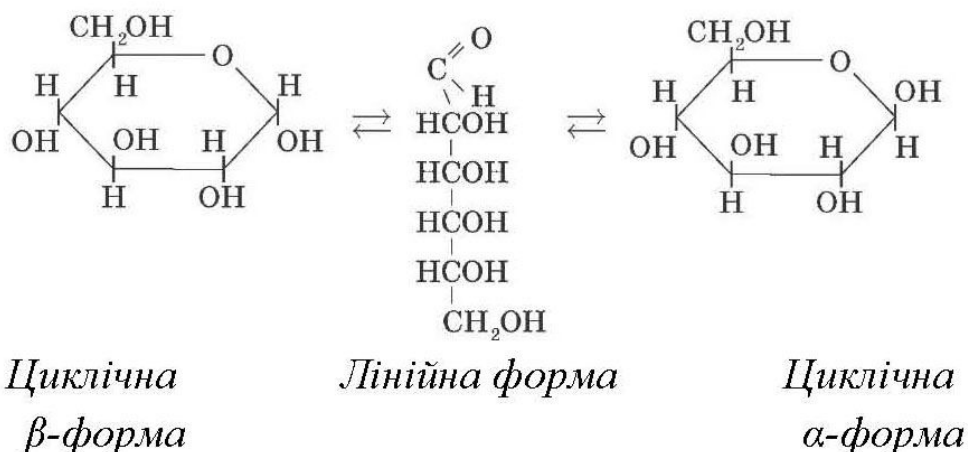
Загальна структурна формула моносахаридів – $\text{C}_n\text{H}_{2n}\text{O}_n$, де n – число від 3 до 7. За кількістю атомів Карбону їх поділяють на: тріози (3 атоми Карбону), тетрози (4), пентози (5) тощо. У природі найбільш поширеними є гексози, що мають 6 атомів карбону. Моносахариди можуть знаходитися у двох формах: лінійній і циклічній, як це показано на мал. 12 на прикладі молекули глюкози.

Моносахариди вступають у хімічні реакції, характерні для альдегідо- або кетоспиртів, легко виявляються якісними і кількісними реакціями (Троммера, Селіванова, срібного дзеркала тощо), піддаються різним видам бродіння.

Окремим з них належить важлива роль в реакціях обміну речовин.

Моносахаридами є глюкоза, фруктоза, рибоза, дезоксирибоза та інші. Моносахариди виконують енергетичну та пластичну функції. Вони слугують будівельними блоками для синтезу полісахаридів.

Глюкоза (мал. 12) (виноградний цукор) у вільному і зв'язаному станах входить до складу овочів і фруктів. Наприклад, виноград містить 17-20% глюкози (звідси походить назва виноградний цукор).



Мал. 12. Молекула глюкози: а – структурна; б – масштабна модель

Глюкоза – джерело енергії для клітин. Вона обов'язкова складова частина крові людини і тварин. Розчини глюкози використовуються в медицині і ветеринарії для внутрішньовенних ін'єкцій. Зниження її кількості в крові спричиняє негайне порушення життєдіяльності нервових і м'язових клітин, що іноді супроводжується судомою або непритомним станом.

Фруктоза у великій кількості у вільному вигляді міститься в плодах (мал. 13), тому її часто називають плодовим цукром. Особливо багато фруктози в меді, цукровому буряку, фруктах.



7,7%



5,5%



5,2%



4,5%



4,3%



4,2%



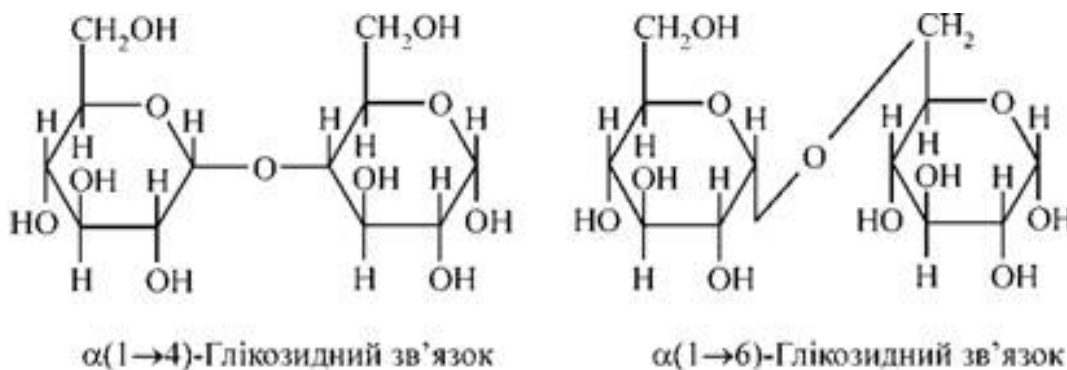
3,9%



3,7%

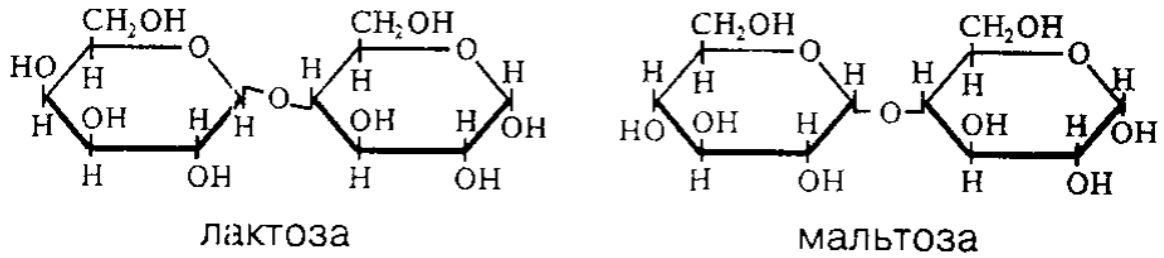
Мал. 13. Процентний вміст фруктози у деяких продуктах харчування

Олігосахаридами є вуглеводи, які мають від двох до десяти ланок моносахаридів. Зв'язок, який з'єднує між собою два моносахариди, називається **глікозидним** (мал. 14).



Мал. 14. Схема утворення глікозидного зв'язку

Олігосахариди, що складаються з двох моносахаридів, називаються **дисахаридами**. Наприклад, дисахаридами є *сахароза* (буряковий або тростинний цукор) – складається із залишків глюкози і фруктози, *лактоза* (молочний цукор) – складається з глюкози та галактози і міститься у молоці; а також продукт часткового гідролізу крохмалю у рослинах – *мальтоза* (солодовий цукор) – складається з двох залишків глюкози (мал. 15). Вони мають солодкий смак і добре розчиняються у воді.



Мал. 15. Дисахариди: 1 – лактоза; 2 – мальтоза

Лактоза – молочний цукор, має в складі глюкозу і галактозу. Цей вуглевод є джерелом енергії для дитинчат ссавців. Використовується в мікробіологічній промисловості для приготування живильних середовищ.

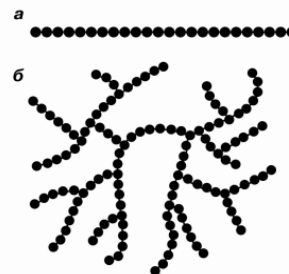
Полісахариди – складні вуглеводи, до яких належать крохмаль, глікоген, целюлоза, хітин, інουλін тощо. Полісахариди поділяють на гомо- і гетерополісахариди. *Гомополісахариди* мають в складі моносахариди тільки одного вигляду. Наприклад, крохмаль і глікоген побудовані тільки з молекул глюкози. *Гетерополісахариди* є полімерами, побудованими з моносахаридів різних типів і їх похідних. У живих організмах зустрічаються комплекси вуглеводів з білками (глікопротеїди) і жирами (гліколіпіди). Вони виконують різні функції.

Полісахариди (глікоген, целюлоза і крохмаль) побудовані з глюкозних мономерів, але зв'язки в їх молекулах різні. Окрім того, відрізняється і характер галузнення полімерних ланцюгів: у целюлози ланцюги не галузяться, у глікогені вони галузяться сильніше, ніж у крохмалю.

Крохмаль (мал. 16) – полімер глюкози. У рослин перебуває у вигляді різних за формою та розміром крохмальних зерен і є поживною речовиною.



1



2

Мал. 16: 1 – зовнішній вигляд картопляного крохмалю; 2 – будова макромолекули крохмалю: а – лінійна, б – розгалужена

Крохмаль – білий аморфний порошок, не розчиняється в холодній воді, з йодом дає синє забарвлення, у воді набухає, при нагріванні водного розчину крохмальні зерна лопаються, утворюючи клейстер. Утворюється крохмаль в результаті реакцій фотосинтезу в клітинних органелах (хлоропластах) рослин, відкладається у вигляді запасних поживних речовин в листках, стеблах, цибулинах, бульбах і насінні. В клітинах виявляється у вигляді зерен різної форми (овальної, сферичної, неправильної), величини і шаруватості. Так, вміст крохмалю в зерні рису досягає 80%, пшениці – 75, кукурудзи – 72, жита – 70, ячменю – 65, вівса – 58, проса – 57, в бульбах картоплі – 12–25%.

Крохмаль знаходить широке застосування у медицині та у багатьох галузях промисловості (харчовій, шкіряній, паперовій, фармацевтичній тощо). У промислових масштабах його одержують із бульб картоплі та зерен кукурудзи. Картопля містить у середньому 15-25% крохмалю у розрахунку на загальну масу, насіння окремих зернових культур – до 40-60%. Крохмаль – цінний продукт харчування, використовується також для виготовлення лікарських препаратів і в побуті.

Глікоген – тваринний крохмаль, найважливіша резервна речовина тканин і клітин організму людини і тварин. Найбільше глікогену міститься в тканинах печінки (2-10% загальної маси), скелетних м'язах (0,2-2%), дещо менше – в інших органах і тканинах.

Нааявний глікоген у грибах та мікроорганізмах. Потреба у глікогені зростає при великих фізичних навантаженнях (зокрема, у спортсменів).

Глікоген – біла аморфна речовина, добре розчиняється в гарячій воді, розчин обертає площину поляризованого світла на +196°. З розчином йоду дає забарвлення від червоно-фіолетового до червоно-коричневого. Молекула глікогену побудована з 2400-300000 залишків глюкози. Молекулярна маса глікогену коливається від 400 тис. до 50 млн.

Целюлоза – полісахарид, що найчастіше зустрічається у рослин. На неї припадає близько 50% всього органічного вуглецю біосфери. Вона має дуже велике практичне значення для господарчої діяльності людини, становлячи основну масу бавовняних тканин, паперу, штучного шовку, деяких пластмас та вибухових речовин.

Целюлоза по своїй структурі – лінійний полімер. Має нерозгалужений витягнутий ланцюжок моносахаридів. Звідси властивості рослинних волокон, так, наприклад, у волокнах виляску вона складає більше 90%.

Целюлоза є одним із найважливіших структурних компонентів клітинних стінок рослин, а волокно бавовни складається з целюлози майже повністю. Целюлоза є їжею для багатьох тварин, бактерій і грибів. Проте більшість тварин, а також людина не можуть використовувати целюлозу, оскільки в їх шлунково-кишковому тракті немає ферменту целюлази, що розщеплює целюлозу до глюкози. Однак целюлозні волокна все ж відіграють важливу роль у харчуванні, додаючи їжі об'ємності та грубої консистенції, які стимулюють перистальтику кишечника. У жуйних тварин в кишечнику целюлозу переробляють бактерії та найпростіші.

Хітин входить до складу клітинних стінок деяких протистів і грибів, виконуючи опорну функцію, а в окремих груп тварин (особливо у членистоногих) є важливим компонентом їх зовнішнього скелета.

Функції вуглеводів в живих організмах важливі й різноманітні: енергетична, пластична, захисна, опорна.

Енергетична функція вуглеводів основна. При розщепленні 1г полісахаридів або олігосахаридів до моносахаридів виділяється 17,6 кДж теплової енергії, що забезпечує значну частину енергетичної потреби організму.

Полісахариди відіграють роль запасних продуктів і джерел енергії (наприклад, крохмаль і глікоген), які легко мобілізуються, а також використовуються як **будівельний матеріал** (целюлоза, хітин).

Полісахариди зручні **запасні речовини** з ряду причин: завдяки нерозчинності у воді вони не діють на клітину ні осмотично, ні хімічно, що доволі важливо при їх тривалому зберіганні в живій клітині; твердий, зневоднений стан полісахаридів збільшує корисну масу продуктів запасу за рахунок економії їх об'єму. При цьому істотно зменшується вірогідність споживання цих продуктів хвороботворними бактеріями, грибами та іншими мікроорганізмами, які, як відомо, не можуть заковтувати їжу, а всмоктують поживні речовини всією поверхнею тіла. Врешті-решт у разі необхідності запасні полісахариди легко можуть перетворюватися на прості цукри шляхом гідролізу.

Пластична функція вуглеводів полягає у синтезі важливих для організму органічних речовин: нуклеїнових кислот, амінокислот, ліпідів.

Вуглеводи є основним компонентом оболонок рослинних клітин, зовнішнього скелету членистоногих тварин (хітинового покриву). Вуглевод целюлоза та інші полісахариди в складі оболонок рослинних клітин не тільки

захищають клітини від зовнішніх впливів, а й утворюють міцну **опору**. Особливо багаті на вуглеводи механічні та опорні тканини рослин, стебло та листки.

Моносахариди – це прості молекули вуглеводів. Ними є глюкоза, фруктоза. Моносахариди виконують енергетичну та будівельну функції в клітинах живих організмів.

Олігосахариди, що складаються з двох моносахаридів, називаються дисахаридами. Ними є сахароза, лактоза, мальтоза, вони мають солодкий смак і добре розчинні у воді.

Полісахариди – це високомолекулярні органічні речовини, які беруть участь у побудові клітин та використовуються у процесі їх життєдіяльності. Макромолекули полісахаридів побудовані з моносахаридів. Полісахаридами є крохмаль, глікоген, целюлоза тощо.

Перевірте себе: 1. Які речовини називають вуглеводами? 2. Назвіть відомі вам 3–4 моносахариди. 3. Яка будова моносахаридів? 4. Які властивості глюкози? 5. В яких продуктах харчування міститься фруктоза? Чим вона відрізняється від глюкози? 6. Наведіть приклади дисахаридів. Яка їх будова? 7. Назвіть відомі вам 2-3 полісахариди? 8. Яка будова макромолекул полісахаридів? 9. Які функції виконують полісахариди в живих організмах?

Поміркуйте: 1. Чи правильним є твердження про те, що вуглеводи – найпоширеніші органічні речовини на планеті Земля? Поясни чому? 2. Чому в рослин кількість вуглеводів значно більша ніж у тварин? 3. Якого полісахариду найбільше у рослин, а якого – у тварин? 4. Поясни і порівняй пластичну функцію моносахаридів і полісахаридів? 5. В яких продуктах, що споживає людина, містяться вуглеводи? Як вони розщеплюються у травному тракті людини.

Подискутуйте: 1. Спробуйте пояснити будову і функції органічних речовин на основі загальних закономірностей природи. 2. Як саме будова вуглеводів пов'язана з їх біологічними функціями?

Проекти: 1. Роль вуглеводів у життєдіяльності людини. 2. Продукти, що містять вуглеводи, їх якісна оцінка.

§ 13. ЛІПІДИ, ЇХ БУДОВА, ВЛАСТИВОСТІ Й ФУНКЦІЇ

Ліпіди – це жири і жироподібні речовини, що входять до складу живих організмів. Це переважно низькомолекулярні сполуки, нерозчинні у воді та розчинні в органічних розчинниках (ефірі, хлороформі, ацетоні).

Жири широко поширені в тваринному і рослинному світі. У складі жирів

тваринного походження переважають залишки насичених жирних кислот, що і визначає їх тверду консистенцію. Велике значення мають коров'яче масло, свиняче сало, баранячий і яловичий жири (мал. 17, 2). Жири рослинного походження в своєму складі містять переважно залишки ненасичених жирних кислот і є рідинами (окрім пальмітинового масла). Це соняшникова, оливкова, льняна, мигдалева олія тощо (мал. 17, 1).



1



2



Мал. 17. Жири рослинного (1) та тваринного (2) походження

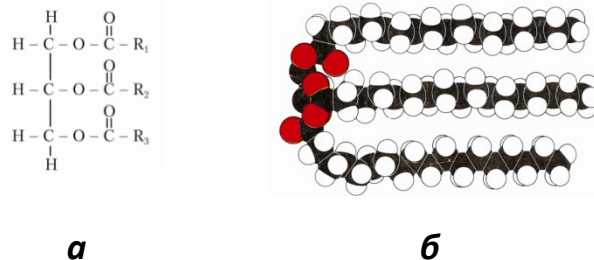
У рослинах жирів найбільше в насінні, менше – в плодах. Так, в насінні рицини міститься 58-78% жиру, рапсу – 36-40, льону – 28,9-49, соняшнику – 29-57, зернах кукурудзи – 5, вівса – 3, пшениці – 1-1,8%.

В організмі тварин жири містяться в основному в підшкірній клітковині (до 50%), сальнику, сполучнотканинних капсулах нирок і геніталій, у печінці і м'язовій тканині. Біологічні рідини (кров, лімфа) бідні жирами. З них відносно високий відсоток жиру має молоко.

Різноманітність ліпідів. Серед ліпідів розрізняють прості та складні. До **простих ліпідів** належать речовини, які побудовані зі сполучених між собою залишків жирних кислот (або альдегідів) і спиртів, наприклад, жири та воски.

Складні ліпіди – сполуки, утворені внаслідок взаємодії молекул простих ліпідів з іншими речовинами. До них належать **ліпопротеїди** (сполуки ліпідів і білків), **гліколіпіди** (ліпідів і вуглеводів), **фосфоліпіди** (ліпідів і ортофосфатної кислоти).

Жири – складні сполуки трьохатомного спирту, гліцерину і високомолекулярних жирних кислот. На мал. 22 зображено загальну будову молекули жиру, де R_1 , R_2 , R_3 – радикали жирних кислот. Серед них найчастіше зустрічаються пальмітинова ($\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_{14}-\text{COOH}$), стеаринова ($\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_{16}-\text{COOH}$), олеїнова ($\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_7-\text{CH}=\text{CH}-(\text{CH}_2)_7-\text{COOH}$) жирні кислоти.



Мал. 18. Молекула жиру: а – структурна; б – масштабна модель

Жирні кислоти поділяють на дві групи: **насичені**, що не містять подвійних зв'язків, і **ненасичені**, що містять подвійні зв'язки. До насичених належать пальмітинова та стеаринова жирні кислоти, а до ненасичених – олеїнова.

З ненасичених жирних кислот в клітках людини і тварин синтезуються **простагландини**. Вони володіють широким спектром біологічної активності: регулюють скорочення мускулатури внутрішніх органів; підтримують тонус судин; регулюють функції різних відділів мозку, наприклад центри терморегуляції. Підвищення температури при ряду захворювань пов'язане з посиленням синтезу простагландинів і збудженням центру терморегуляції. Аспірин гальмує синтез простагландинів і таким чином знижує температуру тіла.

Властивості ліпідів визначаються якісним складом жирних кислот і їх кількісним співвідношенням. Рослинні жири або олії багаті ненасиченими жирними кислотами, тому в переважній більшості випадків вони є легкоплавкими – рідкими при кімнатній температурі. Тваринні жири при кімнатній температурі тверді, оскільки містять насичені жирні кислоти. Наприклад, яловиче сало складається з гліцерину і пальмітинової та стеаринової кислот (пальмітинова кислота плавиться при 43°C, а стеаринова при 60°C).

Молекула жиру, як це видно з формули (мал. 18), з одного боку, містить залишок гліцерину – речовини, добре розчинну у воді, а з іншого боку – залишки жирних кислот, вуглеводневі ланцюжки яких практично нерозчинні у воді. При нанесенні краплі жиру на поверхню води у бік води повертається гліцеринова частина молекули жиру, а на поверхню води піднімаються ланцюжки жирних кислот. Така просторова орієнтація молекули жиру по відношенню до води відіграє дуже важливу роль. Навіть найтонший шар ліпідів, що входять до складу клітинних мембран, перешкоджає змішуванню вмісту клітки або окремих її частин з навколишнім середовищем.

Ліпіди не розчиняються або слабо розчиняються у воді, добре розчиняються

в органічних розчинниках. Більшість з них є похідними спиртів, вищих жирних кислот або альдегідів. Це дає можливість жирам бути поверхнево активними, брати участь в проникності клітинних мембран, легко розчинятися в органічних розчинниках, бути розчинниками для інших сполук (наприклад, вітамінів А, D, Е, К, F тощо).

Функції ліпідів. Містяться жири у всіх живих клітинах і виконують ряд життєво важливих функцій: структурну, метаболічну, енергетичну, захисну.

Структурна функція. Ліпіди беруть участь в побудові мембран клітин усіх органів і тканин.

Енергетична функція. При розкладанні жирів вивільняється енергія, яка становить 25-30% загальної її кількості. В організмі тварин жири є, перш за все, найважливішим джерелом хімічної енергії. Так, при тканинному окисненні 1 г жиру утворюється 38,9 кДж енергії – удвічі більше, ніж за повного розщеплення аналогічної кількості вуглеводів або білків.

Функція запасання живильних речовин. Жири є свого роду «енергетичними консервами». Жировими депо можуть бути і крапля жиру усередині клітки, і «жирове тіло» у комах, і підшкірна клітковина, в якій накопичується жир у тварин та людини.

Функція терморегуляції. Жири погано проводять тепло. Вони відкладаються під шкірою, утворюючи у деяких тварин величезні скупчення. Наприклад, у кита шар підшкірного жиру досягає 1 м. Це дозволяє теплокровній тварині жити в холодній воді полярного океану.

У багатьох ссавців є спеціальна жирова тканина, що відіграє роль терморегулятора, своєрідного біологічного «обігрівача». Цю тканину називають «бурим жиром». Вона має бурий колір тому, що дуже багата мітохондріями червоно-бурого забарвлення, якого їм надають залізовмісні білки, що в них знаходяться.

Функція водного депо. Жири – найважливіше джерело ендогенної води. При окисненні 100 г жирів в тканинах утворюється 107,1 г води, що дуже важливо для тварин, які мешкають в південних широтах (наприклад, верблюдів), або для тих, які впадають в зимову сплячку (наприклад, бурих ведмедів). Завдяки такій воді існують багато пустинних тварин, наприклад піщанки, тушканчики.

Захисна функція. Шар жиру захищає ніжні органи від ударів і струсів (наприклад, приниркова капсула, жирова подушка біля ока). Жироподібні

з'єднання покривають тонким шаром листя рослин, не даючи їм намокати під час рясних дощів.

Жири – прекрасні розчинники органічних речовин, особливо жиророзчинних вітамінів (віт. А, Е тощо).

Жири – цінні продукти харчування людини і тварин. Рослинні масла, окрім харчових цілей і відгодівлі тварин (макуха), можуть використовуватися для виготовлення оліфи і лаків. Багато рослинних олій гідрогенізують, одержуючи потім різні сорти маргарину. Жири, що добуваються з печінки тріскових риб, використовують у медицині і тваринництві як джерело вітамінів А і D. Технічні жири, які одержують з тканин морських ссавців і риб, використовуються в легкій, парфумерній, хімічній промисловості і інших галузях народного господарства для виготовлення миючих засобів тощо.

Різноманітність жирів. Жироподібні речовини, які раніше називали ліпоїди (від грец. ліпос – жир і оїд – вид) – це сполуки, що, порівняно з жирами, мають більш різноманітну структуру і функції. До їх складу, крім багатоатомних спиртів і жирних кислот, входять інші сполуки. Ці речовини також нерозчинні або малорозчинні у воді. Головне призначення ліпоїдів у будь-якій клітині – це їх структурна функція – участь у по будові клітинної

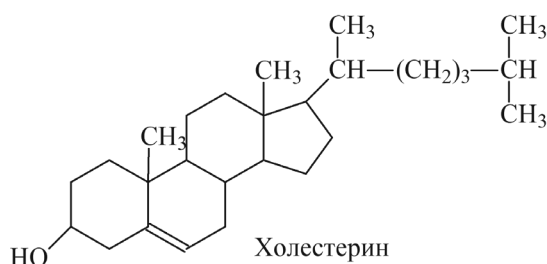
мембрани. Крім того, вони відіграють важливу роль в передачі клітинного сигналу, а також у розпізнаванні клітинами одна одної.

Незамінними компонентами клітинних мембран рослинних та тваринних клітин є фосфоліпіди, яким властива амфифільність. Одна частина молекул цих речовин, зв'язана з жирною кислотою, гідрофобна, а інша, зв'язана із залишком ортофосфатної кислоти, гідрофільна. Молекули фосфоліпідів розміщуються в клітинній мембрані у такий спосіб: поряд з гідрофільною частиною однієї молекули опиняється гідрофільна частина іншої, а поряд з гідрофобною – гідрофобна. Таке розташування зумовлює напівпроникність мембрани: одні речовини можуть пройти крізь неї, а інші –ні.

Гліколіпіди (від грец. глікос – солодкий і ліпос – жир) – представники ліпідів, молекули яких складаються із за лишків молекул вуглеводів і жирів. Так само, як і фосфоліпіди, вони є амфифільними і входять до складу клітинних мембран. Особливо багато їх у складі клітин мозку та нервових волокон. Воски – це особлива група ліпідів, що, як і жири, складаються лише з трьох хімічних елементів (пригадайте, з яких). За хімічною структурою – це естери жирних кислот, але тільки з одноатомними, а не багатоатомними

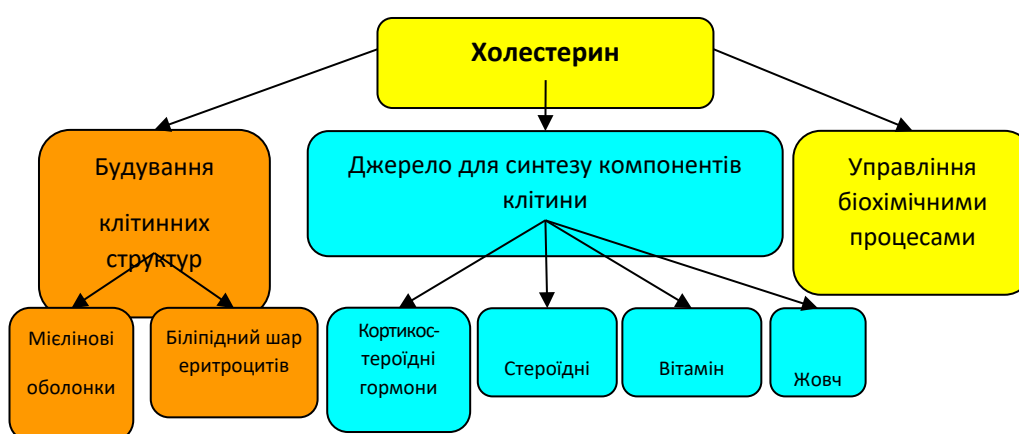
спиртами. Наприклад, бджолиний віск, який у бджіл і джмелів продукується у спеціальних залозах, – це сполука високомолекулярного мірицилового спирту (C₃₁H₆₃OH) і пальмітинової кислоти. Воски мають водовідштовхувальну властивість, тому у тварин вони вкривають тіло, а в рослин – поверхню листків та плодів.

Найбільший інтерес представляє холестерин (мал. 19) і його похідні – холестериди, які є складними ефірами холестерину і вищих жирних кислот.



Мал. 19. Будова молекули холестерину

Підраховано, що в тілі людини масою 70 кг міститься близько 140 г холестерину, з якого 10% сконцентровано в наднирниках, 2% – в нервовій системі, 0,25% – в кістках, від 0,333 до 0,91% – у печінці. Холестерин здатний утримувати певну кількість води, тому він бере участь в регуляції водного обміну. Крім того він входить до складу клітинних мембран, є сировиною для гормонів надниркових залоз внутрішньої секреції, сім'яників та яєчників; з нього в печінці утворюється жовч, слугує сировиною для синтезу в організмі вітаміну Д (мал. 20).



Мал. 20. Функції холестерину в організмі людини

Фосфоліпіди разом із холестерином складають основу ліпідного шару біологічних мембран. Від справжніх жирів вони відрізняються тим, що містять залишок фосфорної кислоти.

Бджолиний віск продукується восковими залозами бджіл. Складається з суміші складних ефірів (до 75%), вільних вищих жирних кислот і насичених вуглеводнів, містить вітамін А і деякі інші речовини:

Бджолиний віск не розчиняється у воді, розчиняється в хлороформі і діетиловому ефірі, бензині і скипидарі. Є основою бджолиних стільників. Використовується для виготовлення мазей, пластирів, косметичних засобів тощо.

Рослинні воски дуже поширені в природі. Вони покривають тонким шаром листя, стебла, стовбури і плоди рослин, захищаючи рослинні тканини від травм і мікробів. Найбільш широко використовується *карнаубський віск*, який одержують з листя деяких пальм. Його використовують для виготовлення свічок, полірувальних сумішей тощо.

Ліпіди – низькомолекулярні органічні речовини, які входять до складу живих організмів і виконують будівельну, енергетичну, запасну та терморегуляційну функції. Найважливішими серед них є нейтральні жири, фосфоліпіди, холестерин і віск.

Перевірте себе: 1. Які речовини називають ліпідами? 2. З чого побудовані молекули ліпідів? 3. Які функції виконують ліпіди в живих організмах? 4. Назвіть і охарактеризуйте найважливіші для організму людини ліпіди? 5. Назви жири тваринного, а потім рослинного походження.

Поміркуйте: 1. Як і де людина використовує жири рослинного походження? 2. Чим небезпечні для здоров'я людини холестеринові відкладення у судинах? 3. Які вітаміни належать до жиророзчинних? Чому їх так називають? 4. Жир, що накопичується у горбі верблюда, використовується насамперед як джерело води. Поясніть це твердження.

Подискутуйте: 1. У клітинах холонокровних тварин кількість ненасичених жирних кислот менша, ніж у теплокровних. Поясніть чому? З чим це пов'язано? 2. Використайте свої знання з курсу «Біологія людини» і назвіть органічні речовини організму людини, які мають ліпідну природу, жиророзчинні вітаміни та поясніть їх роль у життєдіяльності людини.

Видатні біологи. У 1775 році французький вчений Ж.Л. Конрад при дослідженні жовчного каміння відкрив речовину, яку у 1824 році Мішель Шеврель назвав холестерином. Структура холестерину встановлена в 1927 г. німецьким хіміком-органіком О. Дільсом.

Проекти: 1. Роль ліпідів у життєдіяльності людини.

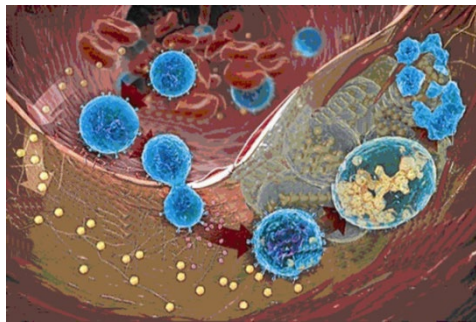
Для допитливих

Холестерин у організмі людини

Холестерин – це м'яка біла речовина, жирна на дотик, без запаху і смаку. Близько 80% холестерину виробляється власним організмом (печінкою, кишечником, нирками, наднирниками), а решта його потрапляє з їжею.

Як гідрофобна сполука, холестерин не може знаходитися в плазмі крові людини у вільному стані. Його транспорт здійснюється за допомогою спеціальних речовин у формі комплексу «холестерин + транспортний білок». Якщо за певних обставин у крові з'явився вільний холестерин, то він з'єднується з ліпопротеїдами крові, що є причиною виникнення атеросклеротичних бляшок судин.

Високий вміст холестерину у крові свідчить про порушення жирового обміну в організмі. Наслідком останнього є розвиток атеросклерозу, ішемічної хвороби серця, захворювання печінки, що супроводжується застоєм жовчі, ожиріння, цукровий діабет, зниження функції щитоподібної залози. Нестача холестерину в крові виникає при: голоді, хворобах центральної нервової системи, онкохворобах, підвищеній функції щитоподібної залози.



Мал. 21. Холестеринові бляшки на стінках кровоносних судин людини

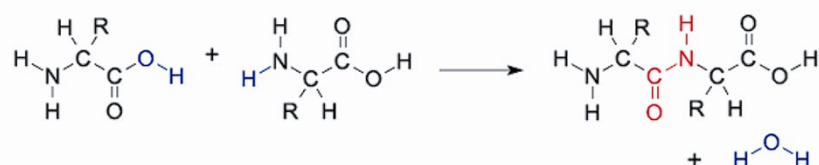
На ранній стадії атеросклерозу на враженій поверхні кровоносних судин відкладається холестерин. При цьому вражаються стінки судин, в яких нормальні м'язові клітини заміщуються колагеном, який надає їм підвищеної щільності. Колаген відкладається і на поверхні жирових утворень, формуючи фіброзні бляшки (мал. 21). У випадку ушкодження стінок судин до холестеринових бляшок проникає кров і утворюються тромби. Цей процес може призвести до закупорки кровоносних судин і раптової смерті людини.

§ 14. БІЛКИ, ЇХНЯ СТРУКТУРНА ОРГАНІЗАЦІЯ ТА ОСНОВНІ ФУНКЦІЇ

Білки – найважливіша складова клітин будь-якого живого організму. Їх не має у неживій природі. У живому організмі вони становлять 25% живої та до 45-50% сухої маси тіла.

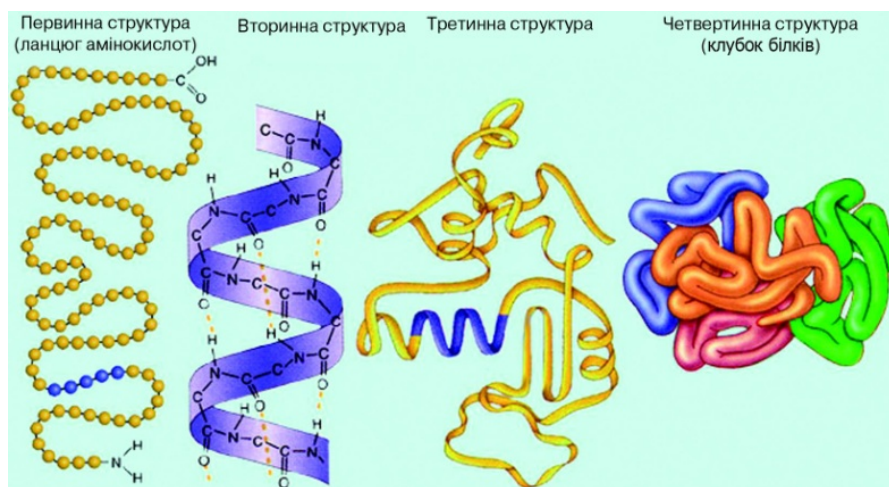
Будова білків. Молекули білків побудовані з 20 різних амінокислот. При з'єднанні двох амінокислот виникає дипептид. При цьому виділяється молекула

води й утвориться пептидний зв'язок між ними. У результаті послідовного приєднання амінокислот (при цьому з дипептида утвориться спочатку трипептид, потім тетра-, пента-, гексапептид і т.д.) у клітині утворюється поліпептид – довгий ланцюг з амінокислотних залишків, що чергуються. Об'єднання амінокислот у білкову молекулу відбувається завдяки процесу *поліконденсації*. При цьому аміногрупа однієї амінокислоти реагує з карбоксильною групою іншої з утворенням полімерної лінійної молекули білка і утворенням молекули води, як це показано на мал. 22.



Мал.22. Утворення молекули білка (поліконденсація)

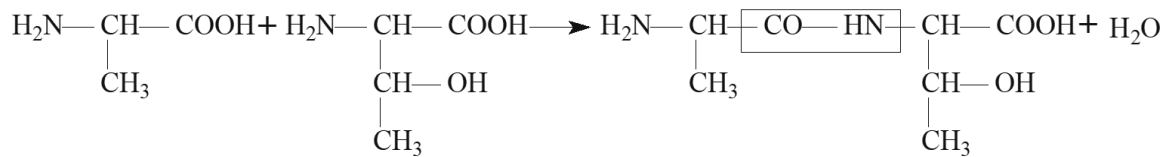
Білки – це лінійні полімери, утворені залишками амінокислот, з'єднаних між собою зв'язками – CO–NH–. Розрізняють первинну, вторинну, третинну та четвертинну структурні організації білків (мал. 23).



Мал. 23. Структури білкової молекули

Первинною структурою білка називається поліпептидний ланцюг амінокислот, з'єднаних між собою **пептидними зв'язками** (мал. 9). Коли карбоксильна і аміногрупа з'єднуються, утворюючи пептидний зв'язок, амінокислоти перетворюються в амінокислотні залишки, утворюючи пептид.

Схематично даний процес можна записати так:



Первинна структура будь-якого білка закодована в молекулі ДНК.

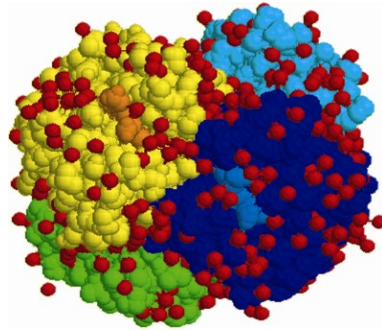
Вторинна структура білка утворена переважно водневими зв'язками, що утворились між атомами водню NH - групи одного завитка спіралі та кисню CO - групи іншого й спрямовані вздовж спіралі чи між паралельними складками молекули білка (мал. 23). Білкова молекула частково чи цілком скручена в α -спіраль або утворює β -складчасту структуру. Наприклад, α -спіральну структуру має кератин – структурний білок вовни, нігтів, дзьоба, пір'я, рогів, а також шкіри хребетних. Білок шовку фіброїн, що виділяється залозами гусениці шовкопряда під час формування коконів, повністю представлений β -формою вторинної структури білка. Водневі зв'язки значно слабші, ніж ковалентні, але при значній їх кількості утворюють досить міцну структуру.

Третинна структура білка є просторовою організацією вторинної структури білка у вигляді *глобул* (мал.23). Третинна структура зумовлена здатністю поліпептидної спіралі закручуватися певним чином у грудку, або глобулу, завдяки зв'язкам, які виникають між залишками амінокислоти цистеїну (так звані дисульфідні зв'язки). Підтримання третинної структури забезпечують гідрофобні, електростатичні та інші взаємодії, а також водневі зв'язки. Гідрофобні взаємодії – це сили тяжіння між неполярними молекулами або між неполярними ділянками молекул у водному середовищі. Гідрофобні залишки усяких амінокислот у водному розчині зближуються, наче «злипаються», та стабілізують структуру білка. Електростатичні зв'язки виникають між негативно та позитивно зарядженими радикалами залишками амінокислот.

Четвертинна структура білків виникає, коли об'єднуються кілька глобул. Наприклад, молекула гемоглобіну складається з чотирьох залишків молекул білка міоглобіну (мал. 24).

Залежно від хімічного складу білки поділяють на прості та складні. Прості, або протеїни, складаються лише з амінокислотних залишків, а складні, або протеїди, у молекулах містять також небілкові компоненти – залишки ортофосфатної та нуклеїнових кислот, вуглеводів, ліпідів, атоми Феруму, Цинку, Купруму тощо. Складні білки називають глюкотеїдами (сполуки з вуглеводами), ліпопротеїдами (з ліпідами), нуклеопроїдами (з нуклеїновими

кислотами) тощо. Багато білків утворюють складні комплекси з пігментами – забарвленими у різні кольори органічними сполуками.



Мал. 24. Гемоглобін

Класифікація білків за формою молекули. Білки поділяють за складом і функціональним призначенням, а також за формою молекул. Якщо поліпептидні ланцюги в молекулах білка згорнуті в структури, які мають еліпсоподібну чи кулеподібну форму, то такий білок називають глобулярним (від лат. глобулус – кулька). До таких білків належить переважна частина транспортних білків, зокрема гемоглобін і міоглобін та майже всі ферменти. Як що молекули білка утворюють довгі волокна, то ці білки називають фібрилярними (від лат. фібрила – волоконце). Вони входять до складу шкіри, волосся і рогів ссавців та виконують в організмі головним чином статичні структурні функції. Численні білки через стан клітини можуть змінювати форму та із глобулярних перетворюватися на фібрилярні, зокрема так функціонують білки м'язових волокон – актин і міозин.

Властивості білків. Білки як органічні речовини проявляють ряд фізико-хімічних властивостей, що обумовлені їхньою структурною організацією і функціональною активністю.

По-перше, білки є переважно водорозчинними полімерами, тому свою фізіологічну активність проявляють виключно у водному розчині. По-друге, білки активні лише у вузькому температурному режимі. Підвищення чи зниження температури призводить до порушення їх структури.

Під впливом різних чинників (фізичних або хімічних) вторинна, третинна, четвертинна структури білкової молекули можуть порушуватися. Білок при цьому втрачає свої фізико-хімічні та біологічні властивості.

Порушення структури білкової молекули називається **денатурацією**. При цьому розриваються зв'язки (водневі, йонні, гідрофобні та ін.), що стабілізують вищі рівні структурної організації білкової молекули (мал. 25).



Мал. 25. Денатурація білка

До фізичних чинників, що призводять до денатурації білка, належать температура, ультразвук, тиск, механічний вплив, іонізуюча радіація; до хімічних – кислоти, луги, спирт, ацетон, синтетичні м'які засоби, сечовина, важкі метали (Cu, Hg, Ba, Zn, Cd та ін.).

Явище денатурації білка ви могли спостерігати неодноразово, коли готували яєчню: прозорий білок курячого яйця після нагрівання ставав непрозорим та набував білого кольору. Така денатурація незворотня.

Тривалий час вважалося, що денатурація незворотна. Але іноді, коли денатуруючий агент припиняв свою дію, білок відновлював біологічну активність.

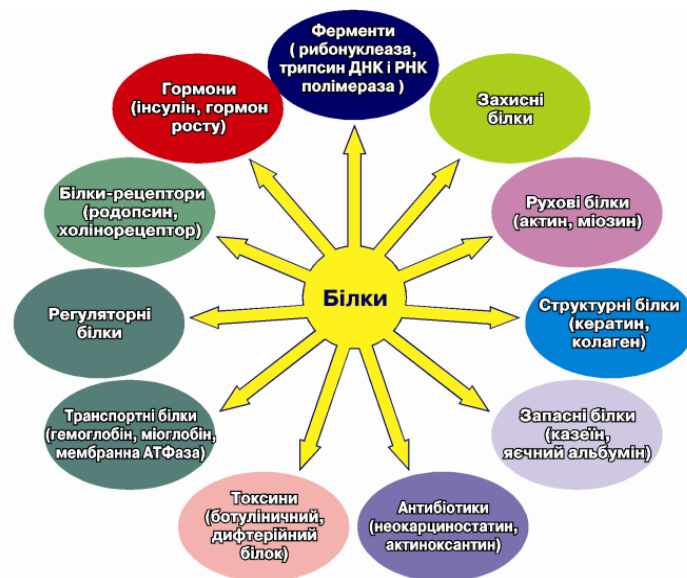
Процес відновлення фізико-хімічних та біологічних властивостей білка називається **ренатурацією**. Така властивість білка відновлює його первинну структуру і властивості (за умови, що первинна структура білка не була порушена).

Деструкція – це процес руйнування первинної структури білка. Є процесом завжди необоротним.

Деякі живі організми використовують явище денатурації білка для своїх життєвих потреб. Наприклад, павуки плетуть свою павутину, виділяючи рідину білкової природи павутинними залозами, приклеюють її до опори, а потім легенько натягують її у вигляді ниточки. Цього слабкого натягнення виявляється достатньо, щоб білок денатурував – з розчинної форми перейшов у нерозчинну, а павутинна нитка набула міцності.

Властивості білків визначають їх функції. Наприклад, білки-ферменти проявляють здатність до каталізу, гормони білкової природи – фізіологічну активність тощо.

Функції білків надзвичайно важливі та різноманітні (мал. 26). Білки утворюють основу цитоплазми клітин та входять до складу їх органел, виконуючи **будівельну** функцію. Найбільша кількість білків міститься в паренхіматозних органах – селезінці, легенях, нирках та м'язах. Найменша кількість їх міститься у кістковій тканині. Білки входять до складу усіх органів і тканин. Вони беруть участь в утворенні структурної основи клітин і їх органел – мембранних структур, мітохондрій, рибосом, цитоплазми. Людині і вищим тваринам білки необхідні для утворення стінок судин, формування покривних, м'язових і сполучних тканин організму, вони становлять основу органічної частини кісткової тканини, хрящів, зв'язок і сухожилля.



Мал. 26. Біологічні функції білків

Більшість білків є біологічними каталізаторами (*ферментами*), які прискорюють практично всі біохімічні реакції, що протікають в живому організмі.

Енергетична функція білків полягає в тому, що за повного розщеплення 1 г білків у середньому вивільняється 17,2 кДж енергії.

Захисна функція білків. Структури, до складу яких входять білки (зовнішній скелет членистоногих, кістки, хрящові утвори), запобігають ушкодженню клітин, органів й організму в цілому. Білки захищають організм від проникнення ззовні сторонніх сполук і хвороботворних мікроорганізмів. Імуноглобуліни (або

антитіла) хребетних тварин – спеціалізовані білки, здатні «розпізнавати» та знешкоджувати бактерії, віруси та інші – антигени. Це сполуки, які організм сприймає як чужорідні і зумовлюють специфічну імунну відповідь. Імуноглобулінам притаманна специфічність – певне антитіло утворюється у відповідь на надходження в організм того чи іншого антигену. Інтерферон – це білок, який пригнічує розмноження вірусів. На його основі створено лікувальні протівірусні препарати. Білки крові (пригадайте, які) беруть участь у процесах її зсідання та утворення тромбів, запобігаючи крововтратам при ушкодженні стінок кровоносних судин. Захисну функцію можуть виконувати деякі ферменти, наприклад лізоцим, який міститься у слині, слизових оболонках, слізній рідині та знешкоджує різних хвороботворних агентів.

Багато білків виконують **регуляторну функцію**. Білкову природу мають певні гормони та нейрогормони, які регулюють активність обміну речовин, процеси росту і розвитку організмів (наприклад, гормон росту).

Деякі білки виконують **сигнальну функцію**. У поверхневій мембрані клітини містяться молекули білків, здатних змінювати свою третинну структуру у відповідь на дію факторів зовнішнього середовища. Так приймаються сигнали із зовнішнього середовища і передаються команди в клітину.

Білкам властива також **скорочувальна або рухова, функція**. Вони беруть участь у забезпеченні різних форм механічного руху – скороченні і розслабленні м'язів, роботи внутрішніх органів – серця, легень, шлунку і т. д. Ці процесії здійснюються за участю таких білків, як актин, міозин, які входять до складу м'язових клітин. Білок тубулін входить до складу мікротрубочок, джгутиків і війок клітин еукаріотів та забезпечує їхню рухову функцію.

Білки виконують також **транспортну функцію**. Для нормальної життєдіяльності кожного організму необхідне постійне забезпечення його органів і тканин поживними речовинами. Ці речовини переносяться з током крові сполуками білкової природи. Так, перенесення кисню до тканин, а на зворотному шляху вуглекислого газу до легень здійснюється за допомогою складного білка хромопротеїдного типу – **гемоглобіну**. Транспорт різних груп ліпідів і жиророзчинних вітамінів до різних органів і тканин здійснюється за участю складних білків – ліпопротеїдів. Вони здатні приєднувати різні речовини і переносити їх з одного місця клітини в інше.

Найважливішою для будь-якого організму є **захисна** функція білків. Антитіла, які виробляються у відповідь на небезпечних збудників, є білками. Наприклад, до складу шкіри, яка захищає тіло тварин, входить білок колаген, а білком волосяного покриву є креатин. Антитіла, які утворюються в організмі при

несприятливій дії на нього різних факторів (хвороботворних бактерій, вірусів, токсинів), мають білкову природу. Зв'язуючись з мікроорганізмами чи токсинами, вони інактивують їх, гальмують патогенну дію і знешкоджують токсичні продукти. Відомо ряд інших процесів, в яких білки також виконують захисну функцію, наприклад у процесах зсідання крові, оберігаючи організм від надмірної втрати її при різних травмах, тощо.

Не менш важливою функцією білків є **регуляторна**. Більшість гормонів (інсулін, глюкагон), які регулюють роботу внутрішніх органів і систем органів, належать до білків. Значна кількість гормонів також є білками або продуктами білкового обміну. Це, зокрема, такі гормони, як інсулін, тетелін, тиреотропін, глюкокортикотропіни, окситони, вазопресин та ін. Гормони беруть активну участь у регуляції обміну, впливають на проникність клітинних мембран, регулюють активність ферментів, діють на процеси трансляції і транскрипції та ін.

Резервна функція. Деякі білки, які відкладаються про запас, можуть

слугувати запасом поживних речовин для організму. Так, білки відкладаються про запас в яйцеклітинах тварин, клітинах ендосперму рослин. Ці

білки зародок споживає на перших етапах свого розвитку. Опорну функцію виконують білки сухожиль, суглобів, кістки скелета, ратиці значною мірою складаються з білків.

Білки – джерело енергії в клітині. При нестачі вуглеводів і жирів окиснюються молекули білків, виконуючи **енергетичну** функцію. Наприклад, при розщепленні 1 г білка до кінцевих продуктів виділяється близько 17 кДж енергії.

Роль білків у життєдіяльності організмів. Білки мають велике промислове значення як найважливіші компоненти їжі людини та сільськогосподарських тварин. Масові епідемії, мала тривалість життя населення країн, що розвиваються, нерідко пов'язані з довготривалим білковим голодуванням. Від вмісту білків у кормах залежить продуктивність сільськогосподарських тварин.

Технологія багатьох виробництв ґрунтується на переробці білків, зміні їхніх властивостей (шкіряна промисловість, чинбарство, одержання натурального шовку). У хлібопекарському виробництві найважливішу роль відіграють властивості білків борошна.

Здатність білків до денатурації широко застосовується у медицині і харчовій промисловості для виготовлення деяких медичних препаратів (антибіотиків, вакцин, ферментів), харчових концентратів, які зберігаються довгий час в сухому вигляді і не втрачають своїх поживних речовин.

Білки – це біополімери, побудовані з амінокислот. Розрізняють первинну, вторинну, третинну та четвертинну структурні організації макромолекул білка. Порушення структури білкової молекули називається денатурацією. Властивості білків обумовлені їх структурною будовою.

Перевірте себе: 1. З чого побудовані білкові молекули? 2. Яку структурну організацію білка називають первинною? 3. Чим вторинна структура білка відрізняється від первинної? 4. Наведіть приклади білків з третинною та четвертинною структурами. Які особливості будови їх молекул? 5. Що таке денатурація? Які чинники викликають денатурацію білка? 6. Назвіть функції білків? 7. Які білки і яким чином виконують рухову функцію? 8. Поясніть будівельну функцію білків у рослин і тварин. 9. Які білки виконують захисну функцію? Де вони знаходяться в організмі людини? 10. Поясніть роль білків у життєдіяльності організмів.

Поміркуйте: 1. Поясніть вислів Ф. Енгельса: «Там, де є білок, існує життя». 2. Де і як живі організми використовують явище денатурації? 3. Встановлено, що при достатній калорійності їжі, але при відсутності в ній білків у тварин спостерігалися патологічні явища: припинявся ріст, змінювався склад крові тощо. З чим це пов'язано? 4. В клітинах рослин чи тварин більше білкових молекул? Поясніть свою думку. 5. Пригадайте, яку функцію в організмі людини виконують інсулін та глюкагон? Яку функцію вони виконують як білкові макромолекули?

Подискутуйте: 1. Чому саме білки вважають основою просторової впорядкованості життя на Землі? Як у цьому процесі проявляється загальна закономірність направленості процесів до рівноважного стану? 2. Чому, не дивлячись на те, що до складу білків входить усього 20 амінокислот, існує велика різноманітність білків? 3. Чому при вегетаріанській дієті люди обмежують себе лише у вживанні білків тваринного м'яса?

Видатні біологи. Уперше термін «білки» було застосовано за аналогією з яечним білком французьким фізіологом Ф. Кейе в 1747 р. Пізніше, в 1838 р., дослідником Н. Мульдером білки були названі протеїнами. Нині у літературі використовуються обидва терміни.

Проекти: 1. Роль білків у життєдіяльності організму. 2. Оцінка продуктів харчування за їх хімічним складом.

§ 15. ФЕРМЕНТИ, ЇХНЯ РОЛЬ В КЛІТИНІ

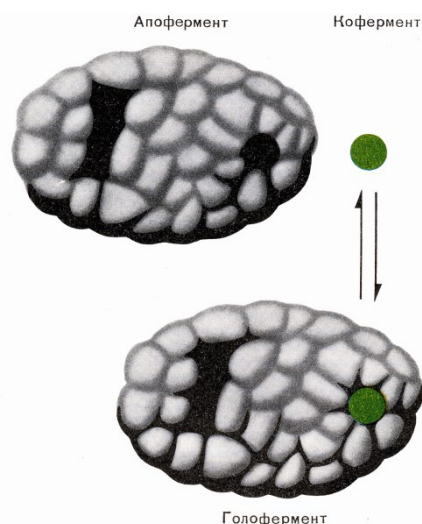
Ферменти (від лат. *ферментум* – закваска, бродіння) – це органічні речовини білкової природи, кожний з яких здатний вибірково каталізувати певну біохімічну реакцію в клітині чи в живому організмі. У кожній клітині міститься сотні різноманітних ферментів. Зараз відомо більше 2 тис. ферментів і вчені продовжують відкривати нові. Активність ферменту залежить від рН середовища, температури, тиску та концентрації речовин.

Основна властивість ферментів – прискорювати біохімічні реакції. Але при цьому вони не витрачаються. Наприклад, один з ферментів розщеплює молекулу сахарози на 1 молекулу глюкози і 1 молекулу фруктози. У той час як *субстрат* – так називають речовину, на яку діє фермент (у даному випадку це сахароза), істотно змінюється в результаті цієї реакції, фермент виходить з неї недоторканим і внаслідок цього може відразу почати розщеплення наступної молекули сахарози.

Активність ферментів обмежена температурними межами від 5 до 45°C. При підвищенні чи пониженні температури їх активність знижується, або вони взагалі припиняють свою дію. Отже, ферменти найбільш активні при нормальних температурах живого організму.

Продуктивність ферментів величезна: молекула ферменту протягом однієї хвилини здатна розкласти до 5 мільйонів молекул субстрату.

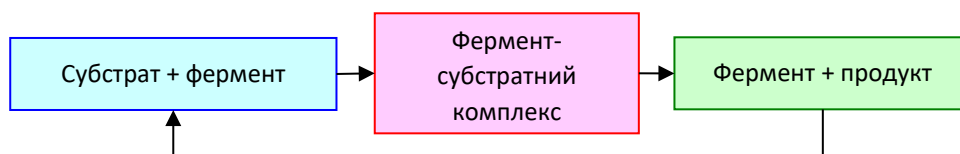
Залежно від хімічного складу ферменти поділяють на прості і складні. Прості ферменти представлені простими молекулами білків. Складні ферменти містять дві частини: *апофермент* і *кофермент* (мал. 27).



Мал. 27. Структура складних ферментів

Поодинці ці частини не здатні впливати на субстрат. Тільки після того, як вони об'єднуються в **голофермент** (від грецький *голос* – весь, цілий), ферментативна активність відновлюється. Кофермент – як правило, речовина з низькою молекулярною вагою, іноді це просто йон металу (наприклад, купрум або молібден); а апофермент, навпаки, має дуже високу молекулярну вагу і завжди являє собою білок. Саме коферменти відповідальні за специфічність ферментативної дії.

Розглянемо дію ферменту (мал. 28). Сполучаючись із субстратом, фермент утворює *ферментсубстратний комплекс*. У ферментсубстратному комплексі задіяна лише частина молекули ферменту, його *активний центр*.



Мал. 28. Дія ферменту

Е. Фішер у 1890 році висловив припущення про специфічність будови молекули ферменту, яка точно відповідає по формі молекулі субстрату і підходить, як «ключ до замка» (мал. 29). Пізніше цю гіпотезу так і назвали «ключ до замка».



Мал. 29. Схема зв'язування ферменту з субстратом

Щоб назвати фермент, до кореня слова, що означає назву субстрату, прийнято додавати закінчення *аза*. Фермент, що розкладає сахарозу на складові частини (глюкозу і фруктозу), – називають **сахараза**. Сахараза розщеплює сахарозу, і тільки її, і не здатна ні на що інше, крім розриву містків між обома частинами молекули сахарози з приєднанням води – це реакція **гідролізу**. Тому, якщо ми хочемо відзначити тип активності цього ферменту, то тоді прийдеться назвати його «сахараза – гідролазу».

Таким чином, ферменти відіграють важливу роль у регуляції обміну речовин, впливаючи на перебіг усіх життєвих процесів. Як біокаталізатори, ферменти прискорюють у тисячі разів хімічні реакції, що відбуваються в клітинах, знижуючи енергію активації і не змінюючи положення рівноваги.

Застосовують ферменти у сироварінні, виноробстві, пивоварінні, для обробки шкір та м'ясних продуктів. У медицині широко застосовують очищені ферментні препарати (панкреатин, мезим–форте, панзінон, ензістал, фестал тощо).

Сировиною для експериментального і промислового одержання ферментів є головним чином біологічний матеріал – мікроорганізми, тканини рослин і тварин.

Ферменти широко використовуються в різних сферах людського життя. Так, в хлібопеченні застосовують ферментативні препарати, які покращують якість і аромат хліба. Дозрівання тіста прискорюється на 30%, а витрата цукру на виготовлення булочних виробів зменшується в 2 рази. В шкіряному і хутряному виробництві застосовуються препарати пептидогідролаз, які прискорюють видалення шерсті із шкіри і розм'якшення її у декілька разів, а також підвищують сортність і якість шкіри і хутра. Лізоцим застосовується як консервант коров'ячого молока та ікри осетрових риб. Глюкозооксидаза використовується як антиокислювач при зберіганні м'яса, фруктових соків, непастеризованих пива і вина.

У медицині і ветеринарії широко застосовується ензимодіагностика. Так, багато захворювань печінки (жовтяниця, гепатити, цирози) діагностуються по збільшенню в крові вмісту лужної фосфатази.

Багато ферментів застосовуються з терапевтичною метою. Так, препарат трипсину в поєднанні з антибіотиками використовується при лікуванні хронічних виразок кінцівок, карбункулів (гнійно-некротичне запалення глибоких шарів шкіри дерми), фурункулів (гостре гнійне запалення волосяного мішечка і навколишньої сполучної тканини), панариціїв (запалення нігтьового ложа) і піодермії (гнійне запалення шкіри). Для руйнування тромбів часто

використовують фібринолізин. Аспарагіназа, яка розщеплює аспарагін, необхідний для синтезу білків раковими клітинами, застосовується при лікуванні злоякісних утворень.

Ферменти – біологічні каталізатори білкової природи. На відміну від хімічних каталізаторів вони діють при невисоких температурах середовища. Білки мають велике промислове і господарське значення в житті людини.

Перевірте себе: 1. Що таке ферменти? 2. Які властивості мають ферменти? 3. Яка роль ферментів у життєдіяльності організмів?

Поміркуйте: 1. Чому без участі ферментів перебіг більшості біохімічних процесів у клітині був би неможливим? 2. Як у дії ферментів проявляється закономірність направленості процесів до рівноважного стану?

Подискутуйте: 1. Чи можна довгий час вживати лікарські препарати, що мають ферментативну дію?

