

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ ПЕДАГОГІЧНИХ НАУК УКРАЇНИ  
ІНСТИТУТ ПЕДАГОГІКИ

В. Р. Ільченко, К. Ж. Гуз, О. Г. Ільченко,  
О. С. Гринюк, А. Х. Ляшенко

# ПРИРОДОЗНАВСТВО-11

Підручник для 11 класу загальноосвітніх  
навчальних закладів



Київ  
«КОНВІ ПРІНТ»  
2018

УДК 502/504(075.3)\*11 кл.

*Рекомендовано до друку вченою радою  
Інституту педагогіки НАПН України  
(протокол № 11 від 27.11.2017 р.)*

**Рецензенти:**

**О.О. Буйдіна**, канд. пед. наук, завідувач кафедри методики змісту освіти Полтавського ОППО імені М. В. Остроградського;

**Т.М. Заскїна**, канд. пед. наук, старший науковий співробітник, заступник директора з науково-експериментальної роботи Інституту педагогіки НАПН України;

**О.М. Кучеренко**, методист природничого відділу Полтавського ОППО імені М. В. Остроградського

**Природознавство-11:** підручник для 11 класу загальноосвітніх навчальних закладів / [В.Р. Ільченко, К.Ж. Гуз, О.Г. Ільченко та ін.].— К.: ТОВ «КОНВІ ПРІНТ», 2018.— 320 с.

ISBN

Підручник розкриває зміст предмету «Природознавство» для 11 класу в повній відповідності з навчальною програмою інтегрованого курсу «Природознавство» для 10–11 класів профільної школи (автори В.Р. Ільченко, К.Ж. Гуз, О.Г. Ільченко, О.С. Гринюк, А.Х. Ляшенко). До змісту підручника входять загальноприродничий, фізико-астрономічний, біолого-екологічний та хімічний модулі.

Видання адресоване учням, що обрали гуманітарний профіль навчання, їхнім батькам, учителям природознавства або окремих природничих дисциплін, методистам та науковцям.

УДК 502/504(075.3)\*11 кл.

ISBN

- © Інститут педагогіки НАПН України, 2018
- © В.Р. Ільченко, К.Ж. Гуз, О.Г. Ільченко, О.С. Гринюк, А.Х. Ляшенко, 2018
- © КОНВІ ПРІНТ, 2018

---

---

## Дорогі старшокласники!

Ви продовжуєте вивчати природознавство, яке вивчали в 10 класі. З цим предметом ви знайомі і з початкової школи. Відома вам і його мета — об'єднання знань про природу в цілісність, яку педагоги розділили на різні шкільні предмети, та формування природничо-наукової картини світу й особистісно значимої системи знань — образу природи. Саме ця діяльність розвине ваше наукове мислення й інтелект, дасть вам змогу в майбутньому розв'язувати будь-яку проблему цілісно і науково. Ці риси особистості необхідні кожній людині і насамперед майбутнім діячам суспільної сфери. Звичайно ж, кожна культурна людина як член технологізованого суспільства має засвоїти основи природничих наук. Підручник допоможе вам вирішити всі ваші завдання, пов'язані з природознавством.

Розгляньте підручник. У ньому ви знайдете путівники: «Перевір себе» — питання для відтворення вивченого матеріалу;? — «Поміркуй» — питання для роздумів; «Робота в групах» — творчі завдання. Нова рубрика «Пригадаємо і обдумаємо» спрямовує вашу діяльність на повторення та узагальнення вивченого в початковій та основній школі, рубрика «Асоціації» допоможе вам використати знання художніх творів для образного вираження та глибшого, емоційнішого розуміння природничих знань.

Як і в попередніх класах, уважно обдумуйте висновки, обирайте проекти, виконуйте їх, особливо під час уроків у довіллі.

Нехай цей підручник допоможе вам стати відданими країні громадянами, мудрими політиками, справедливими суддями, улюбленими письменниками, митцями!

**Щастя вам!**

*Автори*

---

---

## ЗМІСТ

### 1. ЗАГАЛЬНОПРИРОДНИЧИЙ МОДУЛЬ

§1. Основні концепції та ідеї природознавства .....	8
§2. Для чого людині образ світу і його основа – образ природи .....	12
§3. * Готуємось моделювати природничо-наукову картину світу (Урок у довкіллі) .....	14

### 2. ФІЗИКО-АСТРОНОМІЧНИЙ МОДУЛЬ

#### Розділ 1. Електродинаміка .....

§1. Основні поняття електродинаміки .....	15
§2. Закон збереження електричного заряду. Прояви його у природі .....	17
§3. Електричне поле та його характеристики .....	18
§4. Електроємність .....	23
§5. Електричний струм .....	25
Лабораторна робота №1 Вимірювання ЕРС і внутрішнього опору джерела струму .....	26
§6. Електричний струм у різних середовищах .....	27
§7. Електрична та магнітна взаємодія .....	29
§8. Електромагнітна індукція .....	32
§9. Добування змінного струму .....	35
§10. Передача електричної енергії .....	39
§11. Вільні і вимушені електромагнітні коливання .....	41
§12. Частота власних коливань контуру .....	42

#### Уроки у довкіллі .....

#### Узагальніть вивчене з теми «Електродинаміка» 48

#### Розділ 2. Хвильова і квантова оптика. Атомна і ядерна фізика .....

§13. Вступ. Розвиток уявлень про природу світла .....	50
§14. Світло як електромагнітна хвиля .....	51
§15. Квантові властивості світла .....	54
§16. Застосування фотоелектричного ефекту. Люмінесценція .....	57
§17. * Корпускулярно-хвильовий дуалізм світла .....	58
§18. Квантові постулати Бора .....	60
§19. Випромінювання та поглинання світла атомами. Атомні і молекулярні спектри. Спектральний аналіз .....	64
§20. Атомне ядро .....	66
§21. Фізичні основи ядерної енергетики. Ланцюгова реакція поділу ядер Урану .....	68
§22. Елементарні частинки .....	70
§23. Фізика й науково-технічний прогрес та природничо-наукова картина світу .....	72

#### Узагальніть вивчене .....

#### Уроки у довкіллі .....



<b>Розділ 3. Розвиток знань про всесвіт</b> .....	<b>77</b>
§24. Предмет астрономії. Вимірювання часу .....	77
§25. Основні точки і лінії небесної сфери, небесні координати .....	79
§26. Вивчення Всесвіту .....	82
§27. Еволюція Всесвіту і його будова.....	84
§28. Утворення галактик, зірок, планетних систем .....	87
§29. * Наша Галактика.....	89
§30. Про еволюцію зір .....	90
§31. Життя у Всесвіті .....	91
§32. Дослідження космосу та зв'язок астрономії . з іншими науками .....	94
<b>Уроки у доквіллі</b> .....	<b>96</b>
<b>Узагальніть вивчене</b> .....	<b>97</b>

### 3. ХІМІЧНИЙ МОДУЛЬ

<b>Органічні сполуки</b> .....	<b>99</b>
§1. Єдність неорганічних і органічних речовин, місце знань з органічної хімії в природознавстві .....	99
§2. Теорія хімічної будови органічних сполук .....	103
§3. Ізомерія органічних сполук .....	106
§4. Класифікація органічних речовин .....	108
§5. Уявлення про номенклатуру органічних сполук. Номенклатура насичених вуглеводнів .....	110
§6. Органічні сполуки в живих організмах. Жири .....	112
§7. Біополімери в живій природі .....	115
§8. Біомолекули як структурна та функціональна основа єдності і різноманітності живих систем .....	117
§9. Природні джерела органічних речовин і продукти їх переробки .....	120
§10. Переробка вуглеводневої сировини .....	122
§11. Основні види палива та їх значення в енергетиці .....	125
§12. Синтез органічних речовин із вуглеводневої сировини .....	128
§13. Полімерні матеріали. Пластмаси .....	130
§14. Природний і синтетичний каучук. Гума .....	134
§15. Хімічні волокна <sup>137</sup>	
§16. Органічні речовини та здоров'я людини. Синтетичні лікарські препарати .....	140
§17. Жири, білки, вуглеводи як компоненти їжі, їхня роль в організмі .....	144
§18. Вітаміни .....	147
§19. Харчові добавки .....	149
§20. Алкоголь і наркотичні речовини, їхня згубна дія на організм .....	152
§21. Органічні речовини у побуті .....	153
§22. Мила і синтетичні мийні засоби .....	156
Практична робота. Видалення забруднень із поверхні тканини .....	160
§23. Використання органічних речовин і захист довкілля .....	162
§24. Лікарські рослини своєї місцевості та захист свого довкілля від забруднень. <b>Урок у доквіллі</b> .....	165
<b>Узагальнення знань з теми «Органічні сполуки»</b> .....	<b>165</b>
<b>Самоперевірка знань з теми</b> .....	<b>166</b>

## 4. БІОЛОГО-ЕКОЛОГІЧНИЙ МОДУЛЬ

### Тема 1. Організмний рівень організації живої природи ..... 168

§1. Поняття розмноження та його пояснення на основі ЗЗП. Нестатеве розмноження організмів .....	168
§2. Статеве розмноження організмів. Будова і утворення статевих клітин .....	172
Лабораторна робота №1. Будова статевих клітин .....	176
Способи розмноження рослин. Урок у довкіллі.....	177
§3. Генетика. Методи генетичних досліджень, їх пояснення на основі ЗЗП .....	177
§4. Перший і другий закони спадковості Г. Менделя, їх цитологічні основи та статистичний характер .....	180
§5. Закон незалежного успадкування ознак, його цитологічні основи та статистичний характер .....	183
§6. Хромосомна теорія спадковості. Зчеплене успадкування.....	186
Практична робота №1. Розв'язування типових задач з генетики (моно- і дигібридне схрещування).....	189
§7. Мінливість та її види. Комбінативна та мутаційна мінливості .....	191
§8. Мутації. Мутагени .....	194
§9. Модифікаційна мінливість.....	198
Лабораторна робота №2. Вивчення мінливості у рослин. Побудова варіаційного ряду і варіаційної кривої .....	201
§10. Поняття про ген. Основні закономірності функціонування генів у про- і еукаріотів .....	203
§11. Генетика людини. Роль генотипу і середовища у формуванні фенотипу .....	205
§12. Химерні та трансгенні організми .....	208
§13. Генетичні основи селекції організмів .....	212
§14. Основні напрямки сучасної біотехнології .....	216
§15. Запліднення. Періоди онтогенезу у багатоклітинних організмів: ембріогенез і постембріональний розвиток .....	219
§16. Вплив генотипу та факторів зовнішнього середовища на розвиток організму. Вади розвитку людини та їх корекція .....	225
§17. Життєвий цикл у рослин і тварин та прояв у ньому ЗЗП .....	231
<b>Узагальнення знань з теми «Організмний рівень організації живої природи» .....</b>	<b>234</b>

### Тема 2. Надорганізмні рівні організації живої природи:

<b>популяція, екосистема, біосфера .....</b>	<b>236</b>
§18. Поняття про середовище існування, шляхи пристосувань до нього організмів. Біологічні адаптивні ритми організмів .....	236
§19. Популяції, їх характеристика. Екологічні фактори, які впливають на чисельність популяції, їх пояснення на основі ЗЗП... ..	241
§20. Угрупування організмів у природі. Екосистеми .....	245
§21. Взаємодії організмів в екосистемах. Прояв у них ЗЗП.....	248
§22. Різноманітність екосистем, їх розвиток та зміни .....	251
§23. Колообіг речовин і потік енергії в екосистемах, їх зв'язок з ЗЗП. Продуктивність екосистем .....	253
§24. Загальна характеристика біосфери. Вчення В.І. Вернадського про біосферу.....	257

§25. Вплив діяльності людини на стан біосфери .....	261
§26. Збереження біорізноманіття .....	264
<b>Узагальнення знань з теми «Надорганізовмі рівні організації живої природи: Популяція, екосистема, біосфера» .....</b>	<b>267</b>
<b>Спостереження за взаємодією організмів в екосистемі вашої місцевості Урок у довкіллі .....</b>	<b>268</b>
<b>Тема 3. Основи еволюційного вчення. Історичний розвиток органічного світу .....</b>	<b>270</b>
§27. Становлення еволюційних поглядів. Теорії еволюції Ламарка і Дарвіна .....	270
§28. Основні положення синтетичної теорії еволюції .....	274
§29. Природний добір як результат боротьби за існування .....	276
§30. Мікроеволюція, видоутворення та види .....	280
§31. Адаптації як результат еволюційного процесу. Прояв у них ЗЗП .....	284
§32. Макроеволюційний процес .....	287
§33. Сучасні уявлення про фактори еволюції: синтез екології та еволюційних поглядів .....	291
§34. Гіпотези виникнення життя на землі .....	295
§35. Еволюція одноклітинних та багатоклітинних організмів .....	298
§36. Поява основних груп організмів на землі та формування екосистем. Пояснення цих процесів на основі ЗЗП .....	300
§37. Історичний розвиток органічного світу та періодизація еволюційних явищ .....	304
<b>Узагальнення знань з теми «Основи еволюційного вчення. Історичний розвиток органічного світу на основі ЗЗП» .....</b>	<b>309</b>
<b>Різноманітність видів у природі. Урок у довкіллі .....</b>	<b>310</b>
<b>Узагальнення біолого-екологічного модуля 11 класу .....</b>	<b>310</b>
 <b>5. УЗАГАЛЬНЕННЯ ЗНАНЬ</b>	
§1. Еволюція природничо-наукової картини світу .....	313
§2. Готуємось до інтегративного дня з природознавства .....	314



# 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 сущого. 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 намагалося 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 різномірних явищах ідея збереження виступала в єдності з ідеєю періодичності. У результаті осмислення законів збереження енергії і маси речовини сформувалася 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 частинки 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 невпорядкованості 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.