Видатні біологи. Я.Б. ван Гельмінта, вивчаючи бродіння цукристих речовин, запропонував і ввів у науку термін ферменти (від лат. *fermentum* – закваска). В 1814 р. російський вчений К. Кірхгоф у солоді відкрив амілазу, під впливом якої крохмаль перетворюється на мальтозу. В 1836 р. Т. Шванн у шлунковому соку виявив пепсин. У 1862 р. О.Я. Данилевський з соку підшлункової залози виділив амілазу, ліпазу і трипсин. Ним і його учнями встановлена оборотність перебігу ферментативних реакцій.

Для допитливих.

Щодо природи ферментів

Відносно визначення природи ферментів між вченими (Л. Пастером і Ю. Лібіхом) виникла суперечка. Л. Пастер всі ферменти поділив на «організовані» і «неорганізовані». До перших він відніс ферменти, які діють на субстрати в живих клітинах (наприклад, ферменти дріжджів, що викликають спиртне бродіння). До других були віднесені ферменти, які проявляли свою дію зовні клітин, які утворили їх (наприклад, пепсин в порожнині шлунку). Ю. Лібіх вважав, що всі ферменти можуть проявляти свою каталітичну дію як у середині клітин так і зовні них.

Суперечка була вирішена російським лікарем М.М. Манасеїною в 1871 р. Вона отримала дріжджовий сік, який зброджує вуглеводи так само, як і дріжджові клітини. Досліди були підтверджені Е. Бухнером. Тим самим було доведено, що ферменти можуть функціонувати незалежно від клітинної структури.

Лабораторне дослідження № 1 ВИВЧЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ ФЕРМЕНТІВ

Мета: дослідити властивості ферментів, спостерігаючи за ферментативним розщепленням пероксиду водню у клітинах листків елодеї та інших рослин.

Обладнання: набори для виготовлення мікропрепаратів; пробірки, мікроскопи; листки елодеї, пеларгонії, бегонії; м'якоть яблука, картоплі; розчин пероксиду водню, дистильована вода, терка, сира картопля, пірогалол (1%-ний); пероксид водню (2%-ний).

Прочитайте текст!

Пероксид водню нагромаджується в живих клітинах внаслідок окисно-відновних реакцій. Він отруйно впливає на життєдіяльність клітини. Цьому перешкоджає фермент каталаза, що прискорює розщеплення пероксиду водню на воду та кисень. Якщо на живу тканину капнути пероксидом водню, то відбувається виділення кисню. За інтенсивністю виділення кисню можна висловити судження про активність ферменту каталази.

Хід роботи

1. Виготовте препарат листка елодеї, який витримано на світлі 8-10 годин і розгляньте його під мікроскопом.

2. Капніть краплю розчину пероксиду водню на предметне скло з одного боку накривного скельця, а з іншого – видаліть фільтрувальним папером зайву воду.

3. Опишіть стан клітин до дії пероксиду водню і після. Чи бачите ви пухирці кисню, що виділяється?

4. Проробіть подібний дослід з листками пеларгонії, традесканції тощо.

5. Сиру картоплю натріть на терці. Невелику її кількість, не віджимаючи, перенесіть у пробірку, додайте 1-2 краплі 2%-ного розчину пероксиду водню. Це саме зробіть із натертою на терці вареною картоплею, шматочком м'яса, листком елодеї. Поясніть явища, що ви спостерігали. Зробіть висновки, перевіряючи те, що спостерігали з даними таблиці.

Таблиця 3

Хід дослідів

Що робили?	Що спостерігали?	Висновки
У пробірку зі шматочком сирої картоплі додали розчин пероксиду водню	Бурхливе виділення пухирців кисню	

У пробірку зі шматочком вареної картоплі додали розчин пероксиду водню	Змін немає	
У пробірку зі шматочком сирого м'яса додали розчин пероксиду водню	Бурхливе виділення пухирців кисню	
У пробірку зі шматочком вареного м'яса додали розчин пероксиду водню	Змін немає	
На предметне скло поклали листок елодеї, додали краплю пероксиду водню, накрили накривним скельцем і розглянули під мікроскопом	Бурхливе виділення пухирців кисню	

6. Зробіть висновок про властивості ферментів, які ви дослідили.

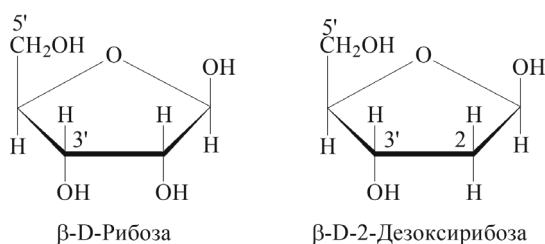
§16. НУКЛЕЇНОВІ КИСЛОТИ. РОЛЬ НУКЛЕЇНОВИХ КИСЛОТ ЯК НОСІЯ СПАДКОВОЇ ІНФОРМАЦІЇ

Нуклеїнові кислоти – це природні високомолекулярні органічні речовини, які забезпечують збереження і передачу спадкової інформації в живих організмах.

Нуклеїнові кислоти, як і білки, є високомолекулярними сполуками. Вони побудовані з великої кількості структурних одиниць, які називаються **нуклеотидами**.

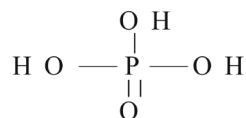
Нуклеотиди – це трикомпонентні сполуки. Вони складаються з пуринових або піримідинових основ, пентоз і ортофосфатної кислоти. З пуринових основ до складу нуклеотидів входить в основному аденін або гуанін. З піримідинових основ у складі нуклеотидів виявлені переважно урацил, тимін і цитозин.

Із вуглеводних компонентів – пентоз – до складу нуклеотидів входить в β -D-рибофуранозній формі рибоза або дезоксирибоза:



Встановлено, що в складі окремих фагових ДНК крім рибози і дезоксирибози виявлена також глюкоза.

Як уже зазначалося, компонентом нуклеотидів є ортофосфатна кислота:

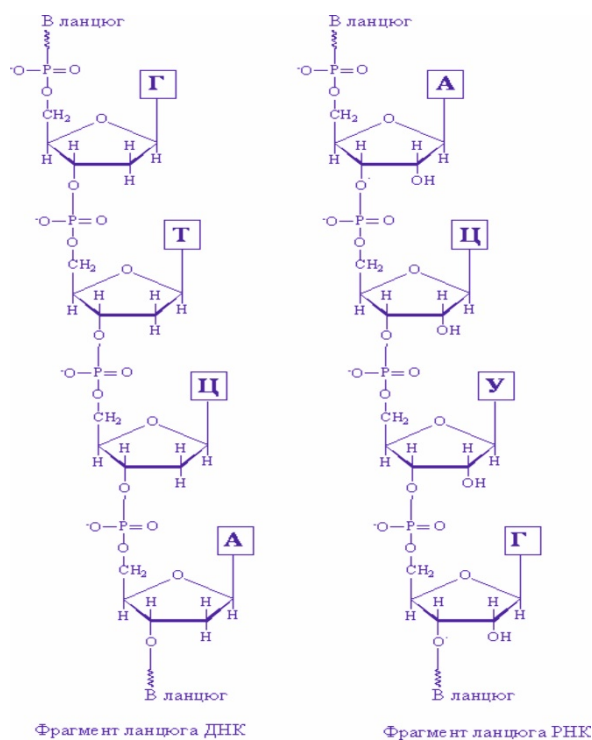


Нуклеїнові кислоти – це речовини білого кольору, волокнистої будови, погано розчинні у воді, їх солі (лужних металів) добре розчинні у воді.

У природі існують два види нуклеїнових кислот, які відрізняються між собою складом, будовою і функціями. Це *дезоксирибонуклеїнова кислота (ДНК)*, що містить генетичну інформацію про послідовність амінокислот у білках, та *рибонуклеїнова кислота (РНК)*, що бере участь у синтезі білків.

Поділ нуклеїнових кислот на ДНК і РНК (мал. 30) відбувається за будовою залишку моносахариду, що входить до складу нуклеотидів. ДНК будується з дезоксирибонуклеотидів, які мають у своєму складі дезоксирибозу. РНК – з рибонуклеотидів, що містять рибозу.

Нітратні основи, що входять до складу нуклеїнових кислот, є похідними гетероциклічними сполуками пурину та піримідину. До пуринових сполук належать: аденін (А) і гуанін (Г), до піримідинових – цитозин (Ц), урацил (У) і тимін (Т).

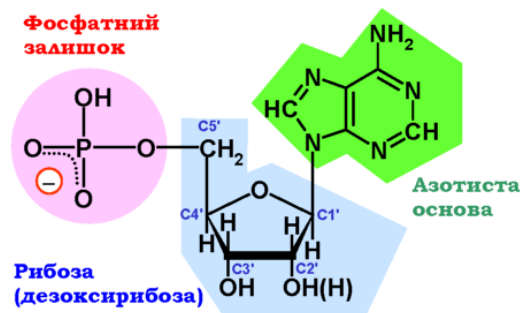


Мал. 30. Фрагменти ланцюгів нуклеїнових кислот: 1 – ДНК; 2 – РНК

Дезоксирибонуклеїнова кислота. ДНК є основним генетичним матеріалом живих систем. У організмах, за винятком вірусів і бактерій, вона сконцентрована в ядрах клітин.

ДНК знаходиться у клітині в ядрі, мітохондріях, пластидах зелених рослин.

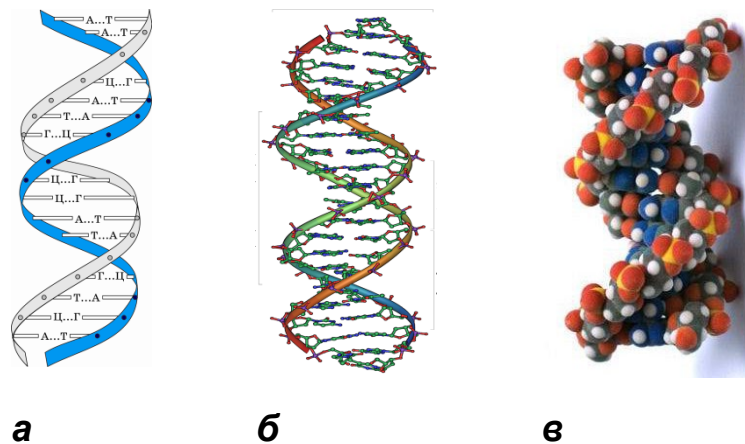
Молекула ДНК складається з двох спірально закручених ланцюгів, сполучених водневими зв'язками. «Будівельними блоками», з яких побудована молекула ДНК, є нуклеотиди. Кожний нуклеотид (мал. 31) складається з пуринової або піримідинової основи, з'єднаної з вуглеводом дезоксирибозою, яка з'єднана із залишком ортофосфатної кислоти. Пуринові основи – аденін і гуанін; піримідинові основи – цитозин і тимін.



Мал. 31. Будова нуклеотиду

Розшифрування структури ДНК має свою історію. 1950 року американський учений українського походження Ервін Чаргафф (1905–2002) та його колеги виявили певні закономірності кількісного вмісту нітратних основ у молекулі ДНК: *по-перше*, кількість нуклеотидів, що містять аденін у будь-якій молекулі ДНК, дорівнює числу нуклеотидів, які містять тимін ($A = T$), а число нуклеотидів з гуаніном – числу нуклеотидів з цитозином ($G = C$); *по-друге*, сума нуклеотидів з аденіном і гуаніном дорівнює сумі нуклеотидів з тиміном і цитозином ($A + G = T + C$). Як ви же знаєте, це відкриття сприяло встановленню в 50-х роках ХХ ст. просторової структури молекули ДНК (мал. 32). Молекула ДНК складається з двох ланцюгів нуклеотидів, які сполучаються між собою за допомогою водневих зв'язків. Ці зв'язки виникають між двома нуклеотидами, які ніби доповнюють один одного за розмірами. Встановлено, що залишок аденіну (А) нуклеотиду одного ланцюга молекули ДНК завжди сполучається із залишком тиміну (Т) нуклеотиду іншого ланцюга (між ними виникає два водневі зв'язки), а гуаніну (Г) – з цитозином (Ц) (між ними виникає три водневі зв'язки).

Чітка відповідність нуклеотидів у двох ланцюгах ДНК має назву **комплементарність** (від лат. *complementum* – доповнення).



Мал. 32. Зображення подвійної спіралі ДНК (а) (за Дж. Уотсоном, Ф. Кріком); б – молекулярна; в – атомна.

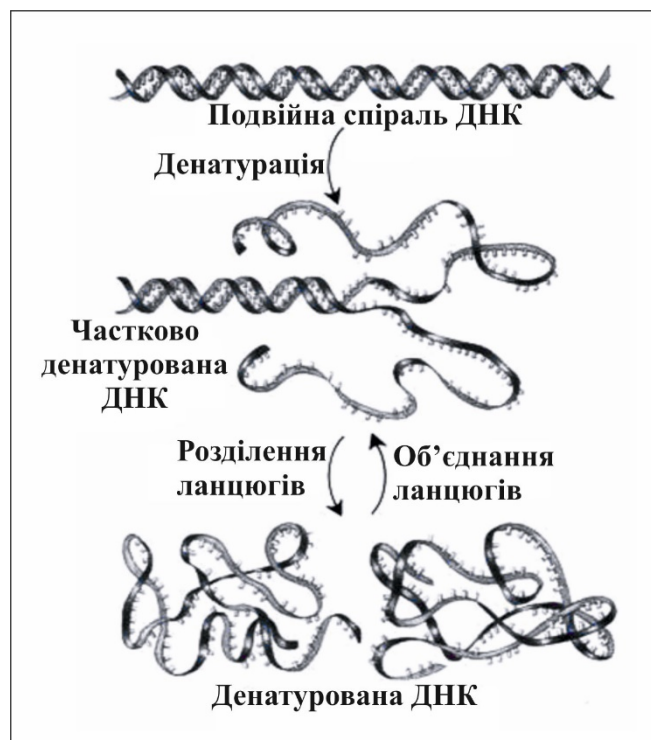
Відкриття подвійної спіралі. Фактами, що сприяли розкриттю таємниці просторової структури ДНК, були не тільки дані про співвідношення нуклеотидних основ, але й дані рентгеноструктурного аналізу кристалів натрієвої солі ДНК. На цих рентгенограмах, отриманих англійськими фізиками **М. Уілкінсом** (1916–2004) і Р. Франклін (1921–1958), можна було побачити, що ДНК має спіральну структуру. Однак честь відкриття структури ДНК належить двом іншим англійським ученим — **Д. Вотсону і Ф. Кріку**. Вони змогли першими створити достовірну модель ДНК і опублікували її в журналі «Nature» в 1952 р. Зараз її прийнято називати моделлю подвійної спіралі (мал. 32). Ця модель вдало поєднувала в собі дві виявлені на той час особливості: спіральну форму молекули і її подвійну будову.

Рибонуклеїнова кислота. У клітині РНК знаходиться в ядрі, цитоплазмі, рибосомах, мітохондріях, пластидах зелених рослин.

«Будівельними блоками» у РНК є мононуклеотиди (або просто нуклеотиди). Кожний нуклеотид складається з однієї пуринової чи піримідинової основи, з'єднаної з вуглеводом рибозою, яка з'єднана із залишком фосфорної кислоти. Нітратними основами РНК є: пуринові основи – аденін і гуанін; піримідинові основи – цитозин і урацил. Нітратні основи (тимін з ДНК і урацил з РНК) відрізняються тільки метильною групою, яка присутня в тиміні. Нуклеотиди РНК тотожні ДНК, але замість тиміну (Т) в молекулі РНК – урацил (У). Крім цього, в нуклеотиді РНК міститься рибоза, тоді як у ДНК – дезоксирибоза.

Денатурація нуклеїнових кислот. Нуклеїнові кислоти мають здатність до денатурації. Даний процес полягає в розриві водневих зв'язків, в деспіралізації та розходженні полінуклеотидних ланцюгів ДНК і ділянок молекул РНК.

Денатурацію (мал. 33) нуклеїнових кислот можуть викликати кислоти, луги, спирти тощо. Внаслідок денатурації кожний із полінуклеотидних ланцюгів молекули нуклеїнової кислоти набуває форми клубка, скрученого безладно. Тому даний процес ще називають переходом спіраль – клубок.



Мал. 33. Денатурація ДНК

Функції нуклеїнових кислот. Нуклеїнові кислоти в організмі виконують різноманітні функції, але найважливішими серед них є участь у передачі спадкових ознак і процесах біосинтезу білка. Адже основними носіями генетичної інформації в більшості організмів є ДНК. Винятком є тільки окремі фаги, дрібні віруси тварин і більшість рослинних вірусів, в яких носіями генетичної інформації є молекули РНК.

Нуклеїнові кислоти – це природні високомолекулярні органічні речовини, які забезпечують збереження і передачу спадкової інформації в живих організмах. Існують два види нуклеїнових кислот: дезоксирибонуклеїнова кислота (ДНК), що містить генетичну інформацію про послідовність амінокислот у білку, та рибонуклеїнова кислота (РНК), що бере участь у синтезі білка.

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 1.

Розв'язування елементарних вправ зі структури білків та нуклеїнових кислот

Мета: сформувані практичні уміння розв'язувати елементарні вправи і задачі зі структури білків та нуклеїнових кислот.

Основні поняття і терміни: нуклеїнові кислоти, ДНК, РНК, нуклеотиди, комплементарність.

Обладнання: збірники задач, таблиці «ДНК», «РНК», модель будови молекули ДНК.

Хід роботи

Розв'язування задач.

1. Будова білків.

Для розв'язування цього типу задач необхідно знати лінійні розміри амінокислот і їх середньої молекулярної маси.

l – лінійні розміри АК.

l амінок–ти = 0,35 нм

1 нм = 10–6мм

M_r – молекулярна маса

M_r середня 1 амінок–ти = 110 дальтон, 1 дальтон = в. а. о.

Задача 1.

Молекулярна маса каталази 224000 дальтон. Скільки амінокислотних ланок у цій молекулі?

Дано:	Розв'язання
M_r (каталази) = 224000 дальтон M_r (сер.амінок–и) = 110 дальтон	$n = M_r$ (білку) / M_r (сер.амінок–ти) = 224000 Да / 110 Да = 2036

n(АК–них ланок) – ?	Відповідь: у цій молекулі 2036 АК–них ланок.
---------------------	--

Задача 2. Розв'язати задачу самостійно.

Молекулярна маса пепсину 35500 дальтон. Яка довжина первинної структури цього білка?

Дано:	Розв'язання
M_r (пепсину) = 35500 Да M_r (сер.АК) = 110 Да $l_{АК} = 0,35$ нм	
l (перв.стр.білка пепсину) – ?	

Задача 3.

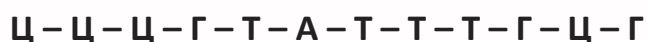
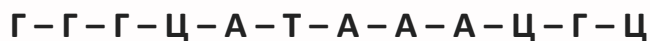
Фрагмент правого ланцюга ДНК має наступний нуклеотидний склад.



Визначить порядок чергування нуклеотидів у лівому ланцюгу. Яка довжина даного фрагмента молекули ДНК? Визначить % вміст кожного нуклеотида в даному фрагменті.

Розв'язування.

1. За принципом комплементарності відновлюємо лівий ланцюг ДНК і таким чином весь фрагмент ДНК.



2. Визначаємо довжину фрагмента ДНК

$$12 \times 0,34 \text{ нм} = 4,08 \text{ нм}$$

3. Встановлюємо % вміст кожного нуклеотида в даному фрагменті ДНК.

Всіх нуклеотидів – 24, з них А = 5; Т = 5; Г = 7; Ц = 7.

Звідси, $24 - 100\%$
 $5 - x\%$
 $x = (100 \times 5) / 24 = 20,8\%$
 $24 - 100\%$
 $7 - x\%$
 $x = 100 \times 7 / 24 = 29,2\%$

Відповідь: вміст аденіну = 20,8%; тиміну = 20,8%; гуаніну = 29,2%; цитозину = 29,2%.

Задача 4.

Умова: Чому дорівнює довжина молекули ДНК, якщо в ній число тимідилових нуклеотидів 600 тис., а гуанілових – 2400 тис.?

Дано:	Розв'язання
$T = 600000$ $G = 2400000$	1) Визначаємо скільки нуклеотидів у одному з ланцюгів молекули ДНК. $600000 + 240000 = 3000000$ нуклеотидів 2) Чому дорівнює довжина молекули ДНК? $3000000 \times 0,34 \text{ нм} = 1020000 \text{ нм} = 1,02 \text{ мм}$
$l(\text{ДНК}) = ?$	Відповідь: $1020000 \text{ нм} = 1,02 \text{ мм}$

Задача 5. Розв'язати задачу самостійно.

Умова: у молекулі ДНК тимідилові нуклеотиди складають 20% від загальної кількості. Визначити відсотковий вміст інших видів нуклеотидів.

Перевірте себе: 1. Які існують види нуклеїнових кислот? 2. Назвіть спільні та відмінні риси в будові, функціях та місцезнаходженні молекул ДНК і РНК. 3. Які функції виконує ДНК?

Поміркуйте: 1. У чому полягає біологічна роль ДНК? 2. На чому базується величезна інформаційна ємність ДНК? (Наприклад, в ДНК ссавців міститься 4-6 млрд. біт інформації, що відповідає бібліотеці в 1,5-2 тис. томів). Як ця функція відображена в будові ДНК? 3. Як у функції ДНК проявляється закономірність збереження?

Подискутуйте: 1. Чому молекула ДНК має чітке співвідношення своїх компонентів?

Проекти: 1. Функції ДНК у клітині і її роль у життєдіяльності організму. 2. Будова, різновидності та функції РНК.

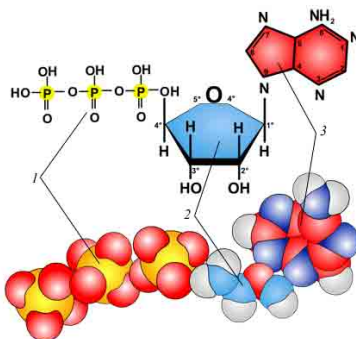
Видатні біологи. Вперше нуклеїнові кислоти були описані в 1869 р. швейцарським біохіміком *Фрідріхом Мішером* (1844–1895). Із залишків клітин він виділив речовину, до складу якої входили Нітроген і Сульфур. Учений назвав цю речовину нуклеїном, пояснюючи це тим, що вона міститься тільки в ядрі клітини. Пізніше небілкова частина цієї речовини була названа нуклеїновою кислотою.

Джеймс Уотсон (1928 р.н.), американський учений в галузі молекулярної біології, лауреат Нобелівської премії, вперше в історії розшифрував структуру молекули ДНК і довів, що вона має вигляд подвійної спіралі.

Моріс Хью Уілкінс (1916 р.н.), англійський біофізик, лауреат Нобелівської премії, підтвердив гіпотезу Уотсона щодо спіральної моделі молекули ДНК.

§ 17. АТФ. ПОНЯТТЯ ПРО ПЕРЕТВОРЕННЯ ЕНЕРГІЇ ТА РЕАКЦІЇ СИНТЕЗУ В БІОЛОГІЧНИХ СИСТЕМАХ

Аденозинтрифосфатна кислота (АТФ) – сполука, яка за своїм складом є нуклеотидом. Молекула АТФ складається із залишків нітратної основи (аденіну), пентози (рибози) та трьох залишків ортофосфатної кислоти (*мал. 34*). Ця речовина має незвичні для інших органічних сполук хімічні зв'язки та властивості. Це два високоенергетичні хімічні зв'язки між послідовно розміщеними залишками ортофосфатної кислоти, в яких запасується значна кількість енергії. Якщо за участі відповідного ферменту відщеплюється один залишок ортофосфатної кислоти, то АТФ перетворюється на аденозиндифосфатну кислоту (АДФ), при цьому звільняється близько 40 кДж енергії.



*Мал. 34. Молекула АТФ: 1 – триортофосфат; 2 – пентоза (рибоза);
3 – аденін*

Якщо ж відщеплюються два залишки молекул ортофосфатної кислоти, АТФ перетворюється на аденозинмонофосфатну кислоту (АМФ). При цьому вивільняється понад 84 кДж енергії. Відповідно, при приєднанні до АМФ залишку ортофосфатної кислоти запасується близько 40 кДж енергії. При цьому утворюється молекула АДФ. Також близько 40 кДж енергії запасується за умови приєднання ще одного залишку ортофосфатної кислоти до молекули АДФ. Молекула АДФ таким чином перетворюється на молекулу АТФ.

Отже, молекули АТФ слугують універсальним хімічним акумулятором енергії в клітинах.

Енергія, яка вивільняється в процесі розщеплення молекул АТФ, використовується для синтезу необхідних організму сполук, підтримання певної температури тіла, забезпечення інших процесів життєдіяльності.

Енергетичний обмін – це сукупність реакцій розщеплення складних сполук із виділенням енергії. Організми з довкілля в процесі життєдіяльності у певних формах поглинають енергію. Потім вони повертають в іншій формі її еквівалентну кількість.

Не завжди процеси асиміляції врівноважені з процесами дисиміляції. Накопичення речовин і ріст в організмах, що розвиваються, забезпечується процесами асиміляції, тому вони переважають. Процеси дисиміляції переважають при нестачі поживних речовин, інтенсивній фізичній роботі, старінні.

Процеси асиміляції і дисиміляції тісно пов'язані з типами живлення організмів. Основним джерелом енергії для живих організмів Землі є сонячне світло. Воно опосередковано чи безпосередньо задовольняє їх енергетичні потреби. **Автотрофи** (від грецьк. аутоc – сам і трофе – їжа, харчування) – це організми, здатні синтезувати органічні сполуки з неорганічних із використанням певного виду енергії. Розрізняють фототрофи і хемотрофи. **Фототрофи** (від грецьк. фотос – світло) – організми, які для процесів синтезу органічних сполук із неорганічних, використовують енергію світла. До них належать деякі прокаріоти (фотосинтезуючі сіркобактерії й ціанобактерії) та зелені рослини. **Хемотрофи** (від грецьк. хеміа – хімія) для синтезу органічних сполук із неорганічних використовують енергію хімічних реакцій. До них відносяться деякі прокаріоти (залізобактерії, сіркобактерії, нітрифікуючі тощо).

Гетеротрофи (від грецьк. гетерос – інший) – це організми, які синтезують власні органічні сполуки з готових органічних сполук, синтезованих іншими організмами. До них належать більшість прокаріот, гриби, тварини. Для них джерелом енергії є органічні речовини, які вони одержують з їжею: живі організми, їхні рештки або продукти життєдіяльності.

Енергія в біологічних системах використовується для забезпечення в організмі різних процесів: теплових, механічних, хімічних, електричних тощо. Частина енергії під час реакцій енергетичного обміну розсіюється у вигляді теплоти, а частина її запасується в макроергічних хімічних зв'язках певних

органічних сполук і такою універсальною речовиною є аденозинтрифосфорна кислота (АТФ).

Аденозинтрифосфатна кислота (АТФ) – універсальний хімічний акумулятор енергії в клітині. Енергетичний обмін – це сукупність реакцій розщеплення складних сполук із виділенням енергії.

Перевірте себе: 1. Яка структура молекули АТФ? 2. Що таке енергетичний обмін? 3. Які процеси пов'язані з типами живлення організмів? 3. Яким загальним закономірностям природи підлягає енергетичний обмін?

Поміркуйте: 1. У чому полягає роль АТФ у перетворенні енергії в клітині? 2. Для забезпечення яких процесів в організмі використовується енергія?

Подискутуйте: 1. Чому молекула АТФ має незвичні для інших органічних сполук хімічні зв'язки та властивості?

Проекти: 1. Функції АТФ у клітині і її роль у життєдіяльності організму.

§ 18. ВИВЧАЄМО БІОЛОГІЧНІ СИСТЕМИ У ДОВКІЛЛІ

(Урок у довкіллі)

Мета уроку: ознайомитися в довкіллі з біологічними системами різних рівнів організації, навчитися розрізняти їх між собою, визначити зв'язки та відношення між живою і неживою природою.

Обладнання: лупа, бінокль, фотоапарат, довідник з біології.

1. Проведіть спостереження у довкіллі за живою природою. Які організми населяють спостережуване вами довкілля? Запишіть їх у зошит, вказуючи рівень організації

2. Визначте зв'язки, які існують між біологічними системами різних рівнів організації. Пояснює їх на основі загальних закономірностей природи.

3. Які існують зв'язки та відношення між живою та неживою природою? Поясніть критерії живого, порівнюючи об'єкти живої і неживої природи.

4. Проаналізуйте екологічний стан довкілля, в якому перебуваєте. Чи відповідає він природнім показникам якості? Поміркуйте, які екологічні питання

вирішуються при вивченні біологічних систем на кожному рівні організації живого.

5. Змодельуйте образ екологічно чистого довкілля. Зобразіть його у вигляді схеми або малюнка.

Узагальніть вивчене з теми 2

«Молекулярний рівень організації живої природи»

Тематична самоперевірка знань

I рівень

Виберіть правильну, найбільш повну відповідь.

1. Білки побудовані з:

а) амінокислот; б) моносахаридів; в) нуклеотидів.

2. Рослинним вуглеводом є:

а) глікоген; б) крохмаль; в) целюлоза; г) хітин.

3. Під час денатурації відбувається::

а) синтез білка; б) порушення структури білка; в) синтез РНК; г) синтез ДНК.

II рівень

Виберіть правильну відповідь.

1. У хлоропластах клітин рослин синтезуються:

а) білки; б) вуглеводи; в) ліпіди; г) нуклеїнові кислоти; е) амінокислоти.

2. Ферменти зумовлюють:

а) прискорення біохімічних реакцій; б) сповільнення біохімічних реакцій; в) умови реакції.

3. Сахараза – це:

а) білок; б) фермент; в) нуклеїнова кислота.

III рівень

1. Після утворення нестійкого проміжного комплексу активного центру молекули ферменту з розчинами ферментативної реакції сам фермент:

а) змінює структуру; б) втрачає активність; в) не змінює структуру; г) не змінює функції.

2. Різновидностями РНК є:

а) інформаційна; б) клітинна; в) транспортна; г) рибосомальна; д) кислотна.

3. У тварин функцію транспортування газів (кисню та вуглекислого газу) виконують білки:

а) казеїн; б) гемоглобін; в) актин; г) осеїн; д) міозин.

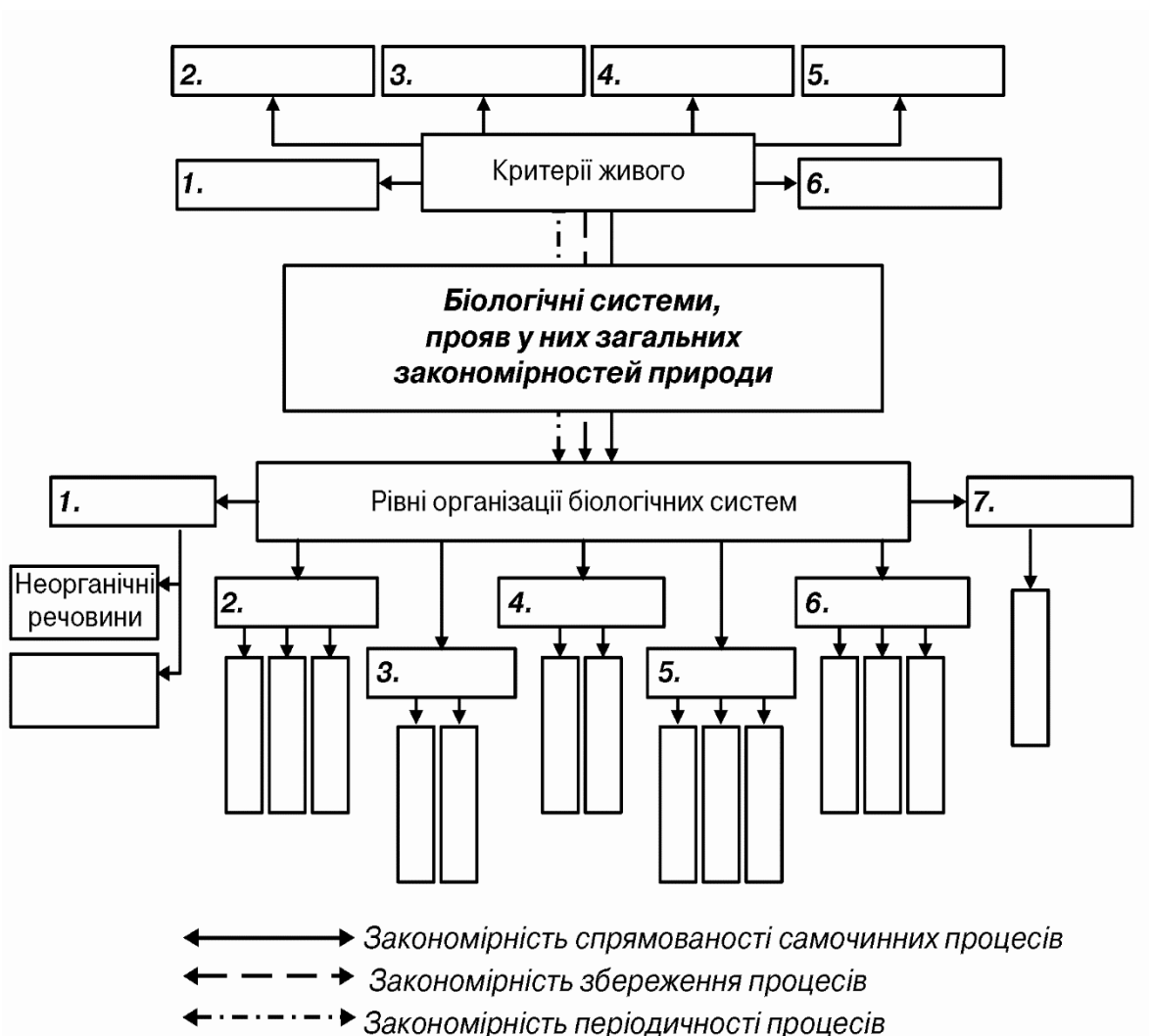
IV рівень

Дайте відповідь на запитання

1. Які виділяють органічні речовини у складі живих організмів?

2. Які функції виконують білки?

3*. Для допитливих. Заповніть у зошиті структурно-логічну схему знань із розділу 1 «Молекулярний рівень організації життя», використавши нижче подану. Поясніть зв'язки між елементами знань про живу природу на основі загальних закономірностей природи (збереження, періодичності, спрямованості процесів до рівноважного стану).



Варіант схеми узагальнення знань про живу природу з теми 1

ТЕМА 3. КЛІТИННИЙ РІВЕНЬ ОРГАНІЗАЦІЇ ЖИВОЇ ПРИРОДИ

§ 19. МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ КЛІТИН

Розвиток цитології. Цитологія – наука про будову, функціонування та еволюцію клітин. Виникла вона наприкінці XVI ст. і це пов'язано зі створенням світлового мікроскопа. Першим мікроскопістом був англійський природодослідник XVII сторіччя Роберт Гук (1635–1703), який удосконалив мікроскоп і встановив клітинну будову тканин та ввів термін «клітина». У 1665 р вивчаючи під мікроскопом власної конструкції зріз корка (покривна тканина рослин, що складається з оболонок відмерлих клітин), Р. Гук помітив, що той складається з окремих комірок (подібних до бджолиних стільників), які він назвав клітинами.

Його роботи послужили поштовхом для з'явлення систематичних досліджень з анатомії рослин (М. Мальпігі, 1628–1694; Н. Грю, 1641–1712), що підтвердили спостереження Р. Гука про їхню клітинну організацію. Пізніше Антоні ван Левенгук (1632–1723, публікації 1673 р.) відкрив світ одноклітинних організмів і вперше побачив і замалював клітини тварин (еритроцити, їхній рух у капілярах).

Методи дослідження клітин. XX століття відкрило перед цитологією нові горизонти, запропонувавши принципово нові методи та напрями досліджень.

Найпоширенішими методами цитологічних досліджень є **якісні методи**. До них належать різні види мікроскопії (світлова, електронна, інтерференційна тощо). Такі методи дають можливість отримати інформацію про будову клітини та її складових, розміщення різних хімічних речовин у клітині тощо.

Основним методом, яким користувалися дослідники біології клітини, був метод **світлової мікроскопії** (мал. 35, а). В наш час цей метод істотно доповнено й модифіковано, що значно розширило коло завдань і питань, які вирішуються цитологією.



а

б

Мал. 35. Мікроскопи: а – світловий; б – електронний

Можливості найкращих світлових мікроскопів обмежені тим, що в них можна побачити лише дві краплі нарізно на відстані 0,2-0,3 мкм. Далі вони зливатимуться. Цю проблему вирішили на початку 1930-х років перші електронні мікроскопи. Замість світлових променів у цьому мікроскопі використовується потік електронів. Звичайно, жодна людина ще не бачила електрон на власні очі, тому зображення в електронному мікроскопі створюється на люмінесцентному екрані чи фотоплівці. Фотографія, зроблена на електронному мікроскопі, називається *електронограмою*. Електронограми зазвичай чорно-білі, тобто об'єкти на них різняться лише за ступенем яскравості, який залежить від того, наскільки проникні для електронів ті чи інші об'єкти.

Для вивчення поверхонь біологічних об'єктів, зокрема зовнішньої мембрани клітин, використовують **електронну мікроскопію** (мал. 32, б). При використанні цього методу пучок електронів рухається уздовж поверхні досліджуваного об'єкта й відбивається від нього в різні боки. Спеціальні детектори фіксують напрям, у якому відбивається потік електронів, і на основі цього створюється тривимірна реконструкція поверхні досліджуваного об'єкта.

У другій половині ХХ ст. завдяки широкому застосуванню електронних мікроскопів було здійснено прорив у розв'язанні багатьох проблем, зокрема у вивченні біологічних мембран. Так, Дж. Робертсон у 1957 р. запропонував тришарову модель біологічної мембрани. Метод *електронної мікроскопії* дав змогу проникнути в зовсім новий світ – світ ультраструктур, що за розміром мають кілька нанометрів.

Кількісними методами цитологічних досліджень є авторадіографія (**або метод мічених атомів**). Ця група методів дає інформацію про вміст будь-якої речовини в клітині (наприклад, ДНК або РНК). Для вивчення клітин за допомогою цього методу у поживне середовище, в культуру клітин чи в їжу або в кров досліджуваного об'єкта вводять спеціальну речовину, топографію біосинтезу якої ми маємо вивчити. При цьому ця речовина містить у своєму складі радіоактивний ізотоп (наприклад, ізотоп водню – тритій), що поступово розпадається. Місця розпаду ізотопу виявляють завдяки фотоемульсії, що наноситься на препарат чи поверхню досліджуваних клітин після закінчення терміну експерименту. Варіюючи час, який мічений радіоактивним ізотопом

попередник проводить в організмі чи в клітині, можна встановити шляхи його пересування по клітині, органах тіла тощо.

Метод **диференційного центрифугування** застосовують для відокремлення однакових органел з цілої групи клітин. Для цього клітини спочатку гомогенізують, а потім отриманий гомогенат центрифугують при різних швидкостях обертання ультрацентрифуги. Спочатку (при найменших швидкостях) осідають агрегати з кількох клітин, потім – цілі клітини, далі – органели клітини від найбільших до найменших. Останніми (при найбільших обертах) осідають великі макромолекулярні комплекси (рибосоми тощо). Звичайно, після кожного циклу обертання осад відбирається й далі центрифугується лише надосадова рідина. У 1955 р. за допомогою цього методу бельгійський учений Крістіан де Дюв відкрив лізосоми.

Постійно мати у своєму розпорядженні клітини різних типів дає змогу **метод культури клітин**. При цьому живі клітини утримують та розмножують на штучних поживних середовищах (наприклад, виготовленої з агару речовини, яку добувають з червоних водоростей). Змінюючи компоненти поживного середовища, можна спостерігати як ті чи інші сполуки впливатимуть на ріст і розмноження клітин, інші їхні властивості. Культури клітин використовують у медицині, ветеринарії та службі захисту рослин для перевірки впливу різноманітних хімічних препаратів, вірусів, одноклітинних організмів, отримання біологічно активних речовин (лікарських, біостимуляторів тощо).

Ці методи дозволяють одержати дані про різні аспекти життєдіяльності клітини: роль ядра в процесі клітинної диференціації або закономірностях міжклітинних взаємодій тощо.

У ґрунтовних цитологічних дослідженнях рідко використовують якийсь один, окремо взятий метод. Частіше користуються декількома методами, що дозволяє одержати максимальну інформацію з питань, які цікавлять цитологію. Останнім часом частіше залучають різні біохімічні й молекулярно-біологічні, фізичні і фізико-хімічні методи дослідження (метод диференціального центрифугування, метод парамагнітного резонансу, генна інженерія та ін.).

Цитологія – наука про будову, функціонування та еволюцію клітин. Виникла вона наприкінці XVI ст. і це пов'язано зі створенням світлового мікроскопа. Методами цитологічних досліджень є різні види мікроскопії (світлова, електронна), авторадіографія, диференційного центрифугування тощо.

Перевірте себе: 1. Кому б ви вручили пам'ятний знак «Перший цитолог»? Обґрунтуйте свій вибір. 2. Які вчені, на вашу думку, зробили найвагоміший внесок у становлення цитології? 3. Що Р. Гук назвав клітиною? 4. Чим відрізняються методики підготовки мікроскопічних препаратів у XVII та в XXI ст.? 5. Чим ознаменувався розвиток цитології у XIX–XX століттях?

Поміркуйте: 1. Які спільні та відмінні риси має світловий та електронний мікроскопи? 2. Поясніть принцип застосування методу диференційного центрифугування. 3. Чим метод авторадіографії відрізняється від уже існуючих на даний момент методів? 4. Із власного досвіду наведіть приклади установ, де вивчають або досліджують клітини. З якою метою це роблять?

Подискутуйте: 1. Від чого, на ваш погляд, залежить розвиток цитології?

Проекти: 1. Історія вивчення клітини. 2. Видатні вчені-цитологи, їх життя і творчість. 3. Значення цитологічних методів у діагностуванні хвороб людини.

Для допитливих

Видатні біологи. Антоні ван Левенгук (1632–1723) (мал. 36, а)

Народився 24 жовтня 1632 р. у Делфті. Працював у мануфактурній крамниці в Амстердамі. У вільний час займався шліфуванням лінз і досягнув у їх виготовленні великої досконалості, домігшись 300-кратного збільшення. Левенгук розглядав у мікроскоп усе, що траплялося на очі: шматочок м'яса, краплю дощової води або сінного настою, хвостик пуголовка, око мухи, сіруватий наліт зі своїх зубів тощо. Побачене ретельно замальовував і звіти посилав у Лондонське королівське товариство. Проводячи свої дослідження без жодного плану, учений-самоук зробив безліч важливих відкриттів. Уперше спостерігав еритроцити й виявив, що кров рухається в капілярах. У спермі він уперше побачив сперматозоїди. Розглядаючи під своєю лупою тоненькі пластинки м'яса, Левенгук виявив, що м'ясо, а точніше, м'яз, складається з мікроскопічних волоконць. Відкрив і описав низку дрібних прісноводних організмів. У 1673 р. Левенгук побачив мікроби. Він уперше спостерігав дріжджові клітини в краплі пива, що бродить, однак не зрозумів, що це – живі організми. У 1680 р. став членом Лондонського королівського товариства, незважаючи на те, що не знав латині й за тодішніми правилами не міг вважатися вченим. Помер у Делфті 26 серпня 1723 р.



а



б

Мал. 36. Видатні біологи: а – Антоні ван Левенгук, б – Роберт Гук

Роберт Гук (1635–1703)

Англійський фізик, астроном, ботанік і винахідник, один із засновників і дійсний член Лондонського королівського товариства, його секретар (1677–1683 рр.), професор Лондонського університету.

Р. Гук (*мал. 36, б*), різнобічний учений і експериментатор, зробив низку найважливіших фізичних відкриттів того часу (закон деформації пружного тіла, теорія пружності, хвильова теорія світла й ін.). Зацікавившись оптичною новинкою XVII ст. – мікроскопом, він реконструював цей прилад. Мікроскопічні спостереження дослідник виклав у праці «Мікрографія, або деякі фізіологічні описи дрібних тіл, здійснені за допомогою збільшувальних стекел» (1665 р.). Розглядаючи найрізноманітніші об'єкти мертвої й живої природи, Роберт Гук відкрив клітинну будову рослин. Він же ввів термін «клітина».

§ 20. СТРУКТУРА ЕУКАРІОТИЧНОЇ КЛІТИНИ, КЛІТИННА МЕМБРАНА

Різноманітність клітинних мембран. Клітини будь-яких організмів (і прокаріотів, і еукаріотів) мають мембрани.

Мембрани (від лат. *мембрана* – оболонка, перетинка) – це система спеціалізованих структур, які відокремлюють клітину від зовнішнього середовища або відокремлюють органели.

Оскільки мембрани покривають зовні клітину й органели, що містяться в клітині, їх поділяють на 2 типи: зовнішні і внутрішні.

Зовнішньою мембраною є **плазматична мембрана (плазмалема)**. Вона забезпечує сталість внутрішньоклітинного середовища, обмін речовин між клітиною і зовнішнім середовищем. У плазматичній мембрані є рецепторні структури, які взаємодіють з гормонами, речовинами медіаторної природи тощо.

Внутрішні мембрани (лише у еукаріот) вкривають різноманітні органели й цим ділять цитоплазму на окремі функціональні ділянки. Так, ендоплазматичний ретикулум (ЕР), апарат Гольджі (АГ), лізосоми і пероксисоми – одномембранні органели; мітохондрії, хлоропласти та ядро – двомембранні. Основними компонентами мембранної системи є плазмалема, ендоплазматична сітка, апарат Гольджі, лізосоми, зовнішня ядерна мембрана, вакуоля (у рослинних клітин). Мітохондрії і хлоропласти хоча й складаються з мембран, однак утворюють іншу клітинну систему – енергетичну. Така система внутрішньоклітинних мембран забезпечує одночасний перебіг багатьох біохімічних процесів (фотосинтез, біосинтез білка, глікопротеїдів тощо).

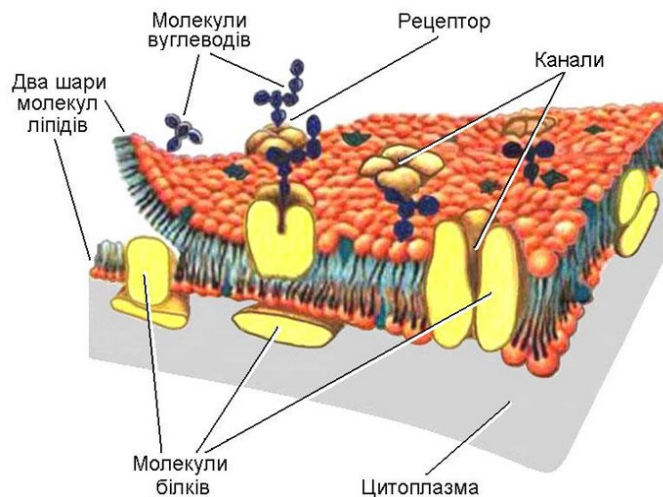
Мембрани – це не тільки поверхні розділу, вони також включають активні біохімічні системи, що відповідають за такі процеси, як вибіркового транспорту речовин всередину і назовні клітини, зв'язування гормонів та інших

регуляторних молекул, протікання ферментативних реакцій, передача імпульсів нервової системи тощо. Тому мембрани є функціональною системою клітини.

Хімічний склад. Основними хімічними компонентами усіх мембранних клітинних структур є білки та ліпіди, співвідношення яких залежно від виду мембран коливається від 4:1 до 1:4. Вуглеводів у мембранах мало – 2-10%. Звичайно вони зв'язані або з ліпідами, утворюючи з ними гліколіпіди, або з білками, утворюючи глікопротеїди.

Будова мембран (мал. 37). Різноманітні види клітинних мембран істотно відрізняються один від одного білковим спектром, товщиною мембран, вмістом вуглеводів.

Якісний склад ліпідів різних мембран дуже схожий. Єдиним є загальний план будови мембран, який нині називають «рідинно-мозаїчною моделлю», основні положення цієї моделі відображені на мал. 34.



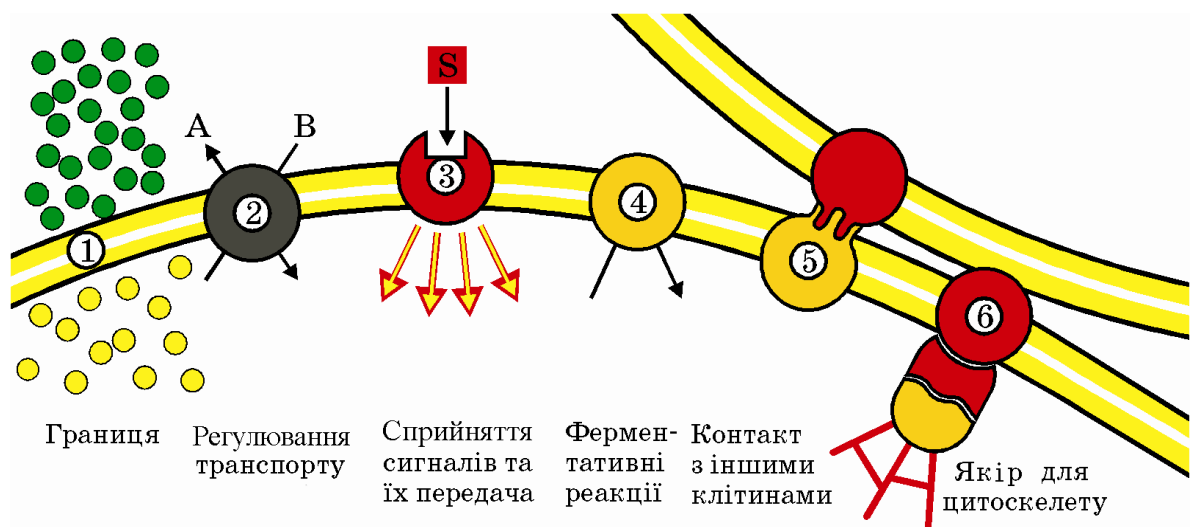
Мал. 37. Будова клітинної мембрани

Основою будь-якої клітинної мембрани є подвійний шар рідкого ліпиду. Білки представлені в мембрані глобулами, які по-різному розташовуються в подвійному ліпідному шарі: вони можуть знаходитися на поверхні шару (поверхневі мембранні білки), бути зануреними в нього або пронизувати його наскрізь (інтегральні мембранні білки). Окремі білкові глобули у складі мембрани рухомі (напівінтегральні білки). Таким чином, хоча мембрана і є структурним формуванням клітини, будова її постійно змінюється.

Функції мембран (мал. 38) обумовлені їх будовою. Клітинні мембран забезпечують чіткий відбір транспортувальних речовин та регулюють швидкість

проникнення їх у клітину і в окремі її компоненти. Вони є місцем розташування більшості клітинних ферментів, які прискорюють безліч різноманітних і взаємозв'язаних реакцій. Тому пошкодження будь-якого різновиду клітинних мембран неминуче призводить до суттєвих порушень життєдіяльності клітин.

Мембранна система є головним місцем метаболічних процесів у клітині. **Метаболізм** (від грец. *metabole* – зміна, перетворення) – сукупність хімічних перетворень у живому організмі, які забезпечують його життєдіяльність. Звичайно, основною ареною цих перетворень є клітина, а місцем – її мембранна система.



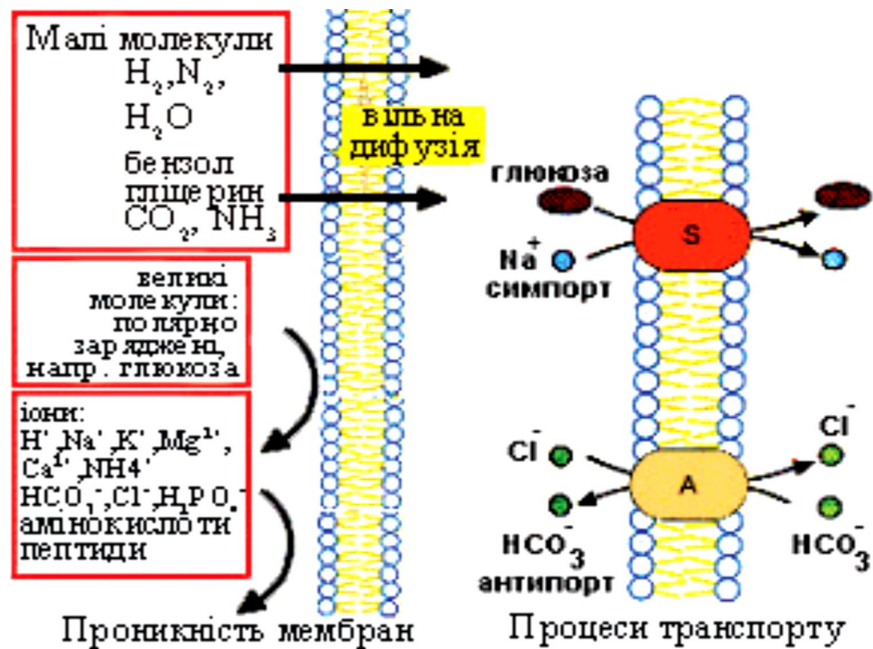
Мал. 38. Функції мембран

Мембрани здатні хвилеподібно рухатися, чим сприяють пересуванню макромолекул. Тому молекули, які входять до складу мембран, здатні переміщуватися, мембрани при незначних пошкодженнях швидко поновлюються, можуть легко зливатися одна з одною, розтягуватися й стискатись. Поверхня мембрани неоднорідна, чим зумовлені відмінні фізіологічні властивості різних ділянок. Вона утворює вирости, вигини, зморшки, мікроворсинки, які значно збільшують зовнішню та внутрішню поверхні клітини.

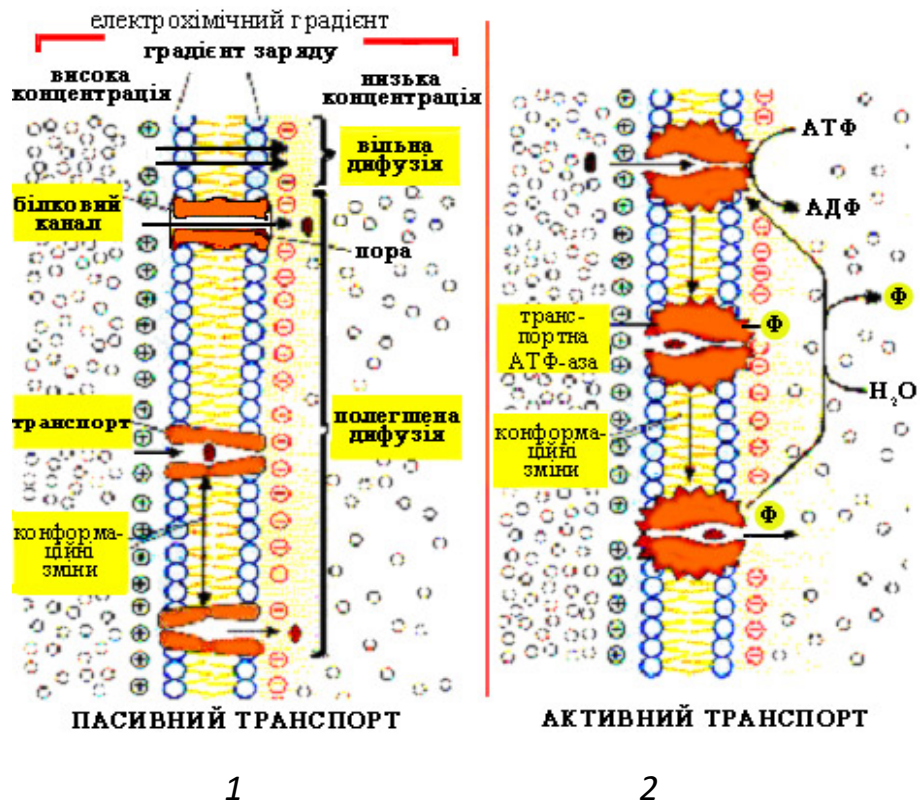
Транспорт речовин через мембрани. Сполуки, потрібні для життєдіяльності клітин, а також продукти обміну речовин проникають через плазматичну мембрану за допомогою дифузії, пасивного чи активного транспорту. Нагадаємо, що дифузія (від лат. диффузіо – розлиття) – процес, за якого речовини проникають крізь певні ділянки і пори мембран унаслідок їх різної концентрації по обидва її боки. Цей процес відбувається без витрат

енергії у результаті хаотичного теплового руху молекул.

Вибіркове проникнення речовин через мембрани (мал. 39) забезпечує **пасивний транспорт**, як це показано на (мал. 40,1). Для нього, як і для дифузії, характерне переміщення речовин з боку, де концентрація вища. Пасивний транспорт забезпечується за участю рухомих мембранних білків/переносників; зміною просторової структури білків, які перетинають мембрану; та через канали у мембрані.



Мал.39. Проникність мембран для різних речовин



Мал. 40. Транспорт речовин через мембрани

Розрізняють два типи дифузії: просту і полегшену. **Проста дифузія** характерна для невеликих нейтральних молекул (H_2O , CO_2 , O_2), а також гідрофобних низькомолекулярних органічних речовин. Ці молекули можуть проходити без будь-якої взаємодії з мембранними білками через пори або канали мембрани до тих пір, поки зберігатиметься градієнт концентрації. Наприклад, випаровування води листками рослин тощо.

Полегшена дифузія – це проникнення через мембрану певних молекул за допомогою мембранних білків-переносників, які пронизують мембрану (мал. 40). Ці білки взаємодіють з певними молекулами на одній з поверхонь мембрани і внаслідок зміни своєї просторової структури транспортують їх на інший бік.

У забезпеченні пасивного транспорту беруть участь білкові рецепторні молекули плазматичної мембрани. Для різних сполук існують різні типи рецепторних молекул. Молекули сполук (наприклад, гормони чи нейрогормони), які мають надійти до клітини, спочатку взаємодіють із цими рецепторами. Згодом утворюються мікроскопічні міхурці, усередині яких перебувають комплексні сполуки «речовина - рецептор», що переміщуються крізь мембрану.

Активний транспорт має місце у тому випадку, коли перенесення здійснюється проти градієнта концентрації. Таке перенесення вимагає витрати енергії клітиною. Активний транспорт служить для накопичення речовин усередині клітини. Джерелом енергії є АТФ.

Для активного транспорту окрім джерела енергії необхідна участь мембранних білків. Так, одна з активних транспортних систем в клітині тварин відповідає за перенесення йонів Na^+ і K^+ через клітинну мембрану. Ця система називається Na^+-K^+ насос. Вона відповідає за підтримку складу внутрішньоклітинного середовища, в якому концентрація йонів K^+ вище, ніж йонів Na^+ .

Градієнт концентрації калію і натрію підтримується шляхом перенесення йонів K^+ всередину клітини, а йонів Na^+ назовні. Обидва види транспорту відбуваються проти градієнту концентрації. Такий розподіл йонів визначає вміст води в клітинах, збудливість нервових і м'язових клітин, властивості нормальних клітин. За повний цикл роботи такого насосу з клітини в міжклітинну речовину переноситься три йони Na^+ , а у зворотному напрямі – два йони K^+ . При цьому використовується енергія молекули АТФ.

Існують транспортні системи для перенесення йонів кальцію (Ca^{2+}), протонні насоси (H^+) тощо.

Ендоцитоз та екзоцитоз – особливі способи транспорту речовин. Макромолекули (білок, полінуклеотиди або полісахариди) проникають до клітини шляхом **ендоцитозу**. Розрізняють два типи ендоцитозу: **фагоцитоз** (поглинання твердих часточок) і **піноцитоз** (поглинання рідин). При **фагоцитозі** випини цитоплазми оточують рідини зі щільними часточками і втягують їх у товщу цитоплазми, де відбувається їхнє ферментативне розщеплення до таких фрагментів, які можуть бути засвоєні клітиною. **Піноцитоз** (від грец. піно – п'ю) – процес поглинання клітиною рідини разом із розчиненими у ній сполуками. Він нагадує фагоцитоз, але відбувається здебільшого за рахунок впинання мембрани у вигляді каналця, яким поступає рідина до внутрішнього середовища клітини.

Шляхом піноцитозу і фагоцитозу живиться переважна більшість гетеротрофних одноклітинних організмів (амеба, інфузорія тощо), лейкоцити поглинають чужорідні часточки тощо.

Процес, зворотний ендоцитозу називається **екзоцитоз** (*екзот* – зовні). Завдяки цьому процесу клітина здатна виводити кінцеві продукти обміну речовин у зовнішнє середовище.

Мембрани – це система спеціалізованих структур, які відокремлюють клітину від зовнішнього середовища або відокремлюють органели. Мембранна система клітини — єдина клітинна система, яка забезпечує транспорт речовин всередину і назовні клітини, а також між цитоплазмою і різними органелами (мітохондріями, ядром тощо). Існують два способи транспорту речовин через мембрану: пасивний і активний.

Перевірте себе: 1. Що таке мембрани? 2. Назви зовнішню та внутрішні мембрани клітини. 3. Яка будова мембран? 4. Які функції в клітині виконують мембрани? 5. Яка основна функція плазматичної мембрани? 6. Які є способи транспорту речовин в клітину? Як в них проявляється закономірність направленості процесів? 7. Поясни активний транспорт речовин. 8. Що таке система $\text{Na}^+ - \text{K}^+$ - насос?

Поміркуйте: 1. Відомо, що загальний принцип будови всіх мембран, які входять до складу органел, однаковий. Чим пояснити специфічність їхніх функцій? 2. Відомо, що в живій клітині більше йонів калію і менше йонів натрію. Така ситуація обумовлена особливостями проникнення цих катіонів і аніонів через плазмолему. Наявність в структурі плазматичної мембрани $\text{K}^+ - \text{Na}^{2+}$ -насосу ще більше посилює такий нерівномірний розподіл катіонів: калій в клітину накачується, а натрій з неї викачується. З якими компонентами зовнішньої мембрани можна зв'язати $\text{K}^+ - \text{Na}^{2+}$ -насос? 3. Чому саме плазматична мембрана має напівпроникну властивість?

Подискутуйте: 1. У клітину проник чинник, який порушує цілісність мембран. Яких можна очікувати змін у клітині? Відомо, що в живій клітині більше йонів калію і менше йонів натрію. 2. Доведи, що мембранна система клітини працює як єдине ціле.

Проекту: 1. Явище плазмолізу, деплазмолізу в клітинах рослин.

§ 21. БУДОВА ТА ФУНКЦІЇ ЯДРА

Усі клітини тварин (крім еритроцитів) і рослин мають ядро. В більшості клітин є одне ядро, рідше зустрічаються дво- і багатоядерні клітини. Багатоядерні клітини мають деякі види найпростіших, а також клітини печінки і м'язів людини. Вони часто виникають при злитті кількох клітин в одну.

Клітини рослин, тварин і грибів мають чітко сформоване ядро. Ці організми отримали назву **ядерних**, або **еукаріот**. Без'ядерна клітина не може довго існувати, і ядро теж не здатне до самостійного існування, тому цитоплазма і ядро утворюють взаємозалежну систему.

Форма ядра залежить від форми та розмірів клітини. Звичайно в кулястих клітинах ядро має округлу форму, у видовжених м'язових клітинах ядро також видовжене. У деяких клітинах ядра можуть бути неправильної форми (наприклад, у деяких типів лейкоцитів ядра мають відростки. Форма ядра може змінюватися з віком клітини й залежить від її функціонального стану.

Розміри ядра найчастіше коливаються від 1 мкм (деякі одноклітинні тварини, водорості) до 1 мм (яйцеклітини деяких риб і земноводних). Для кожного типу клітин існує певне ядерно-плазматичне співвідношення, порушення якого призводить до поділу клітини або її загибелі.

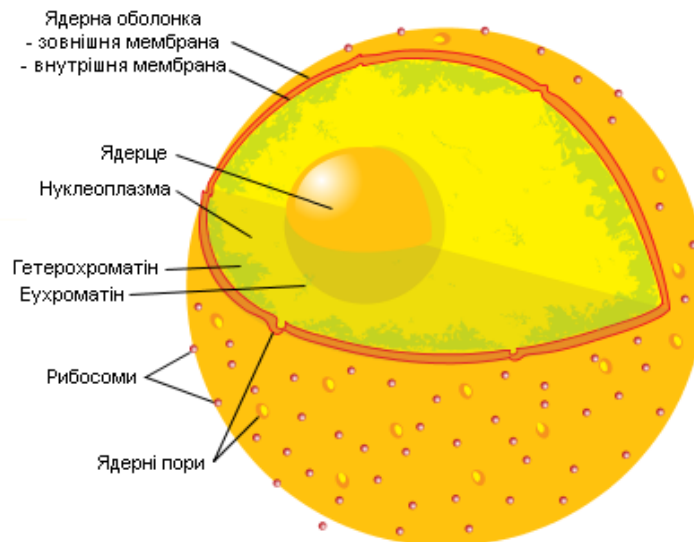
Будова ядра. Ядро складається із поверхневого апарату та внутрішнього середовища. **Поверхневий апарат, або ядерна оболонка,** має дві мембрани: зовнішню і внутрішню. Зовнішня ядерна мембрана з поверхні, оберненої в цитоплазму, покрита рибосомами, внутрішня мембрана гладка. Через пори мембран відбувається обмін різних речовин між ядром і цитоплазмою.

Отвір пори заповнений особливими глобулярними (кулястими) чи фібрилярними (нитчастими) білковими структурами. Зокрема, до складу цього комплексу входить білок-рецептор, здатний реагувати на речовини, які проходять через пору. Сукупність пор та цих білків називають **комплексом ядерної пори.**

Поверхневий апарат ядра забезпечує регуляцію транспорту речовин, які проходять через нього. Із цитоплазми всередину ядра надходять синтезовані в ній білки. Натомість з ядра до цитоплазми транспортуються різні типи молекул РНК. Комплекс ядерної пори забезпечує транспорт цих сполук, здійснює їхнє впізнавання та сортування.

Поверхневий апарат ядра функціонально контактує з мембранами ендоплазматичної сітки. На по верхні зовнішньої ядерної мембрани може бути розташована велика кількість рибосом.

Внутрішнє середовище ядра (*мал. 41*) – **ядерний матрикс** – складається з ядерного соку (**каріоплазми**), **ядерець і хроматину.**



Мал. 41. Будова ядра

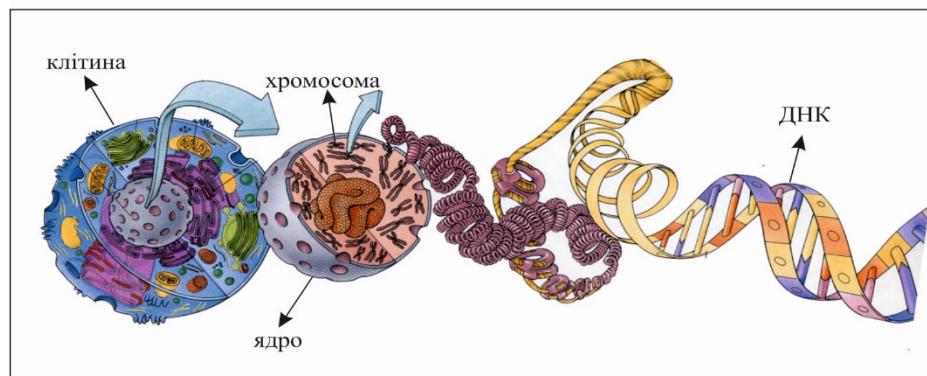
Каріоплазма – внутрішній вміст ядра, що складається із білково–ліпідної системи. За будовою і властивостями каріоплазма нагадує цитоплазму.

У живій клітині ядерний сік має вигляд безструктурної маси, що заповнює проміжки між структурами ядра. До складу ядерного соку входять різні білки, зокрема більшість ферментів ядра, білки хроматина і рибосомальні білки. У ядерному соку знаходяться також вільні нуклеотиди, необхідні для побудови молекул ДНК і РНК, амінокислоти, всі види РНК, а також продукти діяльності ядра і хроматину, що транспортуються потім з ядра в цитоплазму.

У ядерному соку знаходиться 1-2 ядерця і особлива речовина – **хроматин** (від грец. *chroma* – колір, забарвлення). Ця речовина добре фарбується ядерними барвниками. У період між діленнями клітин хроматин знаходиться у вигляді тонких ниток і щільних зерен різного розміру (гетерохроматин). У процесі мітозу в результаті конденсації і скорочення тонких ниток та злиття окремих ниток хроматину формуються паличкоподібні хромосоми. В період інтерфази в ядрі клітини здійснюються складні процеси біосинтезу ДНК, яка входить до складу хроматину, а також відбувається синтез іРНК.

Ядерце – структура всередині ядра, що складається з комплексу РНК з білками, хроматину і гранул, які слугують попередниками складових рибосом. У ядрах різних клітин, а також в ядрі однієї і тієї ж клітини залежно від її функціонального стану число ядерць може коливатися від 1 до 5-7 і більше. Ядерця мають розміри 0,5-1 мкм, містять велику кількість РНК і білка. Під час поділу клітини (мітозу) ядерця зникають, а потім формуються знову в телофазі.

Утворення їх пов'язане з діяльністю певних ділянок хромосом (ядерцевих організаторів). Функції ядра полягають в утворенні рРНК і складових рибосом, які згодом виходять у цитоплазму. Хроматин розташований у каріоплазмі у вигляді сітки, що утримує всю ДНК ядра (мал. 42).



Мал. 42. Ядро з хромосомами

Функції ядра. Ядро – це центр керування життєвими процесами клітини – обміном речовин, рухом, розмноженням. В ньому зосереджена основна маса ДНК, яка є носієм спадкової (генетичної) інформації. Так, ядро виконує функцію зберігання інформації про всі ознаки організму, а при діленні клітини здійснює її передачу дочірнім клітинам.

Позбавлені ядра клітини (наприклад, еритроцити) мають порівняно коротку тривалість життя і не здатні до подальшого ділення і відновлення своєї цілісності при пошкодженнях.

Ядро – багатофункціональна органела. Воно виконує в клітині низку дуже важливих функцій – саме тому його вважають центром керування клітиною. Воно бере участь в обмінних реакціях клітини, у рості та розмноженні клітин.

У ядрі синтезуються нуклеїнові кислоти – ДНК і РНК, відбувається формування рибосом (за участю ядерця), які надходять до цитоплазми й беруть участь у біосинтезі білків.

Ядро регулює біохімічні, фізіологічні та морфологічні процеси в клітині. Воно є носієм спадкової інформації.

Нуклеоїд. У прокаріотичних клітин ядро відсутнє. Спадкова інформація міститься лише в одній хромосомі. Ця хромосома складається з однієї молекули ДНК і має форму кільця, зануреного в цитоплазму. Місце включення ДНК в

цитоплазму називають **нуклеоїдом**. Передача спадкової інформації та реалізація генетичної інформації у прокаріот відбувається через молекулу ДНК, що міститься безпосередньо у цитоплазмі.

Клітини еукаріотів мають чітко сформоване ядро. Воно складається із поверхневого апарату та внутрішнього середовища. Поверхневий апарат, або ядерна оболонка, має дві мембрани: зовнішню і внутрішню. Внутрішнє середовище ядра – ядерний матрикс – складається з ядерного соку (каріоплазми), ядерець і хроматину. Ядро – це центр керування життєвими процесами клітини – обміном речовин, рухом, розмноженням. В ньому зосереджена основна маса ДНК, яка є носієм спадкової (генетичної) інформації. У прокаріотів ядро відсутнє, його функції виконує нуклеоїд.

Перевірте себе: 1. Яку будову має ядро еукаріотичної клітини? 2. Яку будову має ядро? 3. Які функції виконує ядерце в клітині? 4. Що таке хроматин і яка його роль у клітині? 5. Що таке каріоплазма в ядрі?

Поміркуйте: 1. Як співвідноситься число хромосом в соматичних і статевих клітках? 2. Як відбувається обмін речовин між ядром і цитоплазмою? 3. Чому ядро прокаріотичних клітин має назву нуклеоїд? 4. Чи наявне ядро у прокаріотичних клітинах?

Подискутуйте: 1. У чому полягає відмінність між хромосомами прокаріотів і еукаріотів?

Проекти: 1. Історія вивчення ядра клітини. 2. Будова і функції ядра клітини. 3. Нуклеоїд прокаріотичних клітин.

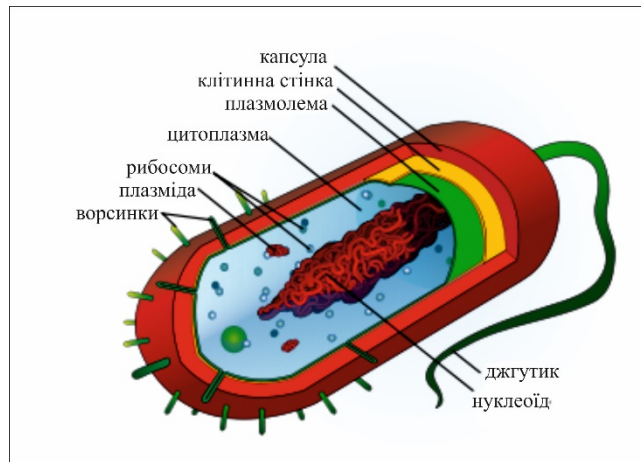
Видатні біологи. Термін «ядро» був введений Броуном у 1833 р. для позначення кулястих постійних структур у клітинах рослин. Уявлення про роль ядра в еукаріотичній клітині були висловлені основоположниками клітинної теорії М. Шлейденом і Т. Шванном ще в 90-х роках минулого століття. І хоча повного розуміння проблеми в них не було, їхнє припущення згодом повністю підтвердилося експериментально.

§ 22. ОСОБЛИВОСТІ БУДОВИ КЛІТИН ПРОКАРІОТІВ ТА ЕУКАРІОТІВ

Усі одноклітинні і багатоклітинні організми поділяють на дві групи – прокаріоти і еукаріоти. **Прокаріоти** – це доядерні організми, які на відміну від еукаріотів не мають типово сформованого ядра і ядерної мембрани. Ними є бактерії й ціанобактерії. За сучасною системою органічного світу ці організми становлять одну з вищих таксономічних категорій – надцарство Прокаріоти.

Еукаріоти – це одноклітинні та багатоклітинні організми, в клітинах яких, на відміну від прокаріот, є сформоване ядро. Це рослини, тварини і гриби, які за сучасною систематикою належать до надцарства Еукаріоти.

Прокаріотична клітина має дрібні розміри, що не перевищують 30 мкм, і відносно просту будову. Вона вкрита щільною клітинною стінкою, а іноді слизовою капсулою (мал. 43), що відокремлює цитоплазму однієї клітини від іншої. До складу клітинної стінки входить муреїн, молекула якого складається з паралельних полісахаридних ланцюгів, з'єднаних між собою.



Мал. 43. Будова прокаріотичної клітини

До клітинної стінки щільно прилягає цитоплазматична мембрана, яка може вгинатися в середину цитоплазми, утворюючи **мезосоми**. На мембранах мезосом містяться ферменти, а у фотосинтезуючих форм – пігменти. Завдяки цьому такі мембрани здатні виконувати життєво важливі функції клітини тощо.

У прокаріотичній клітині відсутні такі органели, як мітохондрії, ендоплазматична сітка, хлоропласти, лізосоми і комплекс Гольджі. У цитоплазмі прокаріотичної клітини знаходяться дрібні рибосоми, ферменти, запасні речовини – полісахариди, жири, поліфосфати. Рибосоми здійснюють синтез білків, ферменти – процеси життєдіяльності. Вони дифузно розсіяні по цитоплазмі або прикріплені до внутрішньої поверхні мембрани. Запасні речовини деяких прокаріот, включаючись в обмінні процеси, можуть продовжувати життя клітини при відсутності зовнішніх джерел енергії.

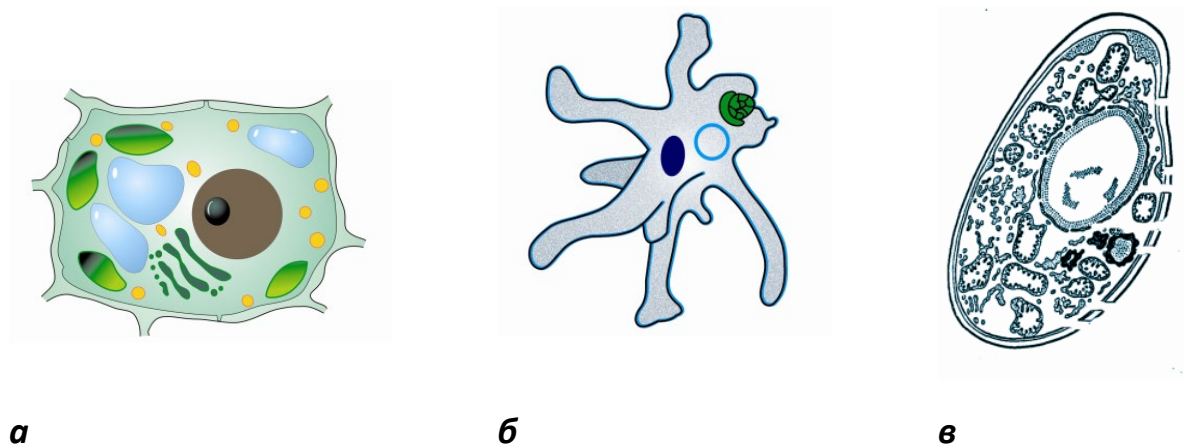
Основна особливість будови прокаріотичної клітини – відсутність ядра, обмеженого оболонкою, і ядерця. Спадкова інформація міститься лише в одній хромосомі, яка складається з молекули ДНК і має форму кільця, зануреного в

цитоплазму. Крім того, у цитоплазмі трапляються позахромосомні фактори спадковості – плазмідни, які здатні подвоюватися незалежно від молекул ДНК ядерної зони. Передача спадкової інформації та реалізація генетичної інформації у прокаріот відбувається через молекулу ДНК, що міститься безпосередньо у цитоплазмі. Саме ця ознака є вирішальною при поділі клітин на прокаріоти (доядерні) і еукаріоти (ядерні).

Місце включення ДНК в цитоплазму називають *нуклеоїдом*.

Розмножуються прокаріоти простим поділом клітини навпіл.

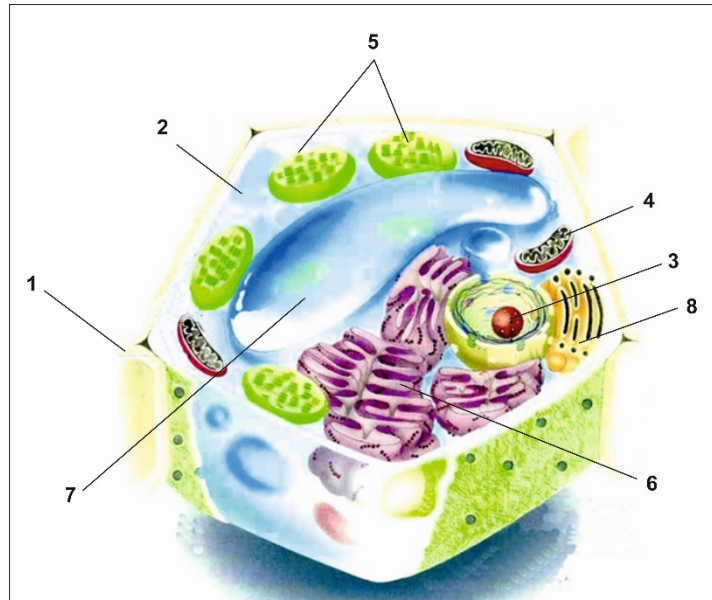
Еукаріотична клітина. Еукаріотичні клітини різноманітних організмів – від простих (корененіжки, джгутикові, інфузорії тощо) до вищих рослин, тварин і грибів – відрізняються і складністю і різноманітністю будови. На мал. 44 представлені еукаріотичні клітини рослин, тварин і грибів.



Мал. 44. Еукаріотичні клітини: а – рослинна; б – тваринна; в – клітина грибів(дріжджі)

Типової клітини в природі не існує, але всі еукаріотичні клітини гомологічні і у тисячі різних типів клітин можна виділити загальні риси будови, характерні для клітин еукаріот.

Еукаріотична клітина (мал. 45) складається з двох найважливіших, нерозривно зв'язаних між собою елементів: цитоплазми і ядра, має численні внутрішні мембрани.



Мал. 45. Будова клітини еукаріот: 1 – клітинна оболонка; 2 – цитоплазма; 3 – ядро; 4 – мітохондрія; 5 – хлоропласти; 6 – комплекс Гольджі; 7 – вакуоля; 8 – ендоплазматична сітка.

У цитоплазмі міститься безліч органел: мітохондрії, пластиди, ендоплазматична сітка, комплекс Гольджі, лізосоми, рибосоми більших розмірів, порівняно з прокаріотичними, вакуолі тощо. Клітинне ядро, мітохондрії та пластиди чітко відмежовані від решти цитоплазми двомембранною оболонкою. Мітохондрії слугують для вироблення енергії шляхом розщеплення вуглеводів, жирів, білків; хлоропласти – утворення вуглеводів.

У ядрі еукаріот міститься генетичний апарат клітини (ДНК).

Розгляньте *таблицю 4* та порівняйте будову клітин про- і еукаріот.

Таблиця 4

Характерні ознаки клітин прокаріот та еукаріот

Ознака	Прокаріоти	Еукаріоти
Зовнішня клітинна мембрана	є	є
Ядро вкрите ядерною мембраною	немає	є

Генетичний апарат	одна нитка ДНК, звичайно замкнена в кільце	парні хромосоми, які складаються з комплексу ДНК і білка
Ендоплазматична сітка	немає	є
Рибосоми	є	є
Клітинний центр	немає	є у більшості тварин і у деяких рослин
Мітохондрії	немає	є
Комплекс Гольджі	немає	є
Лізосоми	немає	є
Джгутики	є у деяких видів, простої будови простий якому передуює реплікація	є у деяких видів, складної будови
Поділ	Поділ навпіл	мітоз (непряме)

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 1

Вивчення структурно-функціональної різноманітності клітин

Мета: ознайомитися з будовою клітин прокариот та еукаріот на прикладі рослинної і тваринної клітин за допомогою світлового мікроскопа, визначити спільні та відмінні риси в їх будові.

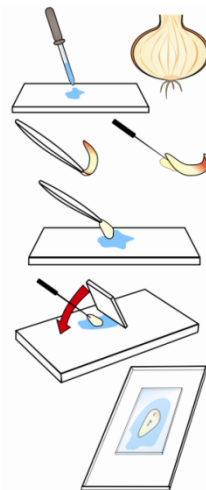
Прилади і матеріали: мікроскоп, готові мікропрепарати прокариотичної клітини, цибулина, предметне і накривне скельця, розчин йодиду калію, піпетка, фільтрувальний папір, склянка з водою, препарувальний набір тваринної епітеліальної тканини «одношаровий епітелій» та сполучної тканини – «кров людини» або «хрящова тканина».

Хід роботи

1. Пригадайте будову мікроскопа та правила роботи з ним. Підготуйте мікроскоп до роботи.

2. Розгляньте при малому, а потім при великому збільшенні мікроскопа прокаріотичну клітину. Знайдіть молекулу ДНК у цитоплазмі, мезосому та клітинні включення.

3. На мал. 46 розгляньте послідовність приготування мікропрепарату шкірки цибулі. Розріжте навпіл цибулину і вийміть одну внутрішню соковиту лусочку. Кінчиком гострої голки підніміть шкірку на лусочці і обережно відокремте її. Покладіть шкірочку на предметне скло в краплю слабкого розчину йодиду калію, добре розправте препарувальною голкою і накривте накривним скельцем, щоб під ним не було пухирців повітря. Зайвий розчин видаліть за допомогою фільтрувального паперу. Розмістіть мікропрепарат на предметному столику мікроскопа.



Мал. 46. Послідовність приготування мікропрепарату з лусочки цибулі

4. Розгляньте мікропрепарат шкірочки цибулі під мікроскопом спочатку за малого, а потім за великого збільшення. Розгляньте оболонки клітин, ядро, вакуолі. Якого вони кольору?

5. Знайдіть на мікропрепараті пластиди. Якого вони кольору, форми? Які це пластиди?

6. Розгляньте при малому, а потім при великому збільшенні мікроскопа тваринну клітину. Знайдіть та розгляньте ядро, органели. Спробуйте знайти у полі зору ядерце.

7. Чи наявні в клітині тварин вакуоля, пластиди? Поясніть чому.

8. Зробіть висновок про будову прокаріотичної та еукаріотичної клітин, порівнюючи їх між собою.

Усі живі організми поділяються на дві групи – прокаріоти і еукаріоти. Прокаріотами є бактерії і ціанобактерії, еукаріотами – рослини, тварини, гриби. У клітинах прокаріот відсутнє ядро, немає внутрішніх мембранних компонентів, генетичний матеріал представлений однією кільцевою молекулою ДНК. Еукаріоти мають чітко сформоване клітинне ядро, безліч органел мембранної та немембранної природи.

Перевірте себе: 1. Які організми належать до прокаріотів? 2. Назви еукаріотичні організми. 3. Опиши будову прокаріотичної клітини? 4. Назви основні структурні елементи клітини прокаріот. 5. Які особливості будови еукаріотичної клітини?

Поміркуйте: 1. На основі чого поділяють всіх живих організмів на дві групи — прокаріотів і еукаріотів? 2. Чим відрізняються клітини еукаріот і прокаріот?

Подискутуйте: 1. У чому полягає біологічне значення прокаріотів? Яка їх екологічна роль?

§ 23. ЦИТОПЛАЗМА ТА ЦИТОСКЕЛЕТ, ЇХ БУДОВА І ФУНКЦІЇ

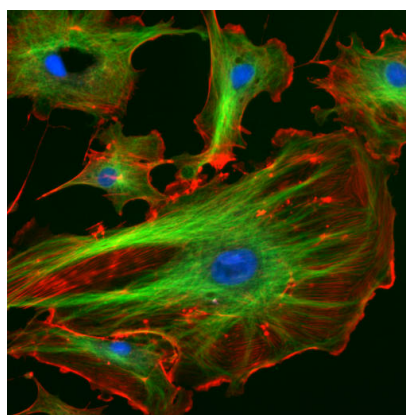
Як вам відомо, внутрішній вміст клітини, за винятком ядра, називають цитоплазмою. Її основою є неоднорідний колоїдний розчин – цитозоль, або гіалоплазма, в якому розміщені різноманітні органели, включення та цитоскелет. Цитоплазма як внутрішнє середовище клітини характеризується відносною сталістю будови та властивостей, вона об'єднує в єдину функціональну систему всі клітинні структури, забезпечуючи їхню взаємодію.

Цитозоль і його функції. Цитозоль (від грец. *китос* – клітка та нім. *золь* – колоїдний розчин), або **гіалоплазма** (від грец. *гіалос* – скло та *плазма* – виліплене, сформоване), – частина цитоплазми, що становить собою безбарвний водний розчин органічних і неорганічних речовин. З органічних сполук у цитозолі є білки, амінокислоти, моно-, оліго- та полісахариди, ліпіди, різні типи РНК тощо, а з неорганічних - катіони металів (зокрема, Ca^{2+} , K^+), аніони карбонатної та ортофосфатної кислот, Cl^- та ін. У цитозолі між структурами цитоскелету розташовані різноманітні органели та клітинні включення.

Цитозоль може перебувати в рідкому (*золь*) або драглистому (*гель*) станах. Так, у клітинах тварин зовнішній шар цитоплазми (*ектоплазма*), розташований під плазматичною мембраною, прозорий і щільний. Натомість її внутрішній шар (*ендоплазма*) меншої густини, містить різноманітні органели і включення. Ці два шари можуть переходити один в інший, що спостерігають, наприклад, в амеб під час утворення несправжніх ніжок (мал. 19.1). Таким чином, перехід цитозолю з одного стану в інший забезпечує амебоїдний рух клітин, а також процеси ендота екзоцитозу. Пригадайте: *ендоцитоз* – поглинання клітинами твердих часток і розчинів сполук; *екзоцитоз* – це виведення з клітини певних речовин (наприклад, гормонів або ферментів). Фізичний стан цитозолю впливає на швидкість перебігу біохімічних процесів: чим він густіший, тим повільніше відбуваються хімічні реакції. Важливим показником цього стану є концентрація в цитозолі йонів Гідрогену (рН), від якої, зокрема, залежить активність певних ферментів.

У цитоплазмі відбуваються транспорт і частина процесів обміну речовин (наприклад, послідовні реакції безкисневого розщеплення глюкози – гліколізу), синтез білків, необхідних для побудови органел і підтримання життєдіяльності.

Цитоскелет – це опорно-рухова система клітини. Основними складовими елементами цитоскелету є мікротрубочки і мікронитки (мікрофіламенти) (мал. 47). Цитоскелет виконує опорну функцію, а також сполучає всі компоненти клітини: її поверхневий апарат, структури цитоплазми, ядро. Елементи цитоскелету сприяють закріпленню органел у певному положенні і їхньому переміщенню в клітині.



Мал. 47. Цитоскелет еукаріот: мікрофіламенти забарвлені в червоний колір, мікротрубочки – в зелений, ядра клітин – в блакитний

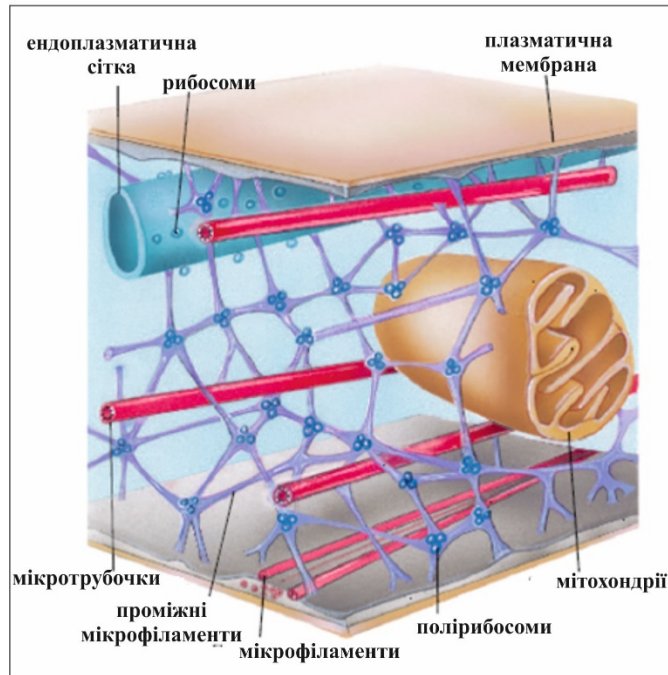
Будучи живою системою, клітина здатна по-різному проявляти свою рухову активність. Пригадайте особливості руху найпростіших тварин (амеб, джгутикових, інфузорій) і клітин багатоклітинного організму (сперматозоїдів, лейкоцитів, макрофагів). Так, добре відомий процес скорочення м'язових клітин і волокон у відповідь на подразнення. В рослин це постійне кругове пересування деяких органел клітини по цитоплазматичних тяжах, що перетинають центральну вакуолю і займають пристінкове положення. До внутрішньоклітинних пересувань слід віднести рух хромосом, внутрішньоклітинний транспорт речовин.

Крім того, цитоскелет, відіграє роль структурного організатора цитоплазми, зв'язуючи клітинні органели і розчини білків. Розвиток цитоскелету в сусідніх клітинах не відбувається незалежно; тут має місце взаємний вплив, який здійснюється крізь міжклітинні сполуки або крізь позаклітинний матеріал. Інформація про особливості цитоскелету при поділі клітини може передаватися безпосередньо цитоскелету дочірніх клітин.

Основними органелами опорно–рухової системи клітини є центріолі, війки і джгутики. В цих циліндричних органелах надзвичайно схожа структура, в основі якої лежать групи мікротрубочок. Всі три органели на поперечному зрізі мають вигляд кола, стінки якого складаються з дев'яти триплетів (центріолі і базальні зерна війки і джгутика) або дуплетів (тіла війки і джгутика) мікротрубочок.

Основними елементами рухових процесів у клітині є *мікротрубочки і мікрофіламенти*. Вони формують органели опорно-рухової системи і входять до складу опорно-рухового комплексу (наприклад, мітотичне веретено, цитоскелет). Зустрічаються вони в усіх еукаріотів практично в незмінному вигляді.

Мікротрубочки – порожнисті циліндричні структури діаметром 10-25 нм, що утворені переважно білком тубуліном (*мал. 48*). Вони беруть участь у формуванні веретена поділу еукаріотичних клітин, а також у внутрішньоклітинному транспортуванні речовин та входять до складу війок, джгутиків тощо.



Мал. 48. Мікротрубочки у цитоскелеті

Мікротрубочки зустрічаються в цитоплазмі практично всіх еукаріотичних клітин і не виявляються в бактерій та інших прокариот. Мікротрубочки беруть участь в утворенні органел і структур руху, у рухових процесах; формують цитоскелет.

Мікрофіламенти – тонкі білкові нитки, що зустрічаються в різних ділянках клітин. У деяких ділянках клітини, де їх особливо багато, вони утворюють густу сітку. Мікрофіламенти містять актин та інші білки. В деяких клітинах (наприклад, фібробластах) у мікрофіламентах знайдено міозин. Актин і міозин – достатньо відомі скорочувальні білки м'язових волокон, які забезпечують скорочення м'язового волокна і м'яза в цілому.

Якщо мікротрубочки в клітині виконують, переважно, опорну функцію, то роль мікрофіламентів найтісніше пов'язана з руховою активністю клітини.

Такі пучки мікрофіламентів здатні створити потужні скорочувальні структури, які можуть брати участь у пересуванні тіла клітини і русі її окремих компонентів; брати участь у процесах пересування рецепторів по клітинній поверхні; забезпечити проходження процесів ендоцитозу.

Клітинний центр (центросома) – органела, яка складається з двох центріолей і променистої сфери навколо них. Виявлені центріолі в тваринній

клітині. Існування їх у рослинній клітині поки що не доведено. Локалізується клітинний центр під час інтерфази біля ядра, не має мембранної оболонки.

Центріолей в клітині дві, вони розташовуються одна до одної під кутом 90° , утворюючи *клітинний центр*. Центріолі мають форму циліндра завдовжки 0,2–0,8 мкм, діаметром 0,1–0,15 мкм. Стінка циліндра складається з 9 груп мікротрубочок, утворених фібрилами. До складу клітини входить 1–2 центріолі. Основна їх функція – організація мітотичного веретена у тваринній клітині.

Перед поділом клітини центріолі подвоюються, розходяться в протилежні боки і формують полюси клітини, що ділиться. Суть подвоєння полягає в тому, що біля кожної центріолі під кутом 90° починає відбудовуватися нова циліндрична структура — дочірня центріоль. Вказані структури беруть участь у формуванні веретена поділу. Центріолі беруть участь в утворенні мікротрубочок цитоскелету. Вони також утворюють базальне тіло, яке лежить в основі джгутиків.

Цитоскелет – це опорно-рухова система клітини. Складовими цитоскелета є мікротрубочки, мікрофіламенти та проміжні філаменти. Цитоскелет еукаріотичних клітин визначає їхню форму, здатність рухатися і переміщати органели з однієї частини клітини в іншу. Клітинний центр – органела, яка складається з двох центріолей і променистої сфери навколо них. Локалізується клітинний центр під час інтерфази біля ядра, не має мембранної оболонки.

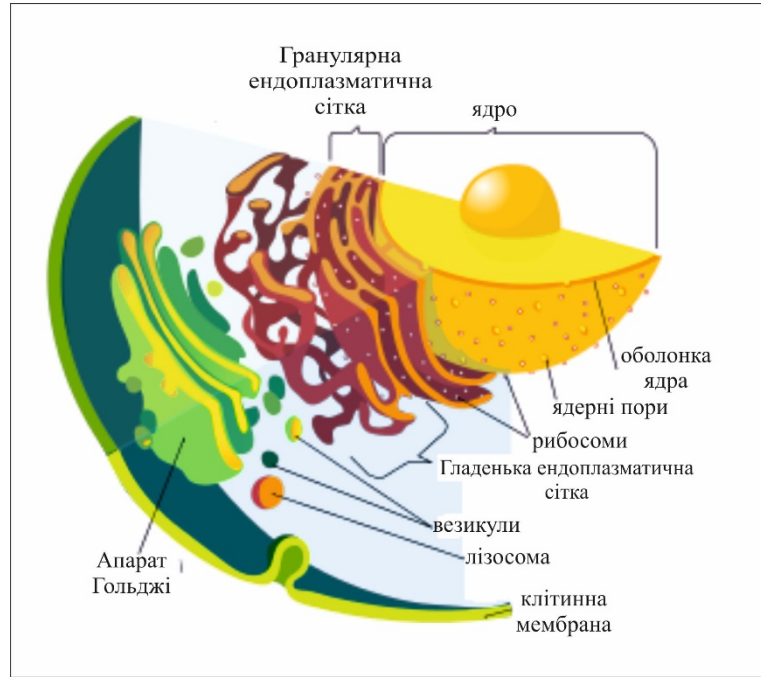
Перевірте себе: 1. Назви форми рухової активності клітини? 2. Що таке цитоскелет? Які його складові? 3. Які органели клітини виконують функцію руху? 4. Що таке мікротрубочки та які їх функції? 5. Які функції виконує цитоскелет? 6. З чого складається клітинний центр? 7. Яка роль клітинного центру в клітині? Як в його функціях проявляється закономірність збереження?

Поміркуйте: 1. Чим відрізняються мікротрубочки мітотичного веретена і мікротрубочки цитоскелету? 2. Як зміниться форма клітини, що не ділиться, при її обробці дозою колхіцину, що руйнує мікротрубочки мітотичного веретена? 3. Доведи взаємозв'язок опорно-рухової і мембранної систем клітини. Чи можете вказати у цьому взаємозв'язку закономірність направленості процесів у природі?

Подискутуйте: 1. Чим органели руху клітини (на молекулярному рівні) подібні за функціями до органів опорно-рухової системи людини (організменний рівень)?

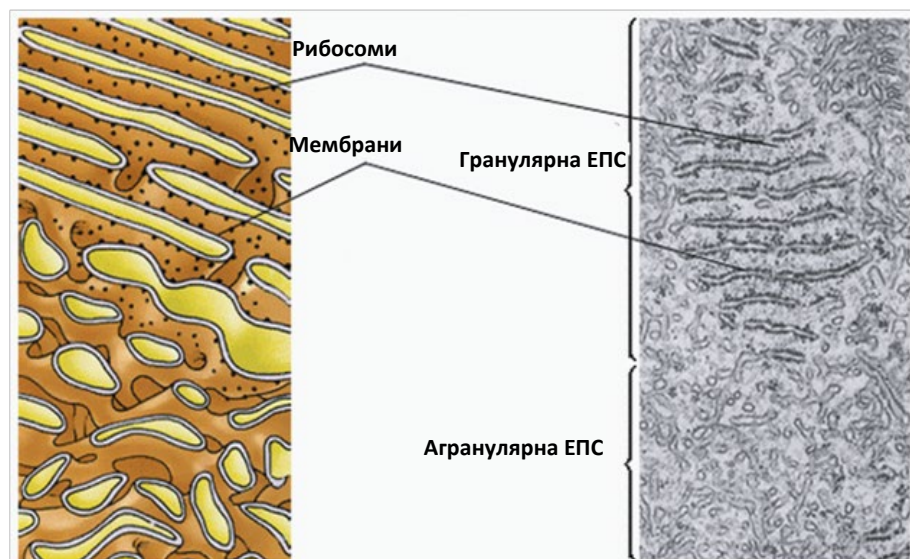
§ 24. БУДОВА І ФУНКЦІЇ ОДНОМЕМБРАННИХ ТА ДВОМЕМБРАННИХ ОРГАНЕЛ КЛІТИН

Ендоплазматичний ретикулум (ендоплазматична сітка, ЕПС) – це складна система мембран, яка пронизує цитоплазму всіх еукаріотичних клітин. Складається ендоплазматична сітка (ЕПС) із системи порожнин, каналців, цистерн, мембранних мішечків, з'єднаних між собою та обмежені мембраною. Потовщення ЕПС називають цистернами. Ендоплазматичною сіткою пронизана вся клітина, її мембрани можуть повільно просуватися по клітині (мал. 49).



Мал. 49. Місце ендоплазматичної сітки у клітині

ЕПС буває двох видів: *гранулярна* (зерниста, шорстка) та *агранулярна* (гладенька, незерниста,) (мал. 50).



Зерниста (гранулярна) ендоплазматична сітка дістала свою назву тому, що на її мембранах розташовані рибосоми. На мембранах **незернистої (агранулярної)** ендоплазматичної сітки рибосоми відсутні.

Обидва різновиди ендоплазматичної сітки мають тісні просторові зв'язки; зокрема, їхні мембрани можуть безпосередньо переходити одна в іншу.

Одна з основних функцій зернистої ендоплазматичної сітки – забезпечення транспорту білків по клітині. Частина синтезованих у клітині білків використовується для її власних потреб, а частина виводиться за межі клітини. Білки синтезуються за участі рибосом, які можуть розташовуватися в цитозолі та на поверхні зернистої ендоплазматичної сітки. У її порожнинах білки набувають притаманної їм просторової конформації, до них можуть приєднуватися небілкові компоненти. Синтезовані білки використовуються для побудови плазматичної мембрани та зовнішньої мембрани оболонки ядра в період між поділами клітини.

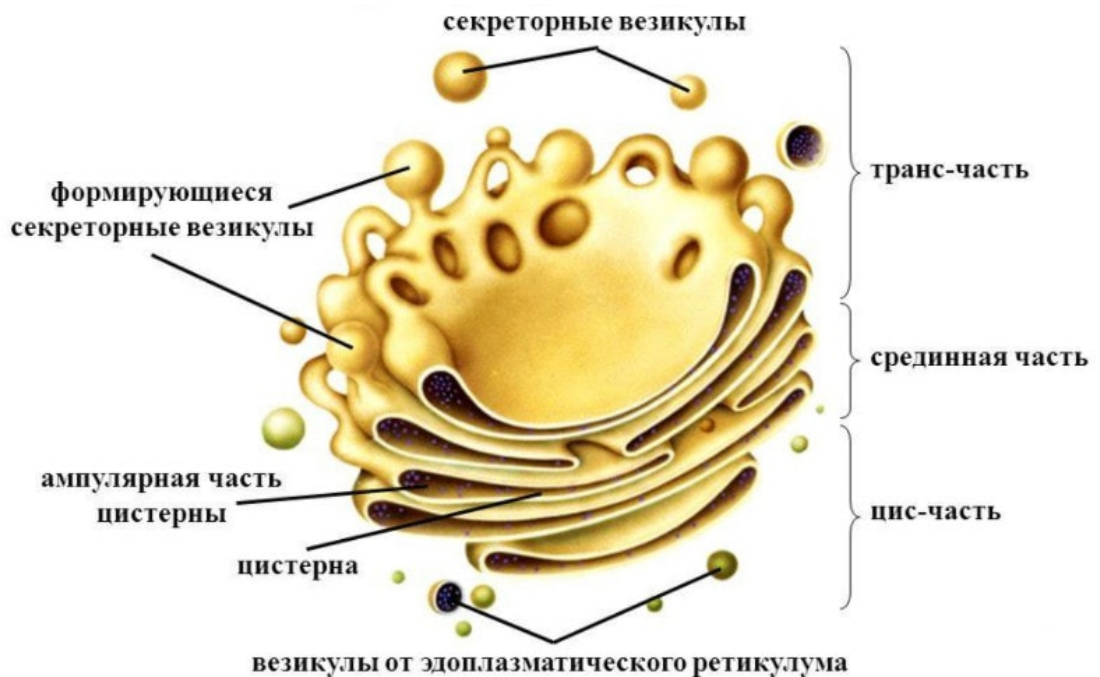
На мембранах незернистої ендоплазматичної сітки синтезуються ліпіди, вуглеводи, певні гормони, що можуть накопичуватися в її порожнинах. У цих порожнинах (наприклад, у клітинах печінки) накопичуються і знешкоджуються деякі отруйні сполуки. Крім того, порожнини сітки м'язових клітин, нейронів, залозистого епітелію слугують внутрішньоклітинним депо (місцем зберігання) йонів Кальцію. Це має важливе значення для функціонування м'язових волоконць: під час їхнього скорочення концентрація йонів Кальцію різко підвищується, а під час розслаблення – знижується.

Ендоплазматична сітка функціонально пов'язана з комплексом Гольджі.

Комплекс (апарат) Гольджі (КГ) – одномембранна органела (*мал. 51*), яка у клітині міститься біля ядра. Наявний лише в еукаріотичних клітин. Він утворений стопкою мембранних мішечків – цистерн (від 8 до 50) і зв'язаною з ними системою міхурців. На зовнішній, ввігнутій стороні стопки, з міхурців, що відбруньковуються від незернистої ЕПС, постійно утворюються нові цистерни, на внутрішній стороні цистерни знову перетворюються в міхурці. Утворюються КГ із ендоплазматичної сітки.

Це єдиний клітинний компонент, у якого є градієнт, тобто направленість структури і функції. На *мал. 51* він має вигляд купки ущільнених цистерн, оточеної

міхурцями та вакуолями. В КГ виділяють «початок» КГ, який складається з міхурців, та «кінець» КГ, який складається з вакуолей, іноді заповнених електронно-щільним вмістом. Між цими двома полюсами розташовуються ущільнені цистерни.



Мал. 51. Будова комплексу Гольджі

Органела має *формуючий* полюс, до якого надходять міхурці з ЕПС, і протилежний секретуючий полюс, від якого відокремлюються міхурці. У рослинних організмів може бути низка окремих стопок – діктіосома.

Основна функція комплексу Гольджі – транспорт речовин у цитоплазму і позаклітинне середовище. Якщо білок, що надійшов із ЕПС, має потрапити до інших структур клітини, то до нього приєднується залишок ортофосфатної кислоти, якщо він «іде на експорт» – залишок сіалової кислоти.

У цистернах КГ синтезуються деякі жири й вуглеводи (глікопротеїн, муцин, віск і рослинний клей). Комплекс Гольджі бере участь у побудові плазматичної мембрани та у формуванні лізосом. У нервових клітинах КГ містить нейромедіатори, у клітинах ендокринних залоз – гормони.

Комплекс Гольджі формує центральну вакуоль рослинної клітини, тому певним чином бере участь у регуляції вмісту води в клітині, бере участь в утворенні первинних лізосом, матрикса (основи) клітинної стінки в рослинних клітин, а також в її рості. Відіграє активну роль в різноманітних видільних процесах у клітині. Наприклад, утворення зрілих молекул імуноглобулінів

лімфоцитами і синтез глікопротеїдів у хрящах пов'язані з роботою апарату Гольджі.

Комплекс Гольджі в клітині може бути не один. Часто в секреторних клітинах розміщується ціла система зв'язаних або ізольованих один від одного комплексів, розташованих у різних ділянках клітини.

Лізосоми – це одномембранні органели, які представляють собою мембрані мішечки, наповнені травними ферментами (мал. 52). Утворюються лізосоми за участю ендоплазматичної сітки та комплексу Гольджі. Особливо багато таких органел у тваринних клітинах, тут їх розмір становить десяті долі мікрометра.

Розрізняють кілька типів лізосом: **первинні**, які формуються за участю комплексу Гольджі, вони зливаються з мембраною фагосоми (або фагоцитарної вакуолі) і виділяють свої гідролітичні ферменти у вакуолю; **вторинні** (травні вакуолі) – утворюються з первинних і забезпечує подальший процес перетравлення; **автолізосоми** – знищують дефектні органели, ушкоджені чи мертві клітини.

Лізосоми розщеплюють поживні речовини, перетравлюють бактерії, що потрапили в клітину, видаляють шляхом перетравлювання непотрібні частини клітин. Лізосоми зливаються з пухирцями, які утворюються під час ендоцитозу. Ці пухирці приносять у клітину різні полімери. Лізосоми розщеплюють їх до мономерів. Наприклад, для амеби та інших одноклітинних організмів це єдиний спосіб живлення.

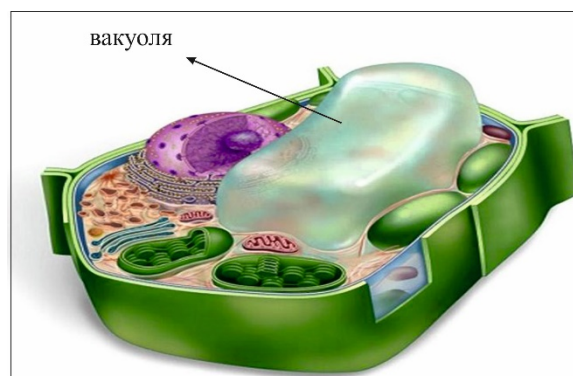


Мал. 52. Будова лізосоми

Вакуолі (мал. 53) – це одномембранні заповнені рідиною органели в цитоплазмі клітини. У клітинах тварин, переважно одноклітинних, містяться травні вакуолі, в яких перетравлюються поживні речовини, а також скоротливі,

які регулюють внутрішньоклітинний тиск і беруть участь у процесах дихання й виділення. У клітинах рослин вакуолі містять переважно запасні поживні речовини і можуть займати більшу частину об'єму клітини. Вони підтримують внутрішньоклітинний тиск, сприяючи підтриманню форми клітини, беруть участь у процесах росту. Для мембрани вакуоль характерна вибіркова проникність, тому концентрація речовин усередині вакуоль вище. У вакуолях можуть накопичуватись кінцеві продукти обміну речовин рослинної клітини.

Рослинні клітини мають особливі вакуолі, що зливаються і утворюють одну велику центральну вакуолю. Рідина, що її наповнює, називається **клітинним соком**. Це концентрований розчин цукрів, мінеральних солей, органічних кислот, пігментів та інших речовин. Вакуолі накопичують воду, можуть містити пігменти, гідролітичні ферменти, відходи життєдіяльності, запасні поживні речовини.



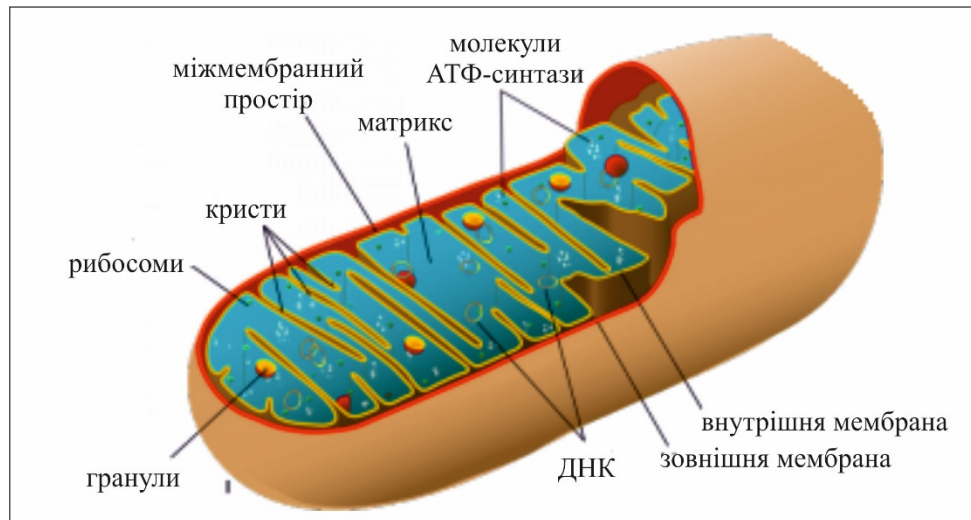
Мал. 53. Вакуоля в клітині

У клітинному соку вакуоль містяться антоціани – речовини, які забарвлюють у різний колір плоди рослин тощо. Їх відтінки – від блідо-рожевого до червоного чи пурпурного. Антоціани різко реагують на рівень кислотності. Тому один вид в'юнка може починати день зі світло-червоним забарвленням віночка квітки і кислуватим клітинним соком, а закінчувати — із синім забарвленням та слабо лужною реакцією.

Виникають вакуолі з пухирців, які відокремлюються від ендоплазматичної сітки. У клітині вакуолі виконують такі функції: підтримують тургор у клітині, забезпечуючи сталість її форми, часткове перетравлення, запасання поживних речовин тощо.

Мітохондрії. Мітохондрії (від грец. *митос* – нитка, *хондріон* – зернятко) – це двомембранні органели клітини, які є основними енергетичними станціями

еукаріотичних клітин (мал. 54). Форма мітохондрій мінлива, вони мають вигляд кульок, паличок, інколи розгалужених ниток. Розміри мітохондрій варіюють. Кількість мітохондрій в клітині коливається від 1 до 100 тис. і більше. Мітохондрії утворюються в процесі росту і поділу попередніх мітохондрій шляхом перетяжки або перегородки і брунькуванням.

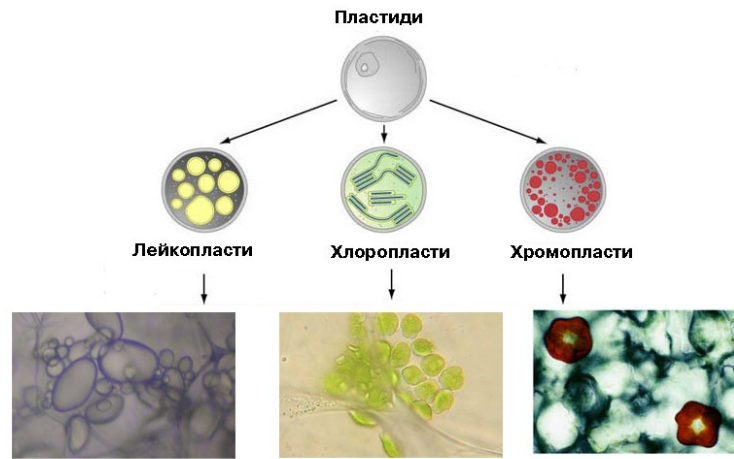


Мал. 54. Будова мітохондрії

Мітохондрії обмежені двома мембранами. Зовнішня мембрана – гладенька. Вона відділяє мітохондрію від гіалоплазми і не має складок і випуклостей. Внутрішня мембрана – складчаста – обмежує матрикс мітохондрій, утворює вгини всередину органели – **кристи** (мал. 54), які мають вигляд дископодібних, трубчастих чи пластинчастих утворів, що часто розгалужуються. На поверхні крист, що межує з внутрішнім середовищем мітохондрії, є особливі грибоподібні білкові утвори – АТФ-соми, які містять комплекс ферментів, необхідних для синтезу АТФ.

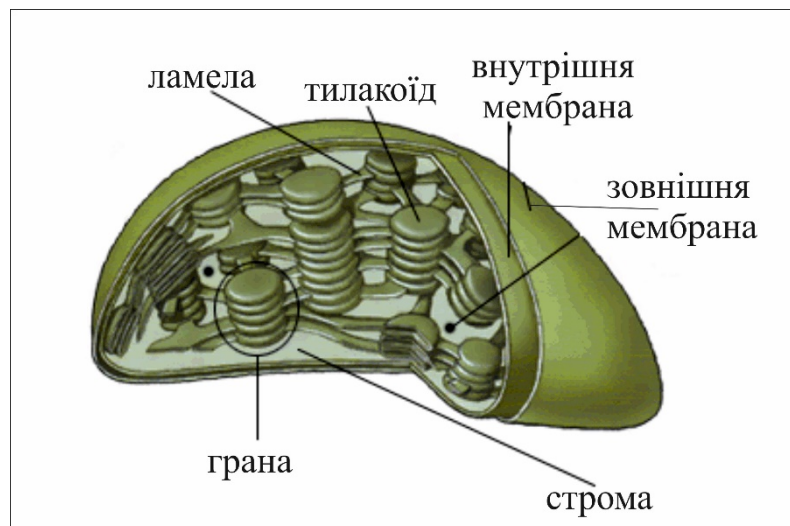
Внутрішнє середовище мітохондрій – **матрикс**. У ньому знаходиться кільцева молекула ДНК, рибосоми, іРНК, тРНК, включення та синтезуються білки, які входять до складу внутрішньої мембрани.

Пластиди. Пластиди (від грец. *plastidic* – сформований) – двомембранні органели, наявні переважно у рослин. Мають різну форму, забарвлення. Розрізняють: хлоропласти, хромопласти і лейкопласти (мал. 55).



Мал. 55. Пластиди

Хлоропласти містяться у рослин, а також у одноклітинної тварини евглени зеленої. Вони мають хлорофіл – пігмент зеленого кольору, зовнішню і внутрішню мембрани (мал. 56).



Мал. 56. Будова хлоропласту: 1– грани; 2 – зовнішня мембрана;
3 – тилакоїди; 4 – внутрішня мембрана

Зовнішня мембрана – гладенька, а внутрішня утворює вирости, що можуть від неї відокремлюватись. Внутрішній вміст хлоропласту – строма, що відповідає цитозолу бактерій і містить кільцеву молекулу ДНК, рибосоми та включення. Між зовнішньою і внутрішньою мембранами міститься щілина (міжмембранний простір). Внутрішня мембрана утворює стопки – грани, що складаються з

тилакоїдів (цистерн). Тилакоїд нагадує плоский диск, у середині якого — порожня область, що називається тилакоїдним простором або люменом. Великі тилакоїди розташовані поодинокі, а дрібніші — зібрані в грани, що нагадують стопи монет. У тилакоїдах містяться основні (хлорофіли) та допоміжні (каротиноїди) пігменти, а також усі ферменти, необхідні для здійснення фотосинтезу. У стромі хлоропластів є молекули ДНК, різні типи РНК, рибосоми, зерна запасного полісахариду (переважно крохмалю).

Основна функція хлоропластів — здійснення фотосинтезу. Також у хлоропластах синтезуються деякі ліпіди, білки мембран тилакоїдів, ферменти, які забезпечують реакції фотосинтезу.

Хромoplastи — містять пігменти каротин та ксантофіл, які забарвлюють органи рослин (листки, плоди, квітки тощо) у червоний, жовтогарячий, жовтий колір. За формою вони можуть бути кулястими, веретеноподібними, багатограними тощо. У них майже відсутня внутрішня мембранна система. Основними функціями хромoplastів є приваблення комах до квіток для запилення, поширення плодів і насіння. Утворюються вони з хлоропластів, зрідка — з лейкопластів.

Лейкопласти — це безбарвні пластиди. Вони містяться у безбарвних частинах рослини. Їх функція — запасання поживних речовин, продуктів метаболізму клітини. Лейкопласти містять кільцеву ДНК, рибосоми, включення, ферменти. Можуть бути повністю заповнені зернами крохмалю.

Пластиди наявні лише в рослинних клітинах. Вони можуть легко переходити з одного типу в інший. Наприклад, перетворення лейкопластів на хлоропласти проявляється у позеленінні бульб картоплі, хлоропластів на хромoplastи — у забарвленні листків восени в червоний, жовтий та оранжевий кольори. У процесі життєдіяльності рослин пігменти пластид можуть руйнуватися. Це відбувається перед листопадом.