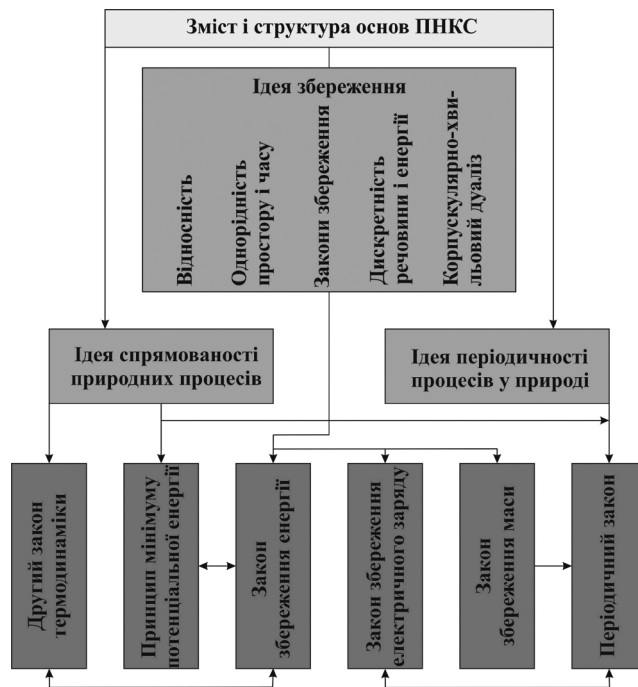
Під концепціями природознавства розуміють загальні ідеї природничих наук, моделі і закономірності, які проявляються в усіх природничих науках.

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

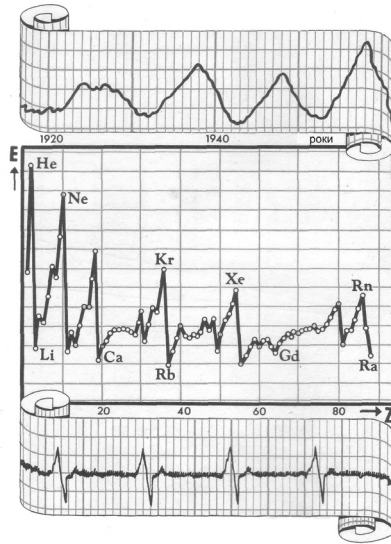
1. Що таке концепції сучасного природознавства? Наведіть приклади концепцій.
2. Якими методами ви користувалися під час вивчення природничих предметів у початковій і основній школах?
3. Розгляньте мал. 1.1, на якому зображено зміст і структуру загальних ідей природничих наук — загальних закономірностей 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?



Мал. 1.1. Зміст і структура основ ПНКС

4. Розгляньте також мал. 1.2, 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. 1.2?

Мал. 1.2. Періодичність процесів у природі:  
 1) зміна сонячної активності з часом;  
 2) енергії іонізації нейтральних атомів в залежності від порядкового номера елемента;  
 3) електрокардіограма серця.

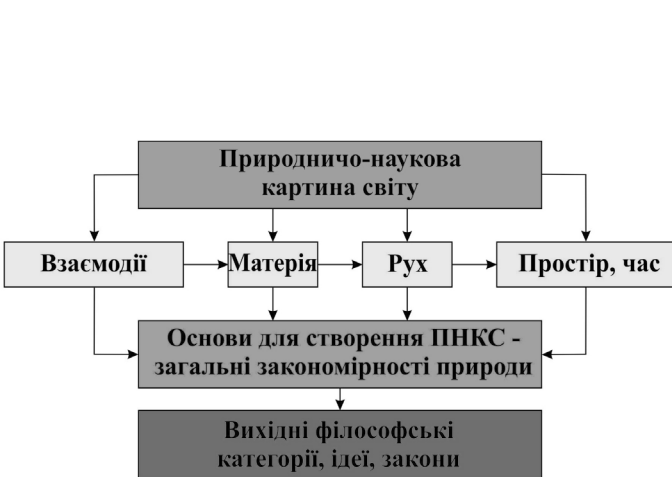


### Поміркуйте

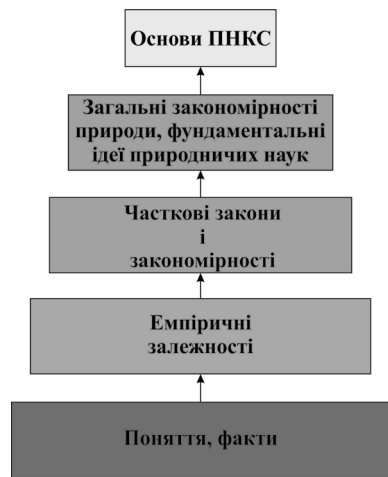
1. Чим природничо-наукова картина світу відрізняється від образу природи?
2. Як ви будете моделювати образ природи?

### Подискутуйте

1. Перемалуйте в зошит мал. 1.3 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. 1.4. Наведіть приклади понять, законів, закономірностей, які вам траплялися під час вивчення фізики, хімії, біології.
3. У кого з групи вказано більше понять?



Мал. 1.3. Структура поняття природничо-наукова картина світу



Мал. 1.4. Вивчаємо природознавство відповідно до законів природи

---

---

**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 довідці.

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 ученя додає ті явища, об'єкти, досліді, 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 сформувати 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?

## § 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», підібравши 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.





## 2. ФІЗИКО-АСТРОНОМІЧНИЙ МОДУЛЬ

### РОЗДІЛ 1. ЕЛЕКТРОДИНАМІКА

#### § 1. Основні поняття електродинаміки

1. Електродинаміка — розділ фізики, в якому вивчаються електромагнітні процеси у різних середовищах, що охоплюють сукупність явищ, у яких основну роль відіграють взаємодії між зарядженими частинками за допомогою електромагнітного поля.

Серед відкритих наукою чотирьох типів взаємодій — гравітаційних, електромагнітних, сильних (ядерних) і слабких — саме електромагнітні взаємодії займають значне місце за широтою і різноманітністю прояву. У повсякденному житті й техніці ми найчастіше зустрічаємося з різними видами сил, які мають електромагнітну природу. Це сили пружності, тертя, сили наших м'язів, м'язів тварин та ін.

Електромагнітні взаємодії дають змогу бачити книгу, яку ви читаете, бо світло — одна з форм електромагнітного поля. Саме життя немислиме без цих сил. Живі істоти і серед них людина, як показали польоти космонавтів, здатні тривалий час перебувати в стані невагомості, коли сили всесвітнього тяжіння не впливають на життєдіяльність організмів. Але коли б на мить припинилася дія електромагнітних сил, то зникло б і життя.

При взаємодії частинок у найменших системах природи — в атомних ядрах і при взаємодії космічних тіл електромагнітні сили відіграють важливу роль. У той же час сильні й слабкі взаємодії визначають процеси тільки в дуже малих масштабах, а гравітаційні — тільки в космічних (принаймні одне з тіл повинно мати космічні розміри). Будова атомної оболонки, зчеплення атомів у молекули (хімічні взаємодії) й утворення макроскопічних тіл визначаються електромагнітними взаємодіями. Важко назвати явища в доквіллі, які не були б пов'язані з дією електромагнітних сил.



**Максвелл Джеймс Клерк** (1831–1879) — видатний англійський фізик, творець теорії електромагнітного поля. Рівняння Максвелла для електромагнітного поля лежать в основі всієї електродинаміки, подібно до того як закони Ньютона становлять основу класичної механіки. Максвелл — також один із засновників молекулярно-кінетичної теорії будови речовини. Він вперше ввів у фізику уявлення про статистичні закони, що використовують математичне поняття ймовірності.



Створенню електродинаміки передували довгий ланцюг планомірних досліджень і випадкових відкриттів, починаючи з виявлення здатності янтарю, потертого об шерсть, притягати легкі предмети, й закінчуючи гіпотезою видатного англійського вченого Джеймса Клерка Максвелла про породження магнітного поля змінним електричним полем.

Тільки в другій половині XIX ст., після створення електродинаміки, розпочалося широке практичне використання електромагнітних явищ. Винайдення радіо О. С. Поповим (1859–1906) — одне з найважливіших застосувань принципів нової теорії.

У процесі розвитку електродинаміки вперше наукові дослідження передували технічним застосуванням. Якщо парову машину було збудовано задовго до створення

---

---

теорії теплових процесів, то сконструювати електродвигун або радіоприймач вдалося лише після відкриття і вивчення законів електродинаміки.

Численні практичні застосування електромагнітних явищ змінили життя людей на всій земній кулі. Так, сучасна цивілізація немислима без широкого застосування енергії електричного струму.

Розетки на стінах наших квартир утворюють своєрідне «середовище проживання» сучасної людини, до якого ми так звикли, що його дивовижні властивості перестали помічати.

Наше завдання — вивчити основні закони електромагнітних взаємодій, а також ознайомитися з основними способами добування електричної енергії та використанням її на практиці.

**Електродинаміка** — це розділ фізики, в якому вивчаються властивості й закономірності прояву електромагнітного поля, що здійснює взаємодію між електрично зарядженими тілами або частинками, з яких вони складаються.

Основні поняття розділу «Електродинаміка»:

- Закон збереження електричного заряду. Електричне поле, його характеристики.
- Електричний струм. Струм у різних середовищах. Закони електричного струму.
- Магнітне поле, його характеристики. Магнітні властивості речовини.
- Електромагнітна індукція, закон електромагнітної індукції.
- Змінний струм, його одержання та передача на відстань.
- Утворення електромагнітних коливань, їх властивості.
- Утворення і поширення електромагнітних хвиль, їхні властивості.
- Електромагнітні хвилі в природі і техніці.

Познайомтесь з основними поняттями електродинаміки. Попереднє знайомство з ними вже відбувалося в основній школі. Під час вивчення понять ви будете їх обґрунтовувати на основі загальних закономірностей природи — збереження, спрямованості процесів до рівноважного стану, періодичності процесів у природі, і таким чином об'єднувати в систему, формувати фрагмент природничо-наукової картини світу.

Кожен з вас буде продовжувати формувати свій «образ природи» — особистісно значиму систему знань про природу. На її моделі ви покажете основні знання з розділу «Електродинаміка», а також ті елементи знань з розділу, які здаються вам найбільш важливими. Ці елементи знань ви будете показувати і на структурно-логічній схемі (СЛС) розділу, яка моделює цілісність засвоєних під час його вивчення знань.

Модель її можете побачити на с. 48 підручника. СЛС буде захищатись кожним учнем в кінці вивчення розділу. З перших уроків можете думати над тим, якими малюнками, фотографіями її ілюструвати, які вислови підібрати з улюблених літературних творів.

В підручнику знайдете перелік проектів, серед яких можете обрати такий, що вам здається найбільш цікавим для вас. Можете запропонувати свій проект, як і обрати співрозробників зі своїх однокласників.

### Перевірте себе

1. Що вивчає розділ «Електродинаміка».
2. Зверніться до основних понять розділу і виявіть, з якими поняттями ви вже частково познайомилися в попередніх класах.
3. Пригадайте зміст загальних закономірностей природи.

### Поміркуйте

1. Для чого людині необхідний «образ природи»? Чим «образ природи» відрізняється від ПНКС і що між ними спільне?



## § 2. Закон збереження електричного заряду. Прояви його у природі

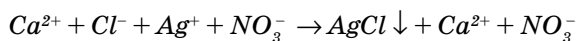
**З історії відкриття закону.** Закон збереження електричного заряду був відкритий Фарадеєм у зв'язку з дослідженням електростатичної індукції. Але Фарадей не дав чіткого формулювання цього закону. Вперше твердження про незнищенність і несотворимість електричного заряду зустрічається у Максвелла. З розвитком електродинаміки було знайдено і математичне обґрунтування закону. Сучасне його формулювання таке: **алгебраїчна сума електричних зарядів в замкнутій системі залишається постійною при будь-яких процесах, що відбуваються в ній.**

**Зупинимось на прояві закону збереження електричного заряду в хімічних і біологічних явищах.**

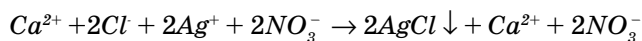
**Хімічні реакції** зводяться до перерозподілу електронів між частинками реагуючих речовин. Тому вся хімія — органічна і неорганічна — сфера дії закону збереження електричного заряду, і слід вміти застосовувати його як при поясненні теоретичного матеріалу, так і при вирішенні практичних завдань. Наприклад, потрібно скласти формулу якої-небудь сполуки по валентності. Нехай це буде той же оксид алюмінію, про який йде мова в підручнику хімії. Як там сказано, складена формула буде справедлива в тому випадку, якщо «сума одиниць валентності атомів алюмінію дорівнюватиме сумі одиниць валентності атомів кисню».

При утворенні оксиду алюмінію з кисню й алюмінію перерозподіл електронів між атомами цих елементів відбувається наступним чином: атом алюмінію може втратити три електрони, атом кисню — придбати два електрони. «Молекула»  $AlO$  неможлива, оскільки буде мати загальний позитивний заряд і притягувати до себе негативні іони кисню. Неможлива і «молекула»  $AlO_2$ , оскільки вона буде мати загальний негативний заряд. Сполука буде стійкою (Не буде до себе притягувати позитивні або негативні іони) тільки в тому випадку, якщо його загальний заряд стане рівним нулю. А ця умова буде виконана, якщо число електронів, втрачених однією групою атомів у сполуці, дорівнюватиме числу електронів, прийнятих іншою групою атомів в тій же сполуці.

Атом нейтральний. Одна з умов його стійкості — рівність числа позитивних і негативних зарядів. Це рівність не порушується до тих пір, поки атом — замкнута система. Порушення його забороняється законом збереження електричного заряду. Якщо відбуваються якісь хімічні зміни, внаслідок яких з одних речовин утворюються інші, то проявляється дія цього закону. Наприклад, при змішуванні розчину хлориду кальцію і нітрату срібла утворюються нові речовини. Як записати рівняння цієї реакції і розставити в ньому коефіцієнти?



Міркуємо так: розчин утворюється з нейтральних речовин, значить, до і після реакції його загальний заряд повинен бути рівний нулю (в замкнутій системі при будь-яких процесах алгебраїчна сума електричних зарядів залишається незмінною). Якщо в лівій частині рівняння перед іоном хлору не поставити коефіцієнт 2, то відповідно до рівняння розчин до реакції матиме позитивний заряд. З тих же міркувань слід поставити коефіцієнт 2 перед іоном  $NO_3^-$  — у правій частині рівняння. Відповідно до закону збереження маси речовини слід поставити коефіцієнти перед іоном  $Ag^+$  і молекулою  $AgCl$ :

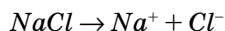


Окислювально-відновні реакції під час електролізу також відбуваються з урахуванням законів збереження електричного заряду і маси речовини.

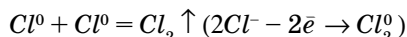
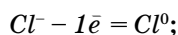
Розглянемо процеси, які відбуваються під час електролізу, наприклад, розплаву кухонної солі (мал. 2.1).



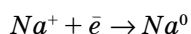
При дисоціації хлориду натрію  $NaCl$  утворюються іони, загальний заряд яких дорівнює нулю:



Іони хлору переміщуються до позитивного електрода, де, «віддавши» по одному електрону, окислюються, утворюючи нейтральні атоми, що з'єднуються в молекули:



Іони натрію переміщуються до негативного електроду і, отримавши від нього по одному електрону, відновлюються до нейтральних атомів:



Число електронів, які перейшли на анод від іонів хлору, дорівнює числу електронів, які забрали іони натрію від катода. З нейтральної речовини знову утворилися нейтральні речовини.

**Закон збереження електричного заряду у біології.** Можна сказати, що всі перетворення в мікросвіті відбуваються з урахуванням закону збереження електричного заряду.

Згадайте хоча б реакції фотосинтезу. Подивіться, скільки навколо зелені, скільки електронів покидають молекули хлорофілу в цю мить, отримавши квант світла! Що було б, якби деякі з них «загубилися»? Молекули хлорофілу вимкнулися б з «роботи». Але такого не трапляється, тому що діє закон збереження електричного заряду.

**Закон збереження електричного заряду діє у всіх хімічних реакціях, що відбуваються в неживій і живій природі.**

### Перевірте себе

1. В чому полягає закон збереження електричного заряду?
2. Як застосувати закон збереження електричного заряду до пояснення реакцій між іонами?
3. Яка роль джерела електричного струму? Чи утворюються в ньому електричні заряди?

### Робота в групах

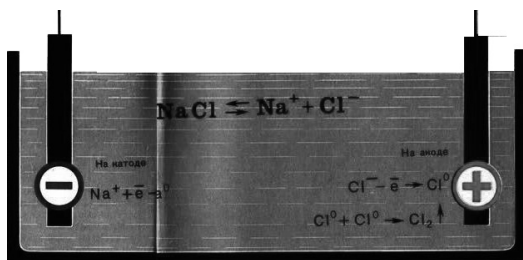
Якщо ви хочете отримати срібло, не виливайте відпрацьований фіксаж після обробки чорно-білих знімків. Опустіть в нього цинкову пластину і залиште на 2–3 год. Час від часу перемішуйте розчин. Через 2–3 год. цинкова пластина покриється чорним шаром срібла. Чому відбувається цей процес? Куди зникає заряд іонів срібла?

## § 3. Електричне поле та його характеристики

**1. Електричне поле. Напруженість електричного поля.** Ви вже знаєте, що електричне поле — вид матерії, який існує в просторі навколо будь-якого заряду. Якщо в електричне поле позитивно зарядженого тіла внести пробний заряд — позитивно заряджену легку кульку, підвішену на шовковій нитці, — то під дією поля кулька буде відхилятися тим більше, чим ближче ми підносимо її до зарядженого тіла (мал. 2.2, а).

Переміщуючи пробний заряд в електричному полі будь-якого зарядженого тіла, легко виявити, що в різних місцях поля сила, з якою діє поле на пробний заряд, різна.

Для кожної точки електричного поля відношення величини сили, що діє на пробний заряд, до величини цього заряду стає і не залежить від величини пробного заряду.



Мал. 2.1. Процеси, які відбуваються під час електролізу розплаву кухонної солі



Величина, що визначається відношенням сили, яка діє на заряд, вміщений у дану точку поля, до величини цього заряду, називається напруженістю електричного поля в даній точці:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}$$

Напруженість поля, як це видно з її визначення, чисельно дорівнює силі, яка діє на одиницю позитивного заряду, вміщеного в дану точку поля. Напруженість — векторна величина.

Щоб обчислити напруженість поля відокремленого точкового заряду  $q$  в якій-небудь довільній точці поля  $A$  (мал. 9) цього заряду, яка перебуває від нього на відстані  $r_1$ , вмістимо в цю точку пробний заряд  $q_1$  і обчислимо силу  $F_A$ , що діє на нього в цій точці. За законом Кулона (для вакууму):

$$F_A = k \frac{q_1 q}{r_1^2}, \quad E_A = k \frac{q_1 q}{q_1 r_1^2}, \quad \text{звідки } E_A = k \frac{q}{r_1^2},$$

$$\text{де } k = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{Кл}^2}.$$

Звичайно коефіцієнт  $k$  записується у вигляді  $k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$ , де  $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{Кл}^2}{\text{Н} \cdot \text{м}^2}$  — електрична стала (епсilon).

Аналогічно напруженість поля в точці  $B$  (мал. 2.2, б) чисельно дорівнює:

$$E_B = k \frac{q}{r_2^2}$$

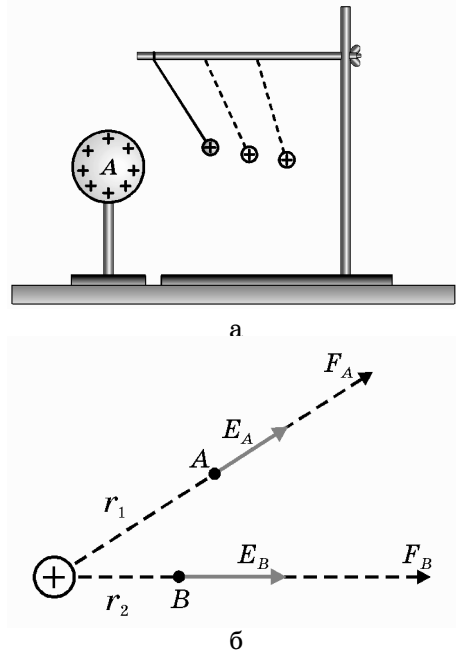
Отже, величина напруженості електричного поля точкового заряду в заданій точці поля пропорційна величині цього заряду і обернено пропорційна квадратові відстані між зарядом і цією точкою.

Напруженість поля є силовою характеристикою поля.

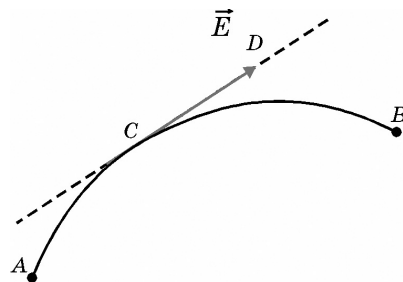
Графічне зображення електричних полів. Ви з 9 класу знаєте, що електричне поле зображується силовими лініями. Для графічного зображення електричного поля можна було б з кожної точки поля провести стрілку, яка вказує величину і напрям напруженості електричного поля в цій точці. Проте такий спосіб зображення поля дуже незручний.

Фарадей запропонував зображати електричне поле лініями, дотичні до яких у кожній точці збігаються з вектором напруженості поля в тій же точці. Такі лінії називаються силовими лініями поля або лініями напруженості (Мал. 2.3).

Поле, напруженість якого в усіх точках має одну і ту ж величину і напрям, називається однорідним. Силові лінії однорідного поля являють собою паралельні прямі, густота яких скрізь одна і та сама.



Мал. 2.2. Взаємодія наелектризованих тіл (а); до поняття напруженості електричного поля (б)



Мал. 2.3. Напрямок вектора напруженості поля збігається з дотичною до силової лінії.

**Напруженість** — силова характеристика електричного поля; визначається за формулою

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}$$

Електричне поле графічно зображується за допомогою електричних силових ліній.

Перевірте себе

1. Що називають напруженістю електричного поля?
2. Як графічно зображуються електричні поля?

Поміркуйте

1. Як знайти напруженість електричного поля, створеного двома точковими зарядами?
2. Напишіть найменування одиниці напруженості електричного поля в системі СІ.

**2. Речовина в електричному полі.** *Провідники в електричному полі.* Тіла за своїми електричними властивостями поділяються на провідники і непровідники (діелектрики). Одна з особливостей провідників полягає в тому, що при рівновазі зарядів на поверхні провідників електричне поле всередині їх відсутнє. Як це пояснити?

Вам відомо, що в провідниках є вільні електричні заряди — електрони.

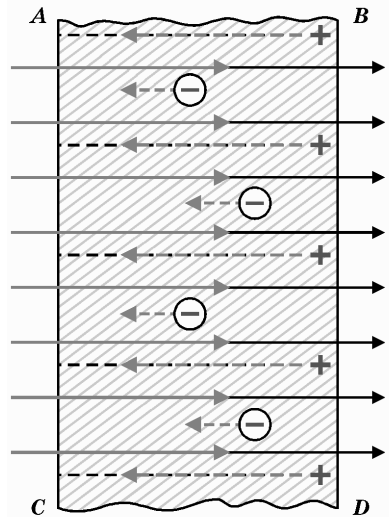
Вільні електрони в металевому провіднику, вміщеному в електричне поле, під дією сил поля будуть переміщатися в напрямі, протилежному напруженості поля (мал.2.4).

На поверхні *AC* провідника з'являється надлишковий негативний заряд, а на поверхні *BD* — надлишковий позитивний заряд. Таким чином, провідник, вміщений в електричне поле, електризується через вплив. Заряди, які з'являються на поверхні провідника, створюють всередині провідника додаткове електричне поле. Силові лінії цього поля на мал. 2.4 зображені пунктиром, вони напрямлені протилежно силовим лініям зовнішнього поля. Напруженість результуючого поля в провіднику ослаблюється. Рух зарядів у провіднику припиняється, коли напруженість результуючого поля всередині провідника дорівнює нулю. Під дією електричного поля провідник наелектризувався. Такий вид електризації називається електризацією через вплив або електростатичною індукцією.

*При рівновазі зарядів на провіднику поле всередині провідника відсутнє.* Та обставина, що електричне поле всередині провідника відсутнє, може бути використана для захисту тіл від впливу зовнішнього електричного поля.

*Діелектрики в електричному полі.* На відміну від провідників у діелектриках майже не існує вільних зарядів. Всередині атомів і молекул діелектриків негативно і позитивно заряджені частинки зв'язані між собою електричними силами, але вони можуть зміщуватися під дією прикладених до них сил.

Негативні і позитивні заряди кожної частинки діелектрика однакові, тобто вони нейтральні. У будь-якій частині об'єму діелектрика загальний позитивний заряд дорівнює негативному зарядові частинок діелектрика, і результуюча дія цих зарядів дорівнює нулеві.

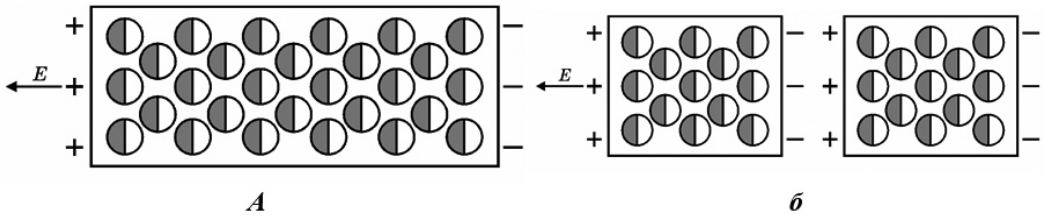


Мал. 2.4. Перерозподіл зарядів у провіднику



Якщо помістити діелектрик в електричне поле, то на позитивні та негативні заряди його частинок (молекул) почнуть діяти протилежно напрямлені сили. Під дією цих сил заряди кожної молекули змістяться, причому зміщення  $+q$  (позитивних зарядів) відбуватиметься в напрямі напруженості поля., а негативних — у протилежному напрямі. Сили поля будуть розтягувати молекули й орієнтувати їх вздовж силових ліній. У результаті молекули розмістяться впорядковано (мал. 2.5, а). І у цьому випадку в будь-якій частині діелектрика сумарний електричний заряд дорівнюватиме нулеві. Але на поверхнях діелектрика, які обмежують його, з'являться заряди: з одного боку позитивні, з другого — негативні.

Процес зміщення зарядів у діелектрику, вміщеному в електричне поле, називається поляризацією, а сам діелектрик в цьому стані — поляризованим.



Мал. 2.5. Схема поляризації діелектрика

Поляризація діелектрика трохи нагадує електризацію провідника через вплив. Проте між цими явищами існує відмінність.