Одномембранними органелами клітини є ендоплазматична сітка, комплекс Гольджі, лізосоми та вакуолі. Вони наявні лише у клітинах еукаріотичних організмів. Одномембранні органели об'єднані між собою і утворюють внутрішньоклітинну мембранну систему. Двомембранними органелами клітини є мітохондрія і пластиди. Мітохондрії є основними енергетичними станціями еукаріотичних клітин. Пластиди наявні переважно у рослин. Серед них виділяють: хлоропласти, хромoplastи і лейкопласти.

Перевірте себе: 1. Назви одномембранні органели клітини. 2. Що являє собою ендоплазматична сітка? 3. Які функції в клітині виконує комплекс Гольджі? 4. Які функції виконують лізосоми? У яких клітинах вони наявні? 5. Чим відрізняються вакуолі тваринних і рослинних клітин? 6. Назвіть двомембранні органели клітини. 7. Яка будова мітохондрій? 8. Яку функцію виконують в клітині мітохондрії? 9. Які існують різновидності пластид? 10. Як в життєдіяльності мітохондрії проявляються загальні закономірності природи?

Поміркуйте: 1. Чому гранулярну ЕПС у великій кількості виявлено у клітинах печінки та червоного кісткового мозку хребетних тварин, клітинах зародків? Із чим це пов'язано? Відповідь обґрунтуйте. 2. Чому при пошкодженні лізосом руйнується вся клітина або її частина?

Подискутуйте: 1. Відомо, що клітини кінчика кореня й залози листків комахоїдної рослини росички містять значну кількість такої органели, як апарат Гольджі. Як ви думаєте, чому? 2. У клітинах печінки у великій кількості міститься ЕПС. При надходженні до цього органу токсичних речовин (алкоголю та інших наркотичних речовин) агранулярна ЕПС розростається настільки, що клітина лопається. Проміжок заповнює сполучна тканина, внаслідок чого розвивається цироз печінки. Порівняйте та поясніть відмінність між печінкою здорової та хворої людини. 3. Доведіть взаємозв'язок локалізації мітохондрій в різних ділянках клітини з потребою в енергії цих частин клітини.

Робота в групах. 1. Порівняйте будову і функції ендоплазматичної сітки і комплексу Гольджі. 2. Запропонуйте заходи підвищення ефективності фотосинтезу у зелених рослин?

Видатні вчені. У 1951–1955 рр. Крістіан де Дюв відкрив і науково описав лізосоми. За це автор був удостоєний Нобелівської премії. Проте ще у 1888 році видатний російський вчений Ілля Ілліч Мечніков, не маючи ні електронного мікроскопа, ні методів сучасної гістохімії, відстоював існування неспеціалізованих клітинних структур, які містили ферменти. Пізніше він назве їх цитазами.

Комплекс (апарат) Гольджі відкрив у 1898 рік італійський учений Каміло Гольджі.

Р. Келлікер в 1857 р. відкриває мітохондрії, однак їхній зв'язок з процесом дихання і запасання енергії в клітині був встановлений у 40-х роках ХХ століття, завдяки методу диференціального центрифугування і тонким біохімічним дослідженням.

Проекти: 1. Місце та роль в клітині одномембранних органел. 2. Одномембранні органели рослинних клітин, їх будова та функції. 3. Одномембранні органели тваринних клітин, їх будова та функції. 4. Будова та функції мітохондрій. 5. Різноманітність пластидів, їх функції.

§ 25. КЛІТИННИЙ ЦИКЛ. МІТОЗ ТА МЕЙОЗ

Клітинний цикл. У клітині постійно відбуваються процеси обміну речовин і перетворення енергії. З часом вона виснажується і гине. Звідки ж беруться нові клітини? Вони утворюються внаслідок поділу клітин.

Сукупність процесів, що відбуваються в клітині від моменту її появи до загибелі або поділу, називають *життєвим циклом* клітини, або *клітинним*

циклом. Під час клітинного циклу клітина росте, спеціалізується і виконує свої функції у складі тканин і органів багатоклітинного організму.

У багатоклітинному організмі відповідно до спеціалізації клітини мають різну тривалість життя. Наприклад, нервові і м'язові клітини після завершення ембріонального періоду розвитку організму перестають ділитися і функціонують впродовж всього його життя. Інші клітини – кісткового мозку, епідерми, епітелію тонкого кишечника недовготривалі і тому безперервно розмножуються.

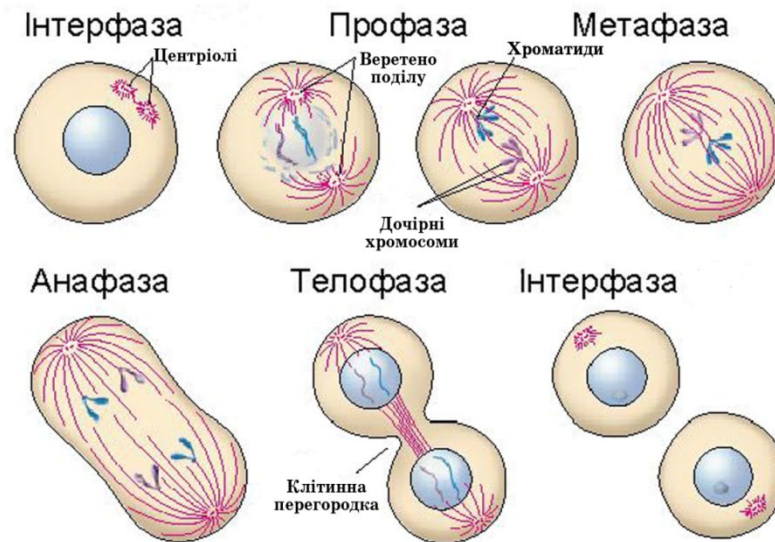
Поділ клітини є прикладом її часової впорядкованості. Під час цього утворюється дві нові клітини. Клітина, що дає початок новим клітинам, називається *материнською*. Клітини, що утворюються, називають *дочірніми*.

Мітоз та його біологічне значення. Мітоз – непрямий поділ клітини, що зумовлює рівномірний розподіл хромосом між дочірніми клітинами з покоління в покоління.

Мітоз включає чотири стадії (фази): профазу, метафазу, анафазу, телофазу (*мал. 57*). Період у життєдіяльності клітини від її утворення до моменту наступного поділу називається *інтерфазою* («інтер» – між). Інтерфаза, при якій відбувається подвоєння хромосом, передує мітозу. Подвоєна хромосома складається з двох хроматид, з'єднаних щільним тільцем – центромерою.

Розгляньте *мал. 57*. У профазі мітозу збільшується об'єм ядра, в'язкість ядерного соку знижується, хромосоми стають видимими унаслідок того, що спіралізуються. Під час профазі ядерце і ядерна мембрана зникають, хромосоми безладно розташовуються в цитоплазмі.

Під час метафазі утворюється веретено поділу, нитки якого прикріплюються до центромер хромосоми. Хромосоми прямують до площини екватора клітини. У метафазі виразно видно, що хромосоми складаються з двох *хроматид*, сполучених тільки у області центромери.



Мал. 57. Фази мітозу

При *анафазі* із кожної хромосоми утворюються дві окремі хроматиди. Нитки веретена поділу скорочуються і хроматиди розходяться до протилежних полюсів клітини.

Остання, четверта стадія – *телофаза* – хромосоми починають розкручуватись і перетворюються в рихлу масу ДНК і білка. Навколо кожного набору хромосом утворюється ядерна мембрана. Починає ділитись цитоплазма. Центр клітини стає тонким, поступово утворюється фігура схожа на гантель. “Пуповина”, що з’єднує кулі гантелі, розривається і перед нами дві нові, молоді клітини, абсолютно такі ж, як материнська.

Мітоз – найпоширеніший у природі спосіб ділення клітини, що забезпечує її генетичну стабільність. Найбільша кількість мітозів відбувається тоді, коли організм знаходиться у стані спокою. У рослин – це ніч, коли припиняється фотосинтез, у тварин і людини – час сну або відпочинку. І це зрозуміло: організм відпочиває, більше енергії може затрачатися на поділ клітини.

Час поділу у клітин різних організмів різний: епітеліальні клітини кишечника миші діляться через 11 годин, а рогівки ока – через 3 доби, шкіри – через 24 доби.

Мейоз та його біологічне значення. Якби в природі існував тільки мітоз, то ніколи не утворилися б організми з новими ознаками. А ви, звичайно, помічали, що з насіння однієї петунії виростають рослини з білими і рожевими квітками. Нащадки завжди чимось відрізняються від батьків і, взагалі, двох однакових організмів не існує.

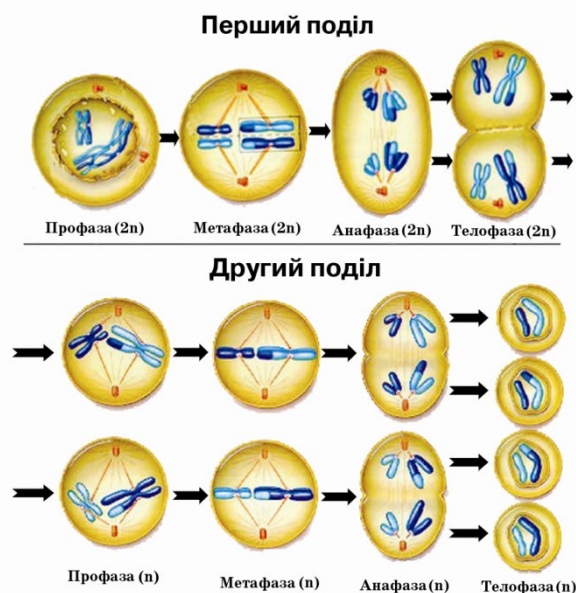
Мейоз (*мал. 58*) – особлива форма поділу клітин, яка відбувається на певних етапах життєвого циклу організмів, яким властиве статеве розмноження. При

мейозі подвійний (диплоїдний) $2n$ набір хромосом скорочується до одинарного (гаплоїдного) n . Це відбудуться при двох послідовних поділах ядра, які так і називають: перший і другий поділ мейозу.

При першому поділі мейозу кожна хромосома розташовується навпроти подібної хромосоми. Вони тісно прилягають одна до одної по всій довжині та перехрещуються. При цьому відбувається обмін ділянками між хромосомами. Це явище має велике біологічне значення, оскільки забезпечує обмін генетичною інформацією. Нитки веретена поділу прикріплюються до хромосом, а не до хроматид, і до полюсів розходиться по одній з кожної пари подібних хромосом.

Унаслідок першого поділу мейозу утворюються дві клітини, в яких число хромосом зменшене в 2 рази, але кожна з них містить подвійну кількість ДНК. Інтерфаза після першого поділу дуже коротка (у деяких організмів під час неї навіть не формуються ядерні оболонки), синтез ДНК в цей час не відбувається, і майже зразу настає другий мейотичний поділ, подібний до мітозу. У результаті в кінці мейозу утворюється чотири клітини з половинним (гаплоїдним) набором хромосом.

Мейоз забезпечує підтримання сталості числа хромосом в усіх поколіннях організмів, які розмножуються статевим шляхом. Якби не було мейозу, то гамети містили б диплоїдний набір хромосом, а в зиготі кожного наступного покоління число хромосом збільшувалося б у два рази. Друга важлива функція мейозу полягає в тому, що під час його послідовних поділів відбувається перекомбінація генетичного матеріалу між утворюваними гаметами. В результаті виникає велика різноманітність комбінацій спадкових ознак у наступному поколінні організмів.



Сукупність процесів, що відбуваються в клітині від моменту її появи до загибелі або поділу, називають *життєвим циклом* клітини, або *клітинним циклом*. Мітоз – це непрямий поділ клітини, що зберігає її генетичну стабільність. Мейоз забезпечує зменшення диплоїдного набору хромосом до гаплоїдного і характерний для статевих клітин.

Перевірте себе: 1. Що таке клітинний цикл? 2. Які стадії включає мітоз? 3. Чому під час мітозу кількість хромосом залишається сталою, а під час мейозу зменшується вдвічі? 4. Яке біологічне значення мітозу?

Поміркуйте: 1. Чому мейоз називають шансом для мінливості? 2. Якщо соматична клітина даного організму має 28 хромосом, то скільки хроматид відійде до кожного полюсу клітини під час мейозу?

Подискутуйте: 1. Яке біологічне значення мейозу?

§ 26. ОБМІН РЕЧОВИН І ЕНЕРГІЇ В КЛІТИНІ

Обмін речовин і енергії є однією з найважливіших і найсуттєвіших ознак живого організму. Живі організми – відкриті системи, для існування яких необхідний постійний двосторонній зв'язок (обмін) з навколишнім середовищем. З навколишнього середовища вони одержують поживні речовини та енергію, перетворюють їх, видозмінюють, використовуючи утворені сполуки для власних потреб, та повертають в навколишнє середовище кінцеві продукти обміну. Вся сукупність процесів поглинання, засвоєння речовин з навколишнього середовища та утворення і виділення кінцевих продуктів – суть обміну речовин.

Обмін речовин у живих організмах забезпечує постійне самооновлення та самовідтворення його складових частин і здійснюється завдяки злагодженій дії численних систем та специфічних факторів, що забезпечують процеси життєдіяльності. Усі живі організми вилучають з навколишнього середовища різні органічні і неорганічні сполуки і хімічні елементи, використовують їх у своїй життєдіяльності і виділяють у зовнішнє середовище кінцеві продукти обміну у вигляді більш простих органічних і неорганічних сполук.

Обмін речовин, або метаболізм – це комплекс біохімічних і фізіологічних процесів, які забезпечують життєдіяльність організмів у тісному взаємозв'язку з навколишнім середовищем.

До комплексу фізіологічних процесів на організменому рівні організації життя належать дихання, живлення, травлення, всмоктування, а також виділення продуктів обміну. У тварин і людини обмін речовин забезпечують: шкіра, легені, нирки, травний тракт тощо). Комплекс біохімічних процесів на тканинно-органному рівні організації життя охоплює хімічні перетворення і видозміни структур білків, жирів і вуглеводів, що надходять до організму у вигляді їжі. Всі ці процеси відбуваються за участю великої кількості ферментів, які забезпечують певну послідовність обмінних реакцій у часі, місце і швидкість перебігу.

Обмін речовин і енергії в клітині включає пластичний та енергетичний обміни. Це основна умова підтримання життя клітини, основа її функціонування й розвитку. Пластичний обмін включає процеси біосинтезу білка (про який ви дізнаєтеся пізніше), вуглеводів (фотосинтез) тощо.

Пластичний обмін – це сукупність реакцій синтезу, які забезпечують поновлення хімічного складу, ріст клітин.

Енергетичний обмін – це сукупність реакцій розщеплення складних сполук із виділенням енергії. Організми з довкілля в процесі життєдіяльності у певних формах поглинають енергію. Потім вони повертають в іншій формі її еквівалентну кількість.

Розглянемо детальніше біоенергетичний обмін у клітині, що виконує дві функції. Перша функція – забезпечення організму, зокрема клітин, будівельним матеріалом. З речовин, що надходять до клітин – амінокислот, глюкози, органічних кислот (вони утворилися в результаті розкладання у системі органів травлення білків, жирів, вуглеводів) – у клітині безперервно відбувається утворення нових білків, вуглеводів, жирів. З них формується тіло клітини, її органоїди, мембрани. Це так званий пластичний обмін речовин. Друга функція обміну – забезпечення клітин і всього організму енергією. Для життєдіяльності клітин, тканин, органів і всього організму, їх функціонування, росту необхідна енергія. Основним джерелом для отримання енергії клітиною є енергія хімічних реакцій. Вона вивільняється в результаті розщеплення речовин, що надійшли із зовнішнього середовища. У цьому процесі високомолекулярні органічні сполуки перетворюються на прості органічні і неорганічні. Обмін енергією називають енергетичним обміном.

До клітин живих організмів постійно надходить енергія, яка може переходити з одного виду в інший. Так, при фотосинтезі світлова енергія сонця уловлюється і перетворюється на хімічну енергію у хлоропластах листків; хімічна енергія харчових продуктів перетворюється під час дихання у «біологічно корисну енергію» для організму, яка використовується клітинами для виконання механічної, осмотичної, хімічної роботи. При цьому енергія не виникає з нічого і не зникає, а лише переходить із однієї форми у іншу. Це приклад прояву однієї із загальних закономірностей природи – закономірності збереження.

Основними формами обміну речовиною та енергією між компонентами живої природи є процес фотосинтезу, дихання живих організмів і різноманітні харчові зв'язки.

Розрізняють процеси **асиміляції** (анаболізму) і **дисиміляції** (катаболізму). Ці процеси є різними сторонами єдиного процесу обміну речовин і перетворення енергії в живих організмах.

Асиміляція – це процеси пов'язані з поглинанням, засвоєнням і нагромадженням хімічних речовин, що використовуються для синтезу необхідних для організму сполук.

Дисиміляція – це процеси, що пов'язані з розпадом речовин.

Не завжди процеси асиміляції врівноважені з процесами дисиміляції. Накопичення речовин і ріст в організмах, що розвиваються, забезпечується процесами асиміляції, тому вони переважають. Процеси дисиміляції переважають при нестачі поживних речовин, інтенсивній фізичній роботі, старінні.

Процеси асиміляції і дисиміляції тісно пов'язані з типами живлення організмів. Основним джерелом енергії для живих організмів Землі є сонячне світло. Воно опосередковано чи безпосередньо задовольняє їх енергетичні потреби. **Автотрофи** (від грецьк. *аутос* – сам і *трофе* – їжа, харчування) – це організми, здатні синтезувати органічні сполуки з неорганічних із використанням певного виду енергії. Розрізняють фототрофи і хемотрофи. **Фототрофи** (від грецьк. *фотос* – світло) – організми, які для процесів синтезу органічних сполук із неорганічних, використовують енергію світла. До них належать деякі прокаріоти (фотосинтезуючі сіркобактерії й ціанобактерії) та зелені рослини. **Хемотрофи** (від грецьк. *хеміа* – хімія) для синтезу органічних сполук із неорганічних використовують енергію хімічних реакцій. До них відносяться деякі

прокаріоти (залізобактерії, сіркобактерії, нітрифікуючі тощо). Автотрофні процеси відносяться більше до процесів асиміляції.

Гетеротрофи (від грецьк. *гетерос* – інший) – це організми, які синтезують власні органічні сполуки з готових органічних сполук, синтезованих іншими організмами. До них належать більшість прокаріот, гриби, тварини. Для них джерелом енергії є органічні речовини, які вони одержують з їжею: живі організми, їхні рештки або продукти життєдіяльності. Основні процеси гетеротрофних організмів – розпад речовин – засновані на процесах дисиміляції.

Енергія в біологічних системах використовується для забезпечення в організмі різних процесів: теплових, механічних, хімічних, електричних тощо. Частина енергії під час реакцій енергетичного обміну розсіюється у вигляді теплоти, частина її запасається в макроергічних хімічних зв'язках певних органічних сполук. Універсальною такою речовиною є аденозинтрифосфорна кислота АТФ. Вона є універсальним хімічним акумулятором енергії в клітині.

Обмін речовин – це комплекс біохімічних і фізіологічних процесів, які забезпечують життєдіяльність організмів у тісному взаємозв'язку з навколишнім середовищем. Обмін речовин і енергії в клітині включає пластичний та енергетичний обміни. Це основна умова підтримання життя клітини, основа її функціонування й розвитку.

Перевірте себе: 1. Які процеси в клітині включає обмін речовин і енергії? 2. Де в клітині відбувається енергетичний обмін? 3. Де в клітині відбувається пластичний обмін (обмін речовиною)? 4. Яке значення обміну речовин та енергії в життєдіяльності клітини?

Поміркуйте: 1. Поміркуйте, чому обмін речовин і енергії взаємообумовлені процеси? 2. Поясніть потребу більшості живих організмів у кисні. 3. На основі яких загальних закономірностей природи можна пояснити процес обміну речовин? 4. Як процеси асиміляції і дисиміляції пов'язані з типами живлення організмів?

Подискутуйте: 1. Чи можливий обмін речовин за відсутності пластичного чи енергетичного обмінів?

Проекти: 1. Пластичний обмін у клітинах. 2. Процеси, які лежать в основі енергетичного обміну.

§ 27. ФОТОСИНТЕЗ: СВІТЛОВА ТА ТЕМНОВА ФАЗИ.

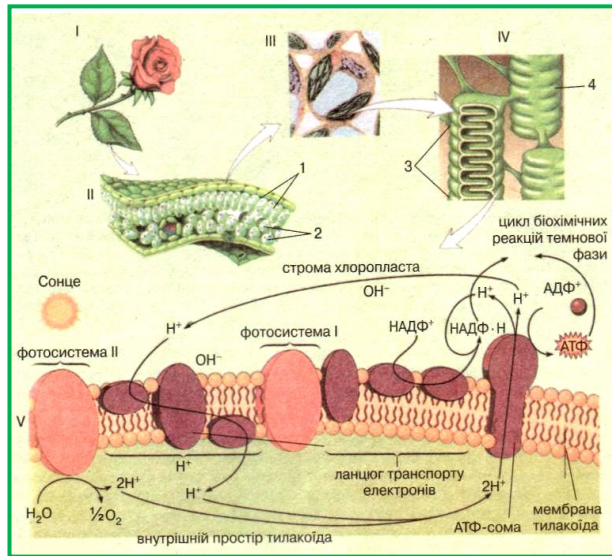
Фотосинтезом називають утворення органічних молекул з неорганічних за рахунок використання енергії сонячного світла. Більшість автотрофних істот належить до фотосинтезуючих організмів, або **фототрофів** (від грец. *фотос* – світло). Ви пам'ятаєте, що в клітинах рослин фотосинтез відбувається в хлоропластах, які містять фотосинтезуючі пігменти – хлорофіли. За своєю структурою вони нагадують гем гемоглобіну, але в них замість Феруму в центрі молекули розміщений атом іншого двовалентного металу – Магнію. До фототрофів належать зелені, пурпурові бактерії, ціанобактерії та рослини.

Фотосинтез ґрунтується на послідовності біохімічних реакцій, пов'язаних з утворенням вуглеводів з неорганічних сполук і виділенням в атмосферу молекулярного кисню (за винятком фотосинтезуючих бактерій).

У процесі фотосинтезу в зелених рослинах і ціанобактеріях беруть участь дві фотосистеми – перша (I) і друга (II) (*мал. 59*). *Фотосистемою* називають структурну одиницю, що складається з пігментів та інших молекул, які беруть участь у процесах фотосинтезу і містяться у тилакоїдах хлоропластів. Кожна із фотосистем має свій функціональний активний комплекс – **реакційний центр**, що складається з молекул хлорофілу. У реакційному центрі енергія світла використовується для здійснення подальших біохімічних процесів світлової фази фотосинтезу.

Обидві фотосистеми розділені просторово, але пов'язані між собою механізмами перенесення електронів (*мал. 59*). У процес фотосинтезу вони включаються послідовно.

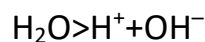
Фотосинтез відбувається у дві фази – *світлову і темнову*. **Світлову фазу** названо так тому, що її реакції перебігають лише на світлі в мембранах тилакоїдів.



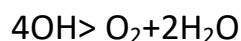
Мал. 59. Структури, які забезпечують фотосинтез:

I – фотосинтезуюча рослина; II – зріз через листову пластинку; зверніть увагу на стовпчасті (1) та губчасті (2) клітини, в яких розташовані хлоропласти; III – внутрішня будова рослинної клітини; IV – Деталі будови хлоропласта: окремі тилакоїди (4) та грани (3); V – процес перенесення електронів під час фотосинтезу

У світловій фазі (мал. 57) кванти світла – фотони, взаємодіючи з молекулами хлорофілу, переходять у «збуджений» стан. Потім надмірна енергія частини збуджених молекул перетворюється в теплоту або випускається у вигляді світла. Інша її частина передається йонам водню H^+ , завжди наявним у водному розчині унаслідок дисоціації води:

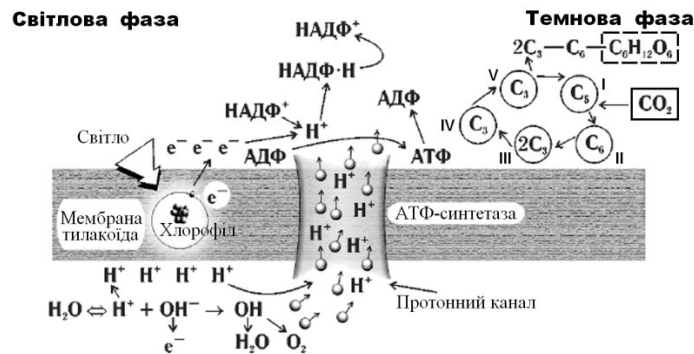


Атоми водню (H°), що утворилися, неміцно з'єднуються з органічними молекулами – переносниками водню. Радикали OH^- взаємодіють один з одним, внаслідок чого утворюються вода і молекулярний кисень:



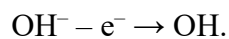
Таким чином, джерелом молекулярного кисню, що утворюється в процесі фотосинтезу і виділяється в атмосферу, є вода, що розщеплюється в результаті фотолізу – розкладання води під впливом світла. Окрім фотолізу води енергія світла використовується в світловій фазі для синтезу АТФ з АДФ і фосфату без участі кисню.

У хлоропластах утворюється в 30 разів більше АТФ, чим в мітохондріях тих же рослин за участю кисню. Таким шляхом накопичується енергія, необхідна для процесів, що відбуваються в темновій фазі фотосинтезу (мал. 60).

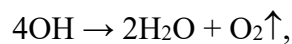


Мал. 60. Світлова та темнова фази фотосинтезу

Світло, попадаючи на молекули хлорофілу, які знаходяться у мембранах тилакоїдів (структурних елементів внутрішньої мембранної системи хлоропластів), надає їм збудженого стану. В результаті цього електрони (e^-) сходять зі своїх орбіт і переносяться за допомогою носіїв (НАДФ – нікотинамідаденіндинуклеотидфосфат) за межі мембрани тилакоїда, де і накопичуються, створюючи від'ємно заряджене електричне поле. Місце втрачених електронів у молекулах хлорофілу займають електрони води, яка під дією світла зазнає фотолізу:



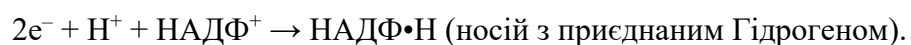
Гідроксили OH^- , стаючи радикалами OH , об'єднуються:



утворюючи воду та вільний кисень, який виділяється в атмосферу.

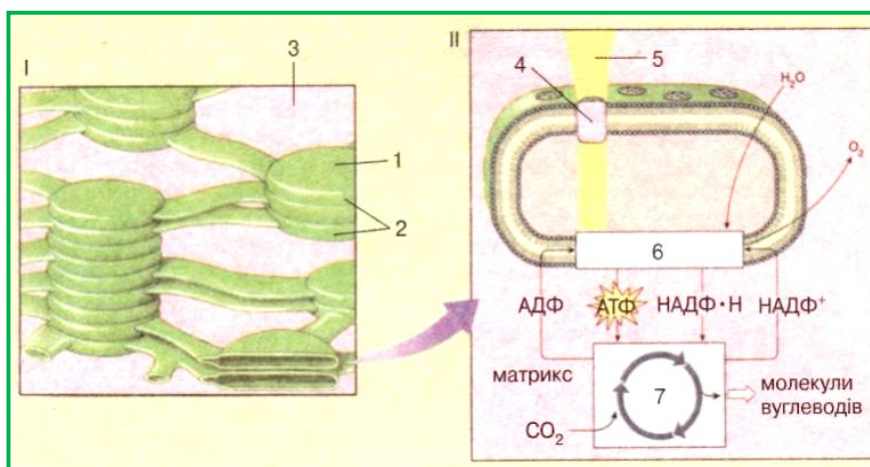
Протони Гідрогену (H^+) не проникають через мембрану тилакоїди і накопичуються всередині, утворюючи позитивно заряджене електричне поле, що приводить до збільшення різниці потенціалів по обидва боки мембрани. По досягненню критичної різниці потенціалів протони H^+ прямують протонним каналом в ферменті АТФ-синтетазі, який вмонтований у мембрану тилакоїда, назовні – в матрикс (рідка частина хлоропласта). На виході з протонного каналу створюється високий рівень енергії. Тут синтезується АТФ шляхом приєднання до молекули АДФ (аденозиндифосфорна кислота) залишку фосфорної кислоти. Утворені молекули АТФ беруть участь в реакції фіксації вуглецю.

Протони H^+ , що вийшли на поверхню мембрани тилакоїда, з'єднуються з електронами e^- , утворюючи атомарний Гідроген (H), який іде на відновлення носія НАДФ⁺:



Таким чином, активованій світловою енергією електрон хлорофілу використовується для приєднання Гідрогену до носія НАДФ \cdot Н, який бере участь в реакціях фіксації Карбону.

Реакції *темної фази* (фіксація Карбону) відбуваються в матриксі хлоропласта, куди надходять АТФ та НАДФ•Н із тилакоїдів і CO₂ з повітря (мал. 61). Крім того, там постійно знаходяться 5-вуглецеві сполуки – пентози C₅, які утворюються в циклі Кальвіна (цикл фіксації CO₂). Цей цикл можна прослідкувати по Карбону як головному елементу вуглеводів.



Мал. 61. I – Внутрішня будова хлоропласта: 1, 2 – тилакоїди, зібрані в грани;

3 – строма, де запасається крохмаль.

II – Процеси фотосинтезу, що відбуваються в тилакоїдах:

4 – фотосистема; 5 – сонячне світло; 6 – реакції світлової фази; 7 – реакції темної фази

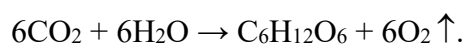
До пентози C₅ приєднується CO₂, завдяки чому з'являється нестійка 6-вуглецева сполука C₆, яка розщеплюється на дві 3-вуглецеві групи 2C₃ – тріози. Кожна з цих двох тріоз збагачується енергією, приєднуючи по одній фосфатній групі від двох молекул АТФ. Крім того, вони приєднують по одному атому Гідрогену від двох молекул НАДФ•Н. Після цього одні тріози об'єднуються, утворюючи вуглеводи:



Інші тріози об'єднуються, утворюючи пентози $5C_3 \rightarrow 3C_5$, які знову включаються в цикл фіксації CO₂.

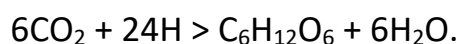
Сумарна реакція фотосинтезу має такий вигляд:

енергія світла



хлорофіл

У комплексі хімічних реакцій темної фази, для перебігу яких світло не обов'язкове, ключове місце займає вуглекислий газ (CO₂). У цих реакціях беруть участь молекули АТФ, синтезовані під час світлової фази, і атоми водню, що утворилися під час фотолізу води і пов'язані з молекулами-переносниками:



Так, енергія сонячного світла перетворюється в енергію хімічних зв'язків складних органічних сполук.

Фотосинтез має велике значення для існування біосфери. Зелені рослини при фотосинтезі утворюють органічні речовини, які використовують самі, а також тварини, людина тощо. Вони насичують киснем атмосферу і очищають її від вуглекислого газу. І при цьому в процесі фотосинтезу використовується лише 1% всієї сонячної енергії, яка потрапляє на рослини.

У вивчення ролі світла і хлорофілу в процесі фотосинтезу великий внесок зробив видатний російський вчений К.А. Тімірязєв. За його словами, зелені рослини відіграють космічну роль завдяки тому, що вони здатні засвоювати сонячну енергію. Енергія, акумульована в органічних речовинах, використовується всіма живими організмами нашої планети. Органічні речовини, що утворюються в процесі фотосинтезу, становлять близько 95% сухої маси рослини. Тому керування процесом фотосинтезу, підвищення його продуктивності – один із ефективних методів впливу на продуктивність рослин, а для сільськогосподарських культур є важливим засобом підвищення урожаю. Розроблено цілий комплекс агротехнічних заходів, які дозволяють впливати на процес фотосинтезу. До них належать забезпечення потреб рослини водою і мінеральними солями, у тому числі мікроелементами (купрумом, цинком тощо), від яких залежить продуктивність роботи всього фотосинтезуючого апарату рослин.

Фотосинтезом називають утворення органічних молекул з неорганічних за рахунок використання енергії сонячного світла. Процес фотосинтезу забезпечують хлоропласти. Хемосинтез – це сукупність реакцій синтезу органічних речовин із неорганічних з використанням енергії хімічних реакцій, яка вивільнюється під час перетворення неорганічних сполук.

Перевірте себе: 1. Що таке фотосинтез? 2. Яке біологічне значення фотосинтезу?

Поміркуйте: 1. Чому етапи фотосинтезу називають світловою і темною фазами? 2. Чому Тімірязєв писав, що «зелені рослини виконують космічну роль». 3. Чому без зелених рослин неможливе існування сучасної біосфери? 4. Спробуйте пояснити діяльність зелених рослин на основі загальних закономірностей природи. 5. На основі яких загальних закономірностей природи можна пояснити процеси фотосинтезу?

Подискутуйте: 1. Що спільного і відмінного між здійсненням хемосинтезу й фотосинтезу?

**Узагальніть вивчене з теми
«Клітинний рівень організації живої природи»**

Тематична самоперевірка знань

I рівень

Виберіть правильну, найбільш повну відповідь.

1. Наука, що вивчає клітину називається:

а) ботаніка; б) цитологія; в) гістологія; г) зоологія; в) анатомія.

2. Прокаріотами є:

а) віруси; б) рослини; в) тварини; г) бактерії; д) синьо-зелені водорості.

3. Які органічні речовини забезпечують збереження і передачу спадкової інформації в живих організмах?

а) білки; б) вуглеводи; в) РНК; г) ДНК.

II рівень

Виберіть правильну відповідь.

1. Одномембранними органелами клітини є:

а) мітохондрії; б) лізосоми; в) ендоплазматична мембрана; г) комплекс Гольджі.

2. У хлоропластах рослинних клітин синтезуються:

а) білки; б) вуглеводи; в) ліпіди; г) нуклеїнові кислоти; д) вітаміни.

3. Поділ клітини, що забезпечує генетичну стабільність – це ...

а) мітоз; б) мейоз.

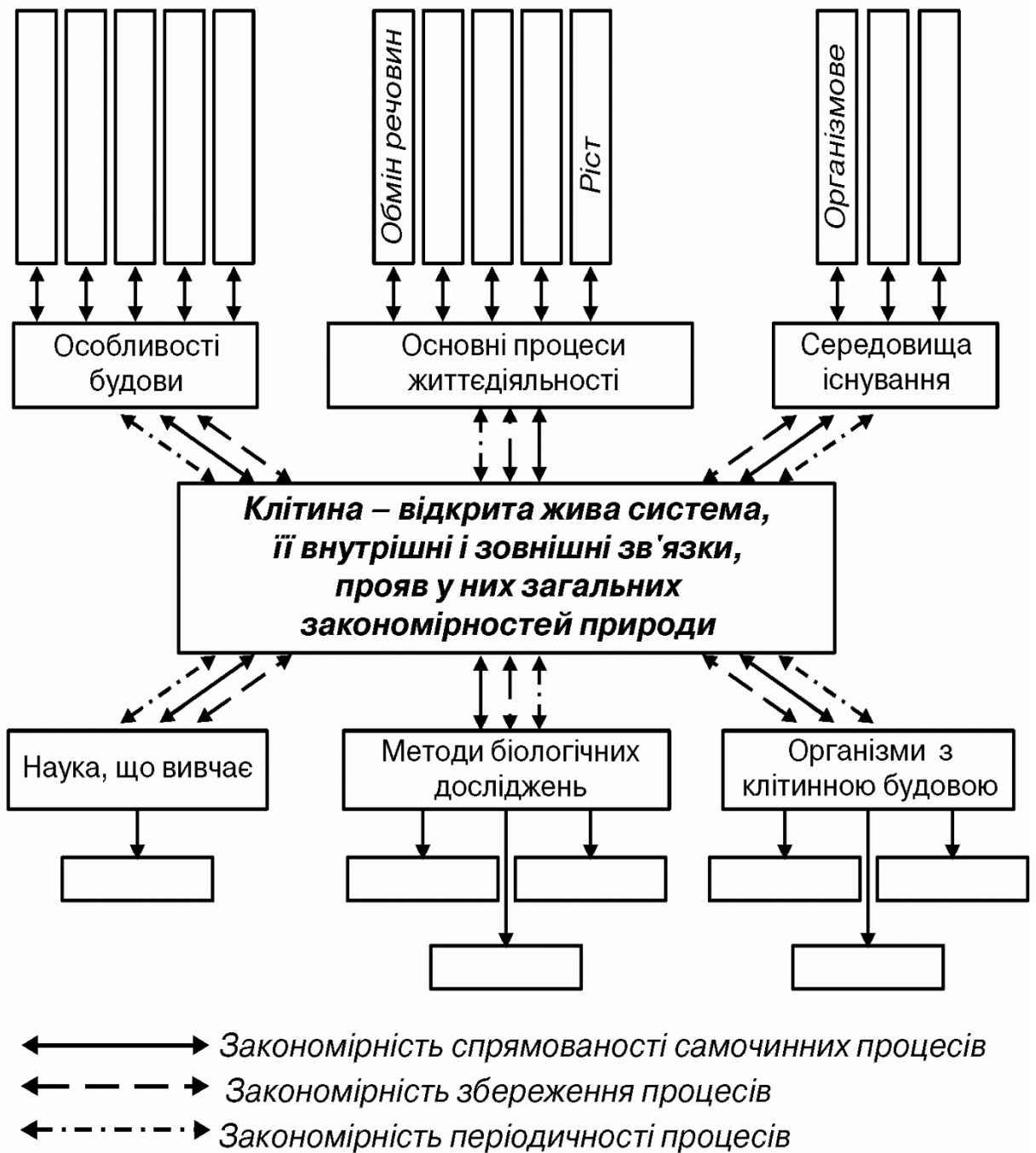
III рівень

1. Які органели клітини є лише у рослинних клітин:
 - а) мітохондрії; б) ендоплазматична сітка; в) пластиди; г) лізосоми; д) вакуолі; е) рибосоми.
2. Які процеси в клітині відносять до пластичного обміну?
 - а) біосинтез білка; б) дихання; в) гліколіз; г) синтез ліпідів.
3. Які структури клітини є носієм спадкової інформації?
 - а) рибосоми; б) мітохондрії; в) ядро; г) цитоплазма.

IV рівень

Дайте відповідь на запитання.

3. Доведіть, що клітина є цілісною відкритою біологічною системою.
 4. Чим мітоз відрізняється від мейозу?
- 3*. Для допитливих. Змодельуйте у зошиті структурно-логічну схему взаємозв'язку вивчених у темі понять на основі загальних закономірностей природи (збереження, періодичності, спрямованості процесів до рівноважного стану).



ТЕМА 3. НЕКЛІТИННІ ФОРМИ ЖИТТЯ ТА ОДНОКЛІТИННІ І БАГАТОКЛІТИННІ ОРГАНІЗМИ

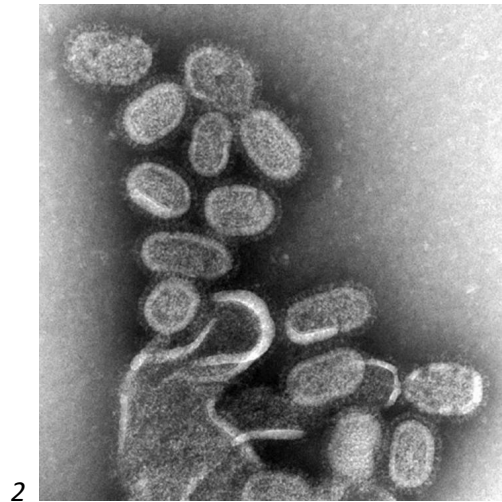
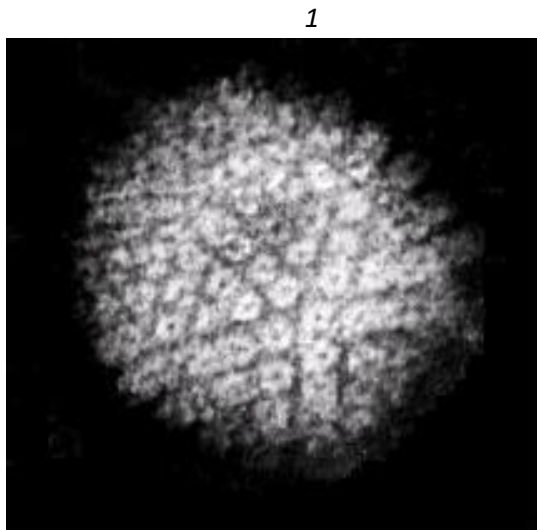
§ 28. ВІРУСИ. БУДОВА, ЖИТТЄВИЙ ЦИКЛ

Віруси не існують поза клітиною. Їх життєдіяльність настає, коли вони попадають до клітини інших організмів (рослин, тварин, грибів тощо). Віруси складають окреме царство живої природи — царство Вірусів. Це неклітинні структури. Поза клітиною хазяїна віруси не проявляють ніяких властивостей живого: у них відсутній ріст і розвиток, обмін речовин, розмноження, подразливість тощо. Тривалий час вважали віруси неживими об'єктами. Проявляють свою життєдіяльність віруси тоді, коли взаємодіють із синтезуючими апаратами клітини хазяїна.

Розміри вірусів сягають від 15 до 2000 нм (деякі віруси рослин). Найбільшим серед вірусів тварин і людини є збудник природної віспи - до 450 нм.

Будова вірусів. Віруси складаються з однієї молекули нуклеїнової кислоти - ДНК чи РНК і оболонки. Вони мають власний спадковий матеріал. До складу вірусів не входить вода.

Нуклеїнові кислоти у вірусів можуть бути як одноланцюгові, так і дволанцюгові, що утворюють лінійні чи кільцеві форми. Залежно від виду нуклеїнової кислоти розрізняють РНК-вмісні (рибовіруси) та ДНК-вмісні (дезоксивіруси) віруси. Віруси, що паразитують у клітинах тварин і людини, містять ДНК або РНК; ті, що паразитують у клітинах рослин – лише ДНК. Наприклад, дволанцюгова ДНК зустрічається у вірусів віспи людини, овець, свиней, аденовірусів людини; двониткова РНК служить генетичною матрицею у деяких вірусів комах і інших тварин. Широко поширені віруси, що містять одностричкову РНК (віруси енцефаліту, краснухи, кору, сказу, грипу тощо) (*мал. 62*).



Мал. 62. Віруси: 1 – герпесу; 2 – грипу

Залежно від структури та хімічного складу оболонки віруси поділяють на прості та складні.

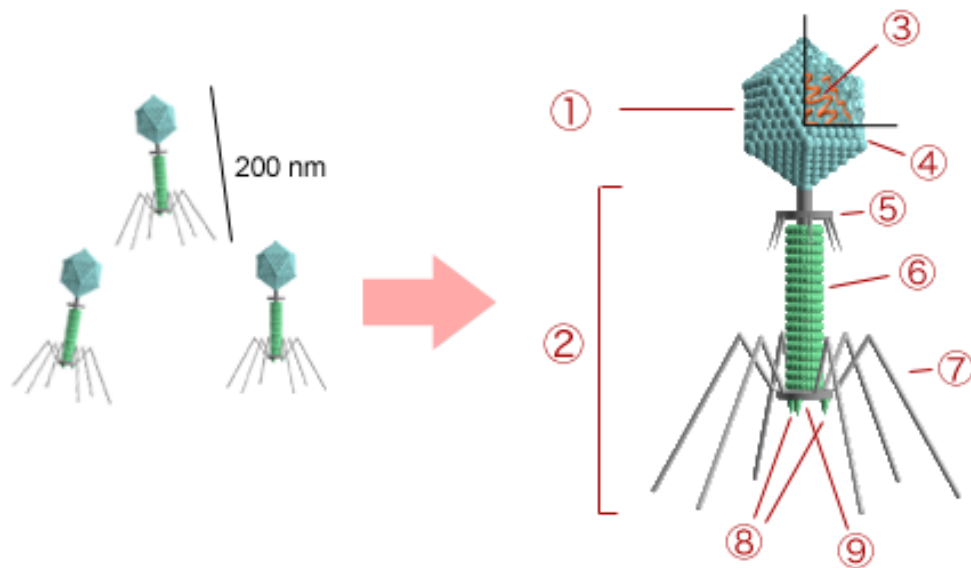
Прості віруси мають оболонку – *капсид*, яка складається лише з білкових субодиниць (капсомерів). Капсомери більшості вірусів мають спіральну або кубічну симетрію. Віруси зі спіральною симетрією мають паличкоподібну форму. За спіральним типом симетрії побудовано більшість вірусів, що вражають рослини. Віруси, що вражають клітини людини та тварин, мають кубічний тип симетрії.

Складні віруси можуть бути додатково вкриті ліпопротеїдною поверхневою мембраною з глікопротеїдами, що є частиною плазматичної мембрани клітини-хазяїна (наприклад, віруси віспи, гепатиту В). Такі віруси мають *суперкапсид*. За допомогою глікопротеїдів відбувається розпізнавання специфічних рецепторів на поверхні оболонки клітини хазяїна та прикріплення вірусної частинки до неї. Вуглеводні ділянки глікопротеїдів виступають над поверхнею віруса у вигляді загострених паличок. Додаткова оболонка може зливатись із плазматичною мембраною клітини хазяїна і сприяти проникненню вмісту вірусної частинки всередину клітини.

Віруси бактеріофаги мають досить складну будову, їх відносять до складних вірусів. Наприклад, бактеріофаг Т4 складається з розширеної частини — голівки, відростка та хвостових ниток (*мал. 63*).

Голівка складається з капсиду, в якому міститься нуклеїнова кислота. Відросток включає комірець, порожній стрижень, що оточений скоротливим чохлам

та нагадує розтягнену пружину, і базальну пластинку з хвостовими шипами й нитками.



Мал. 63. Будова вірусу бактеріофагу: 1 — головка, 2 — хвіст, 3 — нуклеїнова кислота, 4 — капсид, 5 — зубці, 6 — білковий чохол хвоста, 7 — фібрила хвоста, 8 — шипи, 9 — базальна пластинка

Взаємодія вірусу з клітиною. Проникнення вірусу в цитоплазму клітини передує скріплення його з особливим білком-рецептором, що знаходиться на клітинній поверхні. Скріплення з рецептором здійснюється завдяки наявності спеціальних білків на поверхні вірусної частинки, які «дістають» відповідний рецептор на поверхні чутливої клітини. Ділянка поверхні клітини, до якої приєднався вірус, занурюється в цитоплазму і перетворюється на вакуолю. Вакуоля при цьому може зливатися з іншими вакуолями або з ядром. Так вірус потрапляє в будь-яку ділянку клітини.

Рецепторний механізм проникнення вірусу в клітину (мал. 64) забезпечує специфічність інфекційного процесу. Так, вірус гепатиту А або В проникає і розмножується тільки в клітинах печінки; аденовіруси і вірус грипу — в клітинах епітелію слизової оболонки верхніх дихальних шляхів; вірус, що викликає запалення головного мозку, — в нервових клітинах; вірус епідемічного паротиту (свинка) — в клітинах привушних слинних залоз тощо.

Інфекційний процес починається, коли віруси, що проникли в клітину, починають розмножуватися, тобто відбувається редуплікація вірусного генома і утворення капсиду. Для здійснення редуплікації нуклеїнова кислота повинна звільнитися від капсиду. Після синтезу нової молекули нуклеїнової кислоти вона

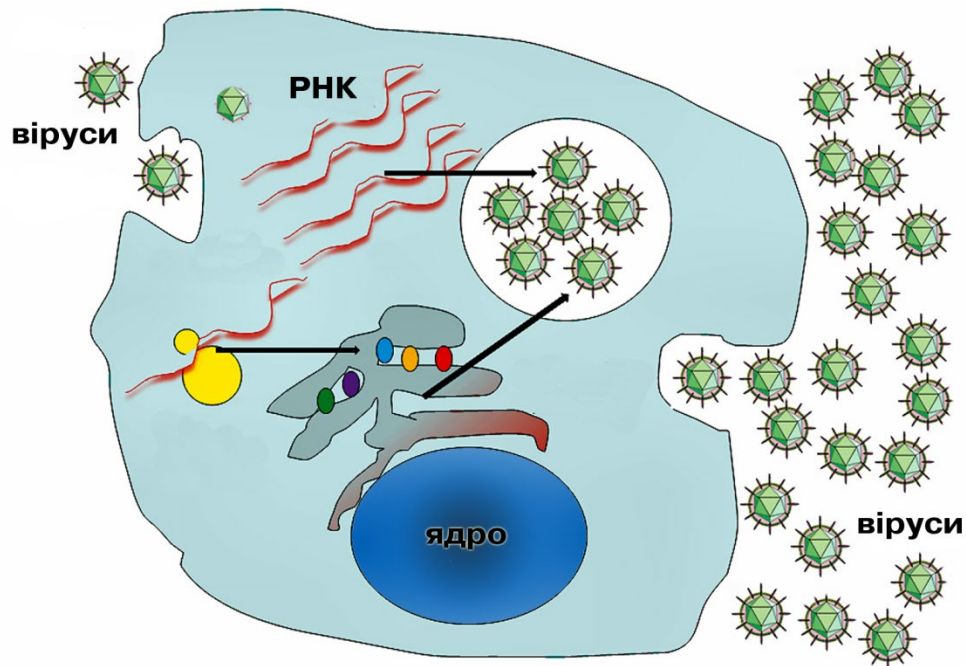
одягається синтезованими в цитоплазмі клітини-господаря вірусними білками — утворюється капсид.

Накопичення вірусних частинок приводить до їх виходу з клітини. Для деяких вірусів це відбувається шляхом «вибуху», внаслідок чого цілісність клітини порушується і вона гине. Інші віруси виділяються способом, що нагадує брунькування. В цьому випадку клітини організму можуть довго зберігати свою життєздатність.

Інший шлях проникнення в клітину у вірусів бактерій – бактеріофагів. Товсті клітинні стінки бактерій не дозволяють білку-рецептору разом з вірусом, що приєднався до нього, занурюватися в цитоплазму, як це відбувається при інфікуванні клітин тварин та людини. Тому бактеріофаг вводить порожнистий стрижень в клітину і виштовхує через нього ДНК (або РНК), що знаходиться в його головці. Геном бактеріофага потрапляє в цитоплазму, а капсид залишається зовні. У цитоплазмі бактерійної клітини починається редуплікація генома бактеріофага, синтез його білків і формування капсиду. Через певний проміжок часу бактеріальна клітка гине і зрілі фагові частинки виходять в навколишнє середовище.

Життєвий цикл вірусу складається з двох фаз: *позаклітинної* (віріон), у якій він не проявляє ознак життєдіяльності, та *внутрішньоклітинної*. Вірусні частинки поза організмом хазяїна деякий час не втрачають здатності до зараження. Наприклад, вірус поліомієліту може зберігати інфекційну активність протягом кількох діб, віспи – місяців, вірус гепатиту В зберігає її навіть при короткочасному кип'ятінні.

Активні процеси одних вірусів перебігають у ядрі клітини, інших – у цитоплазмі, у деяких – і в ядрі, і в цитоплазмі. Взаємодія клітин і вірусів бувають кількох типів: *продуктивного* (нуклеїнова кислота вірусу у клітині хазяїна синтезує власні речовини з утворенням нового покоління), *абортивного* (репродукція переривається на якій-небудь стадії і нове покоління не утворюється), *вірогенного* (нуклеїнова кислота вірусу вбудовується в геном клітини хазяїна і не здатна до репродукції).



Мал. 64. Схема проникнення вірусу в клітину і виходу з клітини вірусних частинок

Розмноження. Віруси, що потрапили до клітини, можуть одразу або пізніше проявляти активність, можуть знаходитись певний час у стані спокою. Можливі такі варіанти перебування вірусів у клітині: *літична інфекція* (утворені віруси одночасно покидають клітину, розриваючи її), *персистентна* (нові віруси виходять поступово, клітина живе і ділиться, хоча її функціонування може змінюватися), *латентна* (генетичний матеріал вірусу вбудовується в ДНК хромосом і при поділі клітини передається дочірнім клітинам).

Процес вбудовування нуклеїнової кислоти вірусу у ДНК хромосоми клітини хазяїна називається *інтеграцією*. Інтегрована нуклеїнова кислота вірусу в геномі клітини хазяїна, називається *провірусом*. Різні чинники (фізичної, біологічної і хімічної природи) можуть активувати провірус. Тоді розвивається літична або персистентна інфекція.

Розмноження вірусів включає три процеси: реплікацію вірусної нуклеїнової кислоти, синтез вірусних білків і збирання віріонів. У клітині хазяїна нуклеїнова кислота вірусу передає спадкову інформацію про вірусні білки до білоксинтезуючого апарату клітини. У вірусів, що містять іРНК, вона одразу сполучається з рибосомами хазяїна і спричиняє синтез вірусних білків. В інших вірусів іРНК синтезується на РНК чи ДНК вірусу.

Деякі віруси (бактеріофаги та віруси, що призводять до певних ракових захворювань) вбудовують вірусну ДНК у ДНК клітину хазяїна. При цьому білки вірусів змінюють властивості клітин і не вбивають їх. Так, ракові клітини часто діляться, їх кількість необмежено збільшується.

Продуктами власної життєдіяльності віруси пригнічують синтез білків клітини хазяїна. Трансляція інформації з ДНК на іРНК клітини припиняється і стимулюється синтез власних білків вірусу.

Віруси є неклітинними формами життя, об'єднаними у окреме царство Віруси. Їх життєдіяльність настає, коли вони попадають до клітини інших організмів (рослин, тварин, грибів тощо). Віруси складаються з нуклеїнової кислоти (ДНК чи РНК) і декількох білків, які утворюють оболонку. Життєвий цикл вірусу складається з двох фаз: позаклітинної (віріон), у якій він не проявляє ознак життєдіяльності, та внутрішньоклітинної.

Перевірте себе: 1. Які організми називають вірусами? 2. Назви відомі тобі віруси. 3. Чим віруси відрізняються від рослин та тварин? 4. Поясніть взаємодію вірусу з клітиною? 5. Поясніть рецепторний механізм проникнення вірусу в клітину. 6. Який життєвий цикл вірусів?

Поміркуйте: 1. Чи здатні віруси, включені в хромосоми клітини-хазяїна, перебувати тривалий час у стані спокою? Що це дає вірусу? 2. Чи живуть поза організмом-хазяїном віруси? 3. Назвіть середовище існування вірусів. Де їх найбільше?

Подискутуйте: 1. Віруси, як живі організми, здатні вражати комп'ютер? Якої природи комп'ютерні віруси? 2. Чим відрізняються горизонтальний шлях передачі вірусної інфекції від вертикальної? 3. Які хвороби людини, викликані вірусами, особливо небезпечні?

Проекти: 1. Особливо небезпечні для людини віруси. 2. Хвороби, які викликають у людини (рослин, тварин) віруси. 3. Заходи профілактики вірусних хвороб.

Для допитливих

З історії відкриття вірусів

У 1892 р. російський учений Д. І. Івановський описав невідомі раніше властивості збудника хвороби рослини тютюну — так званої тютюнової мозаїки. Ним зазначено, що цей збудник проходив через бактерійні фільтри, що говорить про його неналежність до бактерій — неклітинну природу.

Через декілька років Ф. Леффлер і П. Фрош виявили, що збудник ящура — хвороби, що зустрічається у худоби, також легко проходить через бактерійні фільтри, тобто теж має неклітинну природу.

Нарешті, в 1917 р. канадський бактеріолог Ф. де Ерелль відкрив бактеріофаг — вірус, що вражає бактерії.

Так були відкриті віруси рослин, тварин і мікроорганізмів. Ці три події поклали початок новій науці — вірусології, що вивчає неклітинні форми життя.

§ 29. РОЛЬ ВІРУСІВ В ПРИРОДІ Й ЖИТТІ ЛЮДИНИ

Роль вірусів у природі. У природі віруси сприяють регуляції чисельності тварин. Значна кількість бактеріофагів (всього налічується понад 100) спеціалізується на знищенні певних мікроорганізмів (наприклад, бактерій стафілококу, стрептококу тощо).

Можливо віруси відіграють певну роль в еволюції прокариот, оскільки вбудовуються у спадковий матеріал клітини хазяїна. Вони здатні передавати спадкову інформацію від одних особин цих організмів до інших. Це можливо як у межах одного виду, так і між різними популяціями. Віруси можуть переносити гени між клітинами одного організму, між клітинами різних організмів, різних видів і класів.

Віруси викликають ряд захворювань рослин, тварин, бактерій. Проникнення вірусів у клітини організму спричинює в ньому інфекційні процеси. Наприклад, у свійських тварин віруси викликають такі захворювання, як чума у курей, чумка у собак, ящур тощо; у культурних рослин – мозаїчність, плямистість, некрози, пухлини тощо. Віруси є збудниками інфекційних захворювань людини і тварин.

Інфекція – це комплекс процесів, що відбуваються при взаємодії інфекційного агента (бактерії, гриби, віруси) з організмом хазяїна. Розрізняють кілька видів вірусної інфекції. Гостра інфекція викликає загибель клітини після утворення нового покоління вірусів. Хронічна інфекція характеризується тим, що протягом тривалого часу в клітині утворюються нові покоління вірусів. Така вірусна інфекція може передаватися від материнської клітини дочірній. Латентна (прихована) інфекція характеризується тим, що віруси не виділяються в навколишнє середовище, а збудника важко виявити. Такий тип інфекції викликають віруси герпесу. Латентна інфекція за певних обставин може перейти або в гостру, або в хронічну форми. Є змішана інфекція, коли клітину вражають два або більше вірусів. Один із них може пригнічувати або підсилювати життєдіяльність іншого.

Роль вірусів у житті людини. Віруси можуть спричиняти масові епідемічні інфекційні захворювання людини. Віруси, що викликають захворювання у людини: поліомієліт, грип, черевний тиф, сказ, ВІЛ, енцефаліт, герпес, вітряна віспа, ракові захворювання тощо.

Шляхи потрапляння вірусів в організм тварини чи людини різні. Наприклад, віруси сказу, герпесу, папіломи – через пошкоджену чи непошкоджену шкіру,

віруси грипу, кору – через органи дихання повітряно-краплинним шляхом, віруси герпесу, ВІЛу – статевим шляхом, віруси ВІЛу, гепатиту В – під час переливання крові чи хірургічних операцій тощо, віруси кліщового енцефаліту, жовтої пропасниці, віруси рослин – за участю переносників (наприклад, комах, кліщів тощо). Віруси, що передаються людині та хребетним тваринам членистоногими, називаються *арбовірусами*.

Віруси, які проникли в організм тварин та людини, поширюються по кровоносній, лімфатичній (віруси кору, ВІЛу тощо) та нервовій системах (віруси сказу, поліомієліту, енцефаліту). У рослин віруси поширюються по провідних тканинах.

В організмі людини (у тварин також) у відповідь на проникнення вірусів виробляються *антитіла* — імуноглобуліни. Антитіла змінюють структуру вірусної оболонки або блокують її прикріпні білки. При цьому віруси не можуть зв'язуватись із рецепторними ділянками плазматичної мембрани клітин хазяїна. У клітині також можуть вироблятися захисні білки інтерферони, які не мають специфічності по відношенню до певних видів вірусів і пригнічують їх розмноження. Їх застосовують у медицині проти вірусних інфекцій. Віруси знищуються також за допомогою певних видів лейкоцитів.

Людиною віруси використовуються у біологічному методі боротьби зі шкідливими видами комах, кліщів та інших тварин, у генній інженерії. Наприклад, проблему масового розмноження кролів в Австралії вдалося розв'язати за допомогою застосування вірусу.

У наш час віруси розглядаються не тільки як збудники хвороб, але й як переносники генетичної інформації.