Якщо поділити діелектрик в електричному полі на дві частини, то на утворених знову поверхнях обох частин з'являться заряди обох знаків: на одному боці — позитивні, на другому — негативні (мал. 2.5, б). Заряди, які з'являються на поверхнях поляризованого діелектрика, називаються зв'язаними зарядами. (Подумайте, що буде, якщо розділити провідник, що перебуває в електричному полі.)

**Діелектрична проникність.** Ступінь поляризованості речовини характеризується фізичною величиною, яка називається діелектричною проникністю речовини.

*Діелектрична проникність показує, у скільки разів напруженість поля у діелектрику (однорідному) буде менша, ніж у вакуумі:*

$$\epsilon = \frac{E_0}{E},$$

де  $\epsilon$  (епсilon) — діелектрична проникність,  $E_0$  — напруженість електричного поля у вакуумі,  $E$  — напруженість електричного поля у діелектрику.

Діелектричну проникність різних речовин можна знайти в довіднику з фізики.

Та обставина, що в провідниках є вільні заряди, а в діелектриках заряди зв'язані, зумовлює відмінність в дії на них електричного поля.

**Дія електричного поля на провідники і діелектрики різна, оскільки в перших є вільні заряди, а в других — зв'язані. Провідники в електричному полі електризуються через вплив, а діелектрики поляризуються.**

### Перевірте себе

1. Що таке електростатична індукція?
2. В чому полягає поляризація діелектрика?
3. Що показує діелектрична проникність?
4. Які загальні закономірності проявляються в явищі електростатичної індукції?

**3. Потенціал електричного поля. Робота в електричному полі.** На будь-який заряд, що перебуває в електричному полі, діє сила, і тому при русі заряду в полі здійснюється певна робота.

Розрахунки показують, що *робота з переміщення заряду з однієї точки електричного поля в іншу не залежить від форми траєкторії, а залежить тільки від положення цих точок у полі.*

Ви знаєте, що робота, виконувана силою тяжіння, також не залежить від траєкторії. При русі тіла вздовж похилої площини завдовжки  $l$  виконувана робота дорівнює роботі, виконуваній при падінні тіла з висоти похилої площини  $h$ . Таким чином, робота сили тяжіння, як і робота сил електричного поля, залежить від початкової і кінцевої точок траєкторії.

*Потенціал і різниця потенціалів.* Розглянемо якесь позитивно заряджене тіло. Будемо в електричному полі цього тіла переміщувати позитивний заряд; при цьому виконуватиметься певна робота  $A$ . Величина цієї роботи пропорційна величині переміщеного заряду і залежить від того, з якої і в яку точку поля переміщується заряд. Якщо взяти відношення величини виконаної роботи  $A$  до величини переміщеного заряду  $q$ , то величина цього відношення  $\frac{A}{q}$  вже не залежатиме від величини переміщеного заряду, а залежатиме тільки від вибору початкової і кінцевої точок переміщення заряду в полі. Причому форма шляху переміщення значення не матиме.

Будемо вносити позитивний заряд у поле позитивного заряду, переміщуючи його з нескінченно віддаленої точки поля, тобто з такої точки простору, напруженість поля в якій дорівнює нулеві. Величина відношення роботи, яку доведеться при цьому виконати проти сил електричного поля, до величини переміщеного заряду залежатиме тільки від положення кінцевої точки переміщення. Тому ця величина може служити характеристикою цієї точки поля.

Величина, що вимірюється відношенням роботи, виконаної при переміщенні позитивного заряду з нескінченності в дану точку поля, до величини переміщеного заряду, називається потенціалом поля в даній точці.

*Таким чином, потенціал поля в даній точці чисельно дорівнює роботі, виконуваній при переміщенні одиниці позитивного заряду з нескінченності в дану точку поля.*

Величина потенціалу позначається буквою  $\phi$ :

$$\phi = \frac{A}{q}.$$

Потенціал, як і робота, скалярна величина. Потенціали точок поля позитивно зарядженого тіла мають позитивну величину, потенціали ж поля негативно зарядженого тіла мають негативну величину.

Відношення величини роботи, виконаної при переміщенні позитивного заряду з однієї точки поля в іншу, до величини переміщеного заряду дорівнює різниці потенціалів початкової і кінцевої точок переміщення.

**Потенціалом електричного поля в даній точці називається величина, вимірювана відношенням роботи, яка виконується при переміщенні позитивного заряду із нескінченності в дану точку поля, до величини цього заряду. Потенціал і різниця потенціалів вимірюються у вольтах.**

#### Перевірте себе

1. Яку характеристику електричного поля називають потенціалом?
2. Напишіть формули потенціалу електричного поля і поясніть їх.
3. В яких одиницях вимірюється потенціал електричного поля?
4. Який зв'язок потенціалу з напруженістю електричного поля?



## Поміркуйте

1. Потенціал — величина скалярна, а напруженість — векторна. Чому можливий їх зв'язок?
2. Якщо відомо потенціал кількох точкових зарядів електричного поля в даній точці, як можна знайти потенціал електричного поля, створюваний в цій точці всіма електричними зарядами?

## § 4. Електроємність

З поняттями «конденсатор», «ємність конденсатора», «фарада», «мікрофарада» і т.д. тепер доводиться зустрічатися всім, хто має справу з радіотехнікою.

Для з'ясування змісту поняття «електроємність» звернемося до досліду. Прикріпимо до стержня електрометра металеву порожнисту кулю з отвором вгорі; корпус електрометра заземлимо.

Поки куля не заряджена і всі предмети, що оточують її, заземлені, стрілка електрометра не відхиляється, вказуючи на те, що різниця потенціалів між кулею і землею дорівнює нулеві.

Доторкуючись пробною кулькою внутрішньої поверхні кулі (мал. 2.6), будемо передавати їй послідовно по заряду  $q$ . Ми помітимо, що в міру збільшення заряду на кулі зростає потенціал кулі відносно землі. Причому, відповідно до зарядів  $q$ ,  $2q$ ,  $3q$  і т.д. потенціал кулі набуває значень  $\phi$ ,  $2\phi$ ,  $3\phi$  і т.д., зростаючи пропорційно величині заряду. Якщо такий же дослід зробити з іншим яким-небудь провідником, то ми знову дістанемо таку саму залежність між зарядом і потенціалом провідника. Відношення величини заряду, наданого провідникові, до його потенціалу є величина стала.

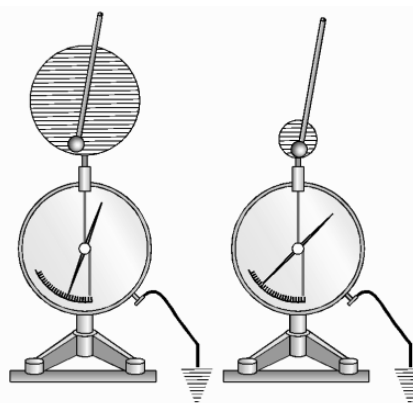
Величина, яка вимірюється відношенням заряду провідника до його потенціалу, називається електроємністю, або просто ємністю провідника. Ємність ( $C$ ) можна визначити за формулою:

$$\tilde{N} = \frac{q}{\phi}$$

Якщо передавати однакові заряди двом ізольованим металевим кулям різних радіусів і вимірювати їх потенціали електрометром, то виявиться, що потенціал кулі з меншим радіусом буде вищий за потенціал кулі з більшим радіусом (мал. 2.6). Отже, ємність провідника залежить від його розмірів. Термін «ємність» залишився у фізиці з XVII — XVIII ст., коли електрику уявляли собі як якусь невагому електричну рідину, яка могла «вливатися» в провідник і «вилитися» з нього.

Ємність провідника можна змінити за допомогою тіл, що оточують його. Якщо навколо зарядженої кулі поставити долоні, не доторкуючись до неї, то електрометр, сполучений з нею, покаже зменшення потенціалу. Таке зменшення потенціалу, при незмінності заряду на кулі, вказує на зростання електроємності кулі при наближенні до нього інших тіл. Це стосується будь-якого провідника.

Ємність відокремленого провідника, тобто розташованого далеко від інших тіл, залежить від його геометричних розмірів і форми і не залежить від матеріалу провідника та наявності порожнин у ньому.



Мал. 2.6. До досліду з визначення електроємності



Щоб дістати одиницю електроємності, треба у виразі  $C = \frac{q}{\phi}$  взяти  $q = 1$  од. заряду,  $\phi = 1$  од. потенціалу, тоді  $C = 1$  од. ємності.

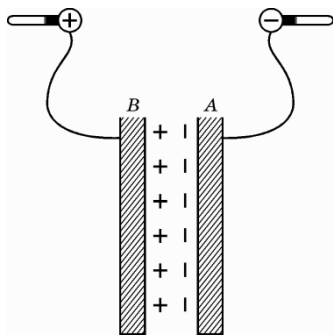
За одиницю ємності в системі одиниць СІ приймається 1 фарада (Ф). Це ємність провідника, потенціал якого змінюється на 1 вольт при зміні заряду на ньому в 1 кулон,

1 фарада (Ф) = 1Кл/1Вт. Це дуже велика ємність, через те користуються меншими одиницями:

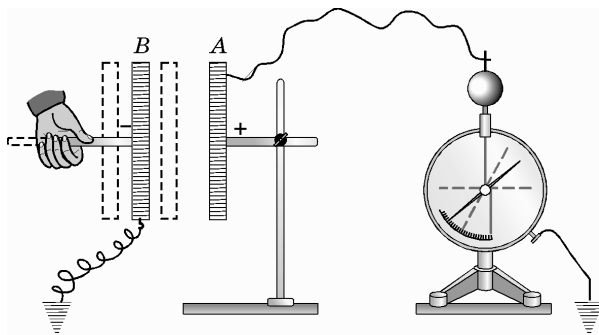
1 мікрофарада (мкФ) =  $10^{-6}$ Ф; 1 пФ =  $10^{-6}$ мкФ =  $10^{-12}$ Ф.

**Конденсатор.** Два провідники, ізольовані один від одного і розміщені поблизу один до одного, утворюють конденсатор. Провідники, які утворюють конденсатор, заряджають рівними за величиною і протилежними за знаком зарядами (мал. 2.7).

Найпростішим є плоский конденсатор, який складається з двох однакових плоских паралельних металевих пластин, відокремлених шаром діелектрика. Відстань між пластинами мала порівняно з розміром пластин. Пластини конденсатора називають обкладками конденсатора.



Мал. 2.7. Схема зарядженого плоского конденсатора



Мал. 2.8. Зміна ємності конденсатора при зменшенні віддалі між його пластинами

Величина, яка вимірюється відношенням заряду конденсатора до різниці потенціалів його пластин (або обкладок), називається ємністю конденсатора.

Позначаючи ємність конденсатора буквою  $C$ , можна написати:

$$C = \frac{q}{\phi_1 - \phi_2}$$

Електричне поле конденсатора практично зосереджене між пластинами всередині конденсатора. Тому тіла, які оточують конденсатор, не впливають на його ємність.

**Електроємність** — величина, що вимірюється відношенням заряду провідника до його потенціалу  $C = \frac{q}{\phi}$ . Одиниці вимірювання електроємності — 1 Ф; 1 мкФ; 1 пФ.

Нагромаджена при заряджанні конденсатора енергія являє собою енергію (потенціальну) електричного поля, яке утворюється між пластинами конденсатора. Ця енергія при розряджанні конденсатора перетворюється в інші види, наприклад, у внутрішню енергію тіл, світлову, хімічну та ін.

**Енергія електричного поля плоского конденсатора залежить від ємності конденсатора і різниці потенціалів між його обкладками.**

### Перевірте себе

1. Що таке електроємність?
2. В яких одиницях вимірюється електроємність?

3. Який пристрій називають конденсатором?  
 4. Де використовуються конденсатори?

### Поміркуйте

Як поняття енергії електричного поля пояснити на основі закону збереження і перетворення енергії?

## § 5. Електричний струм

**1. Електричний струм. Електричне коло.** Повторимо з 9 класу поняття, які необхідні для вивчення означених понять. *Електричним струмом називається впорядкований рух електричних зарядів під дією електричного поля.* За напрям електричного струму прийнятий напрям руху позитивних зарядів.

Електричні заряди можуть рухатися впорядковано під дією електричного поля. Тому достатньою умовою для існування електричного струму є наявність електричного поля і вільних носіїв електричного заряду.

Електричне поле може бути створене, наприклад, двома різнойменно зарядженими тілами. Сполучаючи провідником різнойменно заряджені тіла, можна отримати електричний струм, що протікає протягом короткого часу.

Відношення заряду  $\Delta q$ , що проходить через поперечний переріз провідника за інтервал часу  $\Delta t$ , до цього інтервалу часу називається силою струму  $I$ :

$$I = \frac{\Delta q}{\Delta t}.$$

Якщо сила струму з часом не змінюється, електричний струм називають постійним струмом.

**2. Закон Ома для повного кола.** *Електрорушійна сила.* Повна робота сил електричного поля при русі зарядів по замкнутому колу постійного струму дорівнює нулю. Отже, вся робота електричного струму у замкнутому електричному колі виконується за рахунок дії сторонніх сил. Відношення роботи  $A$ , здійсненої сторонніми силами з переміщення заряду  $q$  уздовж кола до значення цього заряду називається електрорушійною силою джерела (ЕРС):

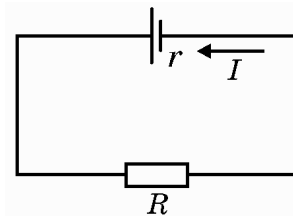
$$E = \frac{A}{q}$$

Електрорушійна сила виражається в тих же одиницях, що і напруга або різниця потенціалів, тобто у вольтах.

*Закон Ома для повного кола.* Якщо в результаті проходження постійного струму в замкнутому електричному колі відбувається лише нагрівання провідників, то за законом збереження енергії повна робота електричного струму в цьому колі, що дорівнює роботі сторонніх сил джерела струму, дорівнює сумарній кількості теплоти, яка виділилася на зовнішній і внутрішній ділянках кола.

За допомогою закону збереження енергії знайдемо залежність сили струму в колі від ЕРС та його опору.

Розглянемо найпростіше повне замкнуте коло, що складається з джерела струму (гальванічного елемента, акумулятора або генератора) і резистора опором  $R$  (мал. 2.9). Джерело струму має електрорушійну силу  $\epsilon$  і опір  $r$ . Опір джерела  $r$  називають внутрішнім опором на відміну від зовнішнього опору  $R$  кола. У генераторі  $r$  — це опір обмоток, а в гальванічному елементі — опір розчину електроліту й електродів.



Мал. 2.9. Схема електричного кола

Закон Ома для замкнутого кола пов'язує силу струму в колі, ЕРС і повний опір  $(R + r)$  кола. Цей зв'язок можна встановити теоретично на основі закону збереження енергії і закону Джоуля-Ленца.

Добуток сили струму на опір частини кола часто називають *спадом напруги на цій ділянці кола або напругою*. Отже, ЕРС дорівнює сумі спадів напруг на внутрішній і зовнішній частинах замкнутого кола.

Закон Ома для замкнутого кола записують так:

$$I = \frac{\varepsilon}{R + r}.$$

Сила струму в повному колі дорівнює відношенню ЕРС кола до його повного опору.

Закон Ома для повного кола виводиться на основі закону збереження і перетворення енергії.

## Лабораторна робота № 1

### Вимірювання ЕРС і внутрішнього опору джерела струму

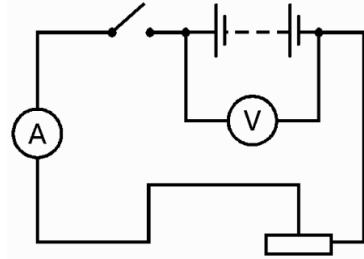
*Мета роботи:* ознайомитися з одним із методів вимірювання ЕРС і внутрішнього опору джерела струму.

*Обладнання:* досліджуваний гальванічний елемент (акумулятор або батарейка кишенькового ліхтарика); лабораторний амперметр (шкільний); лабораторний вольтметр (шкільний); реостат на 6–8 Ом і 2 А; вимикач та з'єднувальні провідники.

ЕРС джерела можна виміряти за допомогою вольтметра, опір якого значно більший за внутрішній опір джерела. Внутрішній опір джерела струму можна визначити на основі закону Ома, вимірявши напругу на резисторі з відомим опором  $R$ , приєднаним до джерела.

Оскільки:

$$I = \frac{\varepsilon}{R + r}, \text{ то } r = \frac{\varepsilon - R I}{I} = \frac{\varepsilon - U}{I}.$$



Мал. 2.10. До лабораторної роботи № 1

#### Хід роботи

1. Повторіть відомі вам з основної школи правила безпеки під час роботи з приладами, які живляться електричним струмом.
2. Складіть електричне коло за схемою (мал. 2.10). Перевірте надійність електричних контактів, правильність вмикання амперметра і вольтметра.
3. Занотуйте покази вольтметра, коли вимикач розімкнутий.
4. Замкніть коло і за допомогою реостата відрегулюйте силу струму так, щоб стрілка амперметра встановилася проти цілої поділки шкали амперметра.
5. Запишіть значення сили струму  $I$  і напруги на зовнішній ділянці кола  $U$ .
6. Обчисліть напругу на внутрішній ділянці кола  $U_B$ .
7. Обчисліть внутрішній опір джерела струму  $r = \frac{U_B}{I}$ .
8. Використавши дані про клас точності амперметра і вольтметра, визначте максимальну відносну похибку результату:

$$\varepsilon = \frac{\Delta r}{r} = \frac{\Delta I}{I} + \frac{\Delta U_B}{U_B}.$$

9. Визначте максимальну абсолютну похибку  $\Delta r = \varepsilon r$  і запишіть значення внутрішнього опору джерела струму з урахуванням похибки вимірювання:  $r \pm \Delta r$ .

## § 6. Електричний струм у різних середовищах

**1. Електричний струм у різних середовищах. Електричні властивості напівпровідників.** У курсі 9 класу ви познайомилися з електричним струмом у різних середовищах.

Так, у металах, де носіями струму є вільні електрони, струм створюється спрямованим рухом вільних електронів під дією електричного поля.

У газах під дією електричного поля спрямовано рухаються електрони, які утворилися внаслідок явища іонізації газу, та іони.

Вам відомий закон Фарадея для електролізу та використання цього явища в промисловості і техніці, а також застосування електричного струму в газах у побуті, техніці тощо.

Нині ваша увага зосередиться на напівпровідниках.

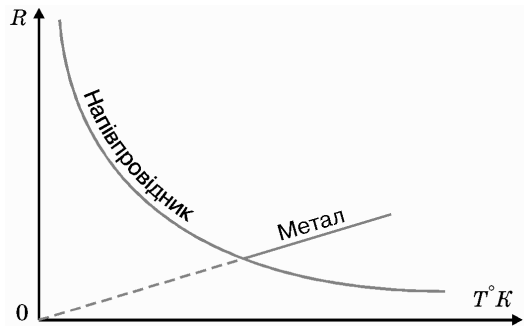
**Провідність напівпровідників.** Вам відомо, що в металевому провіднику наявні велика кількість вільних електронів або електронів провідності, які наявні в металах при будь-якій температурі, навіть при абсолютному нулі.

Також з курсу 9 класу вам відомо, що існує широкий клас речовин, так званих напівпровідників. Вони відрізняються від металів, перш за все, тим, що в них за звичайних температур міститься значно менша кількість вільних електронів. Так, якщо в  $1 \text{ см}^3$  металу при кімнатній температурі є  $10^{22}$ - $10^{23}$  електронів, то в такому напівпровіднику як германій при тій же температурі міститься тільки  $10^{12}$ - $10^{13}$  електронів провідності у кожному кубічному сантиметрі його об'єму, тобто значно менше, ніж у металі. Мала концентрація електронів провідності у напівпровідниках зумовлює їх дуже великий питомий опір.

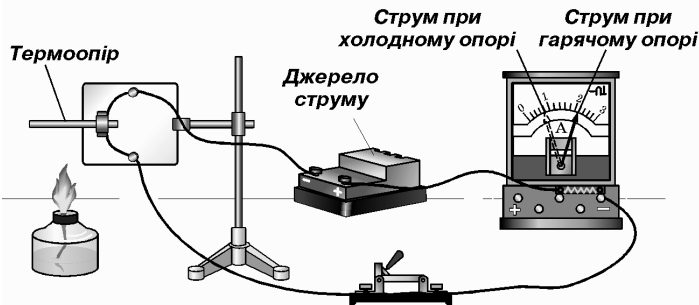
До напівпровідників, крім германію, належать кремній, селен, закис міді, сірчастий свинець і багато інших речовин.

Приєднавши напівпровідник до джерела струму і нагріваючи його, помітимо різке зростання струму в напівпровіднику. Нагрівання ж провідника зі струмом призводить до зменшення струму. Отже, напівпровідники, на відміну від металів, мають від'ємний температурний коефіцієнт опору. Це можна пояснити тим, що при нагріванні напівпровідника відбувається різке збільшення числа вільних електронів провідності у ньому.

Якщо напівпровідник нагріти до досить високої температури, то його питомий опір може стати близьким до питомого опору металів (мал. 2.11).



Мал. 2.11. Графіки залежності опору провідника (металу) і напівпровідника від температури



Мал. 2.12. Дослід, що показує зменшення опору напівпровідника при нагріванні

Напівпровідники використовують в термоопорах — приладах, які сильно змінюють величину опору при нагріванні. Навіть при слабкому нагріванні напівпровідника над полум'ям спиртівки можна спостерігати значне збільшення струму (мал. 2.12). Ця властивість термоопорів дає можливість широко використовувати їх в спеціальних пристроях для вимірювання температури електричними методами (в термометрах опору).

**Фотоопори.** Напівпровідники, опір яких змінюється під дією світла, дістали назву фотоопорів. У фотоопорі електрони під дією світла, переходячи із зв'язаного стану у вільний, збільшують провідність напівпровідника. Чим більша освітленість, тим більша провідність фотоопору.

Фотоопір можна виготовити нанесенням тонкого шару селену, сірчистого талію або іншого світлочутливого напівпровідника на решітку з паралельних тонких провідників.

Фотоопори мають високу чутливість до зміни світла. Тому вони широко застосовуються в автоматиці, телемеханіці і т.д.

**Власна провідність напівпровідників.** Провідність напівпровідників, що не мають домішок, дістала назву власної провідності.

При абсолютному нулі температури власна провідність у напівпровідників відсутня і вони не проводять електрики. Це означає, що при абсолютному нулі в напівпровідниках немає вільних електронів — електронів провідності.

При підвищенні температури напівпровідника валентні електрони дістають додаткову енергію і деякі з них можуть розірвати свої зв'язки з атомом, стаючи при цьому вільними електронами — електронами провідності. Енергія, необхідна для відриву електрона від атома, називається енергією іонізації. Величина її для різних напівпровідників різна.

Електрони провідності у напівпровідниках поведуть себе подібно до електронів провідності в металах, тобто вони вільно переміщуються між атомами і іонами просторової решітки. Іонізовані ж атоми не можуть вільно переміщуватися, бо вони міцно зв'язані у вузлах кристалічної решітки.

В іонізованому атомі напівпровідника на місці електрона, що вийшов, виникає вакантне (вільне) місце, яке може бути зайняте іншим електроном. Це вільне місце дістало назву *дірки*.

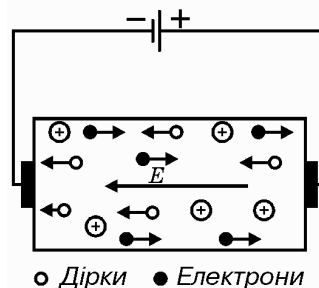
Якщо на вільне місце перейде один із зв'язаних електронів сусіднього атома, то це місце буде зайняте, але зате з'явиться вільне місце у сусіднього атома і т.д. Послідовне заповнення вільних місць електронами, які в цей момент втрачають свої зв'язки з атомами, створює враження про безперервне переміщення дірки.

В чистому, без домішок напівпровіднику кількість дірок завжди дорівнює кількості електронів провідності і вони так само хаотично рухаються, як і електрони.

Під дією електричного поля  $E$ , створеного у напівпровіднику зовнішнім джерелом напруги, електрони провідності рухатимуться назустріч силовим лініям поля, а дірки почнуть переміщуватися у протилежний бік, подібно до позитивних зарядів (мал. 2.13). Це пояснюється тим, що зв'язані електрони, як і електрони провідності, переміщуються від одного атома до іншого, сусіднього, назустріч силовим лініям електричного поля, а дірки — у протилежний бік.

Оскільки дірки переміщуються у той самий бік, що і позитивні заряди, то дірки можна приписати знак позитивного заряду, величина якого дорівнює заряду електрона.

Отже, струм у напівпровіднику створюється рухом не тільки електронів провідності, а й дірок, тому й кажуть, що напівпровідник має як електронну, так і діркову провід-



Мал. 2.13. До руху електронів і дірок у напівпровіднику під дією зовнішнього поля



ність. Повний струм  $i_n$  у напівпровіднику дорівнюватиме сумі струмів, викликаних електронною провідністю ( $i_e$ ) і дірковою провідністю ( $i_d$ ):

$$i_n = i_e + i_d.$$

До напівпровідників відносять речовини, опір яких при підвищенні температури зменшується. Напівпровідники бувають  $n$ -типу і  $p$ -типу.

Якщо переважає електронна провідність, то електрони вважаються основними носіями зарядів, а якщо переважає діркова провідність, то основними носіями зарядів є дірки.

### Перевірте себе

1. Охарактеризуйте струм у різних середовищах.
2. Які речовини відносять до напівпровідників?
3. Якими дослідами доводять існування напівпровідників?
4. Охарактеризуйте напівпровідники  $n$ -типу і  $p$ -типу.

### Подискутуйте

1. Як пояснити утворення напівпровідників  $n$ -типу і  $p$ -типу, виходячи із законів збереження (електричного заряду, енергії).

### Для допитливих

Оберіть проект:

1. Природа електричного струму в різних середовищах та його використання.
2. Застосування напівпровідникових приладів.

## § 7. Електрична та магнітна взаємодія

### \*1. Електрична та магнітна взаємодія.

Якщо закріпити на штативі два однакові паралельні провідники, наприклад, дві смужки алюмінієвої фольги, приєднати обидва провідники до джерела струму (мал. 2.14), то вони будуть притягуватися або відштовхуватися.

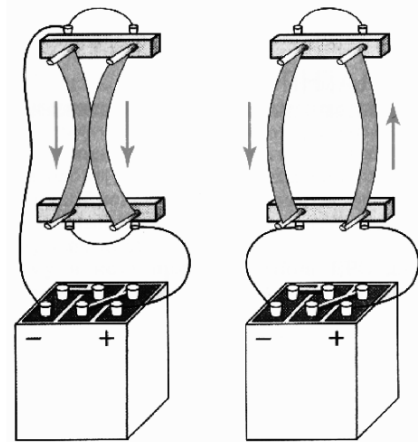
Взаємодія провідників зі струмом пояснюється тим, що навколо них існують магнітні поля і на кожен провідник зі струмом діє магнітне поле іншого провідника.