Віруси викликають ряд захворювань у рослин, тварин, людини. Проникнення вірусів у клітини організму спричинює в ньому інфекційні процеси. Людиною віруси використовуються у біологічному методі боротьби зі шкідливими видами комах, кліщів та інших тварин, у генній інженерії.

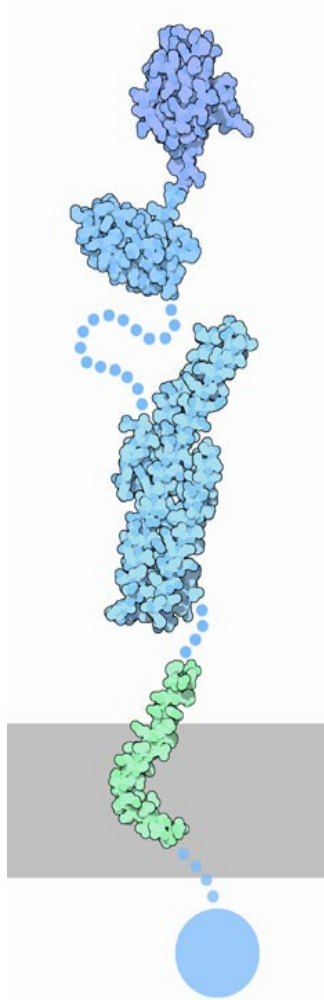
Перевірте себе: 1. Яку роль відіграють віруси у природі? 2. Які небезпечні хвороби можуть викликати віруси у людини? У тварин? У рослин? 3. Які можливі шляхи потрапляння вірусів в живий організм? 4. Що таке ВІЛ-інфекція? Хто хворіє на цю хворобу?

Поміркуйте: 1. Чи відіграють віруси позитивне значення у природі та житті людини? 2. Поясніть довготривалий стан спокою вірусного геному, включеного у хромосоми кліти хазяїна.

§ 30. ПРИОНИ. БУДОВА, ЖИТТЄВИЙ ЦИКЛ

Будова пріонів. Пріони – неклітинні форми життя, які ведуть паразитичний спосіб життя. Пріони представлені білковими молекулами, мономерами яких є амінокислоти (мал. 65). У ході досліджень мозкових тканин померлих від пріонних інфекцій тварин було виявлено, що пріони не містять нуклеїнових кислот. Пріоний білок володіє аномальною тривимірною структурою і характеризується переходом α -спіралей білка в β -складчатість. Він здатний каталізувати структурне перетворення гомологічного йому нормального клітинного білка в собі подібний (пріонний). При цьому білок пріона, приєднуючись до білка-мішені, змінює його конформацію.

Пріони принципово відрізняються від відомих збудників захворювань (вірусів, бактерій). Вони не мають генетичного матеріалу (нуклеїнової кислоти), а являють собою простий низькомолекулярний білок (змінена форма білка хазяїна), який кодується геномом клітини хазяїна. Легко проникає через мембрани клітини, обумовлюючи високу інфекційність. Пріони – єдина форма збудників, які не спричиняють імунних реакцій. Вони є збудниками захворювань тварин (губчастоподібна енцефалопатія) і людей (куру – хвороба, поширена серед деяких племен Нової Гвінеї, де існує ритуал канібалізму; хвороба Крейцфельда – Якоба, або вілюйська енцефалопатія, родинне фатальне безсоння та ін.). Усі ці захворювання характеризуються губчастоподібним переродженням мозкової тканини. Вони проявляються порушенням ходи, парезами, прогресуючою деменцією і закінчуються летально. Зараження можливе при вживанні продуктів тваринного походження та використанні забруднених хірургічних інструментів, мозкових електродів, трансплантатів, ліків і косметичних засобів, виготовлених з мозку або лімфоїдної тканини тварин.



Мал. 65. Пріон

Пріони дуже стійкі до високих температур, ультрафіолетового випромінювання, дезінфекційних розчинів. Оскільки білки самі по собі не розмножуються, питання про механізм генетичного контролю репродукції пріонів і їх етіологічну роль залишаються відкритими.

Пріонові білки, виявлені у ссавців, не подібні до пріонового білка дріжджів за амінокислотною послідовністю. Незважаючи на це, основні структурні особливості (формування амілоїдних волокон і їх висока специфічність, що перешкоджає передачі пріонів від одного виду організмів до іншого) у них спільні. Водночас, пріонний білок, що відповідає за коров'ячий сказ, має здатність передаватися від виду до виду.

Життєвий цикл. До кінця механізм спонтанного виникнення пріонних інфекцій не з'ясований. Вважається, що пріони утворюються в результаті помилок у біосинтезі білків. Мітації генів, що кодують пріонний білок (PrP), відхилення увід норми при біосинтезу білка – основні можливості потрапляння пріонів до організму тварини чи людини. Є дані, що дають підставу вважати, що пріони є не тільки інфекційними агентами, але й мають функції в нормальних біопроесах. Так, наприклад, існує гіпотеза, що через пріони здійснюється механізм генетично обумовленого старіння.

Існують пріони у двох різних конформаціях: *нормальній* і *патогенній*. Патогенна форма пріонів викликає захворювання. Вважається, що в нормальному стані вони є звичайними білками нервових клітин, навіть гальмують процеси старіння. Але за певних обставин під впливом відповідних чинників (недостатньо вивчених) білки-пріони можуть змінювати конформацію. Наслідком цього може бути прискорення процесів старіння організму, перетворення білків на збудників пріонових захворювань. У патогенній формі 43 % білкових молекул знаходиться у виді стійкого β -складчастого шару.

Усі пріони дуже небезпечні. Вони викликають інфекції, їх важко інактивувати, знешкодити. Для них характерний тривалий інкубаційний період. Наприклад, інкубаційний період сказу великої рогатої худоби (губчастої енцефалопатії) до 6 років. Хвороба виникає при поїданні худобою кісткового борошна, яке робили з решток мертвих організмів до цього інфікованих пріоновою інфекцією.

Пріони не руйнуються протягом 4 годин при високих температурах і під впливом травних ферментів організму хазяїна.

Пріони – неклітинні форми життя, які ведуть паразитичний спосіб життя. Вони представлені білковими молекулами, не містять нуклеїнових кислот. Існують пріони у двох різних конформаціях: нормальній і патогенній. Патогенна форма пріонів викликає захворювання у тварин і людини. Для пріонів характерний тривалий інкубаційний період.

Перевірте себе: 1. Які організми називають пріонами? 2. Яка будова мають пріони? 3. Який спосіб життя ведуть пріони? 4. Назви хвороби людини, які викликані пріонами.

Поміркуйте: 1. Чому пріони особливо небезпечні для людини? 2. Які шляхи зараження людини пріонами? 3. При яких обставинах пріони в організмі людини набувають патогенної форми?

Подискутуйте: 1. До якого царства живої природи ви б віднесли пріони?

Проекти: 1. Чим небезпечні для людини пріони? 2. Хвороби, які викликають у людини (рослин, тварин) пріони.

Для допитливих

З історії відкриття пріонів

У другій половині ХХ століття лікарі зіткнулися із незвичайним захворюванням людини – поступово прогресуючим руйнуванням головного мозку, що відбувається у результаті загибелі нервових клітин. Це захворювання отримало назву губчастої енцефалопатії. Схожі симптоми були відомі давно, але вони спостерігалися не в людини, а у тварин (наприклад, овець), і довгий час між ними не знаходили достатнього обґрунтованого зв'язку.

Новий інтерес до їх вивчення виник у 1996 році, коли у Великобританії з'явилася нова форма захворювання, що позначається як «новий варіант хвороби Крейтцфельдта-Якоба».

Важливою подією було поширення коров'ячого сказу у Великобританії, епідемія якого була в 1992-1993 рр., а потім і в 2001 р. та охопила кілька європейських держав. Тим не менше м'ясо корів було експортовано в багато країн. Захворювання пов'язують із використанням «пріонізованого» кісткового борошна у кормах, яким підгодовували велику рогату худобу.

Відкриті пріони американським біологом С. Прюзінером у 1982 р., якого нагородили за це Нобелівською премією. У 1997 році американському лікареві Стенлі Прюзінеру була присуджена Нобелівська премія за вивчення пріонів.

§ 31. ХВОРОБИ ЛЮДИНИ,

ЯКІ ВИКЛИКАЮТЬСЯ ВІРУСАМИ І ПРІОНАМИ.

ЇХ ПРОФІЛАКТИКА

Хвороби людини, викликані вірусами – це поліомієліт, грип, черевний тиф, сказ, ВІЛ, енцефаліт, герпес, вітряна віспа тощо.

Вірус імунодефіциту людини (ВІЛ) відкритий у 1983 році в інституті Пастера в Парижі. Він зустрічається у зелених американських мартишок, великої рогатої худоби, котячих, людини. Це складний РНК-вмісний вірус, що відноситься до *ретровірусів*. Вірус прикріплюється до мембрани клітин у певних ділянках. Мембрана розривається. Вірус (*мал. 6б*) потрапляє до цитоплазми. Ферменти цитоплазми клітини руйнують ланцюжок білків і капсид віруса. У цитоплазмі залишаються РНК вірусу і фермент зворотної транскриптази. Шляхом зворотної транскрипції з вірусної РНК утворюється провірусна ДНК. Вона проникає через ядерну оболонку до ядра клітини і утворює кільцеподібну форму. Потім підходить до ядерної ДНК, розриває кільце і вбудовується в неї. На провірусній ДНК синтезуються проіРНК і РНК вірусу, що потрапляють через оболонку ядра в цитоплазму. ПроіРНК перетворюються на іРНК, і на рибосомах відбувається синтез білків, які зосереджуються навколо вірусних РНК. У цей час синтезуються глікопротеїди й білки, які вбудовуються в мембрану клітин хазяїна. Вірус відбруньковується вкритий мембраною.

Шляхи зараження ВІЛ-інфекцією: статеві контакти, медичні маніпуляції, переливання крові, через рани шкіри і слизових оболонок, від матері – дитині до пологів, під час пологів або після них з молоком (виявилось, що деякі новонароджені здатні подолати ВІЛ до повного виліковування). Групи ризику на захворювання ВІЛ-інфекцією: наркомани, повії, гомосексуалісти.

З потраплянням вірусу до організму людини життя людини поділяється на два періоди.

Перший період – *ВІЛ-інфікованості*. Починається з того, що вірус потрапляє в організм і перебуває там переважно 5-6 років. Він може бути коротшим – не менше трьох тижнів, або довшим – до 10-20 років. У цей період кількість вірусів у клітинах людини збільшується. Клітини Т-лімфоцитів, макрофагів руйнуються. Вони можуть зливатися у єдину клітину з великою кількістю ядер, яка не здатна виконувати свої функції. Протягом всього періоду людина почуває себе нормально. Таких людей називають *носіями*. Вони беруть участь в поширенні вірусних інфекцій. Іноді вірус може зберігатися в організмі все його життя, не спричинюючи захворювання.

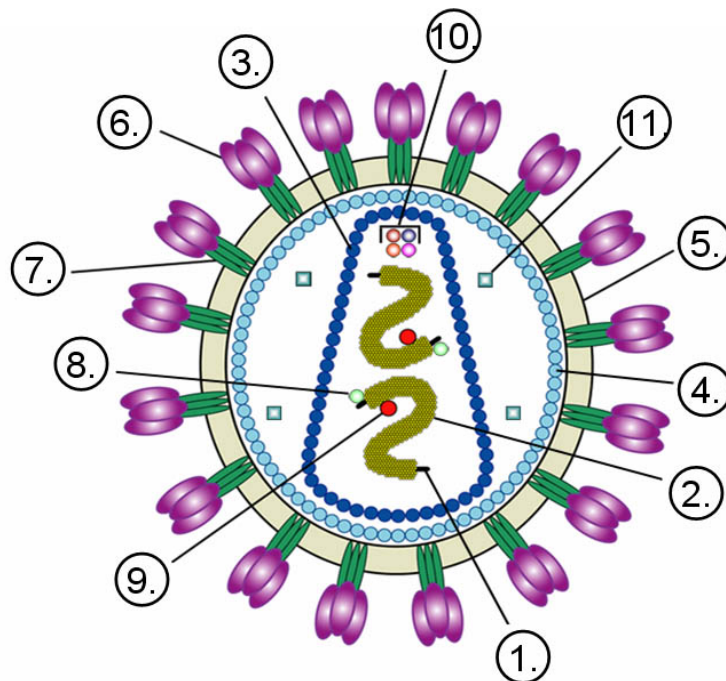
Другий період – *синдрому надбаного імунодефіциту людини (СНІДу)*. Триває він від кінця першого періоду до летального кінця (смерті людини). Організм утрачає здатність захищатися від антигенів. Людина через певний час

вмирає від того, що її організм не може протистояти іншим інфекційним захворюванням, що викликаються іншими вірусами, бактеріями, найпростішими, грибами, гельмінтами. Можуть розвиватися пухлини. Симптоми СНІДу загальні: збільшення лімфатичних вузлів, виснаження, прони́с, загальна слабкість тощо.

Зараження може відбутися від хворого і в першому, і в другому періодах. Ефективних засобів лікування цієї смертельно небезпечної хвороби не внайдено.

Грип є однією із найбільш розповсюджених вірусних інфекційних хвороб людини. Віруси грипу містяться в слизі, який виділяється з носа хворих, у їхньому харкотинні, слині. Під час чхання й кашлю хворих людей мільйони невидимих для ока крапель, у яких є віруси, потрапляють у повітря. Якщо вони проникають у дихальні органи здорової людини, то заражують її грипом.

Вірус грипу вражає слизові оболонки дихальних шляхів, а також нервову та серцево-судинну систему. Хвороба починається з головного болю, ломоти у всьому тілі, ознобу. Протягом доби температура підвищується до 39-40°C. Пізніше з'являється кашель, зникає апетит, порушується сон тощо (мал. 45).



Мал. 66. Будова ВІЛ: 1 – РНК-геном віруса, 2 – [нуклеокапсид](#), 3 – [капсид](#), 4 – білковий матрикс, 5 – [ліпідну мембрану](#), 6 – глікопротеїн, з чією допомогою відбувається зв'язування вірусу з клітинною мембраною, 7 – трансмембранний глікопротеїн, 8–11 – білки, що входять до складу віріона і необхідні вірусу на ранніх стадіях інфекції.

Грип не слід вважати простим триденним нездужанням. Він небезпечний своїми ускладненнями (ураження легень, нервової системи, органів травлення тощо), які розвиваються, якщо температура не нормалізується протягом 3-6 днів.

Спілкуючись із людьми, хворими на грип, треба прикривати рот та ніс пов'язкою із складеного вчетверо шматка марлі. Вона пропускає повітря, але затримує крапельки, у яких є збудники хвороби. А хворим людям під час чхання та кашлю рот і ніс потрібно затуляти хусточкою, щоб не заразити грипом інших людей.

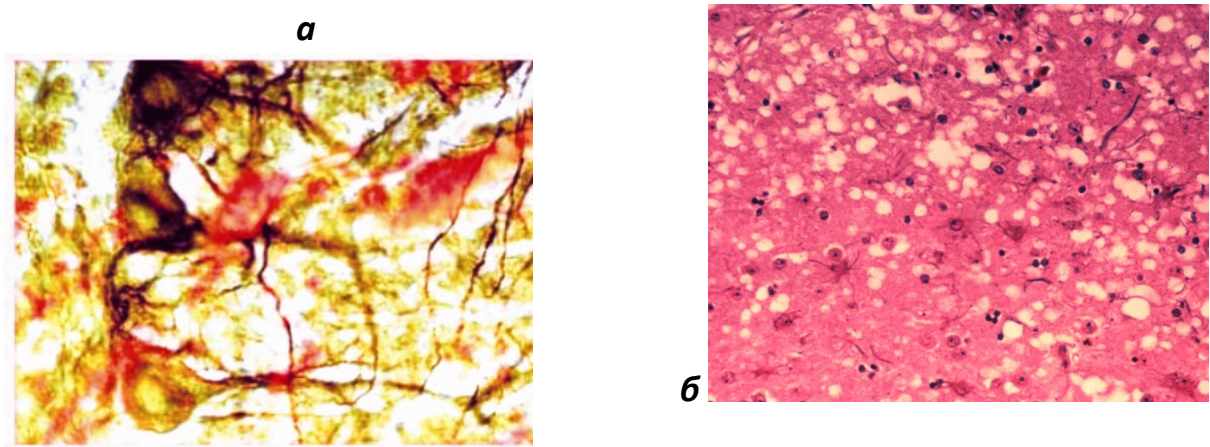


Мал. 67. Симптоми грипу

Хвороби, викликані пріонами. При контактах із нормальними білками нервових клітин пріони змінюють їх конформацію і перетворюються на патогенну форму. Внаслідок цього нервова тканина організму-хазяїна змінюється і набуває губчастої форми (мал. 67), втрачає здатність виконувати свою функцію. Розвивається при цьому *губчаста енцефалопатія* – типова хвороба, викликана пріонами. Пріони в першу чергу руйнують нейрони (нервові клітини), тому найбільше вони пошкоджують нервову систему, її центральну частину. Це захворювання дуже тяжке, закінчується смертю.

Пріонові захворювання можуть успадковуватися (за аутосомно-домінантним типом) чи бути набутими. Шляхи зараження людини пріонами різні: при поїданні інфікованого м'яса тварин, при медичних ін'єкціях (щепленнях, операціях, пункціях) тощо. Оскільки пріони не руйнуються ферментами травного тракту людини.¹ Безперешкодно проникаючи через стінку тонкого

кишечника, вони в кінцевому результаті потрапляють в центральну нервову систему. Так переноситься хвороба Крейтцфельдта-Якоба, якою люди заражаються після вживання в їжу яловичини, інфікованої губчастою енцефалопатією.



Мал. 68. Гістологічний препарат нервової тканини: а — здорової людини; б — хворої на губчасту енцефалопатію

Пріони можуть проникати в тіло і парентеральним шляхом. Були описані випадки¹ зараження при внутрішньом'язовому введення препаратів, виготовлених із людських гіпофізів (гормону росту для лікування карликовості), а також зараження мозку інструментами при нейрохірургічних операціях, оскільки пріони стійкі до вживаних в даний час термічних та хімічних методів стерилізації.

Передбачається, що спонтанне виникнення цієї хвороби пов'язане із фактом, що в нормі в людському тілі постійно наявна невелика кількість пріонів, які ефективно ліквідуються клітинним апаратом Гольджі. Порушення цієї здатності «самоочищення» клітин може призвести до підвищення рівня пріонів вище допустимої межі норми і до їх подальшого неконтрольованого поширення. Причиною виникнення хвороби Крейтцфельдта-Якоба згідно з цією теорією є порушення функції апарату Гольджі в клітинах.

Особливу групу пріонних захворювань являють собою спадкові (вроджені) хвороби, викликані мутацією гена пріонного протеїну, який робить пріонний протеїн, що утворився, більш вразливим до спонтанної зміни просторової конфігурації та перетворення їх у пріони.

При пріонових патологіях найвища концентрація пріонів виявлена в нервовій тканині заражених людей. Значна кількість пріонів зустрічається в лімфатичній тканині.

Профілактика захворювань. Хворих на вірусні інфекції необхідно ізолювати від здорових людей до їхнього одужання, лікувати за допомогою антивірусних препаратів. Така ізоляція називається *карантином*. Для профілактики вірусних захворювань треба робити профілактичне щеплення, вживати часник, цибулю,

що містять фітонциди, які пригнічують або, навіть, вбивають вірусні інфекції; їсти фрукти, багаті на вітамін С (лимон, ківі тощо), носити ватно-марлеву пов'язку в період епідемії, регулярно мити руки та обличчя (мал. 69). Профілактичним щепленням вдалося подолати такі небезпечні захворювання людини, як віспу та поліомієліт.



Мал. 69. Заходи профілактики захворювань на грип

Профілактичними заходами щодо захворювань, викликаних пріонами, є вживання м'яса великої рогатої худоби після повного їх ветеринарного обстеження. М'яса не можна купувати на "стихійних" ринках, де відсутній ветеринарний контроль.

Віруси, що викликають захворювання у людини: поліомієліт, грип, черевний тиф, сказ, ВІЛ, енцефаліт, герпес, вітряна віспа тощо. Губчаста енцефалопатія, хвороба Крейтцфельдта-Якоба – захворювання людини, викликані пріонами.

Перевірте себе: 1. Які хвороби можуть спричинити віруси у людини? 2. Що таке ВІЛ інфекція? Яка група ризику цієї хвороби? 3. Які захворювання викликають пріони у людини? 4. Запропонуйте заходи профілактики на вірусні і пріонові хвороби.

Поміркуйте: 1. Яка симптоматика вірусних хвороб? 2. Чим небезпечні хвороби, викликані пріонами?

Подискутуйте: 1. Яка різниця між ВІЛ і СНІДом?

Проекти: 1. Гіпотези походження неклітинних форм життя. 2. Особливості поведінки людини в місцях, де можливе зараження вірусами. 3. Шляхи розповсюдження вірусних хвороб людини. 4. принципи профілактики вірусних хвороб людини, зокрема ВІЛ-інфекції/СНІДу.

§ 32. ПРОКАРІОТИ. ОСОБЛИВОСТІ ОРГАНІЗАЦІЇ БАКТЕРІЙ

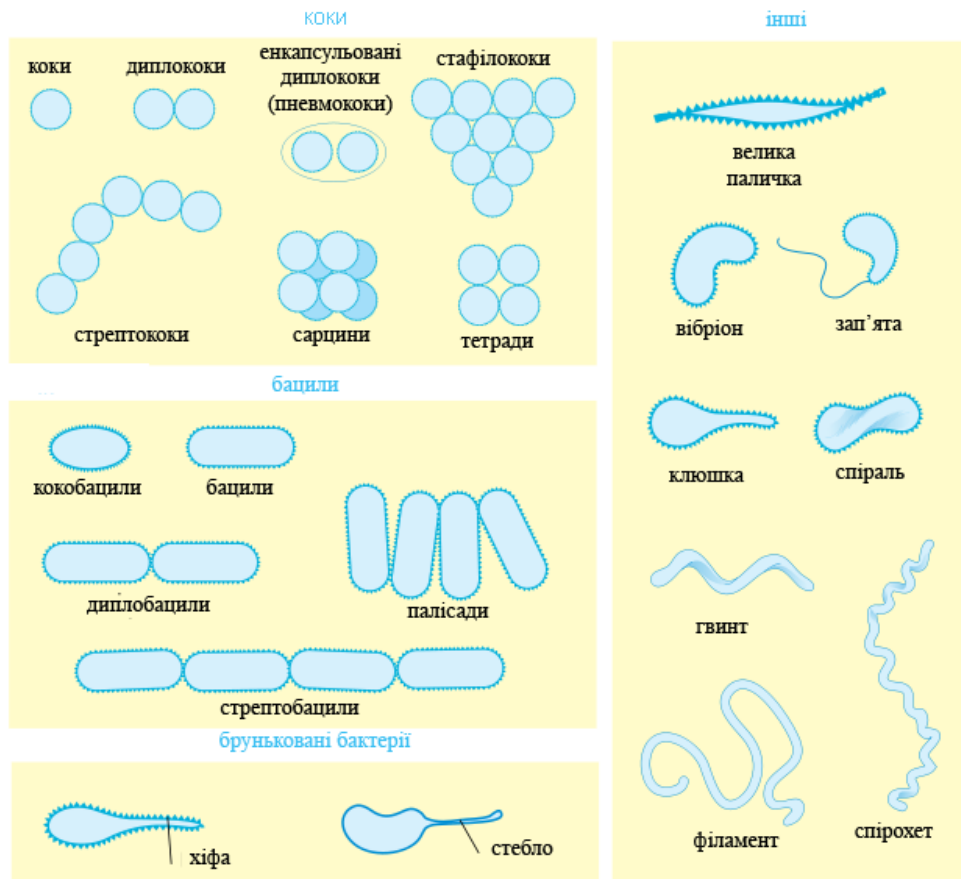
Бактерії є типовими прокаріотами. Вони об'єднані в окреме царство Дроб'янки. Вони живуть всюди: у воді, в ґрунті, в харчових продуктах, мешкають в найглибшому океані і на високій гірській вершині Землі – Евересті, їх знаходять в льодовиках Арктики і Антарктиди, в підземних джерелах гарячих вод, верхніх шарах атмосфери. Це говорить про високу ступінь пристосованості бактерій, не дивлячись на простоту своєї будови.

Бактерії є примітивними формами життя, і можна припустити, що вони відносяться до того типу живих організмів, які з'явилися найраніше в історії розвитку життя на Землі. Спочатку бактерії жили в морях; від них, ймовірно, і еволюціонували сучасні мікроорганізми.

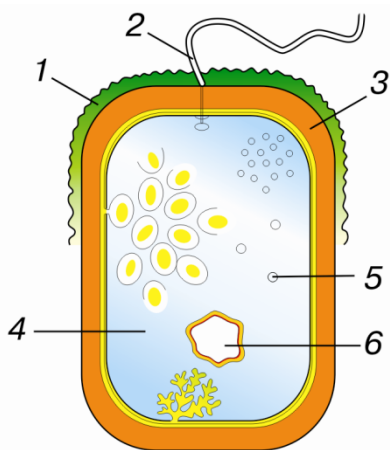
По фізіологічних властивостях бактерії досить різноманітні. Вони можуть жити або тільки в аеробних, або тільки в анаеробних умовах, або в тих і інших. Необхідну їм енергію вони одержують в процесі дихання, бродіння або фотосинтезу. Ряд видів містить різні пігменти. Багато бактерій паразитують в організмі тварин або рослин, викликаючи у них захворювання. Порівняно недавно були відкриті бактерії, паразитуючі на інших бактеріях.

Особливості будови. Бактерії – це одноклітинні організми. Розміри їх клітин коливаються від 1 до 10-15 мкм. За формою виділяють кулясті клітини бактерій (коки), овальні (палички, або бацили) і спіральні (спірили) (*мал. 70*).

Залежно від того, до якого вигляду відносяться бактерії, вони існують або окремо, або утворюють характерні скупчення. Наприклад, стрептокок, що викликає запальні захворювання у людини і тварин, утворює ланцюжки з декількох бактеріальних клітин; стафілокок, що вражає дихальні шляхи у дітей, – у вигляді грони винограду. По характеру скупчень бактеріальних клітин і по особливостях їх життєдіяльності визначають їх тип.



Мал. 70. Форми бактеріальних клітин



Мал. 70. Схема будови бактерії

Клітини бактерій мають різну форму. Вони бувають сферичні, циліндричні, спіральні. Можуть існувати по одній або з'єднуватися по дві, чотири і більше клітин, утворюючи колонії.

Бактеріальна клітина оточена щільною оболонкою і вкрита захисною слизовою капсулою (мал. 70). Більшість бактерій мають один або кілька джгутиків – пристосувань для руху. Ядра, пластид та мітохондрії немає. Цитоплазма містить органічні речовини (глікоген або крохмаль, жири, білки) та мінеральні речовини тощо.

Основна особливість будови бактерій – відсутність ядра, обмеженого оболонкою. Спадкова інформація у бактерій знаходиться в особливій ядерній зоні клітини, яку називають *нуклеоїдом*. Бактеріальна хромосома, що складається з однієї молекули ДНК, має форму кільця і занурена в цитоплазму. ДНК у бактерій не утворює комплексів з білками.

Живлення. Більшість бактерій живляться гетеротрофно, тобто готовими органічними речовинами, які поглинають усією поверхнею тіла. Деякі бактерії, наприклад, пурпурні та зелені, живляться автотрофно. Вони містять у цитоплазмі хлорофіл (зелений пігмент) і мають здатність до утворення органічних речовин (фотосинтезу).

Обмін речовин у бактерій відбувається по-різному. Бактерії-автотрофи використовують енергію сонячного світла, бактерії-гетеротрофи – енергію хімічних зв'язків поживних речовин.

Життєвий цикл. Бактерії здатні дуже швидко розмножуватися шляхом поділу клітини навпіл. Одна бактерія за добу може утворювати сотні мільярдів клітин. При такій швидкості розмноження нащадки однієї бактерії за 10 днів могли б повністю вкрити поверхню Землі. Але у природі цього не відбувається з різних причин, зокрема, через нестачу органічних речовин, несприятливі умови середовища тощо. У деяких бактерій клітини після поділу не розходяться, а склеюються оболонками, утворюючи скупчення (пари, ланцюжки, грона).

За несприятливих умов бактерії утворюють цисти. Циста – це тимчасова форма існування бактерій у стадії спокою, яка здатна витримувати вплив високої температури, радіоактивного випромінювання, різноманітних токсичних речовин та інших несприятливих чинників зовнішнього середовища. У цистах обмін речовин відбувається дуже повільно. Це дає змогу бактеріям у стані цисти залишатися життєздатними протягом десятків та сотень років. Так, життєздатні цисти були виявлені у єгипетських муміях, трупах мамонтів та інших об'єктах, де вони провели тисячоліття. При настанні сприятливих умов бактерії відновлюють свою життєдіяльність.

Багатьом бактеріям властиве *спороутворення*. Воно починається з відшнуровування частини цитоплазми від материнської клітини. Отшнурована частина містить хромосому і оточена мембраною. Потім спора вкривається клітинною стінкою, нерідко багат шаровою. Процеси життєдіяльності усередині спор практично припиняються. Споречки бактерій в сухому стані дуже стійкі. У такому стані вони зберігають життєздатність багато сотень і навіть тисячі років, витримуючи різкі коливання температури. Прикладом цього можуть служити споречки, виявлені в стародавніх похованнях (мумії стародавніх єгиптян, запаси харчових продуктів в різних печерах), при стерильному бурінні льодів, що оточують Південний полюс. Потрапляючи в сприятливі умови, споречки перетворюються в активну бактерійну клітку. Учені-мікробіологи виростили колонії мікроорганізмів із спор, що опинилися в зразку льоду, вік якого 10—12 тис. років.

Таким чином, спорування у прокариот є етапом життєвого циклу, що забезпечує переживання несприятливих умов навколишнього середовища. Окрім цього в стані спор може відбуватися розповсюдження мікроорганізмів за допомогою вітру і іншими способами.

Бактерії – це одноклітинні організми, що не мають ядра. Більшість бактерій живляться готовими органічними речовинами (гетеротрофно), деякі мають здатність до автотрофного живлення. Бактерії можуть дуже швидко розмножуватися шляхом поділу клітини навпіл.

Перевірте себе: 1. Які організми відносять до бактерій? 2. Яку будову мають бактерії? 3. Як вони живляться? 4. Де у природі поширені бактерії? 5. Яким способом розмножуються бактерії?

Поміркуйте: 1. Чому бактерії, незважаючи на велику швидкість розмноження, досі не заповнили Землю?

Подискутуйте: 1. Як очистити приміщення від бактерій?

Проекти: 1. Особливості існування бактерій. 2. Різноманітність форм бактерій. 3. Способи розмноження бактерій.

Для допитливих.

Різноманітність бактерій

За способом живлення бактерії поділяють на гетеротрофи й автотрофи. Автотрофні самостійно синтезують необхідні для життєдіяльності органічні речовини. Гетеротрофні поділяються на сапротрофів, паразитів і симбіонтів. Бактерії-сапротрофи живляться органічними рештками відмерлих рослин і тварин, продуктами живлення людини. Вони викликають гниття і бродіння органічних речовин. Бактерії-паразити поселяються в організмах рослин, тварин і людини й існують за рахунок хазяїна. Бактерії, яким для життєдіяльності потрібен атмосферний кисень, називаються аеробними. Інша група бактерій може існувати у безкисневому середовищі. Це – анаеробні організми.

Бактерії-паразити живуть за рахунок інших живих організмів. Одні з них, хвороботворні, можуть викликати захворювання у тварин і людини (чуму, тиф, туберкульоз, перитоніт, ангіну, ботулізм, газову гангрену тощо), інші паразитують у рослин.

Бактерії-симбіонти. мають здатність до симбіозу з вищими рослинами. Наприклад, азотофіксуючі бактерії живуть на коренях бобових рослин. Їх називають бульбочковими бактеріями. Вони поглинають азот із ґрунту і повітря, використовують його в життєвих процесах та перетворюють на сполуки, доступні для використання бобовими рослинами. Рослини ж забезпечують бактерії вуглеводами і мінеральними речовинами. За один вегетаційний період бульбочкові бактерії збагачують 1 га ґрунту 100 кг азоту. Це враховують агрономи при складанні планів сівозмін.

Хемотрофні бактерії – це бактерії, які самостійно синтезують органічні речовини із неорганічних за рахунок енергії, яку отримують при хімічних реакціях. До них належать нітрифікуючі, залізо- і сіркобактерії. Явище хемосинтезу у бактерій відкрив у 1887 р. С. М. Виноградський.

§ 33. РОЛЬ БАКТЕРІЙ У ПРИРОДІ ТА В ЖИТТІ ЛЮДИНИ

Роль бактерій у природі. Бактерії відіграють велику роль у природі та житті людини. Насамперед, слід відзначити роль ціанобактерій у формуванні сучасної кисневої атмосфери Землі. Вони, як відомо, жили у воді первісних морів та океанів. Це були перші живі істоти, здатні до фотосинтезу.

Бактерії гниття, бродіння та ґрунтові бактерії викликають процес гниття – розщеплення білків, жирів та інших нітрогеновмісних сполук. У результаті гниття виділяються сполуки, що мають неприємний запах. Процес гниття у природі має велику роль, оскільки очищає поверхню Землі від відмерлих решток тварин та рослин. При гнитті утворюються отруйні речовини, які можуть викликати отруєння чи навіть смерть людини і тварини. У зв'язку із цим заборонено використовувати у їжу або на корм тваринам продукти, у яких є ознаки гниття. Щоб не допустити гниття продуктів, їх стерилізують, сушать, маринують, коптять, солять, заморожують, силосують тощо. Ці методи обробки знищують гнильні бактерії, створюючи такі умови, за яких бактерії не здатні розмножуватися.

Азотофіксуючі бульбочкові бактерії зв'язують атмосферний азот та перетворюють його на сполуки, які рослини можуть засвоювати (*мал. 71, 2*).

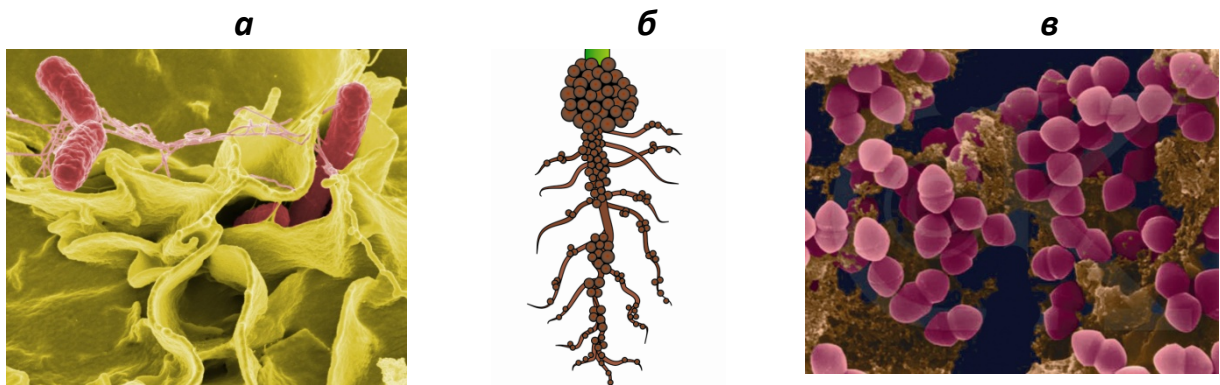
Роль бактерій у житті людини. Більшість бактерій завдають шкоди, псуючи продукти харчування. У природі ж вони відіграють санітарну роль, звільняючи поверхню Землі від решток відмерлих тварин і рослин. Бактерії здатні очищати воду в річках і забезпечувати рослини мінеральними речовинами, які утворюються під час розкладання органічних сполук. У ланцюгах живлення екосистем бактерії виконують роль редуцентів – розкладають рештки відмерлих тваринних і рослинних організмів.

Людина використовує бактерії в різних галузях промисловості для отримання ацетону, етилового і бутилового спиртів, оцтової кислоти, ферментів, гормонів, вітамінів, антибіотиків, білково-вітамінних препаратів тощо. Наприклад, нітрагін, азотобактерин застосовують у сільському господарстві як добрива. Завдяки успіхам генної інженерії на сьогодні з'явилася можливість широко використовувати бактерію кишкової палички для отримання інсуліну, інтерферону, деякі бактерії – для одержання кормового і харчового білків.

Без бактерій неможливі процеси дублення шкіри, сушіння листків тютюну, виготовлення шовку, каучуку, порошку какао, кави, мочіння конопель, льону й інших лубоволокнистих рослин, квашення капусти, очищення води, вилужування

металів тощо. Особливе значення в житті людини мають бактерії, які викликають процеси бродіння, зокрема молочнокислі. Їх використовують для приготування кислого молока, сметани й масла, кефіру, сиру, під час засолення огірків.

Бактерії мають велике значення в кругообігу вуглецю, кисню, водню, азоту, фосфору, сірки, кальцію та інших елементів. Особливо важливе значення мають ті бактерії, які розкладають целюлозу і пектинові речовини, що є основним джерелом вуглецю для життєдіяльності мікроорганізмів ґрунту. Хвороботворні бактерії завдають великої шкоди людині, домашнім тваринам, культурним рослинам. Вони є збудниками інфекційних хвороб (дизентерії, холери, туберкульозу, сальмонели, бронхіту (мал. 71, 1, 3) – в людини; бруцельозу, сибірки – у тварин; бактеріозів у рослин). Споживання зіпсованих консервів та прострочених продуктів може спричинити тяжкі хвороби, навіть смерть. Щоб запобігти бактеріальним отруєнням, необхідно вживати харчові продукти до вказаного кінцевого терміну їх використання, стерилізувати або пастеризувати харчові продукти. Метод пастеризації запропонував французький мікробіолог Луї Пастер, на честь якого і назвали цей метод.



*Мал. 71. Бактерії: а – сальмонела в організмі людини;
б – бульбочкові бактерії на коренях бобових; в – ентерокок*

У медицині розроблені два основні шляхи запобігання та лікування хвороб, викликаних хвороботворними бактеріями. Перший із них – щеплення, тобто використання спеціальних препаратів (вакцин), що активізують захисні сили організму. Друге велике досягнення медицини – антибіотики (від слів «анти» – «проти» та «біос» – «життя»). Це речовини, що згубно діють на бактерії.

Бактерії відіграють велику роль у природі та житті людини. Вони беруть участь у процесах гниття і бродіння, зв'язують вільний азот. Є серед бактерій і паразитичні форми, що викликають хвороби в рослин, тварин і людини.

Перевірте себе: 1. Яке значення бактерій у природі та житті людини? 2. Що ти знаєш про хвороботворні бактерії та профілактику бактеріальних хвороб у людини? 3. Чим корисні бульбочкові бактерії? 4. Поясни роль бактерій у екосистемі.

Поміркуйте: 1. Які хвороби у людини можуть викликати бактерії? 2. Запропонуй заходи профілактики хвороб, що викликаються бактеріями.

Подискутуйте: 1. У чому полягає значення бактерій у біоценозах? Яка їх екологічна роль?

Проекти: 1. Шляхи розповсюдження бактеріальних хвороб людини. 2. Значення бактерій у господарській діяльності людини. 3. Напрями діяльності та значення мікробіологічної промисловості.

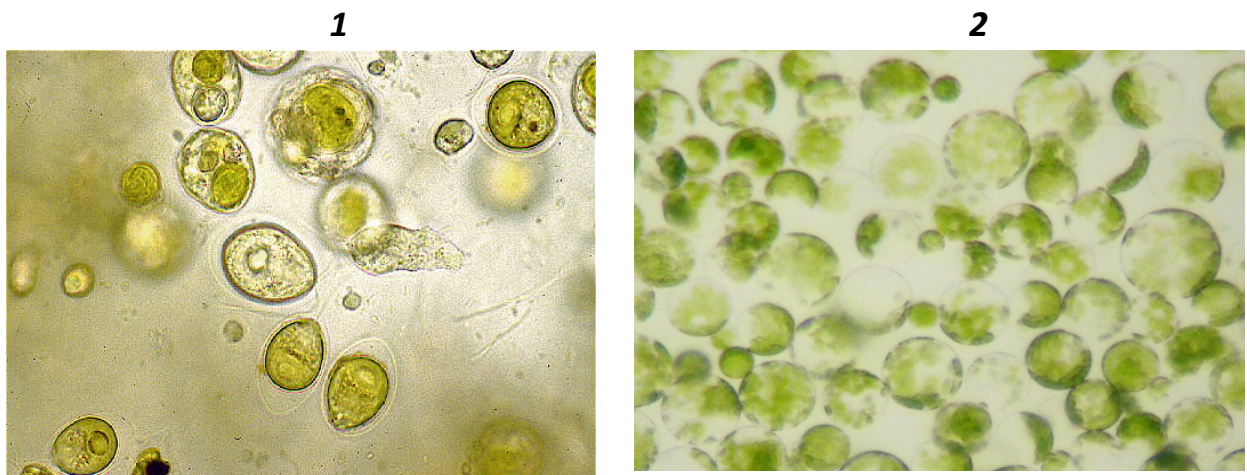
§ 34. ЕУКАРІОТИ. ОСОБЛИВОСТІ ОРГАНІЗАЦІЇ ОДНОКЛІТИННИХ РОСЛИН

Рослини – еукаріотичні організми. Їх налічують приблизно 300 000 видів. Наука, що вивчає рослини називається *ботаніка* (від грец. ботане, що означає трава, рослина). Рослини заселяють усі простори нашої планети. Вони дуже різноманітні за своєю будовою. Серед них є й одноклітинні, колоніальні та багатоклітинні організми.

Що ж їх об'єднує в одне царство Рослини і чим вони відрізняються від інших живих організмів? Тим, що вони зелені, скаже дехто з вас. Так, дійсно рослинам притаманний зелений колір. В їх клітинах міститься особлива речовина – пігмент хлорофіл. Саме завдяки йому рослини – єдині істоти на Землі, що здатні засвоювати сонячну енергію. Використовуючи енергію Сонця вони утворюють для себе і для усіх інших живих організмів органічні речовини. Такі організми називають *автотрофами*. Також рослини відрізняються від інших живих організмів особливостями будови клітин. Для поглинання поживних речовин, води, у рослин немає спеціальних органів. Ці речовини всмоктуються через стінки клітин кореня, листків тощо. Більшість рослин веде прикріплений спосіб існування. Їм властивий ріст протягом усього життя та своєрідні цикли розвитку.

Одноклітинні рослини хоч і складаються лише з однієї клітини, але функціонують як цілісна самостійна біологічна система та виконує усі життєво важливі функції. Одноклітинними рослинами є зелені водорості. Якщо взяти

краплю води з калюжі, що добре прогрілась літнім сонечком, і розглянути її під мікроскопом, то можна помітити одноклітинні зелені водорості. Найпоширенішими серед них є хламідомонада та хлорела, пінулярія тощо (мал. 72).



Мал. 72. Одноклітинні рослини: 1 – хламідомонада; 2 – хлорела

Хламідомонада (з грец. «хламида» – «одяг», а «монада» – «найпростіший організм») живе в неглибоких водоймах, калюжах, що добре прогріваються.. Клітина хламідомонади має грушоподібну форму (мал. 72). На передньому, більш вузькому кінці тіла знаходяться два джгутики. За допомогою них хламідомонада рухається. Усередині клітини розташований чашоподібний хлоропласт, у нижній частині якого міститься кулястий піреноїд. Це зона, де найбільш активно синтезуються і нагромаджуються поживні речовини (наприклад, крохмаль). Скоротливі вакуолі й світлочутливе вічко (стигма) розташовані у передній частині клітини. Скоротливі вакуолі регулюють вміст

води у клітині. Вічко допомагає клітині реагувати на зміну освітлення і рухатися до більш освітлених ділянок водою.

Розмножується хламідомонада як статевим, так і нестатевим способами. Коли умови життя сприятливі, хламідомонада розмножується нестатево. При цьому клітина спочатку втрачає джгутики. Її вміст ділиться на 4 (рідше 8) дочірні клітини з двома джгутіками – зооспори. Оболонка материнської клітини руйнується, і зооспори виходять у воду, перетворюючись на дорослий організм.

При статевому розмноженні у материнській клітині утворюються не зооспори, а гамети (статеві клітини), які подібні до зооспор, але їх кількість набагато більша: 32 або 64 в одній клітині. Після дозрівання гамети покидають материнську клітину, попарно зливаються та утворюють зиготу. Вона покривається захисною оболонкою і переходить у стан спокою. У такому стані зигота переносить несприятливі умови, наприклад, зиму, а весною з неї виходять спори, з яких розвиваються дорослі особини.

Хлорела – одноклітинна зелена водорість. Майже весь вміст її клітини заповнений одним чашкоподібним хлоропластом. Розмножується хлорела дуже інтенсивно, але тільки нестатево. Ця водорість – зручний об'єкт для наукових досліджень. За кількістю присвячених їй робіт вона займає перше місце серед усіх водоростей.

Значна роль у формуванні підвищеного інтересу до неї зумовлена її хімічним складом. У перерахунку на суху речовину хлорела містить білків – 40 %, ліпідів – 20 %, вуглеводів – до 35 %. Є у ній вітаміни групи В, вітамін С. Цікава хлорела й тим, що в ній інтенсивно відбувається фотосинтез. Ця водорість здатна використовувати від 10 до 12 % світлової енергії (проти 1–2 % у наземних рослин). У деяких країнах хлорела після спеціальної обробки, що покращує її засвоєння, використовується у їжу.

Рослини – еукаріотичні організми. Вони дуже різноманітні за своєю будовою. Серед рослин є й одноклітинні, колоніальні та багатоклітинні організми. Одноклітинними рослинами є одноклітинні водорості (хламідомонада, хлорела тощо). Особливостями їх організації є те, що вони складаються лише з однієї клітини, але функціонують як цілісна самостійна біологічна система, яка виконує усі життєво важливі функції.

Перевірте себе: 1. Які організми називають рослинами? Назви кілька знайомих тобі видів рослин. 2. Назви загальні особливості рослин, за якими вони відрізняються від решти живих організмів. 3. Які одноклітинні рослини тобі відомі? 4. Яка будова хламідомонади? 5. Чим хлорела відрізняється від хламідомонади?

Поміркуйте: 1. Доведи, що рослини є еукаріотами. 2. Чим одноклітинні рослини відрізняються від бактерій? 3. Яке значення одноклітинних рослин у природі?

Подискутуйте: 1. Які прогресивні та примітивні ознаки організації мають одноклітинні рослини?

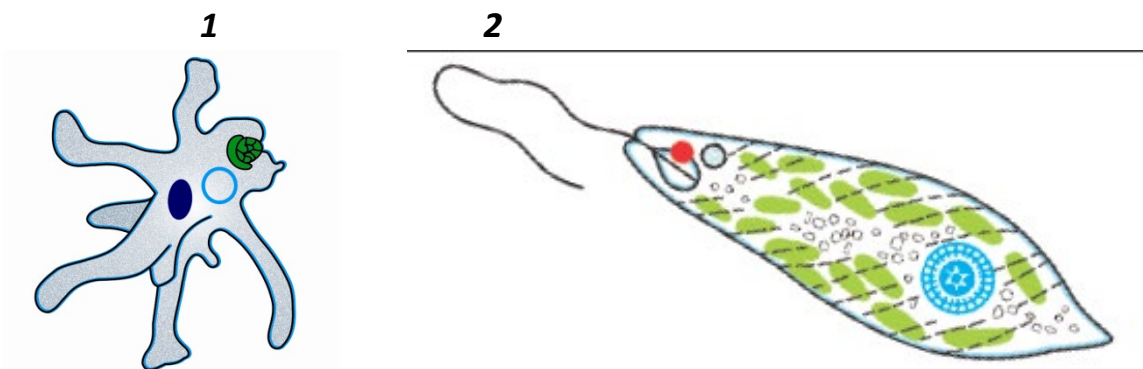
Проекти: 1. Роль одноклітинних зелених водоростей у природі.

§ 35. ОСОБЛИВОСТІ ОРГАНІЗАЦІЇ ОДНОКЛІТИННИХ ТВАРИН ТА ГРИБІВ

Одноклітинні тварини. До одноклітинних тварин належить 70 тис. видів, об'єднаних у підцарство Найпростіші. Майже всі представники найпростіших тварин мешкають у водному середовищі. Їх можна зустріти у дощовій калюжі, річці, морі й океані. Деякі з них поширені у вологому ґрунті.

Серед найпростіших є вільноживучі (амеби, інфузорії, евглени) та паразитичні (дизентерійна амеба, малярійний плазмодій) форми.

Більшість найпростіших мають мікроскопічні розміри (мал. 73). Наприклад, довжина тіла інфузорії-туфельки дорівнює 0,2 мм, амеби – 0,5 мм. Найбільшими серед них є деякі види інфузорій (розміри від 1,5 до 10 мм), амеб (до 2 мм) та форамініфери (до 10 мм).



Мал. 73. Одноклітинні тварини: 1 – амеба протей; 2 – евглена зелена

Побудовані найпростіші з однієї клітини, тому й вважають їх примітивними тваринами. Однак клітина найпростіших виконує властиві цілому організму

функції: рух, живлення, дихання, виділення, розмноження, пристосування. Для виконання цих функцій одноклітинні мають спеціалізовані органели (подібно до органів у багатоклітинних): війки та джгутики для пересування; світлочутливі вічка для сприймання світлових подразнень, травні вакуолі для травлення та інші.

Клітина найпростіших має типову будову. Від навколишнього середовища вона відмежована клітинною мембраною, яка виконує захисну функцію та забезпечує обмін речовин. Внутрішній вміст клітини заповнений цитоплазмою, в якій розрізняють два шари: ектоплазму (зовнішній) і ендоплазму (внутрішній). В останньому шарі цитоплазми розташовані всі органели клітини. Клітина більшості найпростіших має одне ядро, але зустрічаються і багатоядерні.

Крім типових для тваринної клітини органел, у найпростіших наявні травна та скоротлива вакуолі, вічко, джгутики, війки та іноді хлоропласти. Скоротлива вакуоля регулює осмотичний тиск у клітині. Це своєрідний насос, що видаляє з організму зайву воду. Без цієї органели клітина лопнула б. Скоротлива вакуоля наявна лише у прісноводних форм. У них, в результаті високої концентрації солей у цитоплазмі, вода поза клітиною за законами осмосу постійно спрямовується в клітину. Скоротлива вакуоля накопичує зайву воду, а під час скорочення виливає назовні. Разом з водою скоротлива вакуоля виводить продукти обміну речовин, цим виконує видільну функцію. Травна вакуоля виконує функцію травлення. У її порожнині виділяються ферменти, що сприяють перетравленню частинок їжі (органічних залишків, бактерій тощо).

Одноклітинні тварини здатні рухатися. Органелами руху в них служать війки (у інфузорій), джгутики (у евглени зеленої), тимчасові псевдоніжки (у амеби).

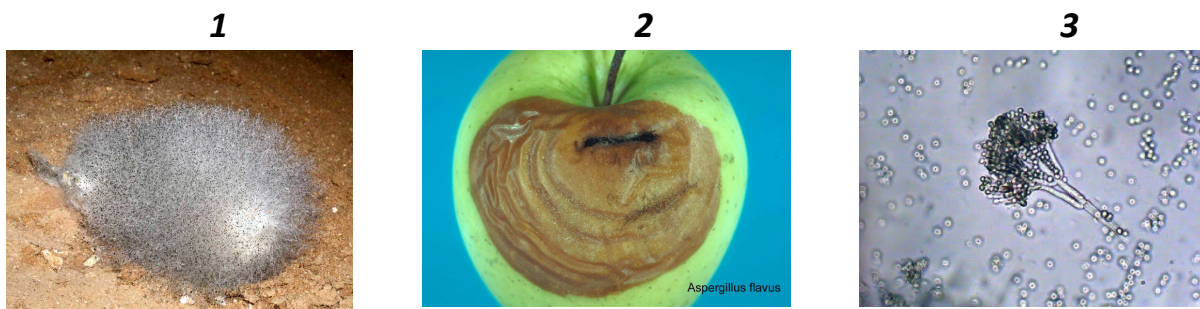
Є серед найпростіших форми, які крім гетеротрофного живлення можуть житися автотрофно, подібно до рослин. Наприклад, у евглени зеленої наявні хлоропласти.

Як усі живі організми, одноклітинні здатні відповідати на механічні, хімічні, термічні, світлові, електричні подразнення. Проявами реакції найпростіших на зовнішні подразнення є зміна напрямку руху, що називається таксисами. Розрізняють хемотаксис — реакція на хімічні подразнення, фототаксис — реакція на світло та інші.

При зниженні температури у водоймі або при її висиханні рух найпростіших сповільнюється, а на поверхні клітини утворюється щільна оболонка. Тварина припиняє живлення, переходить у стан спокою, що має назву циста. З настанням сприятливих умов найпростіші залишають оболонку цисти і ведуть активний спосіб життя.

Клітина одноклітинного тваринного організму має типову для тварин будову, але виконує функції цілісного організму: живлення, виділення, дихання, розмноження. При несприятливих умовах найпростіші організми можуть переходити в стан цисти.

Одноклітинні гриби (мал. 74). Усім добре відомий одноклітинний гриб *мукор*, або *біла цвіль*, який поселяється на овочах, хлібі і кінському гної. Спочатку біла цвіль має вигляд пухнастого нальоту, який через деякий час стає чорним, оскільки на грибниці з'являються кулясті головки (спорангії), в яких утворюється велика кількість спор темного кольору. Мукор належить до *нижчих грибів*.



Мал. 74. Одноклітинні гриби: 1 – мукор; 2 – аспергил; 3 – пеніцил

Цвільові гриби поселяються на продуктах харчування, в ґрунті, на овочах і плодах. Вони викликають псування доброякісних продуктів (хліба, овочів, ягід, фруктів тощо). Більшість цих грибів — сапрофіти. Проте деякі з них є збудниками заразних хвороб людини, тварин, частіше рослин. Наприклад, гриб трихофітон викликає стригучий лишай у людини і тварин.

Аспергил і пеніцил мають багатоклітинний міцелій. Це представники *вищих грибів*. Міцелій гриба аспергіла на верхівці має потовщення, що несе на собі паличкоподібні вирости, від яких відшаровується ланцюжок спор. У пеніцила міцелій на верхівці не потовщується, а розгалужується. У цих грибів плодові тіла утворюються рідко.

Дріжджі – це одноклітинні гриби, які мають розміри від 8 до 10 мкм. Форма цих грибів овальна або видовжена. Справжнього міцелію вони не утворюють. Вони широко розповсюджені у ґрунті, на субстратах із рослин, що мають багато глюкози.

Дріжджі швидко ростуть і розмножуються. Їх культивують, використовують у господарській діяльності з давніх-давен, бо вони викликають бродіння

вуглеводів з утворенням спирту і вуглекислого газу. Велике значення мають хлібні, або пивні, дріжджі, що використовуються в хлібопеченні та пивоварінні (існують лише культурні раси), й винні, які застосовують при виготовленні вин. У природі останні зустрічаються в соку різних плодів. Деякі дріжджі нагромаджують у клітинах білки та жири, тому їх споживають як їжу.

До одноклітинних тварин належить 70 тис. видів, об'єднаних у підцарство Найпростіші. Серед найпростіших є вільноживучі (амеби, інфузорії, евглени) та паразитичні (дизентерійна амеба, малярійний плазмодій) форми. Побудовані найпростіші тварини з однієї клітини, яка виконує властиві цілому організму функції: рух, живлення, дихання, виділення, розмноження, пристосування. Одноклітинними грибами є мукор, аспергил, пеніцил та дріжджі.

Перевірте себе: 1. Назви одноклітинних тварин. 2. Які особливості будови мають одноклітинні тварини? 3. Які органели виконують функцію руху, яке це має значення для тварини? 4. Як одноклітинні тварини переносять несприятливі умови навколишнього середовища? 5. Яких одноклітинних грибів ти знаєш? 6. Які особливості організації одноклітинних грибів?

Поміркуйте: 1. Чому найпростіші тварини як самі примітивні збереглися до наших днів. 2. Чому більшість морських форм найпростіших не мають скоротливої вакуолі? 3. Чому деякі види одноклітинних грибів відносять до нижчих, а деяких – до вищих грибів?

Подискутуйте: 1. Що спільного і відмінного у особливостях організації одноклітинних рослин, тварин і грибів.

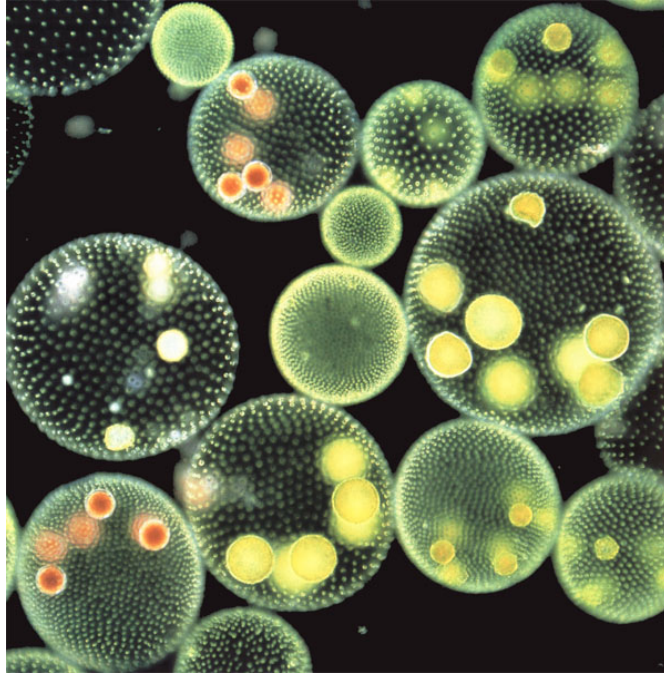
Проекти: 1. Роль деяких Найпростіших тварин у виникненні хвороб людини. 2. Хвороби, які викликають у людини найпростіші тварини. 3. Заходи профілактики дизентерії та малярії.

§ 36. КОЛОНІАЛЬНІ ОРГАНІЗМИ

Колоніальними називають організми, в яких дочірні організми залишаються зв'язаними із материнськими та утворюють складні угруповання – колонії. Вони є і серед одноклітинних і серед багатоклітинних організмів.

Вольвокс. Найпоширенішим представником колоніальних організмів є колонія зеленої водорості вольвокс (*мал. 75*), поширений у планктоні озер, річок, боліт та калюж. Це сферичні колонії (ценобії) кулястої або сферичної форми розміром до 2 мм. Кожна колонія складається з численних дводжгутикових

клітин, що розміщені по периферії під слизовою оболонкою. У зовнішньому шарі вольвокса може бути близько двадцяти, а інколи п'ятдесяти тисяч клітин, подібних до хламідомонади, що зростаються одна між собою цитоплазматичними місточками, але здебільшого функціонують незалежно одна від одної.



Мал. 75. Вольвокс

У межах колонії вольвоксу спостерігається спеціалізація клітин. Більшість клітин – вегетативні. Між ними розкидані генеративні клітини, які беруть участь у процесі розмноження.

Дослідження особливостей будови вольвоксу дає змогу зробити припущення, що розвиток організмів від одноклітинних до багатоклітинних відбувався через колоніальні форми.

Кожна клітина вкрита власною оболонкою, що зростається з оболонками сусідніх, утворюючи полігональну фігуру. Апікальний бік оболонки притискається та щільно з'єднується з інволюкрумом. В результаті під інволюкрумом утворюється периферичний шар камер-оболонок, в яких вільно лежать протопласти клітин, ніби підвішені на джгутиках. Джгутики через канали у інволюкрумі виходять назовні. Простір між протопластами та оболонками вповнено слизом. Ці деталі будови ценобію стають помітними при фарбуванні

препаратів розчином метиленового синього. У деяких видів роду протопласти сусідніх клітин з'єднані між собою плазмодесмами, що проходять через пори клітинних оболонок. Протопласт містить пристінний хлоропласт з піреноїдом та стигмою, одне ядро та дві пульсуючі вакуолі.

Розмножується вольвокс статевим і нестатевим способами. *Нестатеве розмноження* відбувається за допомогою спеціалізованих клітин – партеногонідій. Партеногонідії дещо схожі на вегетативні клітини, але більші за розміром та здатні до вегетативного поділу. Після перших 8-ми поділів з партегонідію утворюється сферичний порожній у центрі комплекс з 16-ти клітин. На оберненому до інволюкруму боці знаходиться отвір. У такому комплексі клітини полярні. Вони містять пульсуючі вакуолі та базальні тіла джгутиків, орієнтовані до центру майбутнього ценобію. Подальший поділ клітин супроводжується розвитком інвагінації шару клітин з протилежного до інволюкруму боку та вивертання молодого ценобію таким чином, що скоротливі вакуолі та базальні тіла джгутиків орієнтуються навпаки, назовні. Цікавим також є те, що в молодому ценобії можна розрізнити майбутні партеногонідії. Звільнення дочірніх ценобіїв відбувається після руйнування материнського.

Статевий процес представлений оогамією. Окремі клітини ценобію, що нагадують партеногонідії за розмірами, перетворюються на чоловічі (архегонії) і жіночі клітини (антеридії). В межах роду відомі як дводомні, так і одnodомні види. У антеридіях утворюється від 32 до 64 сперматозоїдів, які до моменту звільнення щільно з'єднані боками та утворюють жовтувату платівку. Після дозрівання платівка виштовхується назовні та гамети роз'єднуються. У оогоніях утворюється по одній яйцеклітині, що не виходить із ценобію. Оболонка у місці контакту з інволюкрумом ослизнюється, утворюючи отвір. Один із сперматозоїдів туди проникає і запліднює яйцеклітину. Після статевого процесу зигота одягається товстою шипованою оболонкою і переходить у стан спокою. Після його завершення ядро зиготи ділиться, зигота проростає однією зооспорою, яка після серії поділів розвивається у новий ценобій.

Колоніальними називають організми, в яких дочірні організми залишаються зв'язаними із материнськими та утворюють складні угруповання – колонії. Вони є і серед одноклітинних і серед багатоклітинних організмів.

Перевірте себе: 1. Яких організмів називають колоніальними? 2. До якого царства живої природи відноситься вольвокс? 3. Яку будову має вольвокс? 4. Який життєвий цикл вольвокса?

Поміркуйте: 1. Чим колонії відрізняються від багатоклітинних організмів? 2. Яким чином одноклітинні організми об'єднані у колонії?

Подискутуйте: 1. Яке місце в органічному світі займають колоніальні організми?

§ 37. БАГАТОКЛІТИННІ ОРГАНІЗМИ БЕЗ СПРАВЖНІХ ТКАНИН

Багатоклітинні організми побудовані з великої кількості об'єднаних між собою клітин, які втратили самостійність і спеціалізуються на виконанні якихось певних функцій. Такі організми різняться між собою будовою, розмірами та способом життя. До багатоклітинних організмів, тіло яких не має справжніх тканин, належать деякі безхребетні тварини (губки, кишковопорожнинні), а також нижчі (багатоклітинні водорості) тощо.

Взаємозв'язана і узгоджена робота усіх клітин багатоклітинного організму забезпечує його функціонування як цілісної біологічної системи.

Губки – найпримітивніші із багатоклітинних тварин. Їх назва означає “пористі”. Це водні (здебільшого морські) тварини, розміри яких коливається від 2 мм до 2 м. Тіло за формою в одних видів нагадує мішок або глечик, у інших — кулю чи циліндр (*мал. 76*).



Мал. 76. Губки

Губки – поодинокі або колоніальні форми, що ведуть прикріплений спосіб життя. Їх тіло вкрите слизом. Деякі види губок мають радіально-променево симетрію.

Губки – двошарові тварини. Зовнішній шар тіла (ектодерма) представлений епітеліальними клітинами, а внутрішній шар (ентодерма) містить особливі клітини циліндричної форми з джгутиками, які знаходяться у цитоплазматичних комірцях – хоаноцитах. Рух джгутиків створює потік до травної порожнини води разом з часточками їжі та кисню. Джгутикові клітини забезпечують таким же чином і відтік води, збагаченої вуглекислим газом та кінцевими продуктами життєдіяльності.

Більшість губок поширені у морях, оселяючись на кам'янистому дні, черепашках молюсків та панцирах ракоподібних. Лише деякі з них є прісноводними.

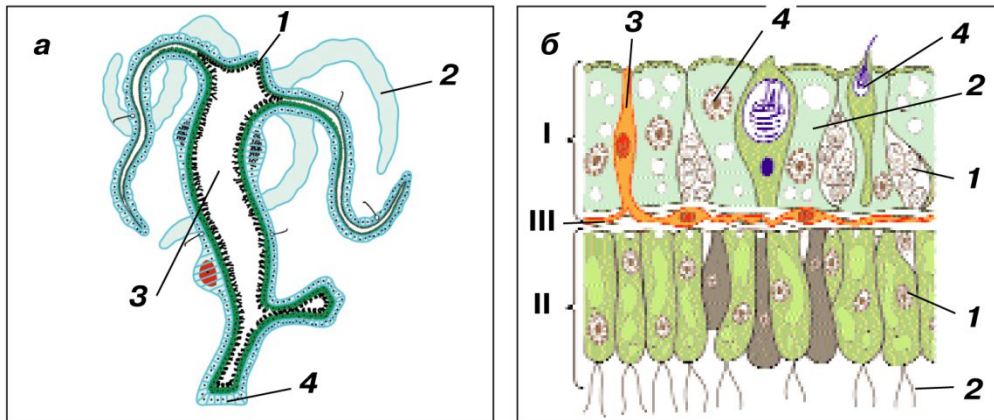
Тварин типу Губки об'єднано у три класи: Вапнякові, Скляні та Звичайні губки. Губки – біофільтратори. Мешкають вони на мулистому дні водойм та мають захисні пристосування (голки), які піднімають тіло губки над поверхнею, що перешкоджає забиванню пор мулом. У деяких видів скляних губок тіло сягає 1 м у довжину, а голки їх скелету до 3 метрів.

Кишквопорожнинні – багатоклітинні тварини, які не мають тканин. Їх клітини спеціалізуються на виконанні певних функцій. Заселяють кишквопорожнинні майже весь водний простір: від його поверхні до крайніх глибин у полярних областях і в тропіках. Це гідри, медузи, корали.

Кишквопорожнинні – нижчі двошарові тварини з радіально-променевою симетрією. У життєвому циклі вони мають дві життєві форми (гідроїдний поліп і медуза), які змінюють одна другу. У деяких видів кишквопорожнинних у індивідуальному розвитку домінує одна з форм. Наприклад, медуза аурелія більшість свого життя перебуває в життєвій формі медузи, тоді як більшість коралових поліпів — у формі поліпа. У стані медузи кишквопорожнинні здебільшого поодинокі, а у стані поліпа – колоніальні. Хоча серед поліпів іноді зустрічаються і поодинокі види: прісноводна гідра та актинія.

Тіло кишквопорожнинних, як і в губок, побудоване із двох шарів клітин: зовнішнього (ектодерми) і внутрішнього (ентодерми). Між останніми знаходиться шар драглистої безструктурної речовини мезоглеї. Її виділяють клітини екто- та ентодерми. Дуже велика кількість мезоглеї у медуз, тіло яких на 90% складається з води.

Ектодерму вистилають проміжні, епітеліально-м'язові, нервові та жалкі клітини (мал. 77,б). За допомогою проміжних клітин відбувається регенерація втрачених частин тіла (від лат. «регенератіо» – відновлення), а також утворення статевих клітин. Схожі на зірки нервові клітини, сполучаючись одна з одною своїми відростками, утворюють нервову пелювку (неправжню нервову тканину). Характерною особливістю кишквопорожнинних є наявність жалких клітин у ектодермі, якими вони паралізують свою жертву.

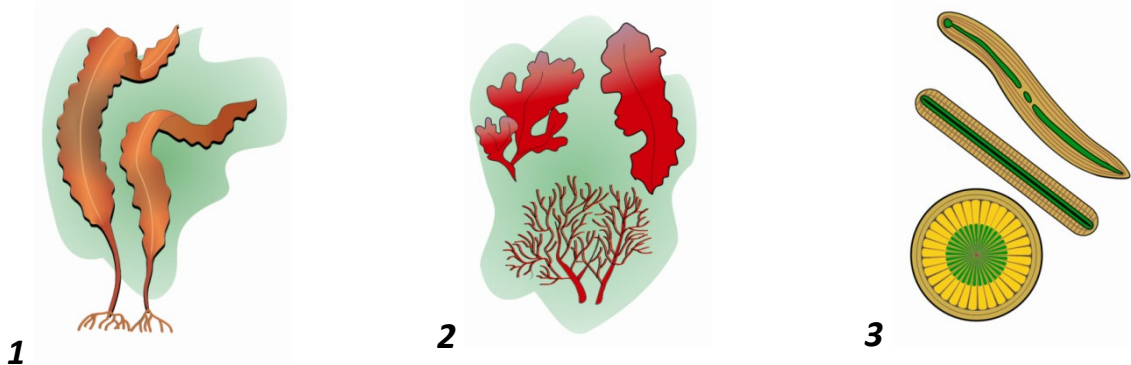


Мал. 77. Будова кишквопорожнинних: а — зовнішня будова (1 – рот; 2 – щупальце; 3 – кишкова порожнина; 4 – підошва); б — внутрішня будова: I – ектодерма (1 – проміжна клітина, 2 – епітеліально-м'язова, 3 – нервова), II – ентодерма (1 – залозиста клітина; 2 – м'язове волокно), III – мезоглея

Ентодерма утворена клітинами, що теж мають скоротливі м'язові волокна, але їх основна функція — перетравлювання їжі. Вони виділяють у кишкову порожнину травні соки, під дією яких їжа частково перетравлюється. Деякі з клітин мають здатність утворювати псевдоніжки, якими захоплюють їжу, подібно до амеби, і перетравлюють її внутрішньоклітинно.

Зовні тіло кишквопорожнинних подібно до мішка. На одному кінці воно має отвір — рот, оточений щупальцями, а на протилежному кінці — підошву (мал. 77,а). За допомогою підошви кишквопорожнинні (такі як гідра) прикріплюються до водяних рослин або рухаються (подібно актинії). Навколо рота знаходяться щупальця. Щупальцями кишквопорожнинні захоплюють їжу, яка в порожнині мішка перетравлюється. Неперетравлені рештки їжі викидаються через той же ротовий отвір.

Багатоклітинні водорості – рослини, тіло яких не має тканин і не поділене на органи. Воно називається таломом, або сланню. Рослини з такою будовою об'єднують у групу, яку умовно називають нижчими рослинами (мал. 57).



Мал. 78. Нижчі рослини: 1 – бурі водорості; 2 – червоні водорості;
3 – діатомові водорості

Розміри слані багатоклітинних водоростей різноманітні: від мікроскопічних до гігантських. Найбільші за розмірами морські бурі водорості (наприклад, слань водорості макроцистис сягає 30–45 м).

Клітина водоростей має типову для всіх рослин будову. У клітинах водоростей може бути зелений пігмент (хлорофіл), червоний, бурий, жовтий тощо. Пігменти знаходяться у спеціальних утвореннях – хроматофорах, які можуть мати різну форму: стрічки, пластинки, спіралі.

Більшість водоростей живе у водному середовищі: океані, морі, річці, озері і навіть у калюжі. Але можна зустріти водорості в ґрунті, на його поверхні, камінні, на деревах, у шерсті тварин, а також у гарячих джерелах, льодовиках, на снігу.

Водорості, які заселяють товщу води океанів, морів, прісних водойм і пасивно переносяться течією, відносять до рослинного планктону – фітопланктону. Морський фітопланктон складається, здебільшого, з діатомових водоростей. Водорості, що ростуть на дні водойм або різних підводних предметах, відносять до бентосних водоростей.

Багатоклітинні організми тварин і рослин побудовані з великої кількості об'єднаних між собою клітин, які втратили самостійність і спеціалізуються на виконанні якихось певних функцій. Такі організми різняться між собою будовою, розмірами та способом життя. До

багатоклітинних організмів, тіло яких не має справжніх тканин, належать деякі безхребетні тварини (губки, кишковопорожнинні), а також нижчі багатоклітинні водорості тощо.

Перевірте себе: 1. Назви види багатоклітинних організмів рослин і тварин. 2. Які характерні особливості багатоклітинних організмів? 3. Які тварини і рослини належать до багатоклітинних організмів, які не мають справжніх тканин? 4. Які особливості організації губок та кишковопорожнинних тварин? 5. Охарактеризуйте багатоклітинні водорості.

Поміркуйте: 1. Чому більшість багатоклітинних організмів, які не мають справжніх тканин, мешкають у водному середовищі? Обґрунтуйте свою думку.

Подискутуйте: 1. Чим примітивні багатоклітинні організми відрізняються від одноклітинних і вищих багатоклітинних?

Проекти: 1. Особливості життєдіяльності губок. 2. Особливості будови та процеси життєдіяльності кишковопорожнинних тварин. 3. Різноманітні види багатоклітинних водоростей.

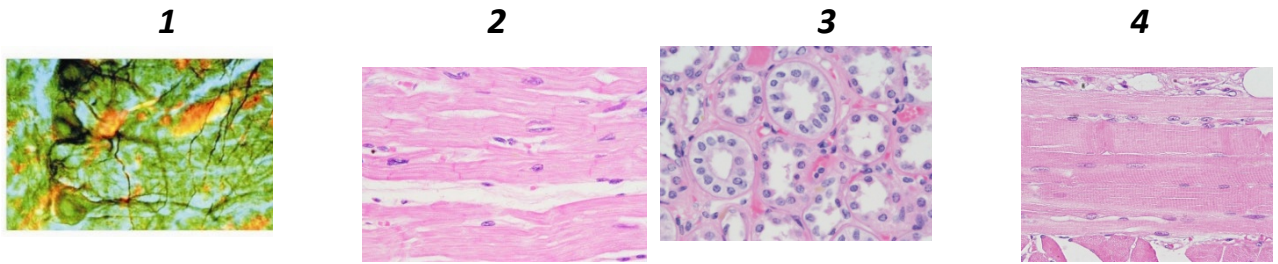
§ 38. БУДОВА І ФУНКЦІЇ ТКАНИН ТВАРИННОГО ОРГАНІЗМУ

До багатоклітинних тваринних організмів із справжніми тканинами відносяться вищі безхребетні тварини (черви, комахи) і всі хребетні (риби, земноводні, плазуни, птахи, ссавці).

Клітини в багатоклітинному тваринному організмі спеціалізуються на виконанні однієї або декількох функцій. Між собою вони об'єднуються за допомогою міжклітинної речовини.

Сукупність клітин, подібних за будовою, походженням і функціями, разом із міжклітинною речовиною називають *тканиною*. Кожна тканина складається із клітин певної форми і розмірів. Органічна морфофункціональна цілісність організму досягається лише при взаємодії усіх тканин у цілісному організмі тварини.

У тварин розрізняють епітеліальну, м'язову, сполучну і нервову типи тканин (мал. 79).



Мал. 79. Типи тканин тваринного організму: 1 – нервова, 2 – сполучна, 3 – епітеліальна, 4 – м'язова

Епітеліальна тканина, або *епітелій*, вкриває тіло тварини зовні, вистилає порожнини тіла і внутрішніх органів, а також утворює більшість залоз. Розташовуючись на поверхні тіла і органів, епітелій є межовою тканиною. Таке розташування епітелію визначає його захисну функцію: захищає нижчі шари клітин від шкідливих механічних, хімічних та інших впливів. Крім цього через епітелій відбуваються процеси обміну — всмоктування або виділення різних речовин.

Епітелій, який входить до складу залоз, має здатність утворювати спеціальні речовини — *секрети*, а також виділяти їх у кров і лімфу або протоки залоз. Такий епітелій називають *секреторним*, або *залозистим*.

Епітеліальна тканина не має міжклітинної речовини або її дуже мало. За формою і функціями клітин епітелій поділяють на *плоский*, *кубічний*, *циліндричний* (призматичний), *війчастий* (миготливий), а також *одношаровий*, що складається з одного шару клітин, і *багатошаровий*, що складається із кількох шарів.

Сполучна тканина складається з клітин різної форми, що розкидані у великій кількості міжклітинної речовини (рідкої або щільної). Вона виконує захисну (в складі шкіри), транспортну (кров), механічну (кістки, сухожилля), пластичну (стінки судин, хрящі) функції. Сполучною тканиною у тварин заповнені проміжки між органами.

Складається із клітин і добре вираженої міжклітинної речовини. Кількість і вигляд клітин і волокон, а також кількість і склад основної речовини у різних видів сполучної тканини відрізняються залежно від їхніх функцій.

Функції сполучної тканини: а) трофічна — бере участь в обміні речовин; б) захисна — клітини здатні до фагоцитозу і беруть участь в утворенні імунітету; в) механічна (опорна) — утворює зв'язки, сухожилля, хрящі, кістки і разом з судинами — основу багатьох органів.} Такий вид сполучної тканини, як

ретикулярна, складає основу кровотворних органів, має велике значення в процесі кровотворення. Сполучна тканина бере участь у загоюванні ран: маючи найвищу здатність до регенерації, вона здатна заповнювати місця пошкодження інших тканин (виникає сполучнотканинний рубець).

М'язова тканина становить основу м'язів і характеризується здатністю до скорочення. Розрізняють гладеньку і смугасту м'язові тканини. М'язові клітини багатоядерні видовжені (смугаста тканина) або одноядерні веретеноподібної форми (гладенька тканина). Кожна м'язова клітина в цитоплазмі містить скоротливі нитки – міофібрили, що дозволяють м'язам активно скорочуватися. У гладенькій м'язовій тканині в клітинах міофібрил мало. Тому така мускулатура скорочується дуже повільно (м'язи внутрішніх органів).

М'язова тканина характеризується здатністю скорочуватися, що забезпечує пересування тварин і рух частин їхніх тіл. В цитоплазмі м'язових клітин є особливі скоротливі нитки — *міофібрили*.

Розрізняють гладеньку смугасту м'язову тканину.

Гладенька м'язова тканина складається з окремих дрібних веретеноподібних клітин. Ці клітини мають одне ядро і тонкі міофібрили, які тягнуться від одного кінця клітини до другого. Гладенькі м'язові клітини об'єднуються в пучки, які складаються з 10—12 клітин. Це поєднання здійснюється особливостями іннервації гладенької мускулатури, що забезпечує надходження нервового імпульсу до всіх клітин пучка одночасно. Скорочується гладенька м'язова тканина ритмічно, повільно і протягом тривалого часу, здатна при цьому розвивати велику силу без значних затрат енергії і без втоми.

Посмугована м'язова тканина складається із довгих і товстих волокон 10—12 см завдовжки. Ця тканина входить до складу скелетної і мімічної мускулатури, м'язів рота, язика, глотки, гортані, верхньої частини стравоходу, діафрагми. Скелетна мускулатура здатна довільно (свідомо) скорочуватися (скорочення у відповідь на імпульси ідуть від кори великих півкуль). Швидкість скорочення посмугованої мускулатури в 10—25 разів більша, ніж м'язів з гладенької м'язової тканини.

Нервова тканина складається із клітин зірчастої форми (нейронів) та клітин з міжклітинною речовиною (нейроглії). Нервові клітини мають тіло, довгі та короткі відростки. Довгі відростки нервових клітин утворюють нервові волокна, скупчення яких формують нерви. Нерви пронизують усі органи і тканини організму, утворюючи нервову систему. Клітини нервової тканини сприймають подразнення, збуджуються і передають збудження до мозку. Мозок за допомогою цієї ж тканини дає команду відповідному органу. Основні властивості

нервової тканини — збудливість і провідність. Збудливість — це здатність нервової тканини сприймати подразнення і відповідати на нього, а провідність — здатність передавати збудження — імпульс.

Нервова тканина складається із нервових клітин -*нейронів* і *нейроглій*. Нейрони мають різну форму і два типи відростків: *дендрит* (короткий і галузистий) і *нейрит*, або *аксон* (довгий, до 1 м, галузиться тільки на кінці). Нейрон має звичайно кілька дендритів і один аксон (нейрит). Дендрити сприймають збудження і проводять їх до тіла нервової клітини, а аксони передають нервовий імпульс від клітини до інших нервових клітин і робочих органів. і Нервові волокна складаються із нейритів, вкритих оболонкою. Вони утворюють черепномозкові і спинномозкові нерви, які сполучають центральну нервову систему з усіма органами тіла. Нейроглія здійснює опорну, трофічну, секреторну і захисну функції. Усі елементи нервової тканини складають єдину нервову систему організму, яка здійснює взаємозв'язок тканин і органів всередині організму і зв'язок організму із зовнішнім середовищем. |

БУДОВА ТКАНІН ТВАРИННОГО ОРГАНІЗМУ

Лабораторна робота № 3

Мета: ознайомитися з будовою тканин тварин за допомогою світлового мікроскопа, визначити та пояснити роль тканин у життєдіяльності тварин.

Прилади і матеріали: мікроскоп, готові мікропрепарати тваринних тканин: епітеліальної тканини — “одношаровий епітелій”, сполучної тканини — “кров людини” або “хрящова тканина”, м'язової тканини — “скелетні м'язи” або “гладенькі м'язи”, нервової тканини — “нервове волокно”.

Хід роботи

1. Підготуйте мікроскоп до роботи.
2. Розгляньте при малому, а потім при великому збільшенні мікроскопа препарати епітеліальної тканини тварин. Знайдіть на препараті клітини. Зверніть увагу на розташування клітин між собою та наявність міжклітинної речовини.
3. Розгляньте на постійному препараті сполучну тканину. Знайдіть та розгляньте клітини сполучної тканини, їх форму, особливості розташування. Яку функцію виконує ця тканина?

4. Розгляньте препарат нервової тканини. Знайдіть на ньому нервові клітини. Знайдіть тіло нейрона, короткі та довгі відростки. Зверніть увагу на міжклітинну речовину. Відмітьте особливості будови нервової тканини. Чим нервові клітини відрізняються від клітин сполучної та епітеліальної тканин?

5. Розгляньте препарат м'язової тканини. Яку форму мають м'язові клітини? Як вони розташовані між собою? Які ділянки вистилає м'язова тканина в організмі тварин?

6. *Замалюйте в зошиті тваринні тканини, розфарбуйте їх та підпишіть складові частини.*

До багатоклітинних тваринних організмів із справжніми тканинами відносяться вищі безхребетні тварини (черви, комахи) і всі хребетні (риби, земноводні, плазуни, птахи, ссавці). Клітини в багатоклітинному організмі спеціалізуються на виконанні однієї або декількох функцій, а між собою об'єднуються за допомогою міжклітинної речовини. Сукупність клітин, подібних за будовою, походженням і функціями, разом із міжклітинною речовиною називають *тканиною*. У тварин виділяють чотири основних типи тканин: епітеліальну, сполучну, м'язову та нервову.

Перевірте себе: 1. Назви тварин, які мають справжні тканини. 2. Що таке тканина? 3. Назвіть тваринні тканини. 4. Які функції в організмі тварин виконує епітеліальна, сполучна, нервова, м'язова тканини? Як пояснити ці функції на основі загальних закономірностей природи? 5. Де в тілі тварин розташована кожна із тканин?

Поміркуйте: 1. Чи можна тканину тварин назвати системою, що обумовлює її життєдіяльність? 2. Які органи вистилає епітеліальна тканина? 3. Які органи вистилає сполучна тканина?

Подискутуйте: 1. Порівняйте особливості організації багатоклітинних організмів, що мають справжні тканини і тих, що не мають їх.

Проекти: 1. Особливості організації тіла людини. Типи тканин. 2. Функції тканин (на вибір учня) у організмі людини, тварин.

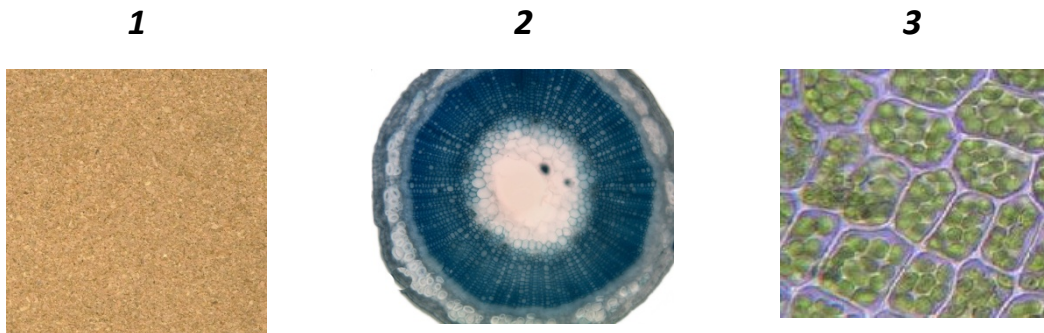
§ 39. БУДОВА І ФУНКЦІЇ РОСЛИННИХ ТКАНИН

Багатоклітинні рослини, тіло яких має справжні тканини – це вищі спорові рослини та насінні. Клітини в їх організмі об'єднані у тканини, з яких побудовані органи рослини.

Рослинні тканини дуже різноманітні. Одні складаються із паренхімних (округлих або кубоподібних) клітин, інші – з прозенхімних (видовжених). Бувають тканини щільні (зі щільно зімкнених клітин) та пухкі (між клітинами є проміжки – міжклітинники). В одних тканинах клітини мають тонкі целюлозні оболонки, в інших – товсті здерев'янілі. Здебільшого виділяють шість основних типів тканин: твірні, покривні, провідні, механічні, основні та видільні.

До рослинних тканин належать: твірна, покривна, основна і провідна (мал. 80).

Твірні тканини (*меристеми*) складаються з дрібних тонкостінних клітин. Твірні тканини розташовані на верхівці стебла та кінчику кореня. Це група живих клітин веретеноподібної форми, які мають велике ядро, тоненьку оболонку і щільно прилягають одна до одної. Функцією твірних тканин є утворення нових клітин шляхом поділу, завдяки чому кількість клітин у рослини постійно збільшується. Із клітин твірної тканини формуються всі інші типи тканин, клітини яких, на відміну від твірних, не здатні до поділу.



Мал. 80. Тканини рослинних організмів: 1 — покривна тканина (корок),
2 — провідна тканина, 3 — основна фотосинтезуюча

За походженням твірні тканини бувають: первинними (виникають у зародку, знаходяться в основі міжвузлів злаків, на верхівках стебла і кореня; вторинними (виникають із первинних меристем або з постійних тканин і можуть знаходитись у різних ділянках рослин).

За розташуванням у рослин твірні тканини бувають: верхівковими (знаходяться на верхівках пагонів та кінчиках коренів і забезпечують ріст), бічними (розташовані на периферії осьових органів паралельно до їх поверхні і забезпечують потовщення органів), вставними (знаходяться в основі міжвузлів пагонів (у злаків) та забезпечують їх наростання у довжину), раневими (можуть виникати у разі пошкодження на будь-якій ділянці тіла рослин, що сприяє загоюванню ран).

Покривна тканина представлена шкіркою, яка покриває всі органи рослини, і корком. Вони захищають рослину від дії несприятливих умов навколишнього середовища, від висихання, температурних коливань, механічних пошкоджень, забезпечують газообмін тощо.

Покривну тканину утворюють живі або мертві клітини, які щільно прилягають одна до одної. Наприклад, покривна тканина шкірки листка і трав'янистого стебла складається з живих клітин, а ця ж тканина кори дерева і кореня – із мертвих.

Розрізняють три типи покривних тканин – епідерма, корок і кірка.

Епідерма, або шкірка, – первинна покривна тканина, яка складається з одного шару (рідко – з двох або більше) живих щільно розташованих клітин із звивистими бічними оболонками (для міцнішого з'єднання). Для газообміну та транспірації у шкірці є продихи – особливі утворення, які складаються із двох продихових клітин та продихової щілини між ними, яка залежно від умов може відкриватися та закриватися.

Корок – вторинна покривна тканина, що виникає у багатьох рослин замість епідерми. Формується із вторинної меристеми – коркового камбію, або фелогену, який утворюється із розташованих під епідермою або у глибинних шарах клітин паренхіми.

Захисну функцію виконує лише *корок*, стінки клітин якого просочуються суберином, а вміст відмирає. Функцію газообміну і транспірації виконують сочевички – конусоподібні утворення, що складаються з округлих паренхімних клітин, між якими є великі міжклітинники.

Кірка формується у більшості дерев'янистих рослин на зміну корку, її утворення пов'язане із закладанням в глибоких шарах кори фелогену, який продукує нові клітини корку. Відбувається ізоляція і відмирання тих ділянок кори, які розташовані зовні від новоутворених шарів корку. Захисні властивості кірки значно надійніші, ніж корку.

Основна тканина знаходиться під покривною. Вона вистилає проміжки між різними тканинами. Клітини основної тканини можуть бути великими або дрібними, з тонкими або потовщеними оболонками. Розрізняють фотосинтезуючу, механічну і запасуючу основні тканини.

Фотосинтезуючі тканини забезпечують фотосинтез. Їх клітини мають тонку оболонку, хлоропласти та велику вакуолю. Це основна тканина листків рослини.

Механічні тканини надають рослинам міцності та допомагають чинити опір вітру, дощу, граду та снігу. Розрізняють два різновиди механічних тканин: коленхіма та склеренхіма.

У *запасаючих* тканинах накопичуються про запас поживні речовини. Клітини запасуючої тканини великі. Вони містять багато зерен крохмалю, краплі олії, цукри. Запасаюча паренхіма розвивається переважно у серцевині стебел, в органах генеративного розмноження (насінні, плодах, бульбах, цибулинах тощо). У її клітинах немає хлоропластів, в них відкладаються крохмаль, цукор, олії, білкові речовини тощо.

Провідна тканина забезпечує транспортування речовин у рослині, зв'язує її наземну і підземну частини. Рослини мають два типи провідних тканин. Одна з них представлена судинами – мертвими порожнистими клітинами, по яких від кореня до листків рухається вода з розчиненими в ній мінеральними речовинами. Другий тип провідної тканини складається із ситоподібних трубок – живих клітин, які проводять органічні речовини від листків до кореня та інших органів рослини. Судини забезпечують висхідний рух речовин у рослині, а ситоподібні трубки – низхідний.

БУДОВА ТКАНИН РОСЛИННОГО ОРГАНІЗМУ

Лабораторна робота № 4

Мета: ознайомитися тканинами рослинного організму за допомогою світлового мікроскопа, визначити особливості їх клітин та пояснити роль у життєдіяльності рослин.

Прилади і матеріали: мікроскоп, тимчасовий мікропрепарат шкірочки цибулі, листки елодеї, пеларгонії, корок або пробка коркова з пляшки, цибулина з корінцями,

1. Підготуйте мікроскоп до роботи.

2. Розглянь при малому, а потім при великому збільшенні мікроскопа тимчасовий препарат шкірочки цибулі – покривної тканини рослин. Знайди на препараті клітини. Зверни увагу на розташування клітин між собою та наявність міжклітинної речовини.

3. Розглянь корок. Яку функцію виконує корок?

4. Виготов тимчасовий препарат листка елодеї. Для цього за допомогою препарувальної голочки зніми верхню шкірку з листка елодеї та зроби обережно поперечний зріз лезом. Розглянь під мікроскопом на препараті основну фотосинтезуючу тканину листка елодеї. Знайди та розглянь клітини фотосинтезуючої тканини, їх форму, особливості розташування. Знайди та розглянь хлоропласти.

5. Виготов тимчасовий препарат кінчика корінця цибулі та розглянь під мікроскопом. Знайди на ньому клітини. Якої вони форми? Відміть особливості будови твірної тканини кінчика кореня.

6. Розгляньте судино-волокнистий пучок листка пеларгонії? Яка тканина його утворює?

7. Замалюйте в зошиті побачені тканини рослинного організму, розфарбуйте їх та підпишіть складові частини.

У рослин виділяють твірну, покривну, провідну, основну (фотосинтезуюча, механічна, запасуюча) тканини. Із тканин побудовані органи рослини.

Перевірте себе: 1. Назви тканини рослин. 2. Яке значення покривної тканини? 3. Які є типи основної тканини? Які їх функції? 4. Як провідна тканина здійснює зв'язок надземної і підземної частин рослини? 5. До групи яких тканин відносяться коленхіма та склеренхіма? Які функції вони виконують?

Поміркуйте: 1. Яке призначення провідних тканин? 2. Чому кожен тканину рослини можна назвати біологічною системою, що обумовлює її життєдіяльність? 3. Як пояснити функції рослинних тканин на основі загальних закономірностей природи. 4. У чому відмінність рослинних і тваринних тканин?

Подискутуйте: 1. Які тканини рослин і тварин є ідентичними за виконуваними функціями?

§ 40. ГІСТОТЕХНОЛОГІЇ

Гістотехнологія – один із важливих напрямів сучасної біотехнології. Вона базується на методах культивування тканин, які полягають у зберіганні життєздатності органів або їх частин, а також тканин за межами організму. Культивування тканин передбачає створення асептичних (безбактеріальних) умов, які забезпечують живлення, газообмін та видалення продуктів обміну тканини при температурі, близькій до оптимальної для організму, з якого взято тканину.

На сучасному етапі розвитку для інтенсифікації селекції ефективним є використання таких гістотехнологічних методів, як культура ізольованих тканин та органів рослин тощо. Вони дають можливість за короткий термін створити та розмножити цінний вихідний високопродуктивний матеріал, гетерозисні гібриди та сорти сільськогосподарських рослин. Розробка основ методу культури тканин рослинних організмів має порівняно коротку історію і починається з досліджень, виконаних Габерландтом у 1902 році. Проте кожне відкриття, зроблене в цій галузі, знайшло використання в прикладних дослідженнях.

Культура тканин – метод тривалого збереження в живому стані клітик, тканин, невеликих органів або їх частин, виділених з організму людини, тварин або рослин. Перші успішні досліди по культурі тканин здійснив в 1907 американський учений Р. Гаррісон, помістивши в краплю лімфи шматочок зачатка нервової системи зародка жаби. Клітини зародка залишалися живими декілька тижнів, з них виростили нервові волокна. Метод культури тканин був вдосконалений французьким ученим А. Каррелем, американським — М. Берроузом, російським ученим А. А. Максимовим і ін., що використали як середовище плазму крові і витяжку з тканин зародка. Основна умова успішного здійснення культури тканин — строге дотримання стерильності. При культивуванні шматочків органів з'ясований ряд питань гістогенезу і генетичних відносин між тканинами, чутливості їх до дії різних чинників.

За допомогою культури тканин вивчають закономірності утворення та розвитку тканин, особливості **міжтканевих** та міжклітинних взаємодій, а також механізми формування окремих органів. Її використовують також для розробки методів збереження життєздатності ізольованих органів та тканин, призначених для трансплантації (пересадження).

Практичною метою гістотехнології і є трансплантація органів чи тканин у рослин, тварин або людини. Найбільш вдала трансплантація можлива у рослин та нижчих тварин (кишковопорожнинних та плоских червів). По мірі підвищення організації тварин вона зустрічає все більші труднощі.

Трансплантація використовується в експериментальній біології для вивчення процесів морфогенезу (формування органів). Вона має велике практичне значення в садівництві (щеплення у плодкових рослин) та медицині (пересадження органів та тканин). У сучасній медицині широко використовується трансплантація шкіри, кісток, слизових оболонок, рогівки, кісткового мозку, нирок, залоз внутрішньої секреції, кровоносних судин тощо.

Мікроклональне розмноження рослин. Одним із найпоширеніших напрямів методу культури тканин є мікроклональне розмноження, при якому отримують генетично ідентичні форми, що сприяє збереженню генетично однорідного посадкового матеріалу. Як експлант можна використовувати пазушні бруньки, молоді листки, окремі елементи квітів та суцвіть. Проте такий вид розмноження потребує конкретизації для кожної сільськогосподарської культури через особливості її генотипу.

Технологія мікроклонального розмноження будь-якої культури включає чотири основні етапи: введення вихідної форми в стерильну культуру, власне мікророзмноження, укорінення розмножених пагонів, переведення стерильної культури в ґрунт. Розробка прийомів культури тканин для елітних рослин, гетерозисних гібридів та сортів дає змогу розв'язати проблему швидкого розмноження форм, що мають практичну цінність, а також збереження матеріалів для використання їх у селекції.

Мікроклональне розмноження має певні переваги порівняно з традиційними способами: 1) вирощування в штучних умовах, які контролюються, із меристематичних тканин; 2) дає можливість досягти елімінації вірусів та інших патогенних мікроорганізмів і отримати здоровий садивний матеріал; 3) ріст рослин можна підтримувати протягом багатьох років; 4) можна застосовувати для тих рослин, які не розмножуються вегетативно або не дають життєздатного насіння; 5) дає можливість в 2–3 рази скоротити строки відбору та отримання нових рослин в селекційних дослідженнях.

Нині існує кілька різних розроблених методів мікроклонального розмноження. Різняться вони станом вихідних тканин, які беруться для отримання мікроклонів. Найважливішою вимогою технології є забезпечення повної стерильності та оптимальних умов для клітинного ділення та диференціації вихідної тканини. Потім необхідно досягти утворення великої кількості мікроклонів та забезпечити їхнє вкорінення. Для того, щоб ефективність мікроклонального розмноження була високою, необхідно на всіх етапах виконання підтримувати оптимальні умови вирощування. Тому для кожної культури розробляється своя методика мікроклонального розмноження.

Укорінені рослини в разі необхідності розміщують на депонування при понижених температурах. Це має велике значення, оскільки дозволяє затримувати розвиток рослин і таким чином зберігати їх довгий час без пересадок, використовуючи по мірі необхідності. Для переведення стерильних рослин у ґрунт необхідно відбирати здорові екземпляри із добре розвиненою кореневою системою.

Метод калусних культур. В селекційній практиці поряд із мікроклональним розмноженням рослин широко використовується метод калусних культур із експлантів різних органів, які є додатковим резервом розмноження селекційного матеріалу. Він дає можливість практично використовувати в селекційному процесі новий тип мінливості — соматоклональну. Калусні культури багатьох сільськогосподарських рослин характеризуються великою нестабільністю.

Калусогенез – це перший етап на шляху отримання соматоклональних варіантів, що потребує перепрограмування шляхів розвитку клітини. Клітина,

переведена в умови культивування *in vitro*, зберігає свою основну генетичну інформацію про цілий організм і при наявності відповідних умов може реалізувати її. Проте фізичні та хімічні фактори культивування, що мають мутагенну дію, а також генетична гетерогенність соматичних клітин експланту створюють передумови для виникнення генетично змінених рослин. Метод отримання соматоклональної мінливості дає змогу індукувати не лише мінливість геному, але й плазмону. В основі феномену соматоклональної мінливості лежать складні процеси структурної і функціональної перебудови генетичного апарату клітин. Використовуючи його, вже отримано форми багатьох сільськогосподарських культур з цінними ознаками.

Трансплантація – найбільш розвинений в наш час напрям в гістотехнології тварин. Особливо використовують трансплантацію ембріонів. Цей метод дозволяє перш за все прискорити розведення тварин з високими спадковими якостями, а також зберегти цінний генофонд, так як отримані ембріони можна консервувати замороженням і зберігати довгий час. За допомогою цього методу вже отримують до 80 нащадків з однієї корови за два роки. В США таким способом було отримано ще 1980 році 23 тисячі телят, а в Канаді – 7 тис.

На сьогодні в США застосовують трансплантація (пересадка) органів з померлих людей. Вимогами до померлих донорів органів при цьому дуже високі: останні повинні бути порівняно молодими і здоровими до моменту смерті, померли в результаті інсульту або природних причин (від травм або інтоксикації). Так, у 2005 году 7 593 померлих американців стали донорами органів і забезпечили 60% трансплантованих в США нирок, 95% - печінки і 100% - сердець, легень і підшлункових залоз.

Успіхи гістотехнологій можуть бути використані на користь самій людині – у боротьбі зі спадковими хворобами; отримання сироватки проти однієї із форм гепатиту; ведуться дослідження з вірусами грипу, створені продуценти біологічно активних речовин – інсулін (необхідний для лікування діабету), самотропний гормон (природний стимулятор росту), інтерферон (білкова речовина, яка сприяє активній боротьбі клітин організму з вірусами).

Гістотехнологія – один із важливих напрямів сучасної біотехнології. Вона базується на методах культивування тканин, які полягають у зберіганні життєздатності органів або їх частин, а також тканин за межами організму. Культивування тканин передбачає створення асептичних (безбактеріальних) умов, які забезпечують живлення, газообмін та видалення продуктів обміну тканини при температурі, близькій до оптимальної для організму, з якого взято тканину.

Перевірте себе: 1. Що таке гістотехнологія? 2. Які напрями гістологічних технологій вам відомі? 3. Що таке культура тканин? 4. З якою метою застосовують гістотехнології? 5. Що таке трансплантація? З якою метою її застосовують.

Поміркуйте: 1. Що спільного у цито- і гістотехнологій? 2. Для лікування яких хвороб людини застосовують гістотехнології?

Проекти: 1. Застосування гістотехнологій для лікування хвороб людини. 2. Стовбурові клітини багатоклітинних організмів. 3. Принципи гістотехнологій, їх значення у лікуванні хвороб людини.

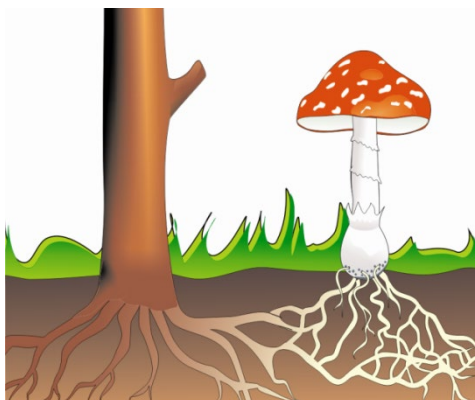
§ 41. БАГАТОКЛІТИННІ ОРГАНІЗМИ ГРИБИ.

ЇХ БУДОВА ТА РЕГУЛЯЦІЯ ФУНКЦІЙ

Гриби – група гетеротрофних організмів, які не мають хлорофілу. Гриби об'єднують в окрему систематичну групу – царство (поряд з царствами Тварин і Рослин) Це одноклітинні і багатоклітинні організми. На сьогодні систематики налічують більше 100 тис. видів грибів.

Гриби характеризуються рядом ознак, що роблять їх подібними з одного боку до тварин (в оболонці є хітин, запас поживних речовин у вигляді глікогену, в результаті обміну речовин утворюється сечовина), а з другого — до рослин (необмежений ріст, адсорбтивний тип живлення, тобто всмоктування).

Взаємовигідне співжиття міцелію грибів з коренями вищих рослин утворює **мікоризу** (наприклад, підберезник з березою, підосичник з осикою тощо) (мал. 81). Значна частина вищих рослин (дерева, тверда пшениця та ін.) не може нормально розвиватися без мікоризи. Гриби отримують від вищих рослин кисень, виділення коріння і безазотні сполуки. Гриби «допомагають» вищим рослинам засвоювати важкодоступні речовини гумусу, активізують діяльність ферментів вищих рослин, своїми ферментами сприяють вуглеводному обміну, фіксують вільний азот і у сполуках передають його вищим рослинам разом з ростовими речовинами, вітамінами тощо.



Мал. 81. Мікориза

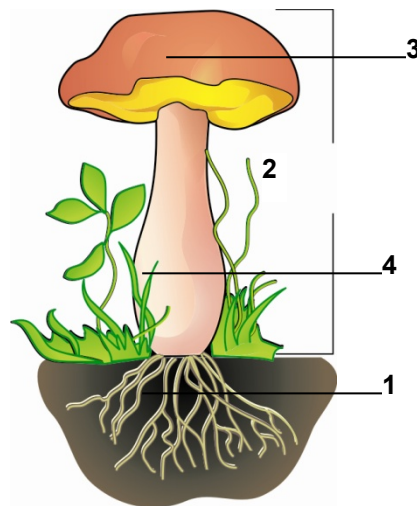
Поширення грибів. Гриби поселяються на продуктах харчування, в ґрунті, на овочах і плодах. Вони викликають псування доброякісних продуктів (хліба, овочів, ягід, фруктів тощо). Більшість цих грибів — сапрофіти. Проте деякі з них є збудниками заразних хвороб людини, тварин, частіше рослин. Наприклад, гриб трихофітон викликає стригучий лишай у людини і тварин.

На рослинах паразитує більше 10 тис. видів грибів, на тваринах і людині — близько 1 тис. видів.

Будова грибів. Гриби умовно поділяють на нижчі і вищі. Вегетативне тіло грибів називається **грибницею**, або **міцелієм**, воно складається з окремих ниток — **гіфів**. Ці нитки знаходяться всередині субстрату, на якому живуть гриби.

Найчастіше грибниця займає велику територію. Через міцелій відбувається всмоктування поживних речовин осмотичним шляхом. Гриби з найпримітивнішою будовою міцелію не мають, їхнє тіло складається з однієї клітини. У деяких нижчих грибів міцелій добре розгалужений, одноклітинний, багатоядерний. У вищих грибів міцелій багатоклітинний.

Організм багатоклітинного гриба складається з **плодового тіла** (надземної частини) і **грибниці** (підземної частини). Наприклад, грибниця опенька знаходиться у пеньку дерева, мухомора — в ґрунті (мал. 82).



Мал. 82. Будова шапкового гриба: 1 – грибниця; 2 – плодове тіло; 3 – шапка; 4 – ніжка

Грибниця і плодове тіло складаються з тонесеньких безбарвних розгалужених ниток — **гіфів**.

Розмножуються гриби частіше нестатевим способом за допомогою спор та вегетативно – частинами міцелію або брунькуванням. У цьому випадку клітина гриба утворює випини – бруньки, які поступово збільшуються і відокремлюються від материнської клітини, утворюючи ланцюжок клітин. Брунькуванням розмножуються гриби дріжджі. Статеве розмноження, яке дуже різноманітне у грибів, передує процесу спороутворення.

Різноманітність грибів. Представники *сажкових грибів* паразитують в основному на культурних і дикорослих злаках, викликаючи захворювання злаків – сажку (*мал. 83, 1*).



Мал. 83. Гриби: 1 — сажка на стеблі кукурудзи, 2 — трутовик, 3 — білий гриб

Розрізняють сажку проса, тверду сажку пшениці, порошисту сажку пшениці та ячменю, пухирчасту сажку кукурудзи.

Іржасті гриби паразитують не тільки на покритонасінних, а й на вищих спорових рослинах, викликаючи хворобу іржу. На уражених грибом листках, стеблах з'являються бурі плями — звідки і назва хвороби. Найбільш поширена лінійна іржа, що паразитує на різних злакових.

Ріжки – це паразитичні гриби, який розвивається на житі, часом на пшениці та інших злаках.

Великої шкоди завдає представник роду фітофторових грибів *картопляний гриб*, що вражає бульби та бадилля картоплі. На листках утворюються бурі плями, зменшується фотосинтез, а отже, і врожай. Пошкоджені бульби втрачають свої товарні якості, погано зберігаються.

Великої шкоди садам, паркам і лісовому господарству завдають *гриби-трутовики* (*мал. 83, 2*). Міцелій трутовиків розвивається всередині дерев, руйнуючи деревину. Плодові тіла у більшості трутовиків багаторічні і збільшуються щорічно.

Ряд паразитичних грибів являється збудниками небезпечних хвороб людини і тварин. Гриб ахоріон, поселяючись на волосистій частині голови, спричиняє хворобу паршу. Гриб трихофітон, який уражує волосся, нігті і шкіру, є збудником стригучого лишая. Дріжджовий гриб сідіум спричиняє захворювання слизової оболонки порожнини рота — пліснявку, яка спостерігається переважно у грудних дітей. Гриби можуть викликати поверхневі нагноєння або ураження внутрішніх органів.

Сучасна комплексна система захисту полів, садів, лісів і парків від паразитичних грибів включає агротехнічні, біологічні, хімічні методи боротьби, а також карантинні заходи, що не допускають завезення збудників хвороб і шкідників із інших країн. Селекціонери виводять рослини, стійкі до хвороб і збудників тощо.

До **вищих грибів** належать усім відомі шапкові гриби – білий гриб, опеньки, лисички, мухомор тощо. Поширені вони у хвойних і мішаних лісах (*мал. 83, 3*). Шапкові гриби поділяють на отруйні та їстівні. До їстівних належать: білий гриб, підосичник, підберезник, маслюк, рижик, печериця, лисички, опеньки справжні тощо.

До умовно їстівних належать гриби, які перед кулінарною обробкою необхідно тривалий час варити і видаляти відвар. Це сиріжки, зморшки тощо. Наприклад, гриб хрящ вимочують у воді, періодично її замінюючи. Якщо неякісно приготувати умовно їстівні гриби, то при використанні їх у їжу можуть виникнути харчові отруєння.

Чимало є грибів отруйних. Особливо небезпечними для людини є бліда поганка, мухомори, несправжні опеньки і несправжні лисички. Бліда поганка і мухомор – смертельно отруйні гриби. Отруєння мухоморами спостерігається рідше, бо їх легко відрізнити від їстівних за зовнішнім виглядом. Отруєння можуть викликати і їстівні гриби, які зростали на екологічно забруднених територіях, поблизу доріг або довго зберігалися і почали псуватися. Збирати слід гриби молоді, міцні, нечервиві.

При отруєнні грибами людині слід негайно промити шлунок із використанням активованого вугілля, випити проносні лікарські препарати і терміново викликати швидку медичну допомогу.

При використанні грибів у їжу необхідно уважно розглядати кожний гриб, відкидаючи підозрілі та незнайомі.

Гриби – група гетеротрофних організмів, яких об'єднують в окрему систематичну групу – царство. Це одноклітинні і багатоклітинні організми. На сьогодні систематики налічують більше 100 тис. видів грибів. Гриби характеризуються рядом ознак, що роблять їх подібними з одного боку до тварин, а з другого – до рослин. Гриби умовно поділяють на нижчі і вищі. Вегетативне тіло грибів називається *грибницею*, або *міцелієм*, воно складається з окремих ниток – *гіфів*. Ці нитки знаходяться всередині субстрату, на якому живуть гриби.

Перевірте себе: 1. Назви відомі тобі види грибів. 2. Які характерні ознаки грибів? 3. Яку будову мають гриби? 4. На які дві групи поділяють грибів? За якими ознаками? 5. Які гриби називають сажковими? Який спосіб життя вони ведуть? 6. Охарактеризуй спосіб життя іржавих грибів.

Поміркуйте: 1. Яким чином деякі види грибів пристосувались до паразитичного способу життя? 2. Чим гриби трутовики відрізняються від шапкових?

Проекти: 1. Їстівні та отруйні види грибів. 2. Цвілеві гриби, їх значення у природі та житті людини. 3. Гриб трутовик, його будова та спосіб існування.

Для допитливих

Як гриби лікують людей

Серед грибів є цілющі види, які сприяють загоюванню ран, порізів. Одним із таких є одноклітинний гриб пеніцил, з якого виготовляють ліки пеніцилін. Вперше з лікувальними властивостями пеніцила зіткнувся у 1870 році в м. Петербурзі лікар Олексій Герасимович Полотебнов і ефективно їх використовував при лікуванні хворих. Одного разу до нього в клініку прийшов хворий з виразками на руці. Під час перев'язки Полотебнов приклав до виразок шматочки матерії, просочені сумішшю спор пеніцила. Дивна була ця суміш! Через дві доби виразки хворого зажили. Після цього лікар Полотебнов став лікувати зеленою цвіллю інших хворих і теж успішно. Але Полотебнов не міг пояснити, чому зелена цвіль виліковує хворих. Відповідь була знайдена пізніше, уже після смерті лікаря. Вітчизняний вчений Ілля Ілліч Мечников перший довів, що в природі є мікроорганізми, що вбивають хвороботворних мікроорганізмів, і є корисними для людини. Ним і був одноклітинний гриб пеніцил. У 1941 році вченим вдалося перетворити гриб пеніцил у ліки.

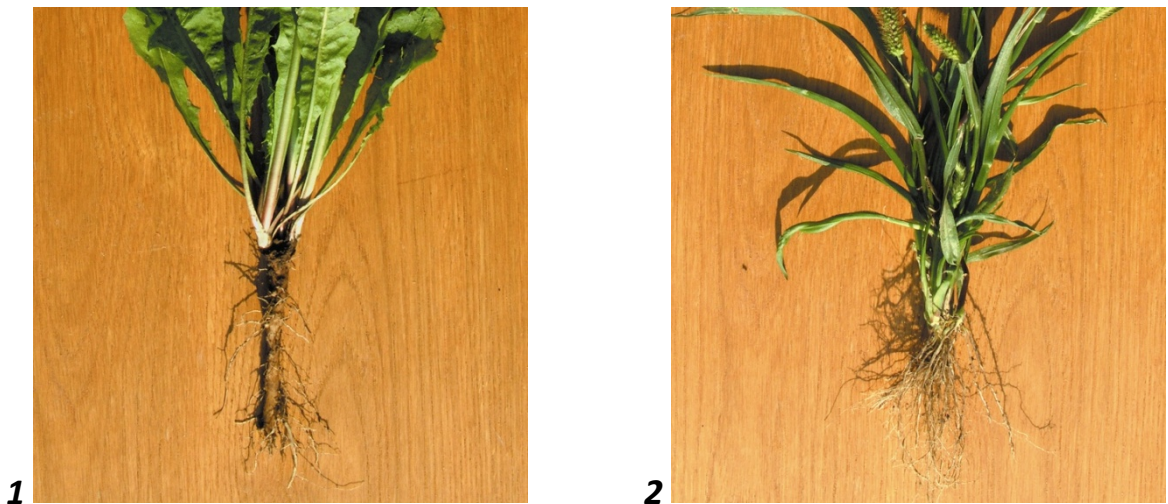
§ 42. РОСЛИНИ. ОРГАНИ РОСЛИН ТА ЇХ ФУНКЦІЇ

За особливостями зовнішньої та внутрішньої будови рослини поділяють на нижчі та вищі. Нижчі рослини справжніх тканин та органів не мають. У вищих рослин тіло поділене на органи.

Органи рослин. Частина тіла рослини, яка займає в ньому постійне положення і виконує певні функції називається *органом*. У рослин розрізняють вегетативні та генеративні органи. Вегетативні органи (корінь, стебло, листок і брунька) забезпечують життєдіяльність рослини, ріст і розвиток. Генеративні органи (квітка, плід, насіння) виконують функцію статевого розмноження.

Корінь – осьовий вегетативний орган рослини, за допомогою якого вона міцно утримується в ґрунті та поглинає з нього розчин мінеральних речовин (*мал. 84*). У деяких рослин корінь служить органом накопичення запасних поживних речовин або органом вегетативного розмноження. У процесі пристосування до умов життя різні типи коренів видозмінювались для виконання додаткових функцій. У рослин утворювались коренеплоди (морква, редиска, буряк), кореневі бульби (жоржина), повітряні корені (орхідея) тощо.

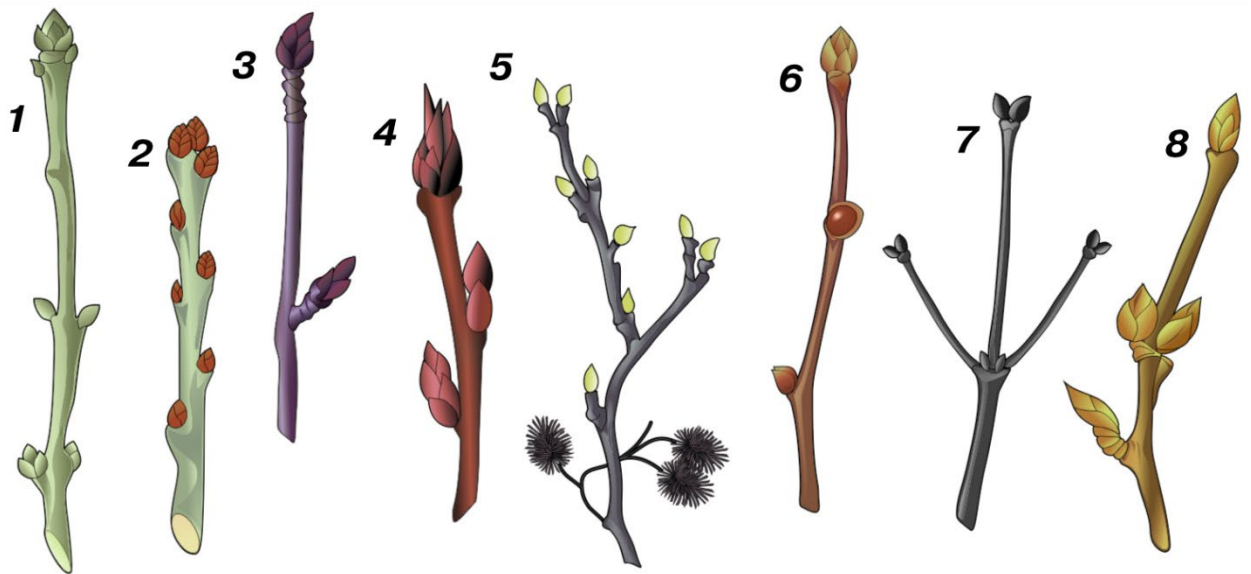
В еволюційному розвитку рослин корінь виник пізніше стебла й листка. Поява його була викликана переходом рослин з водного середовища до життя на суші.



Мал. 84. Типи корневих систем: 1 — стрижнева, 2 — мичкувата

Справжні корені характерні для всіх сучасних вищих рослин — папоротей, хвощів, плаунів, голонасінних і квіткових. У нижчих рослин (водоростей) їх частково замінюють волоскоподібні утвори, які називають ризоїдами. Служать вони для прикріплення рослини до субстрату. У плаваючих водних рослин потреби в наявності кореня немає і його може замінити видозмінений листок чи стебло. Корені відсутні у таких плаваючих рослин, як пухирник, альдрованда, сальвінія, роголисник, які живуть у прісних водоймах і поглинають з води поживні речовини всією поверхнею. Відсутні корені і в багатьох паразитних рослин, бо

поживу вони одержують за допомогою присосок, якими прикріплюються до рослини, на якій паразитують (наприклад, повитиця тощо).



Мал. 85. Пагони різних дерев і кущів: 1 – клен; 2 – дуб; 3 – горобина; 4 – черемха; 5 – вільха; 6 – липа; 7 – жимолость; 8 – осика

Пагін – один із основних вегетативних органів рослини, що має листостеблову будову. Пагін складається із стебла, листків і бруньок. Основними функціями пагона є зв'язок всіх частин рослини, транспортування речовин і фотосинтез. В пагоні можуть накопичуватися поживні речовини, вода. Його частини слугують для вегетативного розмноження тощо.

На пагоні виділяють вузли і міжвузля. Деякі плодові дерева і кущі мають вкорочені та видовжені пагони (мал. 85).