**Магнітне поле — це вид матерії, який існує в просторі навколо провідника зі струмом або магніту.**

Магнітне поле постійних магнітів також пояснюється рухом заряджених частинок в атомах самого магніту.

Отже, магнітне поле створюється лише рухомими зарядами і діє лише на рухомі заряджені тіла.

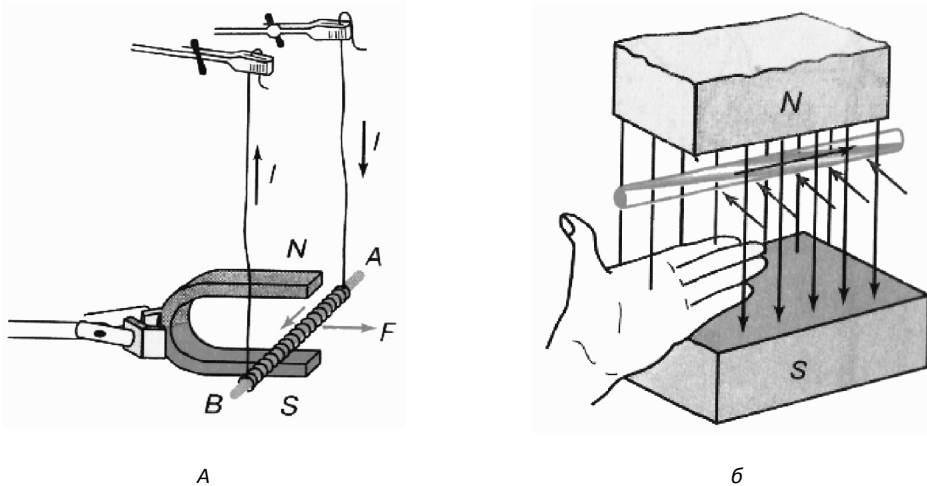
Пригадайте з 9 класу, що лінії, вздовж яких у магнітному полі розташовуються осі маленьких магнітних стрілок, називають силовими лініями магнітного поля. Силову лінію проводять так, що дотична до неї в будь-якій її точці вказує на напрям сили, яка діє в цій точці, на північний полюс магнітної стрілки. Напрямок магнітних силових ліній визначається за відомим вам правилом «свердлика».



Мал. 2.14. Взаємодія двох провідників зі струмом

*Сила Ампера. Дія магнітного поля на провідник зі струмом.*  
 Складемо установку за мал. 2.15, а.

Коли струм у провіднику проходить так, як показано на малюнку, провідник виштовхується з проміжку між полюсами магніту. Якщо змінити напрям струму або поміняти місцями полюси магніту, провідник буде втягуватися у проміжок між полюсами магніту. В обох випадках напрям сили буде перпендикулярним до силових ліній. Для визначення напрямку сили, яка діє на прямолінійний провідник зі струмом у магнітному полі, користуються правилом лівої руки (мал. 2.15, б). Якщо розмістити ліву руку так, щоб силові лінії магнітного поля входили в її долоню, а витягнуті чотири пальці вказували напрям струму, то відігнутий великий палець покаже напрям діючої на провідник сили.



Мал. 2.15. До визначення сили, яка діє на провідник зі струмом у магнітному полі (а) та її напрямку (б)

Сила  $F$ , яка діє в магнітному полі на провідник зі струмом, прямо пропорційна силі струму  $I$ , довжині провідника  $l$ , синусу кута  $\alpha$  між напрямками струму і силових ліній і залежить від характеристики магнітного поля  $B$ :

$$F = BIl \sin \alpha.$$

Характеристика магнітного поля  $B$  буде розглянута в наступному параграфі.

Якщо провідник розміщений перпендикулярно до силових ліній поля, формула набуває вигляду:

$$F = BIl.$$

Цю формулу було виведено французьким фізиком А. Ампером.

*Залежність, що визначається формулою  $F = BIl \sin \alpha$ , називають законом Ампера, а силу, що діє на провідник зі струмом у магнітному полі, називають силою Ампера.*

### Перевірте себе

1. Які взаємодії називають магнітними і в чому їхня відміна від електростатичних взаємодій?
2. Як взаємодіють між собою два повітряні проводи тролейбусної лінії: притягуються чи відштовхуються?
3. Чим відрізняються магнітні силові лінії від ліній напруженості електричного поля?
4. Як визначають напрям магнітних силових ліній?

## Поміркуйте

1. Від чого залежить сила, яка діє на прямолінійний провідник зі струмом у зовнішньому магнітному полі?
2. Чому магнітне поле не діє на провідник без струму (адже електрони перебувають у провіднику в тепловому русі)?

**2. Сила Лоренца.** Вам відомо, що електричний струм — це впорядкований рух сукупності заряджених частинок. Тому дія магнітного поля на провідник із струмом є результат дії поля на рухомі заряджені частинки всередині провідника. Знайдемо силу, що діє на одну частинку.

Сила, що діє на рухому заряджену частинку з боку магнітного поля, названа силою Лоренца на честь видатного голландського фізика Х. Лоренца (1853–1928) — основоположника електронної теорії будови речовини. Цю силу можна знайти, виходячи із формули сили Ампера:  $F = BIl \sin\alpha$ .

$F_{\text{л}} = \frac{F}{N}$ , де  $F$  — сила Ампера,  $N$  — кількість заряджених частинок, що створюють струм у провіднику, поміщеному в магнітне поле.

Нехай довжина відрізка  $\Delta l$  і площа поперечного перерізу  $S$  провідника зі струмом настільки малі, що вектор індукції магнітного поля  $\vec{B}$  можна вважати незмінним у межах відрізка провідника (мал. 2.16). Сила струму у провіднику пов'язана із зарядом електрона  $q$ , кількістю зарядів в одиниці об'єму і швидкістю їх упорядкованого руху  $v$  формулою:

$$I = qn\nu S.$$

Величина сили, що діє з боку магнітного поля на обраний елемент струму, дорівнює:

$$F = I\Delta l B \sin\alpha.$$

Підставивши сюди вираз для сили струму, дістанемо:

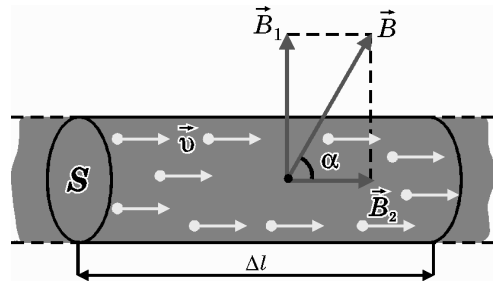
$$F = qn\nu S\Delta l B \sin\alpha,$$

де  $N = nS\Delta l$  — кількість заряджених частинок в аналізованому об'ємі.

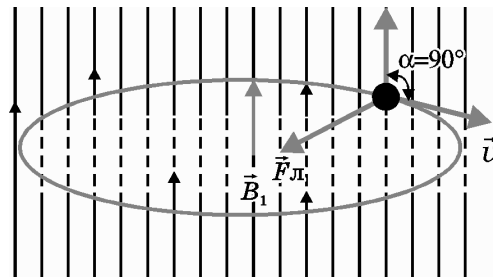
Отже, на кожний заряд, що рухається, з боку магнітного поля діє сила Лоренца:

$$F_{\text{л}} = \frac{F}{N} = q\nu B \sin\alpha,$$

де  $\alpha$  — кут між вектором швидкості зарядженої частинки й вектором магнітної індукції. Сила Лоренца перпендикулярна до векторів  $\vec{B}$  та  $\vec{v}$ , і її напрям, як і напрям сили Ампера, визначають за допомогою правила лівої руки.



Мал. 2.16. До виводу формули сили Лоренца



Мал. 2.17. До визначення напрямку сили Лоренца

Оскільки сила Лоренца перпендикулярна до швидкості частинки, то вона не виконує роботи. Під дією сили Лоренца змінюється лише напрям швидкості частинки.

Дію магнітного поля на рухомий заряд широко використовують у сучасній техніці. Так, в телевізійній трубці (кінескопі) електрони, що летять до екрана, відхиляються за допомогою магнітного поля, яке створюють спеціальні котушки.

Дію магнітного поля на заряджені частинки застосовують також у приладах, що дають змогу розділяти частинки за їх питомим зарядом, тобто за відношенням заряду частинки до її маси, і за знайденими результатами точно визначати маси частинок. Такі прилади називаються *мас-спектрографами*.

**Величину  $\vec{B}$  називають магнітною індукцією.**

**Магнітна індукція в даній точці поля вимірюється силою, яка діє на одиницю довжини провідника, вміщеного в цю точку перпендикулярно до силових ліній, якщо сила струму в провіднику дорівнює одиниці.**

*Магнітна індукція* — силова характеристика поля, тому вона є векторною величиною і в будь-якій точці поля вектор індукції магнітного поля спрямований вздовж дотичної до силової лінії поля.

Виведемо одиницю вимірювання магнітної індукції.

З формули  $B = \frac{F}{I}$  випливає одиниця індукції  $= \frac{1 \text{ Н}}{1 \text{ А} \cdot 1 \text{ м}} = 1 \text{ Тл (тесла)}$ .

Як і у випадку електричних полів під час графічного зображення магнітного поля, домовилися силові лінії проводити з такою густиною, щоб кількість ліній, які перетинають одиницю поверхні, перпендикулярну до них, дорівнювала (або була пропорційною) значенню магнітної індукції в даній частині поля. Там, де силові лінії розташовані на малюнку густіше, магнітна індукція поля більша. Підкреслимо, що проведені таким способом силові лінії звичайно називають *лініями індукції*.

Поле, в кожній точці якого індукція однакова за величиною і напрямом, називають *однорідним*. У випадку однорідного поля лінії індукції є паралельними прямими, розташованими на однакових відстанях одна від одної. Прикладом однорідного поля може бути магнітне поле в середній частині прямої котушки зі струмом. Біля кінців котушки лінії індукції викривляються і розходяться, а значить, поле стає неоднорідним.

**На рухому заряджену частинку з боку магнітного поля діє сила Лоренца. Ця сила перпендикулярна до швидкості частинки і не виконує роботи.**

#### Перевірте себе

1. Чому дорівнює модуль сили Лоренца?
2. Як рухається заряджена частинка в однорідному магнітному полі, якщо початкова швидкість частинки перпендикулярна до лінії магнітної індукції?
3. Як визначити напрям сили Лоренца?
4. Чому сила Лоренца змінює напрям швидкості, але не змінює її величини.

#### Поміркуйте

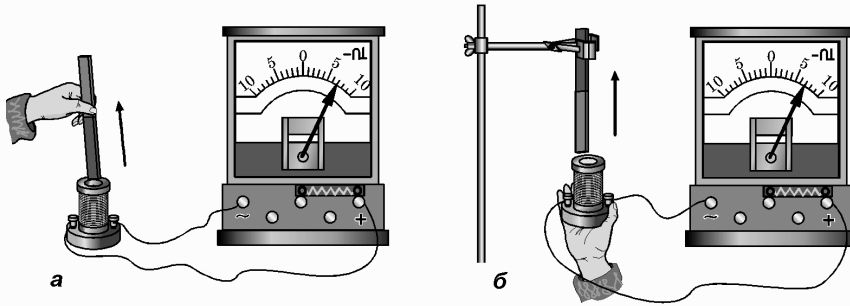
1. Яку величину називають магнітною індукцією?

## § 8. Електромагнітна індукція

Явище електромагнітної індукції відкрив у 1831 р. Фарадей. Це відкриття належить до числа найбільш визначних наукових досягнень першої половини XIX століття. Воно спричинило бурхливий розвиток електротехніки і радіотехніки.

На підставі явища електромагнітної індукції були створені потужні генератори електричної енергії, в розробці яких брали участь вчені і техніки різних країн і народів.





Мал. 2.18. До виявлення явища електромагнітної індукції

На основі відомих з курсу основної школи дослідів розглянемо тепер загальні закони електромагнітної індукції.

Якщо в котушку, замкнену на гальванометр, вставляти або виймати з неї магніт, стрілка гальванометра при цьому відхилитиметься, вказуючи на появу індукційного струму в колі котушки (мал. 2.18, а, б).

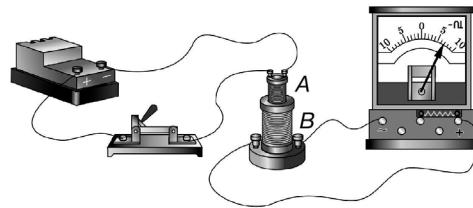
Струм у колі котушки існує тільки під час руху магніту відносно котушки.

На мал. 2.19 зображена котушка А, увімкнена в коло джерела струму. Ця котушка вставлена в другу котушку В, замкнену на гальванометр. При замиканні і розмиканні кола котушки А в котушці В виникають індукційні струми.

Індукційний струм у котушці В виникне і при зміні струму в котушці А або під час руху цих котушок однієї відносно одної.

На підставі розглянутих дослідів можна констатувати, що в усіх випадках виникнення індукційного струму відбувається зміна магнітного потоку, що пронизує площу, охоплену провідником.

Якщо ж магнітний потік, який пронизує замкнений контур, не змінюється, то індукційний струм в контурі не виникає. В цьому легко переконатися, переміщаючи поступально замкнений контур в однорідному магнітному полі: струм у контурі при цьому не виникає.