Мал. 86. Листки білого латаття

Квітка (*мал. 86*) – це генеративний орган рослини, який забезпечує насінне розмноження рослин. Функціями квітки є утворення тичинок, маточок, запилення, запліднення та формування плоду з насінням. Квітка – укорочений нерозгалужений видозмінений пагін з обмеженим ростом. Групу квіток, розміщених на рослині в певному порядку, називають *суцвіттям*. Суцвіття мають жито, ромашка, конюшина, бузина, морква, горобина та інші рослини.



Мал. 87. Квітка барвінку

Плід – генеративний орган рослини, що виникає після запліднення в квітці і містить в собі насіння. Плоди утворюються із зав'язі маточки. Плід захищає насіння рослини від висихання, дощу та інших несприятливих умов і приваблює тварин, які поїдаючи їх, сприяють розсіюванню насіння.

Насінина розвивається після запилення і запліднення з насінних зачатків.

Органи рослини взаємозв'язані між собою, забезпечуючи цим цілісність усього організму. Доказом цього є залежність розвитку наземної частини рослини від підземної і навпаки. Якщо один з органів рослини починає посилено рости й розвиватися, то змінюються і всі інші органи. Наприклад, після дощу ви мали спостерігати активне позеленіння молодих пагонів культурних чи дикорослих рослин. При цьому листки стають більшими, темно-зеленими, у них утворюється більше органічних речовин. Внаслідок цього посилюється живлення всієї рослини, що сприяє росту решти органів.

Рослина – складна відкрита біологічна система. Її будова обумовлена взаємозв'язком її органів, які в комплексі забезпечують життєдіяльність

цілісного організму. Для життєдіяльності рослина поглинає з довкілля необхідні їй речовини, перетворює їх та виділяє в навколишнє середовище кінцеві продукти життєдіяльності.

Перевірте себе: 1. Які органи виділяють у рослин? 2. Які функції виконує корінь рослини? 3. Які функції пагону? 4. Які особливості життєдіяльності рослин? 5. Назвіть генеративні органи рослини. Які їх функції?

Поміркуйте: 1. Чим рослини відрізняються від представників інших царств живих організмів? 2. Назви характерні ознаки будови рослин.

Подискутуйте: 1. Яким чином рослини пов'язані з тваринами, грибами, вірусами, бактеріями? 2. Поясніть зв'язок, що існує між органами у рослині.

Проекти: 1. Основні процеси життєдіяльності рослин. 2. Чинники, що впливають на процеси життєдіяльності рослин. 3. Заходи збільшення продуктивності фотосинтезу.

Для допитливих.

З історії відкриття фотосинтезу

У XVIII ст. видатний російський вчений М. В. Ломоносов висловив думку про повітряне живлення рослин, а англійський хімік Дж. Прістлі провів цікавий і простий дослід, який довів, що рослини виділяють газ необхідний для дихання. Пізніше було встановлено, що таке явище можливе лише за умов наявності сонячного світла та вуглекислого газу. Остаточно процес утворення рослиною органічних речовин з неорганічних за рахунок енергії Сонця розкрив видатний російський вчений К. А. Тімірязев. Саме він встановив, що сонячна енергія перетворюється на хімічну енергію органічних речовин в дрібних органелах рослинних клітин – хлоропластах. Вони містять в собі зелений пігмент хлорофіл. Він і бере найважливішу участь у процесі фотосинтезу. (від гр. „фотон”- світло та „синтез” – утворювати).

§ 43. ТВАРИНИ. ЇХ БУДОВА ТА ЖИТТЄДІЯЛЬНІСТЬ

Багатий та різноманітний світ тварин. Їх чисельність нараховує близько 2 млн видів, що у декілька разів перевищує видовий склад рослин.

Тварини різні за розмірами, вагою, формою тіла, способом життя. Наприклад, вага африканського слона сягає 7 т, тоді як метелика — 10-15 г. Форма тіла тварин може бути зонтиковою, як у медузи, зіркоподібною, як у морської зірки, або видовженою з кінцівками (більшість тварин).

Різнманітні тварини за зовнішнім виглядом: покривом тіла, кінцівками, органами чуттів. Наприклад, у дощового черв'яка шкіра гладенька, позбавлена

покривних утворень, тоді як у рака наявний жорсткий панцир. Покривом тіла риб є луска, у птаха — пір'я, а у звірів — шерсть.

Собака, ящірка, жаба пересуваються на двох парах кінцівок, павуки — на чотирьох парах, раки — на п'яти, а такі тварини, як багатоніжки, мають безліч ніг.

Завдяки своїй різноманітності тварини поширені скрізь: на суходолі, в прісних і солоних водоймах, у ґрунті й у повітрі.

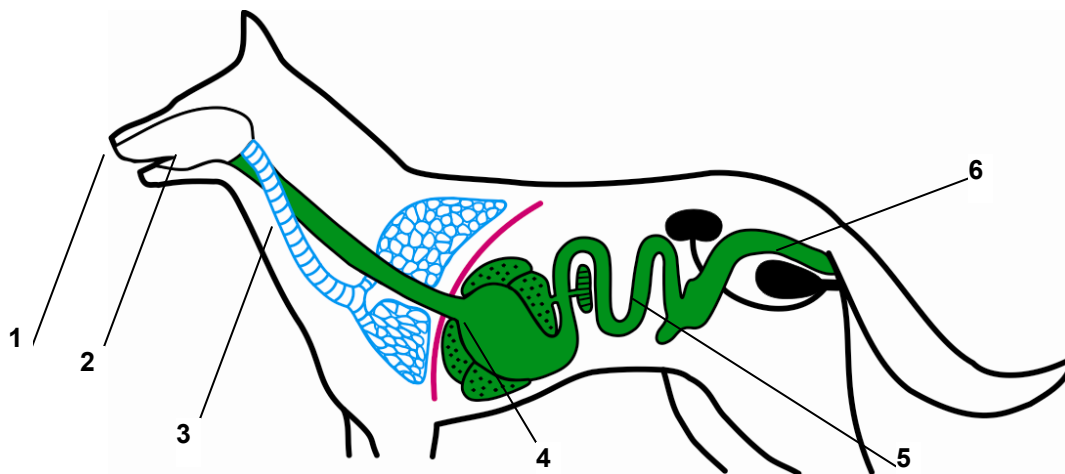
Органи та системи органів тварин. Органами у тварин є мозок, серце, шлунок, нирки тощо. Органи, які виконують подібні функції, утворюють *систему органів*.

Переміщення тіла, опір і захист організму забезпечує опорно-рухова система; сприймання і відповіді на подразнення, координацію всіх функцій організму — нервова система; забезпечення організму поживними речовинами — травна система; перенесення поживних речовин і газів — кровоносна система; газообмін — дихальна система; відтворення собі подібних, або розмноження — статевая система.

Опорно-рухова система. Тварини мають здатність до руху. Рух тварин забезпечується опорно-руховою системою, яка складається з кісток і м'язів. Кістки утворюють скелет — пасивну частину опорно-рухової системи, м'язи — його активну частину.

Незважаючи на велику різноманітність тварин у будові *травної системи* можна виділити спільні ознаки. Більшість тварин мають рот, глотку, стравохід, шлунок і кишечник, який закінчується анальним отвором (*мал. 88*). У ротовій порожнині їжа подрібнюється та змочується слиною. У такому вигляді вона краще перетравлюється. Після цього їжа проходить через стравохід, шлунок і кишечник. Там вона піддається дії травних соків і розщеплюється на частинки.

Дихальна система. Енергія, необхідна для життєдіяльності тварин, виділяється при окисленні органічних речовин. Щоб вивільнити з поживних речовин енергію, потрібен кисень. Кисень надходить в організм через дихальну систему. Органи дихання у тварин різноманітні.



Мал. 88. Травна система собаки: 1 — рот, 2 — глотка, 3 — стравохід, 4 — шлунок, 5 — кишечник, 6 — анальний отвір

Більшість тварин, які живуть у воді, дихають розчиненим у ній киснем. З води завдяки дифузії кисень проникає в кровоносні судини через тонкі стінки зябер, а кров розносить його по всьому тілу. Проте, такі тварини як кит, жаба, крокодил, жук плавунець, павук сріблянка хоч і живуть у водному середовищі, але дихають атмосферним киснем.

Видільна система. Однією з основних ознак живих організмів є підтримання сталого хімічного складу внутрішнього середовища. Цей процес дуже легко здійснювався б тоді, коли організм був би замкненою системою, незалежним від довкілля. Але ви знаєте, що організм тварини – це відкрита система, яка постійно обмінюється речовиною і енергією з навколишнім середовищем.

У процесі обміну речовин у тваринному організмі утворюються непотрібні або шкідливі продукти життєдіяльності. Вони проникають у кров, яка переносить їх до органів, які здатні виводити ці продукти з організму. Це органи виділення.

Кровоносна система забезпечує транспортування речовин по організму тварин. Вона складається з серця та кровоносних судин, основними з яких є вени та артерії. Серце, подібно до насосу, розганяє кров по кровоносних судинах. По артеріях кров тече від серця до органів, по венах – від органів до серця. Артерії і вени розгалужуються на велику кількість дрібних, а потім ще дрібніших судин — капілярів.

У різних тварин системи кровообігу різні. Наприклад, у комах та раків вона незамкнена і кров вільно розтікається між тканинами, а у риб та інших вищих тварин (земноводних, плазунів, птахів, ссавців) – замкнена і кров рухається лише по судинах (*мал. 89*).

Органи чуттів. Отримання інформації з навколишнього середовища у багатьох тварин відбувається завдяки спеціальним органам (очам, вухам, язику та ін.). Ці органи називають органами чуттів. У них знаходяться нервові закінчення, що сприймають певні подразнення (світло, звук, смак, дотик). Деякі тварини можуть сприймати електричні і магнітні подразнення.

Всіма процесами життєдіяльності тваринного організму керує *нервова система*. Вона забезпечує зв'язок організму з зовнішнім середовищем, узгоджує і регулює діяльність всіх органів і систем.



Мал. 89. Кровоносна система у птаха

Особливості життєдіяльності тварин. Кожна тварина, як і рослина, – відкрита жива система, життєдіяльність якої обумовлена внутрішніми і зовнішніми зв'язками. Внутрішні зв'язки тварини підтримуються за рахунок транспортування речовин по тілу, а зовнішні зв'язки – завдяки обміну речовин та енергії з середовищем існування. Як внутрішні, так і зовнішні зв'язки підтримуються процесами життєдіяльності тварини.

Основними процесами життєдіяльності тварин є живлення, дихання, виділення, рух, розмноження, ріст, розвиток.

Надходження в організм тварини поживних речовин, необхідних для його нормальної життєдіяльності, забезпечує процес *живлення*. За типом живлення більшість тварин гетеротрофи. Їжа, як рослинного, так і тваринного походження,

засвоюється організмом лише після того, як вона перетравиться та розщепиться на поживні речовини.

Сукупність процесів, які забезпечують механічну та хімічну обробку їжі в організмі тварин, унаслідок чого складні хімічні речовини перетворюються на прості, називають **травленням**. Наприклад, одноклітинній амебі, губкам властиве внутрішньоклітинне травлення, при якому часточки їжі захоплюються клітиною і перетравлюються під дією травних ферментів клітини. Більшість тварин, наприклад, птахи, черви, риби, мають позаклітинне травлення. При цьому спеціальні клітини в організмі продукують і виділяють травні соки, під впливом яких відбувається перетравлення їжі у порожнині травного каналу. У кишковопорожнинних тварин — змішане травлення, коли спочатку відбувається позаклітинне, а потім внутрішньоклітинне травлення. Зустрічається у тварин і зовнішнє травлення (частково позаорганізмове). Так, павук, перш ніж з'їсти жертву, впускає в її організм свою слину разом із ферментами шлунка. Білкові речовини організму жертви розчиняються. Через певний час павук висмоктує напіврідкий вміст тварини. До організму павука потрапляють готові розчинені поживні речовини.

Тварини постійно дихають. Під час цього до органів, тканин і клітин з навколишнього середовища надходить кисень і одночасно виділяється вуглекислий газ. Основна функція органів дихання — газообмін. Крім того, дихання забезпечує теплорегуляцію у теплокровних тварин (птахи, ссавці), через органи дихання виводяться деякі шкідливі для організму речовини (аміак та інші).

Одноклітинні тваринні організми дихають усією поверхнею тіла шляхом дифузії. Але у більшості тварин є спеціальні органи дихання: трахеї (павуки, комахи), зябра (раки, молюски, риби), легені (деякі молюски, жаби, плазуни, птахи, ссавці).

Виділення — процес видалення з організму шкідливих і непотрібних продуктів обміну речовин, надлишку води, солей тощо. Кожна тварина здатна регулювати хімічний склад свого організму, видаляючи з нього шкідливі та надлишкові речовини. Наприклад, найменші одноклітинні тварини мають скоротливі вакуолі, які виконують функцію виділення. Більшість тварин мають спеціальні органи виділення: нефридії, нирки.

Подібно до рослин, тварини здатні до *розмноження*. Цей процес забезпечує існування кожного виду в часі, підтримання його чисельності та передачу спадкових ознак від батьків до нащадків. Тваринам властиве статеве і безстатеве розмноження. Під час нестатевого розмноження нове покоління тварин

розвивається із однієї материнської особини, а при статевому – після злиття статевих клітин двох батьківських особин. Спороутворення, як особлива форма безстатевого розмноження, зустрічається тільки в одноклітинних тварин. Наприклад, кишковопорожнинним тваринам та деяким червам властиве вегетативне розмноження, під час якого розвиток нових організмів відбувається із клітин або частин тіла тварини.

Більшості тваринам властивий активний рух. Це забезпечує можливість тваринам захищатися від ворогів, пристосовуватися до несприятливих умов, виводити потомство. Для тварин властиві три основні типи рухів: амебоподібний, війчастий і м'язовий. Амебоподібний рух здійснюється за рахунок псевдоніжок тварини. Цей тип властивий для одноклітинних тварин (амеба) і для деяких клітин багатоклітинних тварин (гідра). Війчастий рух зустрічаємо в інфузорії-туфельки. Більшість рухів у тварин пов'язані з роботою м'язів, які здатні розвивати силу шляхом скорочення. За допомогою м'язового руху тварини бігають (ссавці), повзають (плазуни), літають (птахи), плавають (риби).

Тварина – відкрита жива система, її внутрішніми і зовнішніми зв'язками обумовлені процеси життєдіяльності: живлення, дихання, розмноження, розвиток, ріст, пристосування до умов навколишнього середовища. Основними системами органів у тварин є опорно-рухова, травна, дихальна, кровоносна, органів чуттів, видільна. Всіма процесами життєдіяльності тваринного організму керує нервова система. Вона забезпечує зв'язок організму з зовнішнім середовищем, узгоджує і регулює діяльність всіх органів і систем.

Перевірте себе: 1. Назви відомі тобі види тварин. 2. Яка кількість видів тварин мешкає на планеті Земля? 3. Які системи органів мають тварини? 4. З яких органів складається кожна система органів тварин? 5. Які основні процеси життєдіяльності характерні тваринам?

Поміркуйте: 1. Які органи формують травну систему? Поясни зв'язок, що існує між названими органами у межах системи. 2. Чи об'єднані і яким чином системи органів у цілісному організмі тварини?

Подискутуйте: 1. Тварина – відкрита біологічна система, утворена безліччю інших біологічних систем.

§ 44. РЕГУЛЯТОРНІ СИСТЕМИ ОРГАНІЗМУ ЛЮДИНИ

Найважливіша роль у підтриманні життєдіяльності організму людини належить регуляторним системам органів. Вони регулюють обмін речовин між організмом і навколишнім середовищем, узгоджують діяльність всіх органів і їх систем. За допомогою цих систем у тілі людини підтримуються відносно постійний рівень кров'яного тиску, температури тіла, фізико-хімічні властивості крові тощо.

До регуляторних систем організму людини належать нервова і ендокринна системи, які забезпечують нервову та гуморальну регуляцію функцій організму людини. Узгоджена робота регуляторних систем робить організм людини єдиним цілим.

Гуморальна регуляторна система. *Важливу роль у регуляції життєвих функцій організму виконують гормони – біологічно-активні речовини. Їх продукують ендокринні залози, або залози внутрішньої секреції, які не мають вивідних протоків, і гормони виділяються безпосередньо в кров. Дія гормонів специфічна. Вони збуджують або, навпаки, пригнічують діяльність окремих органів та цілого організму.*

Гормони мають сильний вплив на регуляцію обміну речовин, росту, статевого розвитку, функцій окремих органів. Одні гормони здатні підсилювати функцію, інші — послаблювати. Отже, завдяки гормонам, що виробляються залозами внутрішньої секреції, здійснюється регуляція життєдіяльності організму.

Злагоджена функція залоз внутрішньої секреції може порушуватися. Залози можуть виділяти гормони в надлишку, що супроводжується їх гіперфункцією (понад норму). В інших випадках вони можуть виробляти мало гормонів, тоді виявляється недостатність їх в організмі — гіпофункція (менше норми). Гіпер- і гіпофункції призводять до порушення життєдіяльності організму, виникнення захворювань

До ендокринних залоз належать щитоподібна, прищитоподібні, вилочкова, надниркові, статеві залози, гіпофіз, шишкоподібне тіло, епіфіз мозку, панкреатичні островці. Потрапляючи в кров, вони разносяться нею по всьому тілу і впливають на діяльність інших клітин, тканин, органів. Так здійснюється взаємодія між клітинами і окремими органами, забезпечується діяльність організму як єдиного цілого.

Нервова регуляторна система. Не менш важливою системою в організмі людини є нервова система. Вона забезпечує всю його діяльність, взаємозв'язок між окремими його частинами та зв'язок з оточуючим середовищем. Нервова система збуджує або гальмує функції організму. Зміна функцій організму визначається умовами зовнішнього середовища (довкілля) та внутрішнього (власне організму). Так, наприклад, до організму потрапив збудник інфекцій.

Організм раптово включається у боротьбу проти збудника. Цим керує нервова система. Мозок отримує інформацію про появу запального процесу, викликаного збудником, і забезпечує активну роботу тих органів, які страждають від цього. При цьому в крові утворюється велика кількість лейкоцитів, які протидіють запальним процесам в організмі, підвищується температура тіла тощо.

Нервова й ендокринна системи забезпечують сталість внутрішнього середовища і стійкість усіх функцій організму. При такій регуляції функцій організм набуває властивості саморегуляції. *Саморегуляція* полягає у тому, що за будь-якого відхилення від нормального складу внутрішнього середовища організм намагається відновити свій склад за допомогою нервової та гуморальної регуляції функцій.

Діяльність ендокринних залоз залежить від нервової системи й регулюється нею, а гормони, в свою чергу, впливають на нервову систему. Така регуляція називається *нейрогуморальною*. Нервовий та гуморальний механізми регуляції взаємопов'язані. Активні біологічні речовини (гормони), які утворюються в організмі, здатні впливати на нервові клітини, змінюючи їхній функціональний стан. Утворення і надходження в кров гормонів, у свою чергу, перебуває під регулюючим впливом нервової системи. Тому буде правильним буде назвати регуляторну систему організму людини нервово-гуморальною.

Імунна регуляторна система. Імунна система є однією з самих унікальних систем організму, що володіють властивостями саморегуляції і врятування всього організму людини. Вона забезпечує анатомо-функціональний зв'язок між органами і системами органів, цілісність всього організму.

Імунна система представлена сполучною тканиною лімфою, яка є практично у всіх органах і системах органів. Саме це обумовлює, з одного боку, об'єднуючу та регулюючу роль імунної системи, а з іншого боку визначає її індикаторну та захисну роль. Остання реалізовується при впливах на організм різних несприятливих чинників як внутрішньоорганізових так і зовнішніх.

Імунна система є однією з найдинамічніших систем організму, вона одна з найперших реагує на зміни, викликані небажаними чинниками.

Перебіг та розвиток хронічних хвороб впродовж життя хворого визначається взаємодіями імунної і ендокринної систем.

Регуляторними системами організму людини є нервова, ендокринна й імунна системи органів, які забезпечують нервову та гуморальну регуляції функцій, імунну захисну властивість.

Перевірте себе: 1. Яка роль регуляторних систем в організмі людини? 2. Які системи органів називають регуляторними? Поясніть, чому. 3. Поясніть гуморальну регуляцію функцій організму людини. 4. Що таке саморегуляція?

Поміркуйте: 1. Доведіть, що організм людини є цілісною системою. 2. Чи взаємозв'язані між собою гуморальна та нервова регуляторні системи? Поясніть свою думку.

Подискутуйте: 1. Як регулюються процеси життєдіяльності у тварин? Чи наявні у тварин нервова, гуморальна та імунна системи?

§ 45. ПЕРІОДИЧНІСТЬ ПРОЦЕСІВ У ДОВКІЛЛІ

(Урок у довкіллі)

1. Вийдіть у довкілля. Знайдіть Сонце на небосхилі. Спробуйте передбачити його рух до кінця дня. Зробіть малюнок.

2. Зверніть увагу на стан листків, плодів чи квіток на деревах, кущах, у трав'янистих рослин. Поясніть цей стан, враховуючи пору року, час доби. Запишіть назви рослин, які ви знаєте, їх стан.

3. Розгляньте пагони дерев і кущів. У яких з них спостерігається рівномірне розташування бруньок уздовж гілки? Зробіть висновок про можливі причини цього явища.

4. Спробуйте визначити птахів у місці спостереження, згадайте, які птахи були тут на початку літа. Зробіть висновок про зміну пташиного населення.

5. Зверніть увагу на те, який сьогодні день за народним календарем. Вкажіть його роль у системі днів, прикмети та звичаї, що з ним пов'язані. Поясніть їх з точки зору періодичності процесів у природі, у життєдіяльності рослин і тварин, зміни пір року.

*6. Як птахи «знають», коли відлітати у вирій, а зимуючі тварини, коли шукати місце для зимування?

Узагальніть вивчене з теми

«»

Тематична самоперевірка знань

I рівень

Виберіть правильну відповідь.

1. Пріони – це:

а) неклітинні організми; б) білкові структури; в) клітинні організми; г) віруси.

2. Віруси у своїй будові не мають:

а) нуклеїнових кислот; б) білка; в) клітин; г) органел.

3. Пеніцил, аспергил та дріжджі є представниками царства:

а) Віруси; б) Рослини; в) Тварини; г) Гриби.

II рівень

Виберіть правильну відповідь.

1. Тканинами тваринних організмів є:

а) твірна; б) епітеліальна; в) захисна; г) нервова; д) сполучна; е) основна; є) м'язова.

2. По яких тканинах стебла рослин пересуваються органічні речовини:

а) по судинах ксилеми; б) по ситовидних трубках флоєми; в) по міжклітинниках.

3. Які з перерахованих організмів є колоніальними?

а) вольвокс; б) хлорела; в) губки; г) зелені водорості; д) коралові поліпи; е) черви

III рівень

1. У якій з перелічених рослинних тканин відбувається фотосинтез:

а) у камбію; б) у епідермі; в) у основній фотосинтезуючій; г) у паренхімі.

2. До якої з перерахованих тканин відноситься кров тварин?

а) епітеліальної; б) сполучної; в) м'язової; г) нервової.

3. Епідерма або шкірка рослин виконує такі функції:

а) транспірація; б) запасання поживних речовин; в) захисну; г) всмоктування води і мінеральних речовин.

IV рівень

Дайте відповідь на запитання

1. Чим багатоклітинні організми відрізняються від колоніальних?

2. Які системи органів виділяють у тварин? Які функції вони виконують?

3*. Для допитливих. Змодельуйте у зошиті структурно-логічну схему, яка б об'єднувала вивчені поняття і терміни розділу.

§ 1. Що вивчає географія. Зародження і розвиток географії

Географія як наука. В окрему галузь людських знань географія виділилася після того, як люди накопичили знання про навколишній світ, у якому вони жили й працювали, який активно досліджували. Термін «географія» (грец. *geographia*, від *geo* – Земля, *grapho* – пишу) вперше застосував давньогрецький учений Ератосфен ще у III ст. до н.е.

Нині географія – це комплекс наук про Землю, які вивчають її надра, рельєф, клімат, океани і моря, ґрунти, закономірності поширення рослинного і тваринного світу, розміщення населення і розвиток господарства нашої планети. Географію поділяють на фізичну і соціально-економічну.

Фізична географія – наука про географічну оболонку земної кулі як сферу взаємного проникнення і взаємодії літосфери, атмосфери, гідросфери, біосфери. Фізичну географію поділяють на землезнавство, що досліджує загальні властивості географічної оболонки та її компонентів, і ландшафтознавство, яке вивчає природні комплекси різних рангів, їхні антропогенні зміни.

Економічна і соціальна географія є багатогалузевою наукою, що вивчає територіальне розміщення і розвиток господарства й населення земної кулі, окремих її районів і країн; досліджує природно-територіальні й виробничо-територіальні комплекси та їхні складники, географічні аспекти взаємодії суспільства і природи як єдиної системи. З'являються нові галузі сучасної географії: політична, інфраструктури, військова, спорту, туризму, геоінформатика, геопрогнозування тощо. Наскрізною географічною наукою є картографія, завдяки якій було створено специфічну і дуже виразливу мову географії, що втілилася в географічних картах.

Протягом багатьох віків географія прагнула відповісти на запитання: де? і що?, а нині — дає відповідь на запитання: як? і чому? Отже, вона подолала шлях від спостереження до висвітлення, від конкретики до узагальнення, від аналізу до концептуалізації. Нині географічні науки об'єднують свої зусилля для вирішення важливих проблем – збереження природи, раціонального використання її багатств.

Предмет і об'єкт дослідження географії. Об'єктом дослідження географії є географічна оболонка Землі (геосфера), територіальні відмінності та просторові поєднання природи, населення, господарства. Усі географічні науки вивчають розміщення в просторі та його закони. Закони розміщення є головними законами географії.

Предметом дослідження географії є причинно-наслідкові зв'язки й залежності між географічними процесами і явищами, що відбуваються в географічній оболонці, закономірності формування територіальних форм організації продуктивних сил суспільства, проблеми взаємодії природних і суспільних територіальних систем на рівні світу, регіону, конкретної місцевості.

Методи географічних досліджень. Це певна система послідовних підходів і прийомів, яких дотримуються, коли вивчають географічні об'єкти, будь-які географічні явища чи процеси, а також особливі способи пізнання світу і методики дослідження. За об'єктом дослідження в географії розрізняють фізико-географічні методи, що досліджують природні умови і ресурси, та економіко-географічні методи, спрямовані на вивчення господарства і населення.

Тривалий час (до кінця XVIII ст.) основним методом географічних досліджень був експедиційний. Епоха теоретичних відкриттів розпочалася на початку XIX ст., коли були виявлені перші глобальні закони – закон широтної зональності і висотної поясності (А. Гумбольдт, В. Докучаєв) і закон розміщення господарської діяльності у просторі – модель розміщення сільськогосподарських зон різної інтенсивності навколо єдиного ринкового центру (І. Тюнен). Метод моделювання дає змогу досліднику вийти за рамки

реального, спростити дійсність, відкинути малозначущі риси. Найголовнішою моделлю в географії є географічна карта. За допомогою карт виявляються закономірності, які неможливо помітити, досліджуючи іншим способом.

Традиційними методами географічних досліджень є спостереження, експедиції, польові дослідження, статистичний, математичний, картографічний, порівняльно-географічний, історичний, метод районування тощо. А до сучасних методів дослідження в географії відносять космічний, геоінформаційний, геофізичний, геохімічний, геобіо логічний, моделювання, комп'ютерних технологій тощо.

Здобуття географічної освіти неможливе без уміння інтегрувати географічні знання. *Інтеграція знань* – це виявлення однотипних закономірностей в елементах змісту навчання і встановлення їхньої системної цілісності. Географія – наука інтегрована. Вона поєднує і використовує знання з багатьох природничих і гуманітарних наук, тісно переплітаючись з ними, утворює міжпредметні зв'язки і взаємозалежності.

Так, географія вивчає взаємопов'язані глобальні й локальні проблеми на Землі (екологічні, демографічні, інформаційні), які потребують інтегративних

підходів. Соціокультурні знання в географії містять інформацію щодо досвіду людини в усіх сферах життєдіяльності, щодо особливостей господарства і культури, характерних для народу, який проживає в певних природно-географічних умовах і перебуває на певному соціально-економічному рівні розвитку.

У сучасній географічній науці простежуються такі тенденції розвитку:

- вплив на географію інших наук, які відтворюють етапи її суспільного розвитку – гуманізацію, соціологізацію, екологізацію, інформатизацію;
- активний розвиток методології, теоретичної бази і практичного їх застосування;
- переважання інтересів географії на різних просторово-часових рівнях – глобальному, регіональному, локальному.

Методи наукових географічних досліджень. Метод – це певний спосіб отримання знань про географічні об'єкти і явища. Нові географічні знання отримують застосовуючи такі методи досліджень:

- *польові*, коли дослідники вирушають для вивчення певної місцевості (інакше кажуть – «у поле»). Прикладами є експедиції в малолюдні пустелі, важкодоступні гори й ліси. Ви також можете долучитись до польових досліджень свого рідного краю;
- *стаціонарні* – постійні дослідження, що ведуть на одній і тій же ділянці тривалий час. Їх прикладами є спостереження за погодою, які ведуть на метеорологічних станціях, дослідження на полярних станціях в Антарктиді й Арктиці.
- *дистанційні*, які дозволяють вести дослідження Землі і її ділянок з певної відстані. Наприклад, за допомогою приладів, установлених на космічних апаратах, наукових суднах.

Існують також методи географічних досліджень, які застосовуються не лише вченими, але й учнями при вивченні географії в школі:

- *географічного описання* (наприклад, при узагальненні своїх спостережень за погодою та сезонними змінами в природі);
- *географічного порівняння* (порівнюватимете одну з іншою складові частини літосфери, атмосфери, гідросфери);
- *історичний метод* передбачає вивчення історії змін у природі (наприклад, історії зміни земної кори з часу виникнення Землі);

- *методи моделювання* полягають у тому, що складні географічні явища відображають у вигляді схем, карт та інших наочних моделей.
- *картографічний метод* — один із найважливіших. Картами ви будете користуватися упродовж вивчення всього курсу географії. Із географії цей метод запозичений і застосовується в інших науках.
- *методи складання навчальних прогнозів і розробки проєктів* ви також будете застосовувати. Після вивчення певного розділу ви зможете спробувати себе в ролі географа-дослідника — мандрівника, картографа, метеоролога, — взявши участь в уявній кругосвітній експедиції (*додаток 1 у кінці підручника*). При цьому ви будете застосовувати набуті знання й певні методи географічних досліджень.

Ви не випадково вивчаєте географію після засвоєння знань з природознавства. Географи виявляють складні взаємозв'язки в природі Землі. Вони розуміють, що всі природні явища підпорядковані загальним закономірностям природи: *збереження, повторюваності, спрямованості природних процесів до рівноважного стану*. Ці закономірності проявляються не тільки в природі, але й при взаємодії людини з навколишнім середовищем. Ви будете виявляти прояви цих закономірностей вивчаючи географію в школі.

Географія як наука виявляє закономірності поширення природних об'єктів і явищ, розміщення населення й господарства. Вона дає всебічне уявлення про середовище життя людства, оскільки вивчає його взаємодію з природою в межах усієї планети і її частин.

Географічні знання можна отримати, користуючись готовою інформацією з різних джерел, а також здобути їх самостійно, застосовуючи певні методи географічних досліджень.

§2. Географічна оболонка – глобальна система

Ви підходите до аналізу існування найбільшої системи, яку спостерігаєте. *Географічна оболонка* – це закономірно пов'язані між собою атмосфера, гідросфера, літосфера, біосфера. Як ви знаєте, ці сфери народжувались і розвивались у зв'язку і взаємодії. Так вони і співіснують, підтримуючи одна одну.

Вкажіть процеси, які підтверджують думку про те, що оболонки Землі розвивались і співіснували паралельно. Наприклад, зниження температури Землі після її народження зумовлювало нарощування земної кори і водночас виділення газів (в атмосферу) і води – утворення гідросфери. Наявність цих трьох компонентів та сонячної енергії стала умовою виникнення живих організмів, які змінювали геосфери: вміст кисню в атмосфері, склад гірських порід тощо.

Серед основних факторів, які пов'язують у єдине ціле всі елементи географічної оболонки, назвемо перш за все перетворення енергії в ній і кругообіг речовин.

Ви вже розглядали перетворення енергії в біогеоценозі, атмосфері, гідросфері, літосфері, біосфері. Згадайте основні процеси, в яких проявляються ці перетворення. Наприклад, циркуляцію повітря атмосфери, завдяки якій відбувається перенесення енергії і вологи на Землі; кругообіг води, циркуляцію води в океанах; кругообіг гірських порід; біологічні кругообіги. Всі ці процеси відбуваються завдяки перетворенням у географічній оболонці сонячної енергії, енергії земних надр та енергії руху Землі навколо своєї осі, Сонця, центру Галактики. Енергія витрачається на перенесення речовини з одних частин географічної оболонки в інші – між її частинами відбувається неперервний обмін речовиною. При цьому жодна частинка речовини не зникає, енергія також не зникає, а перетворюється в інші види енергії.

Можна сказати, що всі процеси в географічній оболонці підлягають законам збереження і перетворення енергії, збереження маси речовини. При взаємоперетвореннях енергії вона врешті-решт переходить в енергію теплового руху частинок і випромінюється в космічний простір, тобто обезцінюється для Землі. Але не зникає із Всесвіту.

Розглядаючи живі системи, системи неживої природи, оболонки Землі, ви бачили, що основою стабільності існування системи є періодичність чи ритмічність рухів у ній (спробуйте це довести для атома, рослини, тварини, атмосфери).

Географічна оболонка – не виняток серед систем природи. Зміни в ній відбуваються теж ритмічно. Ритми задаються обертанням Землі навколо центру Галактики, навколо Сонця, навколо своєї осі. Місяця навколо Землі. В різні моменти свого руху Земля одержує від Сонця різну кількість енергії випромінювання. Крім того, енергія притягання її до інших тіл Сонячної системи і Галактики теж змінюється періодично. Льодовикові епохи, формування гірських систем пов'язані з обертанням Землі в Сонячній системі навколо центру Галактики. Ритмічність, періодичність змін "обличчя Землі" проявляється в часі і просторі.

Зміна природних умов у залежності від географічного положення місцевості називається *зональністю*. Крім зональних глобальних геосистем, є глобальні геосистеми *азонального* походження – материки, океани. В їх межах виділяються регіональні геосистеми – гірські країни, рівнини. Ще їх називають *природними країнами*, бо від навколишньої місцевості вони відрізняються характером рельєфу і складом гірських порід.

Азональність обумовлена рухами земної кори, що призводять до утворення гір, землетрусів, вулканізму, морів і ін. Джерелом енергії для цих процесів є надра Землі.

Географічна оболонка – глобальна геосистема. Вона об'єднує менш глобальні системи, що утворились завдяки зональності та азональності. Цілісність географічної оболонки підтримується завдяки кругообігу речовин, перетворенню речовин, ритмічності її діяльності. Закономірності існування географічної оболонки (кругообіг речовин, перетворення енергії, ритмічність, зональність, азональність, висотна поясність) пояснюються на основі загальних закономірностей природи.

Запитання та завдання

1. Чому географічну оболонку можна назвати глобальною геосистемою? 2. Які закономірності існування географічної оболонки ви можете вказати? Як їх

можна пояснити на основі фундаментальних закономірностей природи? 3. Назвіть підсистеми географічної оболонки та вкажіть їх взаємозв'язок.

§3. Кругообіг речовин та перетворення енергії в географічній оболонці

Атмосфера, гідросфера, літосфера, біосфера вивчаються як окремі оболонки Землі, хоча вони безперервно взаємодіють між собою і складають єдину систему. Єдність оболонок Землі особливо проявляється в біосфері – сфері життя на Землі, яка поєднує всі оболонки Землі невідимим кругообігом органічних речовин.

Як вам відомо, до складу органічних речовин входять атоми майже всіх елементів періодичної системи. Кількість атомів цих елементів на Землі обмежена. Якби кожний раз для розвитку нових організмів використовувались нові атоми елементів, тобто такі, які ще не брали участі в створенні органічних речовин, то що б сталося? Життя припинилось би, бо для побудови органічних речовин не вистачило б будівельного матеріалу.

Але основу існування біосфери складає кругообіг органічної речовини, який відбувається за участю всіх організмів, що її населяють.

Елементи, включені в сферу життя, використовуються живими організмами багаторазово. Для нас, можна сказати, вічно.

Хто ж крутить "колесо" велетенського кругообігу – велетенського за обсягом і за кількістю видів атомів в ньому? Ви можете дати відповідь самостійно – це Сонце, точніше енергія його випромінювання. Сонячне проміння консервується в хімічних зв'язках рослинами в процесі фотосинтезу. Тварини перетворюють рослинну органічну продукцію в тваринну. А бактерії та гриби руйнують ту і другу до мінеральних речовин. При цьому енергія хімічних зв'язків обезцінюється – перетворюється у внутрішню енергію.

Мінеральні речовини, що утворились під час розкладання бактеріями і грибами решток рослин і тварин, знову використовуються рослинами і

включаються в гігантський кругообіг. Розглянемо кругообіг деяких найбільш важливих для живої природи речовин – води, вуглецю, кисню, азоту.

Вода – невід'ємний учасник фотосинтезу і продукт життєдіяльності. В процесі фотосинтезу вода розкладається на кисень і водень, а в процесі клітинного дихання вона утворюється. За час існування організмів на Землі вся вільна вода гідросфери не раз пройшла шлях розкладу рослинними клітинами і відновлення в процесі клітинного дихання.

Властивостями *вуглецю* обумовлюється величезна різноманітність органічних речовин, життєвих форм на Землі. Вміст його в більшості живих організмів складає 45% їх сухої маси. Головні запаси вуглецю зосереджені в мінералах і гірських породах. Джерелом вуглецю, який використовується для утворення органічної речовини, є вуглекислий газ або вуглекислота. Вуглекислий газ перебуває в газоподібному стані в атмосфері, а вуглекислота – в розчиненому стані у воді (де вона розчиняється в 35 разів краще, ніж кисень).

Кругообіг вуглецю підтримується завдяки фотосинтетичній діяльності наземних рослин і фітопланктону. Поглинутий рослинами вуглекислий газ у процесі фотосинтезу перетворюється у вуглеводи, які, у свою чергу, іншими процесами біосинтезу перетворюються у різноманітні речовини, з яких будується тіло рослин. В процесі життєдіяльності рослинні організми значну частину синтезованих органічних речовин використовують для дихання, при якому частина поглинутої при фотосинтезі вуглекислоти знову повертається в атмосферу. Ще більша кількість вуглекислоти повертається в повітря при диханні тварин, які поїдають зелені рослини. Але лише самого процесу дихання було б не досить для виділення в атмосферу такої кількості вуглекислоти, яка б компенсувала її зменшення в результаті фотосинтезу. Величезна кількість вуглецю накопичувалась би в тілах відмерлих рослин і тварин. Цього не трапляється завдяки діяльності організмів, які руйнують сполуки вуглецю відмерлих рослин і тварин. Вуглець при цьому у вигляді вуглекислоти (вуглекислого газу) знову вступає до кругообігу.

Трапляється, що частина вуглецю на певний час виключиться із кругообігу у вигляді кам'яного вугілля, нафти та ін. Але торф, кам'яне вугілля, нафта добуваються на поверхню, де їх горіння супроводиться виділенням вуглекислого газу. Таким чином вуглець повертається до кругообігу.

Кисень, що необхідний для дихання тварин і рослин, у той же час є продуктом життя. Про наявність кисню на поверхні Землі вже приблизно 2 млрд. років тому свідчить присутність оксидів заліза у геологічних відкладах. Та лише в останні 20 млн. років вміст його в атмосфері Землі досяг 20%. Весь кисень атмосфери і значна частина кисню осадових порід має фотосинтетичне походження.

Кисень входить практично в усі органічні сполуки біологічного походження. Він бере участь у багатьох реакціях окислення органічних речовин, реакціях, що є джерелом енергії для життєдіяльності істот біосфери. Кисень потрібний для дихання організмів, що живуть у різних середовищах, для хімічних реакцій окислення, що відбуваються в ґрунті, воді, гірських породах.

Основними ланками кругообігу кисню є утворення вільного кисню в результаті фотосинтезу та його поглинання під час дихання живих організмів. Кисень, утворений при фотосинтезі, бере участь у створенні озонового екрану та осадових порід.

Величезна кількість кисню використовується в результаті життєдіяльності людини, яка останнім часом істотно впливає на атмосферу. Щоб склад атмосфери залишався сталим, необхідно розширювати площі зелених насаджень та збільшувати їх продуктивність і фотосинтетичну діяльність.

Азот складає 79% повітря, але більша частина живих організмів не може його використати безпосередньо, бо в газоподібному стані він хімічно неактивний. У той же час азот входить до складу більшості біологічно важливих органічних речовин: нуклеїнових кислот, білків, хлорофілу та ін. Джерелом азоту для синтезу цих сполук служать нітрати ґрунту і води, тобто так званий фіксований (зв'язаний) азот. Фіксація азоту може здійснюватися як небіологічним, так і біологічним шляхом. Перший із них пов'язаний з

космічними променями і електричними розрядами під час грози, які перетворюють азот в оксиди азоту та аміак. З атмосферними опадами вони потрапляють у ґрунт і воду. За рік 1 кв. км земної поверхні в середньому отримує таким шляхом близько 1 т фіксованого азоту. Та все ж небіологічний шлях зв'язування азоту значно поступається біологічному, який здійснюється мікроорганізмами, що живуть у ґрунті або вступають у симбіоз з вищими рослинами.

Засвоюючи сполуки азоту з ґрунту, рослини використовують їх на побудову всіх азотовмісних органічних речовин, які використовують самі, а також забезпечують ними весь тваринний світ. Після відмирання рослинні і тваринні рештки розкладаються мікроорганізмами з утворенням аміаку, який бактеріями перетворюється в нітрати. Частина нітратів засвоюється рослинами і мікроорганізмами, а інша, теж під дією певних мікроорганізмів, – є джерелом азоту, який виділяється в атмосферу. Так замикається кругообіг азоту в природі. Азот може вийти з кругообігу, якщо акумулюється в глибоководних осадах.

Всі розглянуті кругообіги тісно пов'язані один з одним і утворюють єдиний біологічний кругообіг речовин географічної оболонки – зв'язок атмосфери, гідросфери, літосфери.

Запитання та завдання

1. За рахунок якої енергії в географічній оболонці відбувається кругообіг органічних речовин? 2. Охарактеризуйте кругообіг води; вуглецю; кисню; азоту. Подумайте, чому ми розглянули кругообіг саме цих речовин? 3. Як кругообіг речовин пов'язує всі оболонки Землі в цілісну систему? 4. Як у кругообігу цих речовин проявляється закон збереження маси речовин? 5. Який вплив спричиняють організми на атмосферу; гідросферу; літосферу; ґрунт?

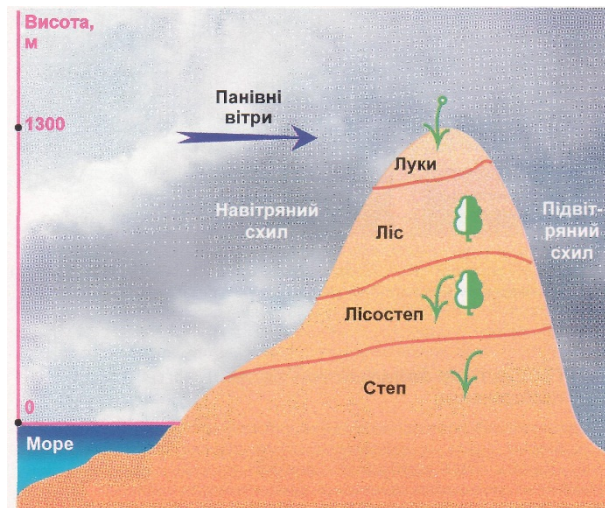
§4. Геосистеми зонального і азонального походження

Нерівномірний розподіл сонячної енергії по земній поверхні формує на ній радіаційні пояси – пояси освітленості, теплові пояси, географічні пояси. (Назвіть пояси освітленості і покажіть на карті чи глобусі.) Вони обумовлюють зональність природних компонентів: поверхневих і ґрунтових вод, типів рельєфу, ґрунтово-рослинного покриву, тваринного світу. В залежності від географічного поясу по-різному відбувається кругообіг речовин, а, отже, і ландшафтоутворення. В географії виділяють 13 географічних поясів, які охоплюють як суходіл, так і океан. Це другі за величиною (після географічної оболонки) глобальні геосистеми.

В межах географічних поясів виділяють зони і підзони, розташування яких залежить як від розподілу сонячної енергії, так і від розташування суші, води, рельєфу (азональних чинників).

Природні зони в певній послідовності розміщуються по всьому суходолу – від полюсів до екватора. Це зона арктичних пустель у навколополюсному просторі. Зона тундри займає узбережжя Північного Льодовитого океану. Її безлісі, вкриті лишайниками простори взимку перетворюються в білу пустелю. Ближче до півдня тундра перетворюється на лісотундру і далі – в зону тайги та мішаних лісів. Україна розміщена в зоні мішаних лісів та степів.

Зона пустель з найпосушливішим і найжаркішим кліматом тягнеться поблизу тропіків. Ближче до екватора, де влітку випадає багато дощів, розташувались савани. В період дощів вони вкриті розкішними травами, якими годуються великі травоядні тварини: зебри, антилопи, жирафи, буйволи, слони, носороги. На них полюють хижаки: леви, гепарди, гієни. Знайомі вам вологі екваторіальні ліси поблизу екватора – ще одна зона.



Мал. 1. Схема висотної поясності

Ми живемо в помірному кліматичному поясі. В ньому виділяють природні зони тайги, мішаних лісів, широколистих лісів, лісостепу, степу, напівпустель, пустель.

В горах можна побачити прояв географічних поясів в межах однієї гори. Температура повітря знижується в міру руху до вершини гори, змінюється кількість опадів, рослинні і тваринні угруповання. Спостерігається так звана висотна поясність (*мал. 1*).

Піднявшись на гору і спустившись з неї, ви ніби пройдете всю земну кулю – від полюсів до поясів помірного клімату. Ви перетнете велику кількість різноманітних ландшафтів. Щоб спостерігати їх на рівнині, потрібно було б подорожувати тисячі кілометрів. Мабуть, тому так багато людей, які захоплюються подорожами в гори.

Запитання та завдання

1. Охарактеризуйте природні зони. 2. Від чого залежить розташування зон і підзон в межах географічних поясів?

3. Охарактеризуйте висотну поясність. Чи можна її назвати зональністю в мініатюрі? Поясність.

Практична робота 6.

Ландшафт вашої місцевості

1. Опишіть компоненти комплексу своєї місцевості. Визначте географічні координати своєї місцевості, пояс освітлення, приблизну відстань від моря.

2. Особливості рельєфу, характер залягання гірських порід чи характер рівнини; зміни їх під впливом потоків, річок; використання і зміна рельєфу людиною.

3. Особливості клімату: залежність клімату від географічної широти, близькості океану, абсолютної висоти і умов рельєфу; середні температури (місяців, року); річна кількість опадів; розподіл їх за порами року; типова погода в усі пори року.

4. Підземні і поверхневі води, використання їх людиною і охорона від забруднення.

5. Ґрунти, їх особливості. Використання ґрунтів та заходи щодо їх збереження і підвищення родючості.

6. Рослинний і тваринний світ вашої місцевості. Які рослини чи тварини у вашій місцевості охороняються? Які з рослин чи тварин вас найбільше приваблюють?

7. Які ви знаєте легенди чи усні перекази, пов'язані з назвами місць чи подій, що були у вашій місцевості?

§5. Досліджуємо природний комплекс місцевості

(урок серед природи)

Перед виходом на природу усвідомимо сутність природного комплексу.

1. «Комплекс» у перекладі з латинської означає «поєднання».

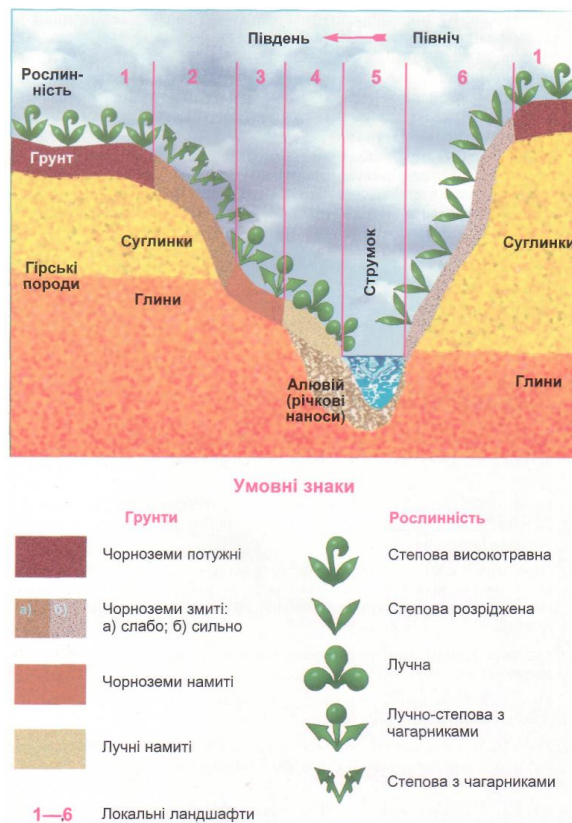
2. Природний комплекс – поєднання компонентів природи: гірських порід, води, повітря, організмів.

3. Найбільший природний комплекс – географічна оболонка. Та чи скрізь вона однакова? Які можете вказати основні причини неоднорідності географічної оболонки?

4. Якими компонентами характеризується природний комплекс вашої місцевості? Наприклад, виберіть такі компоненти, як рельєф, гірські породи, погода, клімат, стан атмосфери, поверхневі та підземні води, джерела, рослинний і тваринний світ.

5. Виберіть для спостереження ділянку заплавної долини невеликої річки або неглибоку балку.

6. Вийдіть до наміченої ділянки для спостережень.



Мал. 2. Поперечний розріз балки. Мозаїка ландшафтів (за Л.М. Булавою)

7. Намалюйте схематично поперечний розріз рельєфу даної ділянки (мал.2).

8. Визначте розташування і взаємозв'язок компонентів комплексу. Зобразіть його на малюнку. Допишіть на малюнку відомості про стан атмосфери (температуру повітря, напрям вітру, хмарність).

9. Рухаючись вздовж умовного розрізу балки, слідкуйте за змінами рослинності, позначаючи межі розповсюдження різних типів рослин на схемі. Межі рослинних угруповань і є межами елементарних ландшафтів. Подумайте, чому?

10. За допомогою вчителя визначте назву ґрунтів і рослинного угруповання в межах 2–3 локальних ландшафтів (наприклад, на крутому і пологіму схилах балки). Дайте назви локальним ландшафтам, що включають назви кількох компонентів. Наприклад, «Нижня частина південного схилу балки, складеної глинами з чорноземами, вкрита підлучно-степовою рослинністю і чагарниками».

11. Зробивши всі дослідження, намалюйте поперечний розріз балки та складіть його «легенду».

12. Розгляньте мозаїку ландшафтів на розрізі балки і дайте відповідь на запитання: «Як впливає кожний із чинників ландшафтоутворення на створення мозаїки ландшафтів?»

13. Чому на північному і південному схилах балок різна рослинність?

14. Зверніть увагу на дату проведення уроку і перевірте передбачення народного календаря.

§6. Географічна оболонка і людина

(для ознайомлення)

(За Л.М. Булавою)

Людина є складовою частиною біосфери і географічної оболонки. Разом з тим, людина пізнає і оцінює природу (природні геосистеми) як умови життя і джерело природних ресурсів. Природні ресурси використовуються у господарстві, в процесі природокористування. Природокористування є спрямованим людиною потоком речовини і енергії, який змінює умови її життя. В природокористуванні є два аспекти: цілеспрямований (використання природних ресурсів для задоволення потреб людини) і стихійний, побічний (відбуваються несприятливі зміни у природних геосистемах). Чому ж

відбуваються несприятливі зміни? Справа у тому, що людина порушує рівновагу в природних геосистемах, оскільки, як правило, цілеспрямовано використовує лише один компонент (рослини, тварини, гірські породи, воду). В середині ландшафту відбуваються порушення потоків речовини і енергії. Під впливом людини формуються ландшафти, які називаються «антропогенними» (гр. «антропос» – людина). Частина антропогенних ландшафтів є культурними – якщо людина цілеспрямовано, завдяки досвіду чи науковим знанням, регулює потоки речовини і енергії так, щоб не допустити багато негативних змін (а вони майже завжди є). Природокористування, в результаті якого формується культурний ландшафт і завдається якнайменше шкоди довкіллю, називається раціональним. Але, на жаль, дуже часто природокористування є нераціональним, внаслідок чого формуються деградовані малопродуктивні антропогенні ландшафти, які завдають шкоди і людині, і довкіллю (кар'єри, порізані ярами береги рік, на яких вирубана рослинність та ін.).

Людство поступово освоювало географічну оболонку. Ту частину географічної оболонки, яка в даний історичний період була у тісній взаємодії з людством і зазнавала впливу природокористування, називають географічним середовищем. Зрозуміло, що обсяг географічного середовища за весь історичний період зростав. Нині в окремих місцях географічне середовище досягло верхніх меж географічної оболонки і навіть вийшло за її межі (у верхні шари атмосфери). На перших етапах географічне середовище значною мірою обумовлювало життя і діяльність людини. З часом вплив людства на географічне середовище зростав, а залежність від «природної стихії» зменшувалась. Разом з тим в межах географічного середовища відбувається чимало несприятливих процесів (унаслідок порушення природних глобальних потоків речовини і енергії), які погіршують умови існування людства.

Який вихід із такого становища? Давайте проведемо аналогію з механізмом перетворення ландшафтів. Як на локальному рівні в процесі природокористування потрібно формувати культурні ландшафти, так і на глобальному рівні потрібно зробити раціональним, «культурним» географічне середовище.

Для цього потрібні зусилля усього людства, ретельне вивчення закономірностей глобальних, регіональних і локальних геосистем та формування раціонального природокористування на всіх указаних рівнях. Наукова думка повинна стати тією силою, за допомогою якої людина цілеспрямовано змінює географічне середовище.

У людства, якщо воно бажає вижити, є єдиний вихід – перетворити географічне середовище і географічну оболонку, в тому числі і біосферу, в ноосферу – «сферу розуму». На яких принципах повинна будуватись ноосфера? В найбільш загальному плані їх можна сформулювати так:

1. Організація глобального моніторингу (системи слідкування і контролю за станом довкілля з метою раціонального використання і охорони геосистеми).
2. Регуляція глобальних круговоротів речовини і енергії.
3. Створення культурних ландшафтів (вірніше – цілеспрямоване проектування і формування систем «природа – населення – господарство» локального і регіонального рівня).
4. Розробка стратегії природокористування, переосмислення етичних і естетичних поглядів людства, усвідомлення своєї гармонійної єдності з довкіллям (географічним середовищем, у перспективі – з ноосферою).

Запитання та завдання

1. Чи можете ви навести приклади раціонального і нераціонального природокористування?
2. Доведіть, що антропогенний чинник став одним із провідних у ландшафтоутворенні.
3. Чому людина, здійснюючи природокористування, повинна оцінювати не окремі компоненти, а ландшафти (локальні і регіональні геосистеми) в цілому?
4. Спробуйте проаналізувати зв'язки в системі локального рівня «природа – населення – господарство».

§7. ГЕОСИСТЕМИ

Цей розділ – заключний у вивченні вами природних систем. У першому розділі ви ознайомились із різноманітними системами, з загальними закономірностями і формами їх існування. Вчилися класифікувати і систематизувати. В другому розділі перед вами пройшли системи неживої природи – атоми, молекули, кристали, періодична система хімічних елементів. Відомості про ці системи необхідно повторити перед вивченням даного розділу.

Слід також поновити знання про живі системи – від клітини до біосфери, основні закономірності існування цих систем. Особливу увагу зверніть на такі спільні риси живих систем: це відкриті системи, вони одержують енергію і речовини із зовнішнього середовища, прагнуть розширити сферу свого панування на Землі.

В даному розділі ви будете використовувати свої знання і вміння, які ви набули під час вивчення «неживих» і живих систем, та інтегрувати їх (знання та вміння) під час розгляду геосистем. Бо геосистеми включають системи неживої природи і живі системи з внутрішніми і зовнішніми зв'язками, їх розвиток складніший, ніж у тих систем, що ви вивчали в попередніх розділах.

Географія – «великий інтегратор». Для розуміння того, що робиться на нашій Землі і з нею, необхідні знання з фізики, хімії, біології, астрономії, а також мови (в 5-му класі ви переконались, що рідна земля «говорить») і філософії – любові до мудрості.

Ви побачите, що різні науки по-різному підходять до вивчення одних і тих систем. Вчитимесь знаходити єдність і відмінність у різних підходах до вивчення явищ – біологічному, географічному, хімічному, фізичному. Бо в наступних класах ви вивчатимете окремі предмети. Вони вам подаватимуть одні і ті ж об'єкти з різних сторін. А зводити ці різні властивості (сторони) до єдиного ви повинні самостійно.

Під час вивчення геосистеми ви будете застосовувати набуті методи дослідження природи. Серед них один з основних – *метод картографії* (як під час дослідження живих систем одним із основних був метод мікроскопії).

Картографічними методами можна користуватися під час вивчення не лише земної поверхні, а й зовсім не схожих на неї об'єктів. Існують карти поверхні мозку, тіла людини, поверхні планет Сонячної системи та інші.

Як почати вивчати геосистеми? Підхід буде таким же, як і при вивченні попередніх систем: від елементарного (локального) до глобального. Розпочнемо з елементарного ландшафту – елементарної геосистеми. Поступово прийдемо до глобальної системи – географічної оболонки. Між цими системами будуть літосфера, атмосфера, біосфера; материки, моря; зони тундри, тайги, лісостепів... Все це – геосистеми.

При вивченні живих систем ви спочатку розглянули будову клітини та процеси, що відбуваються в ній. Аналогічно виберемо «клітину» земної оболонки і будемо розглядати нашу Землю як єдиний «багатоклітинний» організм, «придивляючись» окремо до його органів-геосфер, материків, водних басейнів тощо. Ви зрозумієте, що «планетний організм» – це біологічна метафора, але вона допоможе нам трансформувати методи вивчення живих систем на геосистеми, які є органічним поєднанням компонентів неживої і живої природи.

Виконуючи практичні роботи, спостереження на уроках серед природи, ви будете водночас і біологами, і географами, і екологами, тобто природодослідниками. А вашою лабораторією буде довкілля.

Спостерігаючи геооболонки того чи іншого ландшафту, вам доведеться подумки подорожувати всією земною кулею.

В перших двох розділах ви зустрічались переважно з системами об'єктів. В третьому розділі живі системи перед вами постали як цілісність органів, процесів, будови і функцій. У цьому розділі вам доведеться мати справу з системою процесів, що призводять до утворення тієї чи іншої геосистеми. Будете вчитись їх моделювати і зображати графічно. Разом із спостереженням, вимірюванням, знаковим виразом географічних об'єктів (карта, план, малюнок) будете оволодівати системним, структурним, модельним, функціональним, імовірнісним підходами в поясненні геосистем і геопроектів.

Подивіться у зміст. Чи не здивувало вас, що вивчення геосистем починається з роздумів про утворення Всесвіту? А як же ви зрозумієте розвиток та існування елементарних ландшафтів, літосфери, атмосфери? Земля – цілісний організм, усі її частини народжувались разом з нею. Адже ви ніколи не припустите, що спочатку народилась людина, а потім її рука, голова?

Отже, будемо подумки «спостерігачами» творення Всесвіту, Землі, всіх її геосфер. А потім станемо в центрі свого довкілля і замислимося, які процеси зумовили його розвиток і стабільність.

Практична робота 1.

Готуємось до вивчення геосистем

1. Розгляньте різні види карт, запропоновані вчителем. Як ці карти відрізняються за масштабом? Яке призначення розглянутих карт?

2. Визначте координати своєї місцевості на фізичній карті області, України, інших картах. На якій карті вдалось це зробити найточніше? Чому?

3. Визначте по обраній вами карті розміри найближчої до вашого населеного пункту водойми. Які її розміри виявили ваші товариші? Чи однакові у всіх учнів результати? Аргументуйте вимірювання.

4. Розгляньте запропоновані вчителем плани місцевості вашого довкілля. Визначте по пам'яті відстані, розміри ділянок, які запропонує вчитель. Перевірте свої результати за планами місцевості. Хто з учнів виявився «допущеним» до вивчення геосистем в першу чергу?

5. Пограйте в гру: «Знайди моє місто за координатами». Розгляньте карту України і виберіть будь-які три міста чи населених пункти. Визначте їх координати. Напишіть координати міста на дошці чи в зошиті. Хто першим знайде три «невідомі» населені пункти, той одержить звання «географ-природодослідника» (і, звичайно, оцінку).

Запитання та завдання

1. Чому геосистеми вивчаються в передостанньому розділі курсу? 2. Чим, на вашу думку, вони відрізняються від систем неживої природи і живих систем? 3. Якими методами будете користуватись під час вивчення геосистем? 4. Що таке картографія? Чи є у вас вдома карта місцевості? Як ви нею користуєтесь?

§8. Про утворення Всесвіту, Сонячної системи та Землі

Важко уявити собі, як відбувся Великий вибух і утворився Всесвіт, який ми спостерігаємо і творіннями якого ми є. З моменту утворення Всесвіту пройшло дуже багато часу. Спробуємо уявити, що події, які відбулися з Всесвітом за 20 мільярдів років, пройшли за три дні. Тоді нам вистачить одного уроку, щоб розглянути основні віхи розвитку Всесвіту.

Нехай Великий вибух відбувся три дні тому об 11 годині ранку. Речовина, яка вибухнула, до цих пір летить у просторі і не може зупинитися. Якщо ми подивимось на інші галактики, то побачимо, що вони розлітаються від нас. Чим далі вони від нас, тим їхня швидкість більша. Розрахунки показують, що вони виникли в одному місці 20 мільярдів років тому (3 доби тому за уявним часом). Спершу величезна маса матерії була стиснута до такої густини, яку дозволяли ядра атомів. Один кубічний сантиметр цієї первісної матерії мав масу біля 250 тонн. Тиск цієї матерії був таким, що вона вибухнула приблизно за секунду (за справжнім, а не за уявним часом).

За нашим виміром часу половину першої доби простір був насичений частинками з величезною енергією так, що світився як вогонь. Наприкінці першої половини доби матерія розліталась далі і далі, Всесвіт занурився в морок. З тих пір темні тіла – космічний пил, метеори, комети, всякі уламки – переважають над тими, що світяться.

У другій половині доби потік частинок розсіявся до величезної газової хмари, частинки якої рухались неупорядковано. Під дією притягання між ними утворювались скупчення, які ущільнювались. Одним із них було наше Сонце...

При ущільненні скупчення, що дало початок Сонцю, спочатку утворилось більш щільне гаряче ядро. Потім унаслідок нестійкості ядра в його екваторіальній площині виділилась деяка кількість речовини, з якої сформувався диск з газу і пилу. Речовина, що продовжувала падати на диск унаслідок притягання до нього, спричиняла його розростання до розмірів сучасної Сонячної системи.

Ядро, стиснувшись, перетворилось у Сонце. Диск розпався на велику кількість пилових згущень. Згущення об'єднувались при зіткненнях, перетворюючись у тверді тіла розмірами близько 10 км. З цих тіл унаслідок всесвітнього тяжіння утворювались тіла більшої маси. Великі тіла притягували до себе тіла менших розмірів і утримували їх.

Нарешті залишилось лише 9 великих планет (пригадайте їх), які перебували на такій відстані, що їх рух залишався стійким протягом мільярдів років. Однією з цих планет була Земля... В зоні Землі процес об'єднання тіл в планету тривав близько 100 мільйонів років.

Тіло нашої майбутньої планети перебувало у вигляді твердих холодних частинок. Навіть гази були у твердому стані (у вигляді кристалів).

Сонце і планети мають форму куль, трохи сплюснутих обертанням. Планети набували сферичної форми під дією притягання власної маси до центру. Тверда речовина невеликого астероїда може мати будь-яку форму. Але якщо його маса перейде деяку межу, то притягання до центра тяжіння стане таким великим, що виступаючі його частини будуть обламуватись під дією власної ваги, наближаючи його форму до форми кулі.

Задумаємось, який закон діє при утворенні планети? Той, який обумовлює протікання самочинних процесів, тобто закон мінімуму потенціальної енергії. Частини планети займають по відношенню до центра такий стан, щоб їх потенціальна енергія була мінімальна. Це можливо при кулястій формі планети.

Від притягання до центра планети залежить висота її гір. Розрахунки показують, що на Землі максимальна висота гір може бути не більше 11 км, на Венері – 13 км, на Марсі –30 км і т.д. А ось дані про найвищі точки планет: на

Землі гора Еверест має висоту 9 км, на Венері вулкан Максвелла – 12 км, на Марсі вулкани Арсія і Олімп – 27 і 24 км.

Утворення Всесвіту вчені пов'язують з Великим вибухом. Сонячна система, Земля утворились з газопилової туманності, в якій були хімічні елементи, що зустрічаються в тілі Сонця і планет. Формування зірок і планет підлягало законам спрямованості самочинних процесів.

Запитання та завдання

1. Чи можете ви назвати закони, спільні для утворення атома і Всесвіту? 2. Які є припущення про утворення Сонячної системи? 3. Які сили відігравали роль в утворенні планет Сонячної системи? 4. Який закон «керував» формуванням планет?

§9. 3 історії Землі

На початку свого утворення наша планета була холодна і німа. Надра планети почали розігріватись унаслідок виділення теплоти при радіоактивному розпаді речовини. Почалось плавлення речовини планети, формування її структури. Metали утворили ядро, оксиди металів – мантію і кору, вода – гідросферу, гази – атмосферу.

Прослідкуємо історію формування життя на Землі, користуючись виміром часу згідно попереднього параграфа.

Всю другу добу (за уявним часом) Земля була мертва, на ній не було життя. Тільки непривітні голі скелі, вулкани, з яких виходить лава. Сонце світило, але жоден живий організм не відчував його світла.

Проте загальні закони процесів діяли неухильно – з частинок, які невпорядковано рухались, утворювались все більш складні структури: органічні молекули, протоклітини – перші ознаки життя. Вони з'явилися у першій половині третьої доби. Нічого цікавого – крихітні шматочки слизу.

Вчора від півдня до вечора життя на Землі залишалось мікроскопічним. Сьогодні вдосвіта з'явилися перші живі організми. Лепторикс – один з них. Він становив собою мікроскопічний живий клубочок, назва якого грецькою мовою означає «тонка волосина». Цей організм мав здатність виділяти з солей заліза крупинки чистого заліза. Він розмножився у такій кількості, що призвів до створення покладів залізної руди.

Разом із розвитком літосфери, гідросфери, атмосфери розвивалось і життя, множились і ускладнювались його форми.

Ви знаєте п'ять царств природи. Кожне з них охоплює незорю для однієї людини множину організмів. А колись (мільярди років тому) на Землі були лише прокариоти (від грецького «до» та «ядро»). *Прокариоти* – доядерні організми, клітини яких не мають обмежених мембраною ядер. До прокариотів відносять бактерії, синьо-зелені водорості.

Непривабливими були ландшафти нашої Землі в ту пору. Але ці організми могли жити в найжахливіших умовах: в «киплячому» океані – при дуже високій температурі, у вулканах, при відсутності озонового шару – високій радіації. Прокариоти були «безсмертними».

З часом створилися умови для існування більш складних організмів, і вони з'явилися на Землі. Це були еукаріоти (з грецької «від» та «ядро») – організми, ядра клітин яких мають оболонку, що відділяє їх від цитоплазми клітини.

Це були одноклітинні організми. Кожна клітина – організм. Хоч він і найпростіший, але ви вже знаєте, який він складний, порівнюючи, наприклад, з кристалом або іншою системою неживої природи.

Основна мета організму – зберегти свою стабільність, своє існування. Еукаріоти завоювали Землю. Це була грандіозна перебудова біосфери. В атмосфері з'явилося більше кисню, вона стала придатною для більшої різноманітності організмів.

Природа не знає, що гірше і що краще. В ній відбувається процес самоорганізації матерії. В результаті виникає багато різноманітних форм життя,

ускладнюється їх структура. Ці форми безперервно змінюються. Виживають найбільш пристосовані до умов середовища.

А як же бути зі смертністю? Природа знайшла, як зберігати системи живої природи. Від смертних організмів народжуються їм подібні, які успадковують їх риси. Нове покоління може мати і такі риси, яких не було у попередніх поколінь, краще пристосуватись до умов середовища.

За уявним часом сьогодні до семи годин ранку в океані з'явилися перші риби. У половині восьмого на суші з'явилися перші рослини. До восьмої години ранку вже існували земноводні. На Землі стало тепло. Розкішні зарості папороті виникали і гинули, створюючи поклади вугілля. Почали з'являтися і розмножуватись комахи. Вони були великих розмірів. У деяких бабок крила були розміром до двох метрів. На Землі знову стало холодно. Частина земноводних повернулася до води, частина навчилася відкладати яйця на землі. Це був час ящурів.

Годину тому (теж за уявним часом) Землю населили трави, квіткові рослини, ссавці. А хвилину тому серед людиноподібних мавп з'явилися істоти, що вміли користуватись виготовленими власноручно знаряддями праці і знали, що їх життя закінчиться смертю. Вони дали початок людству.

Ще раз задумайтесь про походження нашої Землі і всіх її сфер. Ви неодмінно прийдете до висновку, що всі вони формувались у взаємозв'язку і взаємодії, роз'єднати їх можна тільки подумки. Проте для вивчення ми будемо виділяти кожен з сфер Землі: *літосферу, атмосферу, гідросферу, біосферу*.

Спостерігаючи сфери Землі, ми побуваємо на її певних ділянках, що нас приваблять. Вибирати їх будемо на Поліссі, в Карпатах, а при бажанні – і в Японії чи на островах Тихого океану.

Запитання та завдання

1. Чи могли б ви назвати найбільш важливі, на вашу думку, етапи розвитку Землі до появи життя? 2. Які етапи розвитку життя вам здаються найважливішими? 3. Яка роль доорганізованих форм життя в біосфері? 4. Як вид досягає

«безсмертя» в існуванні живих систем? 5. Що ви читали в науково-фантастичній літературі про розвиток життя на Землі? Розкажіть про це товаришам на перерві або після уроків. 6. Чи могли б ви намалювати картини утворення Землі, виникнення життя? Подібні картини малював відомий литовський художник М. Чюрльоніс.

§10. Ревізія і поглиблення знань про Землю

Перш ніж вивчати Землю як систему, перевірте самого себе, свого сусіда за партою (а він вас) відносно тих знань, які ви вже маєте з курсу «Довкілля-5».

Спробуйте кожен для себе відповісти на такі запитання:

1. Яке місце займає Земля в Сонячній системі?
2. Яка її віддаль від Сонця?
3. За який час вона робить один оберт навколо Сонця?
4. Що собою становить Земля як система (з яких оболонок вона складається)?
5. Які зовнішні і внутрішні зв'язки геоболонок Землі як системи ви можете назвати? Яким загальним законам природи вони підлягають?
6. Яку структуру має Земля як система?

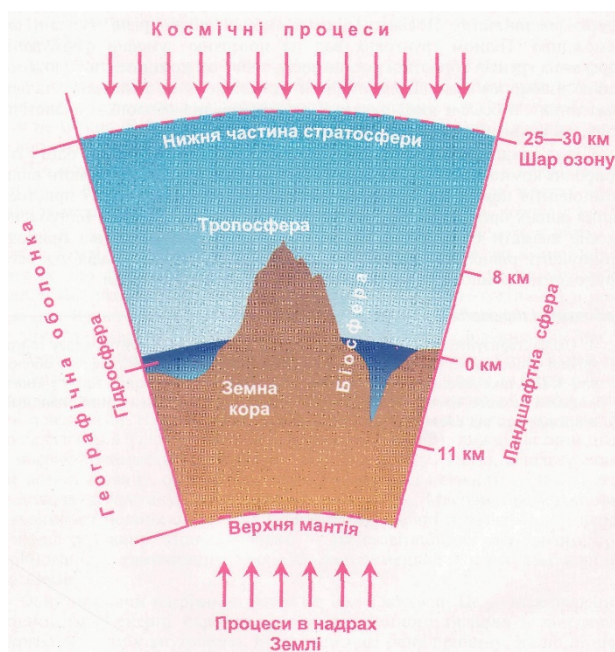
Чи важко вам встановити внутрішні зв'язки географічної оболонки? Подумайте над таким запитанням: «Що буде з оболонками Землі, якщо атмосферний тиск різко зменшиться?»

Атмосферний тиск створюється шаром повітря навколо Землі. Від зміни тиску залежить температура кипіння води. Як зміниться стан гідросфери, якщо різко зменшиться атмосферний тиск? Вода зможе кипіти при температурі 20 °С і нижчій. Це буде супроводжуватись інтенсивним її випаровуванням. Вода річок,

озер, морів перетвориться на пару... Що буде з гідросферою? Як зміниться її маса? Чи можливе таке явище?

Ви розглянули приклад взаємозв'язку між оболонками Землі, взявши за основу зміну атмосферного тиску. Можете також розглядати зміни в залежності від температури.

Разом із вчителем підведіть підсумки своїх знань про будову Землі та її оболонки. Використайте *мал. 3*.



Мал. 3. Розріз географічної оболонки Землі

Земля як система у вертикальному розрізі складається з підсистем – *геосфер*, або *оболонки*. Кожна з геосфер відрізняється за агрегатним станом, фізичними властивостями та хімічним складом. Центральною геосферою є *ядро* Землі, розжарене до температури 5000–6000 °С. Внутрішня частина ядра перебуває у твердому стані, а зовнішня – у рідкому. Другою геосферою є *мантия* Землі, яка перебуває в основному в твердому стані. Над мантиєю розташована третя, верхня геосфера «твердої» Землі – *земна кора*. Верхня частина мантиї і земна кора, які мають велику міцність, утворюють *літосферу* – тверду оболонку Землі, товщиною від 50 до 200 км. Літосфера (від грецького «літос» – камінь) – «кам'яна твердь», на якій розташовані водойми, ростуть ліси і луки,

переміщуються люди і тварини. Земна твердь має «обличчя» – рельєф. Підвищені частини її утворюють материки, острови, в западинах розташовані води морів і океанів.

Води Землі утворюють четверту її оболонку – *гідросферу*.

П'ята, повітряна (газова) оболонка Землі, називається *атмосферою*. Ті частини оболонок Землі, що містять живі організми, складають біосферу Землі.

Земля являє собою складну систему, де географічна оболонка є найбільшою підсистемою. В межах географічної оболонки проникають одна в одну і взаємодіють верхня частина літосфери (земна кора), нижня частина атмосфери, гідросфера, біосфера. Географічна оболонка – цілісна система, яка виникла і розвивалась унаслідок чисельних взаємозв'язків між вказаними геосферами. Географічну оболонку вивчає *фізична географія*, яка користується методами фізики, хімії, біології. Ось чому ви будете її вивчати після ознайомлення з основами фізичних, хімічних, біологічних знань. Літосферу нашої планети вивчає наука *геологія*.

В межах невеликих територій кожній геосфері відповідає природний географічний компонент (земній корі – гірські породи і рельєф; гідросфері – води; атмосфері – приземний шар повітря; біосфері – царства живої природи). З географічними компонентами ви познайомились в 5-му класі.

З однією територією, як правило, бувають пов'язані всі названі природні географічні компоненти. Вони в межах цієї території обов'язково взаємопов'язані, взаємодіють між собою, взаємно впливають один на одного. Результатом такого взаємозв'язку є *ландшафт*. Утворення ландшафту зумовлене закономірним сполученням на певній території природних компонентів: гірських порід, приземного шару повітря, поверхневих і підземних вод, ґрунтів, угруповань живих організмів.

Ландшафти бувають різних розмірів: від найбільших, наприклад материки, до найменших – елементарних ландшафтів. Елементарний ландшафт – це найпростіший і найменший ландшафт, що характеризується найбільшою однорідністю природних компонентів. Прикладом елементарного ландшафту

може бути невелике болото з торф'яними ґрунтами, осоковою рослинністю. Поділити його на менші якісно різні частини вже неможливо. Підйом ґрунтових вод на поверхню зумовив формування торф'яних ґрунтів і болотної рослинності, тобто всі компоненти болота між собою взаємопов'язані. Елементарний ландшафт – це неподільна цілісна «частинка», з безлічі яких складається географічна оболонка, аналогічно тому, як із клітин складаються живі організми.

Склад ландшафтів і біогеоценозів однаковий, до них входять одні і ті ж природні компоненти. Але при розгляданні біогеоценозів вивчають вплив компонентів неживої природи на компоненти живої природи і пристосування живих організмів до умов навколишнього середовища. Біогеоценоз можна вважати біоцентричним комплексом. У ландшафті всі природні компоненти рівноцінні, розглядаються взаємозв'язки і взаємодія між всіма природними компонентами, як живої, так і неживої природи.

Запитання та завдання

1. Охарактеризуйте будову Землі як системи. 2. Охарактеризуйте будову географічної оболонки як системи. 3. Якими методами вивчають географічну оболонку? 4. Що таке ландшафт? 5. Які приклади елементарних ландшафтів у своєму докільлі можете навести? 6. Чим, на вашу думку, елементарний ландшафт відрізняється від елементарного біогеоценозу?

§11. Фізико-географічні закономірності в ПНКС

(за О.М. Мащенко)

Невід'ємною складовою природничо-наукової картини світу, образу природи учня є система знань про природу Землі, що формується під час вивчення географічного модуля в курсі природознавства. Система фізико-географічних знань включається до ПНКС на основі загальних закономірностей природи – збереження, спрямованості до рівноважного стану та періодичності

процесів у природі. Усі фізико-географічні об'єкти, процеси та явища підлягають дії вказаних закономірностей, що знаходять свій прояв і конкретизуються в умовах планети Земля у формі специфічних географічних закономірностей.

До загальних географічних закономірностей, що поширюють свою дію на весь обшир нашої планети, відносять: цілісність, кругообіги речовини та енергії, ритмічність, дискретність, зональність, азонність, полярну асиметрію, безперервність та нерівномірність розвитку.

Кожна з указаних специфічних закономірностей є своєрідною інтерпретацією дії однієї або кількох загальних закономірностей природи – збереження, спрямованості, періодичності в глобальному середовищі існування людства – географічній оболонці. Розглянемо зв'язок фізико-географічних закономірностей із загальними закономірностями природи.

Цілісність географічної оболонки. Закономірність збереження виражається цілісністю географічної оболонки. Енергія та речовина, що надходить в останню, не зникає, а зберігається та перетворюється у послідовних ланцюжках природних процесів. Сукупність цих процесів забезпечує тісний взаємозв'язок та взаємодію природних компонентів та геосфер. Таким чином, із останніх утворюється єдина глобальна геосистема – географічна оболонка, що характеризується, перш за все, цілісністю. Вказана закономірність проявляється у тому, що зміна одного природного компонента викликає зміни усіх інших і геосистеми в цілому. Зміни, що відбуваються в одній частині географічної оболонки, обов'язково відображаються більшою чи меншою мірою в інших її частинах.

Колообіги речовини та спрямованість процесів у географічній оболонці. Географічна оболонка – цілісна система, пов'язана наскрізними потоками перетворення речовини та енергії. Танення льодовиків десь у Гренландії чи Антарктиді рано чи пізно полишає свій слід у глибині континентів, передаючись туди через екзогенні процеси рельєфоутворення, зміну кліматичних умов тощо. Наслідки будуть і в тропічних морях, де корали наросуванням вгору своїх споруд намагаються наздогнати рівень океану, що

піднімається. Закономірності збереження в природі і, відповідно, закономірності цілісності географічної оболонки реалізуються в процесах кругообігу речовини та енергії на Землі. Збереження речовини при її обмеженому об'ємі на Землі та ефективне використання відносно сталої та порівняно невеликої кількості енергії, що надходить на нашу планету, забезпечується різноманітними кругообігами. Роль останніх у підтриманні «енергетичного бюджету» та забезпеченості збалансованості «економіки» природи Землі колосальна за масштабами і виключна за значенням. Тому в шкільному курсі географії потрібно пояснювати цілісність географічної оболонки та взаємозв'язки геосистем у її складі на підґрунті кругообігів речовини та перетворення енергії. До наскрізних універсальних кругообігів, що зв'язують між собою усі геосфери, належать: кругообіг води у природі та біогеохімічні кругообіги. Кругообіги в геосферах: циркуляція океанічних вод, циркуляція атмосфери та кругообіги гірських порід, що забезпечує внутрішню цілісність геосфер та енергетичні зв'язки між ними.

Всі кругообіги в географічній оболонці – послідовні ланцюги перетворення речовин та енергії, що надходить із надр (ендогенні джерела) та з Космосу (екзогенні джерела).

Обидва джерела є зовнішніми відносно географічної оболонки як глобальної геосистеми. Відповідно дія загальної закономірності збереження у ній описується першим та другим началами термодинаміки. Перше начало характеризує зміну енергії системи за рахунок надходження зовнішньої енергії. Енергія, що надходить до системи, дорівнює приросту внутрішньої енергії системи та роботі, що здійснена системою.

Циркуляція атмосфери

Циркуляція атмосфери відбувається за рахунок перетворення сонячної енергії у внутрішню (теплову) енергію земної поверхні, в свою чергу, що частково переходить у механічну енергію переміщень повітря та води. У кінцевому результаті на це витрачається лише 1-2% сонячної енергії, що одержує

Земля. Вказані перетворення здійснюються під час роботи «географічних теплових машин».

Друге начало термодинаміки визначає взаємодію тіл за рахунок обміну внутрішньою енергією; якщо два тіла (дві системи), що мають різну температуру, привести до взаємодії, то утворюється нова система, у якій виникає потік тепла, спрямований від тіла з вищою температурою до тіла з нижчою температурою.

Циркуляція атмосфери та океанічних вод відбувається внаслідок неоднакового нагрівання ділянок суходолу, поверхні океану, повітря у тропосфері та наступної взаємодії між ними як тілами (системами), що мають різну температуру.

Географічна теплова машина – це термодинамічна система, в якій через різницю температур нагрівача і холодильника відбувається рух теплоносія, тобто здійснюється механічна робота й теплоперенесення від нагрівача до холодильника.

У курсі фізики ви вивчали теплові двигуни та пояснювали їхню дію на основі закону збереження енергії та незворотності процесів. Географічні «теплові машини» доцільно розглядати як різновид класичних фізичних, із акцентування уваги на низці відмінностей, обумовлених багатofакторністю впливів і взаємодії в геосистемах.

Це такі відмінності:

а) поєднання різних форм перенесення енергії: механічної (утворення дрейфових течій внаслідок передачі руху повітря водній поверхні); внутрішньої енергії водяної пари, що вивільняється при конденсації або поглинається при випаровуванні; внутрішньої енергії, яка передається в умовах теплової машини.

б) побічний, поряд із безпосереднім, вплив різниці температур на перенесення енергії (полягає в тому, що різниця діє на деякі інші процеси, а через це – на теплоперенос). Варіантом такого побічного впливу є вплив нагрівання (охолодження) через розподіл густини повітря, води, внаслідок чого виникає різниця (градієнт) тиску, що зумовлює механічний рух повітряних та водних мас.

в) циклічність рухів через вплив сили Коріоліса на перенесення теплоносія. Внаслідок цієї сили напрямок руху теплоносія значно відхиляється від напрямку градієнту тиску і не забезпечує зменшення різниці тиску і температури аж до вирівнювання значень теплоносія і холодильника. Тому рух теплоносія не припиняється, а періодично повторюється у системах атмосферної та океанічної циркуляції.

Висновки. Фізико-географічні знання включаються в ПНКС за допомогою розкриття їх зв'язку на основі загальних закономірностей природи – збереження, спрямованості самочинних процесів до рівноважного стану, періодичності процесів у природі.

Запитання і завдання

1. Поясніть причини циркуляції атмосфери на основі загальних закономірностей природи.
2. Поясніть цілісність географічної оболонки на основі загальних закономірностей природи.
3. Як може порушити цілісність географічної оболонки? Які можуть бути наслідки її порушення?

§12. Ще про географічні теплові машини

Виділяються різні типи географічних теплових машин: першого роду – термодинамічна система «екватор-полюси». Різниця температур підтримуються за рахунок нерівномірності надходження сонячної енергії на специфічну поверхню Землі. Відмінності у нагріванні материків та океанів призводять до термічної взаємодії між ними, що проявляється у вигляді географічної теплової машини другого роду. Вона обумовлює бризову та мусонну циркуляцію.

Відмінності у відбивальній здатності невеликих ділянок земної поверхні (водойма-берег, льодовик і сусідня ділянка без криги, ліс і рілля тощо)

обумовлюють утворення локальних (місцевих) вітрів як результат дії теплової машини третього роду.

Колообіги океанічних течій. Циркуляція води в океанах представлена, перш за все, кільцями поверхневих океанічних течій. Нагрівання води океану від сонячних променів, тобто згори, обумовлює гідростатичну стійкість (нагріті поверхневі шари легші, ніж глибинні, тому що мають меншу густину). Внаслідок цього вертикальний рух в океані виражений слабше, ніж в атмосфері.

Поверхневі течії утворюють кільця океанічної циркуляції – циклональні і антициклональні. Рух води в них спричиняється тертям об поверхню води повітряних мас, що переміщуються в циклонах та антициклонах.

Рух води в Океані обумовлюється не лише закономірністю збереження та перетворення речовини та енергії (зокрема, передачею енергії механічних рухів атмосферної циркуляції). Велике значення для утворення замкнутих кілець течій має дія закономірності спрямованості природних процесів до рівноважного стану.

Нагін води фрикційними (дрейфовими та вітровими) течіями, притік води за рахунок річкового стоку та атмосферних опадів обумовлюють підвищення рівня Океану на деяких ділянках, у результаті чого порушується рівновага водної поверхні.

Під впливом сили тяжіння вода рухається від вищого рівня до нижчого і прагне відновити рівновагу, утворюючи стокові течії компенсаційного характеру. До таких течій відносяться, зокрема, пасатні протитечії, Флоридська течія.

Води, що мають більшу густину (внаслідок нижчої температури або більшої солоності), опускаються, згідно з дією закономірності спрямованості, до рівноважного стану. На їх місце переміщується вода із сусідніх ділянок, виникають густинні течії у поверхневих шарах із горизонтальним рухом води.

Світовий кругообіг води. З усіх кругообігів кругообіг води має глобальні масштаби, охоплює усі геосфери і об'єднує їх у цілісність – географічну оболонку. Кругообіг води – прояв, у першу чергу, закономірності збереження. У

процесі кругообігу зберігається весь об'єм вод гідросфери, що є сталим для планети Земля (близько 1,5 млрд. км³). Води суходолу зберігаються за рахунок кругообігу води. За відсутності останнього уся вода Землі сконцентрувалася б у Світовому океані, а поверхня суходолу, літосфера та атмосфера були б абсолютно сухими (не існувало б ні поверхневих, ні підземних вод).

Процес кругообігу води відбувається за рахунок постійного перетворення сонячної та внутрішньої енергії Землі.

У малому колі (для Океану) процес випаровування відбувається за рахунок перетворення теплової енергії поверхневих вод океану у внутрішню енергію молекул водяної пари та механічну енергію їх руху в атмосфері. При конденсації водяної пари її внутрішня енергія вивільняється в навколишнє повітря і переходить у теплову енергію останнього. При випаданні атмосферних опадів на поверхню океану енергія, затрачена на випаровування, повертається до нього при конденсації.

Прояв закономірності збереження полягає в тому, що у процесах кругообігу відбувається самоочищення природних вод, тобто збереження не лише їх кількості, а й якості. Зокрема, найбільшим світовим фільтром є Світовий океан. Людина повертає величезну масу забруднених вод у природу. Уже зараз є регіони, де водоспоживання в кілька разів перевищує поверхневий стік (за рахунок багаторазового водоспоживання). Для розбавлення стічних вод витрачається приблизно 40% усіх світових ресурсів стоку. Таким чином, у багатьох регіонах перевищені природні можливості самоочищення вод, а в глобальному масштабі вичерпує очищувальні можливості й Світовий океан. Отже, людина у своєму побуті та господарській діяльності повинна враховувати та використовувати механізми самоочищення вод, тобто збереження їх якості в процесі Світового кругообігу.

У кругообігу води проявляється дія закономірності спрямованості природних процесів до рівноважного стану. Так, рух атмосферних опадів відбувається лише вниз, до земної поверхні і стік іде до нижчих гіпсометричних

рівнів, аж до рівня поверхні Світового океану, під дією сили тяжіння до найбільш рівноважного стану.

Отже, глибоке розуміння суті фізико-географічних явищ, пояснення реальних механізмів, протікання фізико-географічних процесів можливе лише на підґрунті знань про їх послідовність, взаємні переходи, поєднання та взаємообумовленість у кругообігах речовини та енергії. Таким чином, процеси в атмосфері пропонуємо розглядати в контексті загальної циркуляції атмосфери та кругообігу води, розвиток літосфери – через постійність кругообігу гірських порід і повторюваність геоморфологічних циклів формування рельєфу.

Висновки. Географічні теплові машини функціонують за рахунок нерівномірності надходження сонячної енергії на специфічну поверхню Землі. Можна вказати різні типи географічних теплових машин.

Запитання і завдання

1. Охарактеризуйте кожний з трьох типів теплових географічних машин. Вкажіть по можливості прояв їх дії, зокрема, у вашому докільлі.
2. Які загальні закономірності природи проявляються в колообігах води?
3. Охарактеризуйте Світовий океан як фільтр.

§13. Ритмічність як вираз закономірності періодичності природних процесів.

Географічна закономірність *ритмічності* явищ є прямим і безпосереднім виявом загальної закономірності періодичності процесів у природі. В існуючих шкільних програмах та підручниках з географії (як вітчизняних, так і зарубіжних), переважає статичне відображення природи Землі, майже не дається уявлення про закономірну повторюваність явищ у географічній оболонці. Виняток складає лише добова та сезонна ритміка. Ми пропонуємо ширше використовувати впорядковуючий, пояснюючий та прогностичний потенціал

закономірності ритмічності для створення адекватного уявлення про те, що способом існування в часі і просторі географічної оболонки в цілому та кожної її частини зокрема є кругообіги речовини та енергії, що періодично повторюються, а формою існування географічної оболонки у часі є взаємозв'язана повторюваність різноманітних явищ і процесів. Слід уявляти не «застиглу» картину земного світу, а знайомитись із закономірностями та механізмами реального, тобто ритмічного протікання процесів у географічній оболонці.

Ритми відрізняються за походженням і тривалістю. Значна частина ритмів пояснюється нерівномірністю походження сонячної радіації на нашу планету у зв'язку з періодичними змінами її положення відносно Сонця. Сюди належать річний ритм тривалістю 21 000 років та 40 000 років. Перша з них зумовлена зміною положення осі обертання Землі під нерівномірним притягненням її різних частин Сонцем. Друга спричинена зміною кута нахилу екліптики до небесного екватора (від $24^{\circ}36'$ до $21^{\circ}58'$). Ритм 92 000 років обумовлюється зміною ексцентриситету земної орбіти (від 0 до 0,068). Кожен з указаних ритмів проявляється у періодичній зміні кількості сонячної радіації, що надходить на Землю, і обумовлює періоди похолодань і потеплінь на Землі.

Низка земних ритмів пов'язана із зміною сонячної активності. Вони мають різну тривалість (2-3 роки, 5-6 років, 11 років, 22-23 роки, 80-90 років). При цьому загальна кількість сонячної радіації не змінюється, але, зокрема, значно коливається величина ультрафіолетового випромінювання, яка при максимумі сонячної активності в 20 разів більша, ніж при її мінімумі.

Зміни припливоутворюючих сил (або нерівномірність сил взаємного притягання Землі, Сонця і Місяця) породжують низку ритмів різної тривалості (2 роки, 8-9 років, 18-19 років, 111 років, 1800-1900 років).

Обертання Землі разом із усією Сонячною системою навколо центру Галактики – галактичний рік – обумовлює так званий геологічний цикл тривалістю 200-220 млн. років, із яких пов'язують також і найтриваліші епохи

кліматичних змін, зледенінь і так званих «хвиль життя» розвитку органічного світу.

Достатньою основою такого моделювання є фактологічний матеріал у підручнику, атласах, додатковій літературі про особливості природних компонентів, а також узагальнене уявлення про сутність взаємозв'язків у природних зонах.

Знайомлячи учнів з попереднім уявленням про ритмічність як загальну закономірність географічної оболонки, перш за все, треба наголосити, що цілісність останньої повністю виключає можливість існування ізольованої ритміки окремих компонентів, що не впливає на інші компоненти. Ритмічність явищ – це форма існування у часі географічної оболонки як цілісної системи.

Різноманітні впливи на географічну оболонку відбуваються через два так звані «входи» у неї, як у геосистему. Перший «вхід» – це атмосферне повітря (з кліматичними показниками тропосфери), через який відбуваються зміни у надходженні та розподілі сонячної радіації. Другим «входом» є земна кора з властивим їй рельєфом. Через цей «вхід» надходить внутрішня енергія Землі, що характеризується періодичними змінами інтенсивності, нерівномірністю розподілу стосовно різних ділянок земної поверхні та певними ритмами регіонального перерозподілу в часі. Тому послідовність поширення в географічній оболонці ритмів, обумовлених космічними чи телуричними причинами, починається або із ритмів кліматичних змін, або із ритмів процесів рельєфоутворення. Ми пропонуємо саме таку логіку розгляду ритмічності в географічній оболонці.

Спочатку потрібно розглядати ритми кліматичних змін, а потім їхній вплив на періодичність процесів і явищ у гідросфері, органічному світі, ґрунтоутворенні. Складне переплетіння ритмів одного походження у вказаних геосферах та природних компонентах знаходить свій комплексний вираз у періодичних змінах природної зональності (наборі та поширенні природних зон). Проте в шкільному курсі фізичної географії материків і океанів, недоцільно заглиблюватись у детальний аналіз зміни природної зональності в історії

розвитку Землі. Достатньо наголосити на тому, що сучасна «картина» розподілу природних зон на Землі не завжди була такою і відповідає певним фазам кліматичної ритміки.

Скрізь на земній кулі клімат підлягає циклічним коливанням. Середня тривалість одного циклу біля 30-35 років. За цей час серія вологих і прохолодних років змінюється серією теплих і сухих. При цьому розмах коливань річних температур складає в середньому 1° , а атмосферних опадів – близько 25% їх середньої багаторічної величини.

Для допитливих.

Приклади кліматичного циклу 1800-1900 років, що охоплює і наш час:

1. V по XIV ст. – низький рівень Каспію, мала льодовитість Арктики, колонізація Ісландії і Гренландії, відступ льодовиків. 2. З кінця XIV до кінця XVIII ст. та початку XIX ст. – збільшення льодовитості Арктики, наступ льодовиків або «малий льодовиковий період», погіршення клімату, крижана «блокада» Гренландії і загибель гренландських поселень, регресія Світового океану, високий рівень озер. 3. З другої половини XIX ст. – відступ гірських льодовиків, зниження рівня рівнинних озер, зменшення льодовитості Арктики, трансгресія Світового океану.

При цьому учні можуть співвіднести зміни кліматичних умов із різними історичними періодами в житті суспільства (зокрема за період з 4000 р. до н.е. до 2000 р. до н.е.)

1. Затоплення міста Уру та інших поселень в Месопотамії (відображено в легендах про всесвітній потоп), розвиток вологих саван у Сахарі.

2. Зміщення природних зон в Євразії на північ (на 3°), зменшення площі озер, висихання трофяників у Європі. Висихання Сахари.

3. Розвиток гірського зледеніння. Наступ лісу на степ. Трансгресія світового Океану. Пасовищне скотарство у Сахарі.

4. Зміщення природних зон у Євразії на північ. Зменшення площ гірського зледеніння, заселення гірських долин. Висихання Сахари.

5. Століття холодних (за літописами) зим та катастрофічних паводків у Прибалтиці. Розвиток гірського зледеніння. Ріка Оксус (Аму-Дар'я) замерзала на 5 місяців. Римляни перетнули остепнену Сахару на колісницях.

6. Зменшення льодовитості Арктики, освоєння норманами колоній в Ісландії (де тоді росли березняки) та Гренландії (де переважала пишна лучна рослинність, а на півдні зустрічалися ліси). Найнижчий рівень Каспію.

7. Посилення суворості клімату і льодовитості Арктики, «льодова блокада» нормандських поселень в Ісландії і Гренландії. Підняття рівня Каспію та висихання степових озер в Євразії. Розширення природних зон пустель, наступ Сахари на південь, на так званий Кахель.

Висновки. Циклічність – загальна закономірність географічної оболонки. Це поняття пов'язане із загальною закономірністю природи – періодичністю процесів у природі, за допомогою якої знання про циклічні процеси в географічній оболонці включаються в наукову картину світу.

Запитання і завдання.

1. Назвіть циклічні процеси в географічній оболонці.
2. Наведіть приклади «входів» впливу на географічну оболонку.
3. Охарактеризуйте циклічні коливання клімату.

§14. Зональність, азональність та полярна асиметрія як прояви закономірності збереження

Зональність – це результат збереження та перетворення сонячної енергії в умовах нашої планети. Азональність та полярна асиметрія – результат збереження та перетворення внутрішньої енергії Землі.

Закономірність полярної асиметрії. Загальне поняття про закономірність полярної асиметрії пропонуємо давати на початку курсу «Географія материків і океанів» в ряді інших загальних географічних закономірностей. Конкретні

прояви полярної асиметрії розглядаються стосовно геосфер (атмосфера, гідросфера) та природних зон.

Північна полярна напіввісь Землі довша за південну, тому що полярне стиснення північної півкулі менше, ніж південної і фігура Землі нагадує кардіоїдальний (серцевидний) еліпсоїд. Кардіоїдальність – наслідок нерівномірного розподілу речовини планети, зокрема в земній корі. Цей матеріал доцільно подати після основного змісту відповідного параграфа як додатковий (для допитливих тощо).

Наслідком нерівномірного розподілу земної речовини є асиметрія у співвідношенні суходолу та океану у північній та південній півкулях. Суходіл сконцентрований значною мірою у північній півкулі, де вона займає 39% усієї поверхні. У південній півкулі суходіл займає 19% площі. Можна говорити про існування північного материкового кільця у полярних, помірних та субтропічних широтах північної півкулі та південного океанічного кільця у відповідних широтах південної півкулі. Асиметричними є також полярні області: у північній півкулі – Північний Льодовитий океан, у південній – материк Антарктида. Асиметрія в розподілі водної та суходільної поверхонь є однією з основних причин, яка обумовлює своєрідну асиметрію кліматичних умов північної та південної півкуль. Зрозуміло, що цей матеріал розглядається в темі «Клімат Землі». Сутність кліматичної полярної асиметрії формулюється так: клімат північної півкулі тепліший і континентальніший, ніж південної.

Далі наводиться пояснення, яке об'єднує складний комплекс причин. Північна полярна область зайнята океаном, який зв'язаний з іншими океанами і одержує тепло внаслідок механічного перенесення течіями. Крім того, в зимовий період в субарктичних широтах посилюється циклонічна діяльність. Циклони приносять тепло в Арктику шляхом повітряної адвекції. А влітку кільце сусідніх розігрітих материків ще більше утеплює Арктику, яка сама по собі влітку має великі значення радіаційного балансу. Отже, полярні райони північної півкулі не дуже охолоджені в силу наведених раніше причин. У південній полярній області все навпаки. Потужний постійний льодовиковий покрив Антарктиди (на відміну

від океанічної криги Арктики, яка на значних площах існує лише в зимовий період), обумовлює від'ємні значення радіаційного балансу за рахунок великого (до 95%) альбедо та аномально великого ефективного випромінювання криги. До того ж Антарктида практично ізольована від надходження тепла із сусідніх, більш теплих районів. Вона оточена суцільним кільцем Течії Західних вітрів, яке не дає можливості океанічній адвекції тепла. Панування стаціонарних антициклонів над охолодженою Антарктидою обумовлює переважно стокові вітри, що дмуть із середини материка на периферію, практично виключаючи повітряну адвекцію тепла. Таким чином, Антарктида зберігає свій аномальний холод і охолоджує усю південну півкулю порівняно з більш віддаленою від неї північною.

Крім того, в «океанічній» південній півкулі на випаровування витрачається більше енергії (86% радіаційного балансу), ніж у «материковій» північній півкулі (77% радіаційного балансу). Тому у південній півкулі менше сонячної радіації залишається на нагрівання повітря і температури тут нижчі, порівняно з північною півкулею. До того ж випаровувана у південній півкулі водяна пара за рахунок перенесення повітря через екватор у зоні внутрішньотропічної конвергенції (зміщеної в північну півкулю, тобто асиметричної), конденсується в північній півкулі (5-10° пн.ш.) і там віддає в атмосферу тепло, забране із поверхні південної півкулі при випаровуванні.

Північна півкуля не лише тепліша, але й континентальніша, ніж південна. В результаті переважання суходолу північна півкуля влітку більше нагрівається, а взимку більше охолоджується, ніж південна. Тому річна амплітуда температури приземного шару повітря у північній півкулі складає 13°C, що у 2 рази більше за південну (6°C).

Відмінності кліматичних умов північної та південної півкуль разом із відмінностями розподілу суходолу та океану в них, спричиняють асиметрію в розподілі рослинного та тваринного світу, ґрунтів. Разом це знаходить своє комплексне відображення у певній асиметрії природних зон на Землі. У південній півкулі немає зони типових тундр. На островах в помірних та

субполярних широтах, де, за аналогією з північною півкулею, має бути тундра, простягається зона океанічних лук. Вічнозелені ліси Вогняної Землі, Нової Зеландії, Тасманії – це зовсім не те, що тайга і листопадні ліси північної півкулі. У південній півкулі відсутні також зони лісотундри, лісостепів і пустель помірного поясу. Жоден тип рослинності північного помірного та субполярного поясів не повторюються у їх південних аналогах.

У Антарктиді, на відміну від Арктики, немає наземних ссавців (наприклад, лисиць, мускусних биків), судинних рослин, значна (до 50 %) ендемічність мохів та лишайників. У південній півкулі відсутні двогорбі верблюди, яки, білі ведмеді, моржі, сімейства соснових і таксодієвих. А у північній півкулі не зустрічаються пінгвіни, лама, кондор, араукарії, нототонієві риби тощо.

Розглядати матеріал про полярну асиметрію природних зон слід після вивчення їх особливостей на підсумковому уроці до теми «Природні зони Землі» у 7 класі на підґрунті фактологічних знань про основні природні зони планети. Більш детальне з'ясування сутності відмінностей природної зональності вказаних півкуль доцільно проводити під час вивчення материків шляхом порівняння «спектру» природних зон материків північної та південної півкуль.

Розглянемо сутність та прояви закономірностей зональності та аazonальності, визначені географічною наукою. Саме це слугуватиме теоретичним підґрунтям для структурування змісту курсу географії материків та океанів та для пояснення особливостей просторового розподілу географічних процесів та явищ.

Закономірність зональності. Сутність закономірності зональності полягає в закономірній зміні природних компонентів і утворених ними природних комплексів по широті (від екватора до полюсів). Зональність обумовлюється збільшенням енергетичної основи усіх процесів у географічній оболонці – сонячної радіації – від полюсів до екватора.

Ступінь прояву зональності неоднакова для різних природних компонентів і розподіляється так: клімат – рослинність – тваринний світ – ґрунти – поверхневі

води – ґрунтові води – рельєф. Чітко виділяються поясні структури, що мають широтне простирання: пояси освітленості, кліматичні пояси, географічні пояси.

Останні визначаються величинами радіаційного балансу (ккал/см² рік), тобто залишкової сонячної радіації, яка продуктивно використовується у кожному географічному поясі та різноманітні процеси – випаровування, нагрівання, переміщення повітря і води, літогенезу, продукування біомаси, утворення ґрунту тощо. Географічні пояси мають наскрізний характер, розповсюджуються по широті і на суходолі, і на океанічну поверхню у зв'язку з аналогічним (кількісно) енергетичним базисом взаємодії природних компонентів.

У межах географічних поясів виділяються природні зони, обумовлені відмінностями у співвідношенні тепла і вологи, тобто гідротермічними умовами. Останні кількісно виражені K_R – радіаційним індексом сухості, де $K = R/L_r$, де R – радіаційний баланс; L_r – кількість тепла, необхідна для випаровування опадів. Закономірності просторового розміщення географічних поясів і природних зон відображаються періодичним законом географічної зональності (Григор'єва-Будико).

Закономірність азональності. Енергетичною основою азональних процесів у географічній оболонці є нерівномірний розподіл внутрішньої енергії Землі упродовж мезозойської та кайнозойської ер, коли формувалися основні риси сучасного рельєфу Землі.

Вихідне (структуроформує) вираження азональної диференціації полягає в розподілі: суходіл – океан. Внаслідок різних фізичних властивостей твердої поверхні й води (різна теплоємність і альbedo, необмежені запаси вологи в океані) над ними формуються різні підтипи повітряних мас (морські і континентальні). Виникає азональна циркуляція атмосфери.

Положення території в системі континентально-океанічної (азональної) атмосферної циркуляції стає одним із глобальних факторів диференціації географічної оболонки. В міру віддалення від океану вглиб материка, як правило, зменшується повторюваність морських повітряних мас, зростає

континентальність клімату, зменшується кількість опадів. На цій основі виділяються кліматичні області і змінюються природні зони. Цей матеріал використовується у курсі «Географія материків та океанів» для пояснення закономірностей поширення природних зон та у вступній темі перед вивченням особливостей природи окремих материків.

Висновки. Закономірності зональності та азональності взаємно доповнюють одна одну у фіксації та поясненні особливостей розміщення земних об'єктів та просторового розподілу географічних процесів та явищ.

Запитання та завдання.

1. Охарактеризуйте закономірність полярної асиметрії, наведіть приклади її прояву у довкіллі.
2. Охарактеризуйте прояви закономірності зональності в довкіллі людини.
3. Охарактеризуйте прояви закономірності азональності в довкіллі людини.

§15. Закономірність безперервності розвитку географічної оболонки як прояв загальних закономірностей спрямованості процесів у природі та їх періодичності

В процесі розвитку усі компоненти глобальної геосистеми приходять у відповідність між собою, тобто встановлюється рівновага. Внаслідок дії різних факторів, зокрема космічних, спочатку відбуваються зміни в одному з природних компонентів, рівновага в географічній оболонці порушується. Для відновлення рівноваги усі інші природні компоненти повинні змінитися так, щоб прийти у відповідність один із одним. Отже, розвиток географічної оболонки обумовлюється дією загального закону спрямованості природних процесів до рівноважного стану.

Розвиток – це незворотні, спрямовані зміни в географічній оболонці. Незворотність означає неможливість (нездатність) системи повертатися назад, у

стан, який вона вже пройшла в розвитку структури і основних (життєвоважливих) параметрів. Спрямованість полягає в набутті системою нових рис, тобто її подальше ускладнення. Інтегральна спрямованість – вектори (тренди) розвитку географічної оболонки – розростання платформених структур, збільшення об'єму гідросфери, зростання різноманітності органічного світу, ускладнення диференціації географічної оболонки на природні комплекси.

У розвитку географічної оболонки та літосферної сфери виділяють три основних етапи розвитку: абіогенний, біогенний, антропогенний.

У курсі географії материків і океанів необхідно розглядати генеральну спрямованість та коротку (узагальнену) історію розвитку географічної оболонки. Упущення цього аспекту характеристики нашого глобального довкілля формує спотворене уявлення про статичність, незмінність природи Землі. Це самодовільно (підсвідомо) призводитиме до неадекватної оцінки процесів у власному середовищі існування, яке, насправді, мінливий, складний системно організований світ.

Виходячи з найголовнішої закономірності – цілісності географічної оболонки, історію останньої потрібно розглядати в поєднанні змін кліматичних та геологічних, які, в свою чергу, обумовлюють зміни в гідросфері. Зрозуміло, що зміни неживої природи як середовища існування живих організмів, обумовлюють ритміку розвитку органічного світу. Останній, в свою чергу, справляє зворотний вплив на компоненти неживої природи. Саме в такому тісному взаємовпливі та взаємообумовленості природних компонентів і геосфер потрібно розглядати безперервний розвиток географічної оболонки.

Пояснення цілісності природи та загального зв'язку явищ у Всесвіті на підґрунті уявлень про цілісність географічної оболонки як земного довкілля людства

Уявлення про цілісність географічної оболонки необхідно поглиблювати і конкретизувати впродовж усього терміну вивчення фізичної географії у 5-8 класах. Можливості для цього надає різноманітність проявів цілісності:

1) підлягання дії спільних географічних закономірностей; 2) «вертикальні» зв'язки між природними компонентами; 3) «горизонтальні» зв'язки між геосистемами; 4) загальна спрямованість розвитку географічної оболонки та узгодженість динаміки геосистем у її складі; 5) «зовнішні» зв'язки географічної оболонки із космічними об'єктами та надрами Землі.

Розглянемо закономірність цілісності на прикладі загальної спрямованості розвитку географічної оболонки та узгодженості динаміки геосистем у її складі. Дуже яскраво закономірність цілісності можна простежити на прикладі періодів зледеніння. При похолоданнях, викликаних космічними причинами, зовнішніми по відношенню до географічної оболонки, послідовно відбуваються зміни у її різних частинах та в усіх геосферах. Утворюються величезні льодовикові покриви. Оскільки льодовики утворюються за рахунок вологи, що надходить з океану, консервація води в них викликає зниження рівня Світового океану. Загальна ж кількість води в гідросфері при цьому зберігається.

Зниження рівня Океану впливає на всю Землю – і безпосередньо, і опосередковано. Змінюються обриси і площа материків та островів. Деякі материки з'єднуються сухопутними перемичками, через які починають мігрувати, а, отже, перерозподілятися і змінювати свої ареали наземні рослини і тварини. Для поширення водних організмів такі перемички стають бар'єрами.

Опосередкований вплив полягає в тому, що зниження рівня Світового океану означає зниження базису ерозії. Внаслідок цього активізуються екзогенні процеси рельєфоутворення: водна ерозія, руйнівна діяльність льодовиків тощо. Відбувається зниження та інтенсивне розчленування земної поверхні. Для території України, наприклад, це означає розвиток ярів та річкових долин, знесення родючих шарів ґрунту, тобто погіршення умов життєдіяльності населення.

У теплі міжльодовикові періоди талі води льодовиків повертаються в океани, рівень останніх підвищується, виникають нові моря, розділяються материки, острови. Серед екзогенних процесів рельєфоутворення переважає акумуляція усіх видів, що призводить до вирівнювання рельєфу материків. Міграція наземної флори та фауни обмежується, а водних організмів – посилюється. Ростуть коралові споруди тощо.

Інтеграція фізичних, хімічних, біологічних та інших природничих знань при вивченні геосистем

Особливості природи Землі в цілому та її окремих регіонів доцільно розглядати на підґрунті геосистемної концепції, яка дає можливість створити адекватну об'єктивній реальності природничо-наукову картину світу з цілісним уявленням про безпосереднє довкілля людства на планеті Земля. Пошукувану цілісність можна забезпечити лише розглядаючи особливості природи Землі та її окремих регіонів на підґрунті геосистемної концепції. Повночленні геосистеми включають компоненти різної природи (живі, неживі, біокосні). Навіть для пояснення властивостей кожного окремого геокомпонента (води, повітря, гірських порід, ґрунту, живих організмів тощо) потрібно залучати природничі знання відповідної галузі. Щоб зрозуміти склад, будову і процеси в геосистемі, необхідно інтегрувати одночасно і фізичні, і хімічні, і біологічні знання з віднесенням їх до певного географічного об'єкту чи типу географічних утворень.

Основне застереження при цьому: уникнути можливої редукації комплексних географічних знань про земні об'єкти та фізико-географічні процеси до їх часткових складових фізичного, хімічного чи біологічного змісту. Наприклад, говорячи про геокомпонент «вода», потрібно мати на увазі не хімічно чисту воду (сполука H_2O), а складні розчини і зависі, утворені водою в геосистемі завдяки взаємодії з іншими геокомпонентами. Атмосферне повітря також потрібно розглядати не як стерильно чисту суміш газів, а як складну субстанцію, властивості якої залежать від вмісту води і твердих частинок (в т.ч.

біогенного походження). Так, вологе повітря відрізняється за своїми фізико-хімічними властивостями від сухого, а природні розчини – від хімічно чистої води.

Необхідно пам'ятати, що та чи інша особливість геосистеми з її чіткою хронологічною прив'язкою завжди визначається не одним чинником, а складним комплексом причин. Для пояснення відмінності термічного режиму північної і південної півкуль недостатньо порівняти фізично обумовлену різну відбивальну здатність їх поверхонь та різну теплоємність суходільної та водної поверхні. Потрібно вивести їх чітку географічну інтерпретацію, доповнивши особливостями атмосферної циркуляції у низьких широтах.

Фізико-географічні явища в докільлі учня. Забезпечення достатнього підґрунтя із об'єктивної реальності на основі власного ментального досвіду.

Учні (особливо молодшого і середнього шкільного віку) пізнають дійсність переважно синкретично (цілісно). Отже, поза навчанням, тобто довільно (без цілеспрямованої і спеціально організованої аналітичної мислинневої діяльності), школярі сприймають більшість явищ природи як фізико-географічні. Таке сприйняття обумовлюється онтологічною специфічністю географічного знання, чітко співвіднесеного із конкретними об'єктами дійсності, а також безпосереднім «побутовим» контактом кожного учня із географічними об'єктами, поєднання яких і складає його близьке докільля.

Більшість географічних об'єктів, процесів, прояви загальних географічних закономірностей можна розглядати на прикладі своєї місцевості, де вони доступні для спостереження і дослідження. Розвиток сучасних електронних ЗМІ, комп'ютерних і відеотехнологій дозволяє вирішити проблему наочного вивчення усіх, навіть найбільш віддалених від свого регіону частин Землі. Підсилює ефект об'єктивації ПНКС небачена раніше можливість мандрувати у сучасному глобалізованому світі з інтенсивним розвитком комунікацій.

Фізико-географічні процеси складаються із множини елементарних процесів фізичної, хімічної чи біологічної природи, проте пересічна людина не виділяє їх, а сприймає природне явище цілісно, наприклад, дощ, течія річки, смерч, болото, веселка, посуха. З'ясування фізичної, хімічної сутності спостережуваних комплексних явищ на Землі дає можливість об'єктивації знань відповідних навчальних дисциплін для встановлення їх істинності, без чого ПНКС не може бути сформована.

Комплексний підхід до пояснення екологічних проблем людства

Традиційно в географічних дисциплінах розглядається просторовий розподіл екологічних проблем, їх специфіка в різних геосферах, територіальна прив'язка до соціально-економічних регіонів, держав тощо. Не ставлячи під сумнів доцільність такого підходу для курсу загальної географії (6 кл.) та економіко-географічних дисциплін (9-10 клас), пропонуємо нові підходи для системи фізико-географічних дисциплін (6-8 класи), що вивчаються на підґрунті концепції цілісної природничої освіти.

Природні умови життєдіяльності людей та обумовлені останньою екологічні проблеми розглядаються у контексті особливостей природних зон як відносно однорідних геосистем. Мається на увазі такий вираз однорідності як однакове співвідношення тепла та вологи, що визначає стійкість природних зон до антропогенних впливів.

Зрозуміло, що таке комплексне висвітлення екологічних проблем людства, їх специфіки та шляхів подолання у різних типах геосистем можливе лише за умови реалізації інтегративної моделі шкільної природничо-наукової освіти. Перш за все учні повинні усвідомити, що всі екологічні проблеми, з якими пов'язано погіршення і руйнування середовища існування людства, виникають внаслідок прагнення людей діяти всупереч загальним закономірностям природи (збереження, спрямованості до рівноважного стану, періодичності), помилкової

впевненості, що на людську спільноту, її господарську діяльність ці закономірності не впливають.

Суспільство пов'язане з природою безперервними процесами обміну речовиною та енергією, якими здійснюється антропогенний вплив, внаслідок чого виникають екологічні проблеми. Для розуміння сутності екологічних проблем, обґрунтування стратегії їх попередження та шляхів вирішення необхідно залучати знання про хімічний склад забруднювачів, штучних речовин, про хімічні явища, що складають сутність антропогенного впливу, про механічні, теплові та інші фізичні явища, якими здійснюється взаємодія природи і суспільства. Зрозуміло, що, не спираючись на знання біології людини, тварин і рослин, з'ясувати сутність погіршення умов середовища існування усіх живих організмів і, зокрема, людини неможливо. Таким чином, здійснюється інтеграція природничих знань із метою створення повного глибокого уявлення про негативні наслідки впливу людства на власне середовище існування. Зазначене дозволяє на підґрунті географії систематизувати спільний для усіх природничих наук екологічний аспект природничо-наукової картини світу.

Формування цілісних знань про сучасне середовище існування людства у комплексних проявах його антропогенних змін

Середовище існування людства – географічна оболонка, значною мірою змінена в результаті життєдіяльності суспільства. Повне цілісне уявлення про сучасний стан довкілля у різноманітності його антропогенних змін дає географія. Лише географічний зміст відображає як характер антропогенних впливів, так і їх сприйняття різними компонентами середовища залежно від природи останніх. Наприклад, в атмосфері відбуваються зміни клімату, у гідросфері створюються штучні водні об'єкти та змінюється водний режим природних об'єктів, у літосфері формуються ґрунти – урбаноземи, у біосфері природна рослинність змінюється на культурну тощо. Комплексний кумулятивний результат усіх наслідків взаємодії природи й суспільства знаходить своє відображення у понятті

про антропосферу як сучасного етапу розвитку географічної оболонки та про антропогенні ландшафти. Необхідно давати учням зважену, збалансовану інформацію про негативні та позитивні прояви взаємодії природи та суспільства. Такий підхід дозволяє викликати як обґрунтоване занепокоєння станом оточуючого світу, так і вселити впевненість у необхідності і можливості окремих позитивних впливів і навіть поліпшення довкілля в цілому. Наприклад, людині доступно поліпшення мікро- та мезоклімату, створення зручного і економічно вигідного для використання рельєфу, оптимізація водного балансу невеликих регіонів, поширення біоти на територіях її природно обумовленої відсутності, меліорація земель тощо. Таким чином, географія за рахунок властивого їй комплексного підходу у поєднанні фізико-географічного та суспільно-економічного блоків створює можливості для формування адекватної об'єктивній реальності природничо-наукової картини світу, що відображає сучасний стан довкілля.

Висновки. Включення географічних знань до ПНКС дозволяє задіяти інтегративні можливості географічного змісту для формування цілісного уявлення про навколишній світ. **Нами обґрунтовано та проаналізовано комплекс інтегративних можливостей географічного змісту, які доцільно використовувати для формування ПНКС у процесі вивчення географічних дисциплін.**

Перспективи подальших розвідок у даному напрямку полягають у розробці концептуальних засад шкільної географії у складі освітньої галузі «Природознавство» на підґрунті концепції цілісної природничо-наукової освіти.