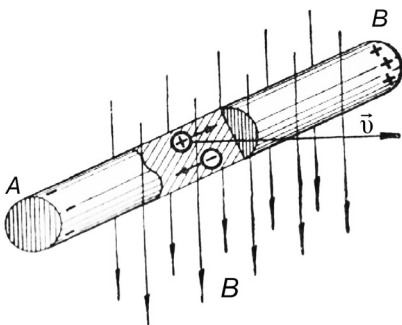
Мал. 2.19. Установка для виявлення явища електромагнітної індукції

Отже, при всякій зміні магнітного потоку, що пронизує контур замкненого провідника, в останньому виникає електричний струм, який існує протягом усього процесу зміни магнітного потоку.

В цьому і полягає один з найважливіших законів природи — закон електромагнітної індукції.

Електрорушійну силу, яка виникає в провіднику внаслідок електромагнітної індукції, прийнято називати електрорушійною силою індукції — ЕРС індукції.

Зауважимо, що для явища електромагнітної індукції характерною величиною є ЕРС індукції, а не індукційний струм, який залежить від опору провідника.



Мал. 2.20. До питань про виникнення ЕРС індукції в провіднику

Явище електромагнітної індукції спостерігається і в незамкнених провідниках. В цих випадках при перетині провідником магнітних силових ліній на кінцях його виникає напруга, причиною появи якої є та сама ЕРС індукції (мал. 2.20).

При всякій зміні магнітного потоку, що пронизує контур провідника, в останньому виникає ЕРС індукції.

*Пояснення виникнення ЕРС індукції.* Припустимо, що провідник  $AB$  (мал. 2.20) рухається зліва направо з певною швидкістю в однорідному магнітному полі  $B$ , силові лінії якого напрямлені згори донизу. Разом з провідником рухаються зліва направо його електрони і позитивно заряджені частинки. Згідно з електронною теорією, рух заряджених частинок утворює електричний струм. А на будь-який струм магнітне поле діє в напрямі, що визначається правилом лівої руки. Напрямок струму в даному разі є напрямом руху провідника; він позначений на рисунку вектором  $\vec{v}$ .

Застосовуючи правило лівої руки, знайдемо, що на позитивно заряджені частинки провідника діє сила, спрямована до кінця провідника  $B$ , а на вільні електрони в провіднику діє сила, спрямована до кінця  $A$ . Але позитивно заряджені частинки металу, які утворюють кристалічну решітку, відхилитися полем не будуть. Вільні ж електрони змістяться в полі до кінця провідника  $A$ . Таким чином, в частині  $A$  провідника утвориться надлишок електронів, а в частині  $B$  — їх недостача. Між кінцями провідників  $A$  і  $B$  виникне напруга, яка і буде мірою ЕРС індукції.

Закон електромагнітної індукції.

З дослідів, описаних вище, можна зробити висновок: чим швидше змінюється магнітний потік, який пронизує контур провідника, тим більший струм тече по провіднику, тим, отже, більша ЕРС індукції виникає в ньому.

Якщо в момент часу  $t_1$  магнітний потік, який пронизує контур провідника, був  $\Phi_1$ , а в момент  $t_2$  став  $\Phi_2$ , то за час  $t_2 - t_1 = \Delta t$  магнітний потік змінився на величину  $\Phi_2 - \Phi_1 = \Delta\Phi$ .

Відношення  $\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$  називається швидкістю зміни магнітного потоку.

Вимірювання, проведені з різними провідниками при різних змінах магнітного потоку, показують, що величина ЕРС індукції, яка виникає в провіднику, пропорційна швидкості зміни магнітного потоку. Отже,

$$E = -k \frac{\Delta\phi}{\Delta t}$$

У цій формулі  $k$  — коефіцієнт пропорційності, числове значення якого залежить від того, в яких одиницях виміряні інші величини, що входять у рівність. У СІ  $\Phi$  виражається у веберах,  $t$  — в секундах,  $\varepsilon$  — у вольтах,  $k=1$ . Отже,

$$E = - \frac{\Delta\phi}{\Delta t}$$

Знак мінус у формулі ЕРС індукції означає, що при зростанні магнітного потоку, який пронизує контур провідника, ЕРС індукції буде негативна; вона створює індукційний струм, що протидіє зміні магнітного потоку, яка викликає індукційний струм.

*Напрямок індукційного струму. Закон Ленца.*

Питання про напрямок індукційного струму в найбільш загальному вигляді було розв'язане Ленцом.

Проведемо дослід з приладом, зображеним на мал. 2.21. Якщо наближати і віддаляти магніт від розрізаного кільця, то можна помітити, що воно не взаємодіє з магнітом, бо індукційний струм у кільці не виникає. Рухаючи ж магніт відносно суцільного кільця, ми виявимо, що при наближенні магніту кільце відштовхується від нього, при віддаленні — притягується.



З розглянутих дослідів можна зробити такий висновок: *індукційний струм, який виникає в провіднику, напрямлений так, що своїм магнітним полем протидіє рухові магніту і провідника одного відносно другого.*

Розглянуті нами випадки напряму індукційного струму відповідають законам Ленца, який в найбільш загальному вигляді формулюється так:

*Індукційний струм завжди має такий напрям, при якому його магнітне поле протидіє зміні магнітного потоку, що збуджує цей струм.*

Індукційний струм, як і всякий струм, має енергію. Отже, створюючи індукційний струм, ми тим самим створюємо електричну енергію; згідно з законом збереження і перетворення енергії, останню можна мати тільки за рахунок еквівалентної кількості енергії якого-небудь іншого виду.

Коли ми наближаємо, наприклад, до кільця магніт, то індукційний струм, що виникає в ньому, своїм магнітним полем відштовхує магніт. Рухаючи магніт, ми перемагаємо ці сили відштовхування, тобто виконуємо роботу, в результаті чого механічна енергія перетворюється в енергію індукційного струму.

При висуванні магніту з кільця виконується робота по переміганню сили притягання котушки. Механічна енергія тут так само перетворюється в енергію індукційного струму.

Отже, закон Ленца пояснюється на основі закону збереження і перетворення енергії.

**Явище електромагнітної індукції полягає в тому, що при всякій зміні магнітного потоку, що пронизує контур замкнутого провідника, в ньому виникає ЕРС індукції. ЕРС індукції пропорційна швидкості зміни магнітного потоку.**

**Індукційний струм має такий напрям, що його магнітне поле протидіє зміні магнітного потоку, що збуджує цей струм.**

#### Перевірте себе

1. В чому полягає явище електромагнітної індукції?
2. Сформулюйте закон електромагнітної індукції і запишіть його формулу.
3. В чому полягає закон Ленца?

#### Поміркуйте

1. Поясніть явище електромагнітної індукції, закон Ленца на основі закону збереження і перетворення енергії.
2. Поясніть виникнення ЕРС індукції з використанням закону збереження електричного заряду.

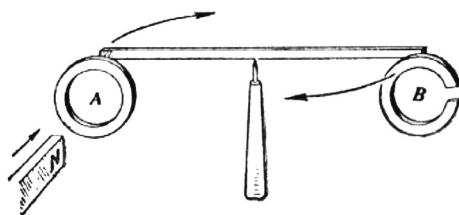
### § 9. Добування змінного струму

Помістимо в однорідне магнітне поле виток дроту *abcd* (мал. 2.22).

При рівномірному обертанні цього витка навколо осі *oo* магнітний потік, що пронизує його площу, буде безперервно змінюватися як за величиною, так і за напрямом.

Внаслідок цього, згідно з законом електромагнітної індукції, у витку виникає змінна за величиною і знаком ЕРС індукції.

Коли площина обертового витка стає перпендикулярною до силових ліній магнітного поля (мал. 2.22, *a*), магнітний потік, що пронизує її, — найбільший ( $\Phi = \Phi_{\max}$ ),



Мал. 2.21. При наближенні магніту до суцільного кільця воно відштовхується, а при віддаленні притягується. Розрізане кільце не взаємодіє з магнітом

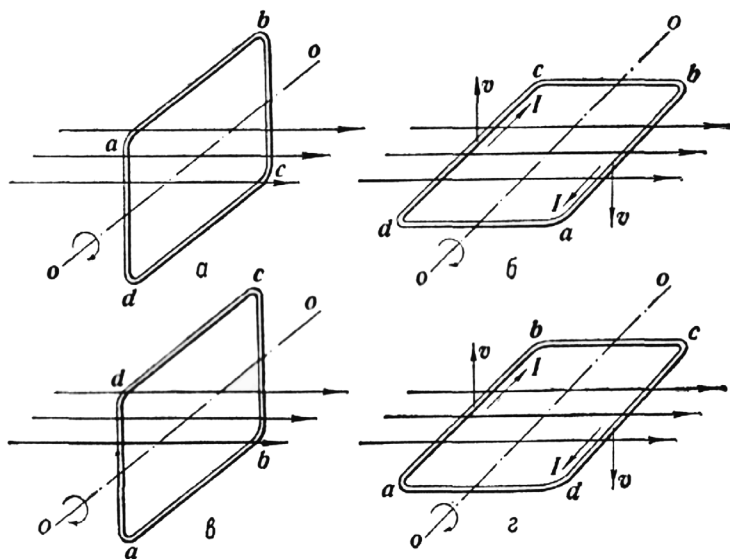


швидкість зміни його дорівнює нулеві ( $\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = 0$ ), бо при проходженні через це положення провідники витка ковзають вздовж силових ліній поля, не перетинаючи їх. Отже, ЕРС індукції, що виникає у витку і пропорційна швидкості зміни потоку, дорівнюватиме нулеві ( $\epsilon = 0$ ).

Коли ж площина витка паралельна силовим лініям поля (мал. 2.22, б) потік, що пронизує її, дорівнює нулеві ( $\Phi = 0$ ), швидкість же зміни його при проходженні через це положення найбільша ( $\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = \text{max}$ ), бо провідники витка рухаються перпендикулярно до силових ліній поля.

ЕРС, що виникла у цьому випадку у витку, має найбільше значення ( $\epsilon = \epsilon_{\text{max}} = \epsilon_m$ ). В частині *ab* витка струм матиме напрям від рисунка до спостерігача, а в частині *cd*, навпаки, — від спостерігача за рисунок. При дальшому повертанні витка ЕРС, зберігаючи незмінним знак, буде зменшуватися, і в положенні, зображеному на мал. 2.22, в, величина ЕРС знову дорівнюватиме нулеві ( $\epsilon = 0$ ), бо в цьому положенні при найбільшій величині магнітного потоку, що пронизує площину витка, швидкість зміни його найменша.

При дальшому обертанні витка швидкість зміни потоку, що пронизує виток, збільшуватиметься; отже, ЕРС за абсолютною величиною зростатиме від 0 до  $\epsilon_m$  (мал. 2.22, г). Але через те, що виток рухається тепер назустріч магнітному потоку другою стороною площини, то знак ЕРС в ньому змінюється на протилежний.



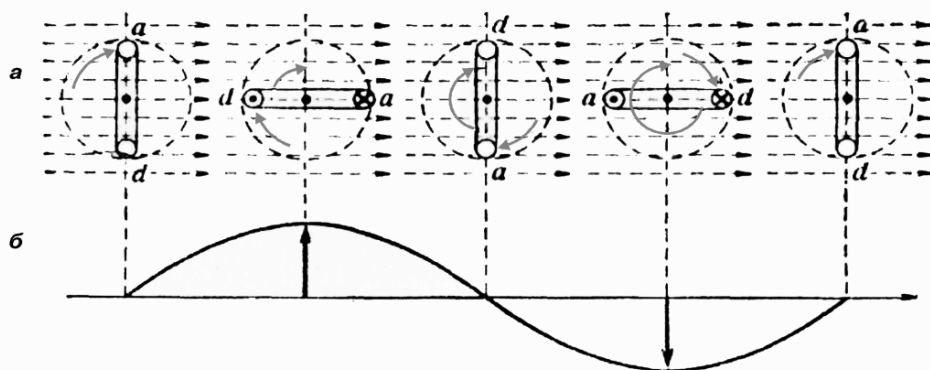
Мал. 2.22. До пояснення виникнення змінного струму у витку, що обертається в однорідному магнітному полі

При обертанні витка всі ці явища будуть повторюватися.

Таким чином, величина ЕРС індукції у витку за один його оберт змінюється від  $-\epsilon_m$  до  $+\epsilon_m$ .

Розірвемо виток і приєднаємо кінці його до осцилографа. При обертанні витка в магнітному полі *B* осцилограф запише всі зміни струму і відповідно ЕРС індукції у витку. На мал. 2.23, б показаний графік зміни ЕРС у витку за час одного оберту. Вгорі показані послідовні положення витка в магнітному полі, проти них (внизу) — значення ЕРС індукції у витку. Напрямок магнітних силових ліній потоку, що пронизує виток, показаний стрілками. Кружечки зображають переріз витка площиною рисунка із зазначенням напрямку струму в ньому.





Мал. 2.23. До пояснення періодичності зміни ЕРС у витку при обертанні його в магнітному полі (а); графік — (б)

Струм, який виникає у витку при рівномірному обертанні його в однорідному магнітному полі, як показує осцилограма, зображена на малюнку 2.23, б, змінюється синусоїдально. Такий струм називається змінним синусоїдальним струмом.

Проміжок часу, протягом якого ЕРС здійснює одне повне коливання, називається періодом змінного струму.

Період коливання ЕРС позначають буквою  $T$ .

Число повних коливань за 1 с називається частотою струму. Одиниця частоти називається герц (Гц).

Якщо значення ЕРС в деякий довільний момент часу ми позначимо через  $E$  (миттєве значення ЕРС), а найбільше значення її (амплітудне значення) — через  $E_m$ , то формулу, що виражає залежність  $e$  від часу, у випадку синусоїдального струму можна записати так:

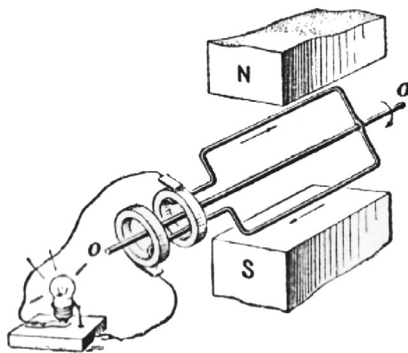
$$E = E_m \sin \frac{2\pi}{T} t$$

Змінним називають струм, який періодично змінюється за величиною і за напрямком.

**Генератор змінного струму.** *Машини, які перетворюють механічну енергію в енергію електричного струму, називаються генераторами.* Дія їх ґрунтується на явищі електромагнітної індукції.

Найпростішою схемою генератора може бути провідник у вигляді рамки, яка обертається навколо осі  $oo$  в магнітному полі постійного магніту або електромагніту (мал. 2.24). При обертанні рамки в ній виникає змінна ЕРС.

Якщо рамку сполучити з зовнішньою частиною кола, то в колі з'явиться змінний струм. Для з'єднання рамки з зовнішнім колом використовуються кільця, укріплені на тій же осі, на якій укріплена і обертова рамка. До кілець приєднуються кінці рамки, а над кожним кільцем встановлюються нерухомі ковзні контакти — щітки. При обертанні рамки за один оберт полярність щіток змінюється два рази.



Мал. 2.24. Найпростіша схема генератора змінного струму

Ми розглянули на схемі принцип роботи генератора змінного струму. Будова реального генератора змінного струму значно складніша. З клем генератора повинна зніматися досить висока напруга, тому замість одного витка доводиться брати значне їх число і відповідно сполучати їх між собою.

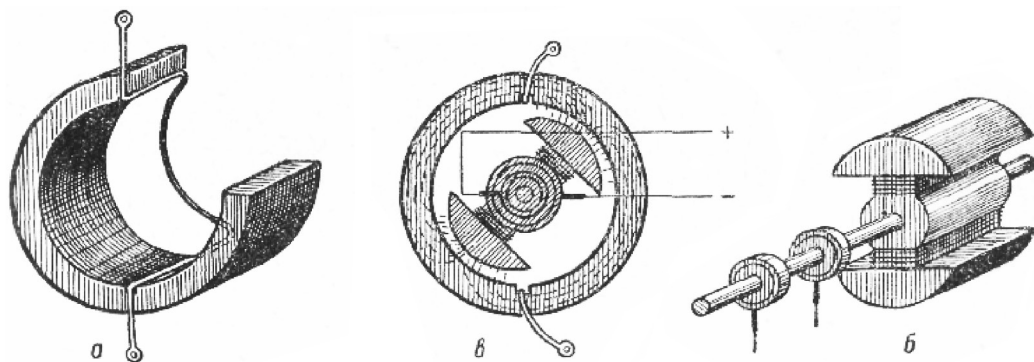
Проте такий тип генератора змінного струму з нерухомою магнітною системою (індуктором) і обертовими витками (якорем), в яких збуджується ЕРС, будується порівняно рідко. Це пояснюється тим, що за допомогою рухомих контактів практично неможливо відводити від генератора струм високої напруги через сильне іскріння в контактах.

Тому майже в усіх генераторах змінного струму обмотку (якір), в якій індукуються ЕРС, встановлюють нерухомо, а обертається примушують магнітну систему (індуктор).

Нерухома частина генератора дістала назву статора, а рухома — ротора.

Статор генератора змінного струму виготовляють з листової сталі. В пазах, зроблених у внутрішній порожнині статора, укладаються провідники, в яких індукуються ЕРС (мал. 2.25, а). Обертюва електромагнітна система — ротор — має вигляд, показаний на малюнку 2.25, б. На магнітні полюси ротора надіті обмотки, по яких пропускається постійний струм. Цей струм підводиться до обмотки через щітки і кільця від стороннього джерела постійного струму.

На малюнку 2.25, в показана схема генератора змінного струму, де видно, що коли ротор обертається за допомогою якої-небудь зовнішньої механічної сили, то разом з ним обертається і створюване ним магнітне поле. При цьому силові лінії поля будуть перетинати провідники, вкладені у пази статора, та індукувати в них ЕРС. Величина сумарної ЕРС генератора залежатиме від розміру і типу обмотки статора, величини магнітного поля ротора і швидкості його обертання.



Мал. 2.25: а — статор; б — ротор; в — схема генератора змінного струму

Генератор, ротор якого обертається на спільному валу з паровою турбіною, називається турбогенератором.

**Струм, який періодично змінюється за величиною і за напрямом, називають змінним струмом.**

**Генераторами змінного струму називають машини, які перетворюють механічну енергію в енергію електричного струму.**

#### Перевірте себе

1. Який принцип дії генераторів змінного струму?
2. Який струм називають змінним?
3. З яких частин складається генератор змінного струму?

## Поміркуйте

1. Які перетворення енергії відбуваються в генераторі змінного струму?
2. Чи може бути ККД генератора 100%?
3. З якою загальною закономірністю пов'язана дія генератора змінного струму? Чому?

## § 10. Передача електричної енергії

При передачі електроенергії на відстань неминучі втрати енергії на нагрівання проводів лінії передачі.

Закон Джоуля — Ленца вказує два різних шляхи зменшення втрат. Один шлях — зменшити опір проводів лінії передачі, що можна зробити, взявши проводи з великим перерізом. Здійснити на практиці це неможливо, бо вага лінії передачі була б навіть на 10 км тисячі тонн.

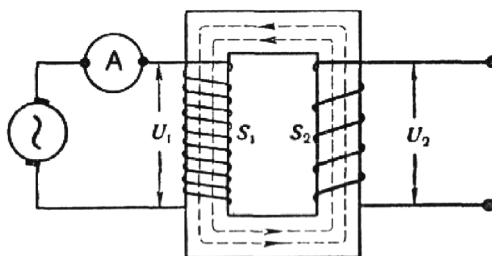
Другий шлях полягає в зменшенні струму в лінії передачі. Але при даній потужності зменшення струму можливе лише при збільшенні напруги (пригадайте —  $P=IU$ ).

Таким чином, *при передачі електроенергії на великі відстані треба користуватися високою напругою.*

**Трансформатор.** В основі роботи трансформатора лежить явище електромагнітної індукції. Осердя технічного трансформатора складається з окремих сталених пластин, зібраних в замкнену раму тієї чи іншої форми (мал. 2.26). На осерді розміщено дві обмотки  $S_1$  і  $S_2$  число витків  $n_1$  і  $n_2$ . Обмотки мають незначний опір і велику індуктивність.

Якщо до кінців обмотки  $S_1$  прикласти змінну напругу  $U_1$ , то по обмотці піде змінний струм  $I_1$ , який намагнітить сталь осердя, створивши в ньому змінний магнітний потік. Намагнічувальна дія цього струму пропорційна числу ампер-витків ( $IN_1$ ).

Змінний магнітний потік, що виникає в осерді трансформатора, пронизує і витки вторинної обмотки трансформатора, збуджуючи в кожному витку цієї обмотки таку ж за величиною ЕРС, як і в кожному витку первинної обмотки.



Мал. 2.26. Схема будови трансформатора (холостий хід)

$$\begin{aligned}U_1 &= n_1 e, \\U_2 &= n_2 e,\end{aligned}$$

де  $e$  — ЕРС, яка виникає в одному витку.

Напруга ж  $U_2$  на кінцях розімкненої вторинної обмотки дорівнює ЕРС у ній, тобто  $U_2 = n_2 e$ .

Величина напруги на кінцях первинної обмотки трансформатора так відноситься до величини напруги на кінцях вторинної обмотки, як число витків первинної обмотки відноситься до числа витків вторинної обмотки:

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{n_1}{n_2} = k.$$

Стала величина  $k$  називається коефіцієнтом трансформації трансформатора.

Коли потрібно підвищити напругу, вторинну обмотку роблять з більшим числом витків; у випадку ж, коли треба знизити напругу, вторинну обмотку трансформатора беруть з меншим числом витків. Тобто трансформатор може бути підвищувальним і знижувальним.

Поки вторинна обмотка розімкнута, трансформатор працює вхолосту. Від електростанції необхідно передавати струм високої напруги, використовується підвищувальний трансформатор.

На місці споживання напруга за допомогою трансформатора знижується.

При навантаженні трансформатора відбувається безперервна передача енергії з первинного кола у вторинне.

Згідно з законом збереження і перетворення енергії, потужність струму у вторинному колі дорівнює потужності в первинному колі, отже, повинна мати місце рівність:

$$I_1 U_1 = I_2 U_2, \text{ або } \frac{I_1}{I_2} = \frac{U_2}{U_1}.$$

У дійсності ця рівність не справджується, бо при роботі трансформатора є втрати на нагрівання обмоток трансформатора, на вихрові струми в осерді і на перемагнічування осердя; проте ці втрати невеликі.

Трансформатор належить до числа найдосконаліших перетворювачів енергії. Коефіцієнт корисної дії в сучасних потужних трансформаторах досягає значень 99,5%. На малюнку 2.27 зображений трансформатор на невелику потужність.

На великі відстані необхідно передавати струм з високою напругою. З цією метою використовуються підвищувальні трансформатори.

**Трансформатор — пристрій, дія якого заснована на явищі електромагнітної індукції. Трансформатор перетворює струм однієї напруги в струм іншої напруги без частин, що обертаються.**

*Передача та використання електроенергії.* Електроенергію в Україні виробляють на теплових, гідро, атомних і вітрових електростанціях.

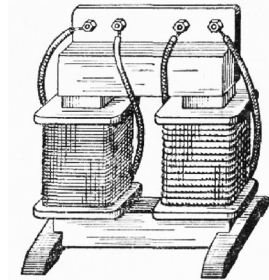
Джерелом енергії на теплоелектроцентралях є вугілля, газ, торф, мазут та ін., на ГЕС — потенціальна енергія води, піднятої греблею, на АЕС — ядерне паливо, розміщене в тепловидільних елементах (ТВЕЛ) ядерного реактора, на вітрових — енергія вітру.

Для передавання електроенергії від електростанцій використовують трансформатори для підвищення напруги до декількох сотень кіловатів. На місцях споживання електроенергії за допомогою трансформаторів напругу зменшують.

Сучасна цивілізація неможлива без широкого використання електроенергії. Порушення постачання електроенергією великого міста внаслідок аварії паралізує його життя.

Понад 90% споживаної людством енергії отримують від спалювання вугілля, нафти, газу. Для цього використовують теплові електростанції, на яких хімічна енергія палива перетворюється в електричну. За рахунок згоряння палива відбувається нагрівання води, перетворення її в пару і нагрівання пари. Струмінь пари високого тиску спрямовується на роторні лопаті парової турбіни і примушує їх обертатися. Ротор турбіни обертає ротор генератора електричного струму. Генератор змінного струму перетворює механічну енергію в енергію електричного струму.

Планується будова і використання сонячних електростанцій.



Мал. 2.27. Зовнішній вигляд трансформатора невеликої потужності

### Перевірте себе

1. В чому труднощі передачі електроенергії на відстань?
2. Яку роль відіграє трансформатор у передачі електроенергії на відстань?
3. Який принцип дії трансформатора?

## Поміркуйте

1. Чому ККД трансформатора не може бути 100%
2. Наведіть приклади використання енергії електричного струму в побуті, у промисловості, сільському господарстві.
3. Чи можете навести приклади промислових підприємств, де електроенергія не використовується?
4. Спробуйте запропонувати проект передачі електроенергії на велику відстань без трансформатора.

## § 11. Вільні і вимушені електромагнітні коливання

Періодичні або майже періодичні зміни заряду, сили струму і напруги в електричному колі називають *електромагнітними коливаннями*.

Добути електромагнітні коливання майже так само просто, як і примусити тіло коливатися, підвісивши його на пружині. Але спостерігати коливання вже не так просто, оскільки безпосередньо ми не бачимо ні заряду конденсатора, ні струму в котушці.

Вільні електромагнітні коливання виникають під час розрядження конденсатора через котушку індуктивності. Вимушені коливання в колі збуджуються періодичною ЕРС.

Найпростіша система, в якій можуть відбуватися вільні електромагнітні коливання, складається з конденсатора і котушки (мал. 2.28), приєднаної до його обкладок. Таку систему називають *коливальним контуром*.

Розглянемо, чому в контурі виникають коливання. Зарядимо конденсатор, приєднавши його на якийсь час до батареї за допомогою перемикача (мал. 2.29, а). При цьому конденсатор дістане енергію

$$W = \frac{q_m^2}{2C},$$

де  $q$  — заряд конденсатора, а  $C$  — його електроємність. Між обкладками конденсатора виникає різниця потенціалів  $U_{max}$ .

Перекинемо перемикач у положення 2 (мал. 2.29, б). Конденсатор почне розряджатися і в колі виникне електричний струм. Сила струму не одразу досягне максимального значення, а збільшуватиметься поступово. Це зумовлено явищем самоіндукції. З появою струму виникає змінне магнітне поле. Воно збуджує змінне електричне поле у провіднику. Змінне електричне поле під час наростання магнітного поля діє проти струму і тому перешкоджає його миттєвому збільшенню.

У міру розрядження конденсатора енергія електричного поля зменшується, але одночасно зростає енергія магнітного поля струму, яка визначається за формулою

$$W = \frac{Li^2}{2},$$

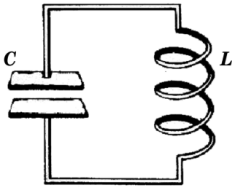
де  $i$  — сила змінного струму;  $L$  — індуктивність котушки.

Повна енергія  $W$  електромагнітного поля контуру дорівнює сумі енергій магнітного й електричного полів:

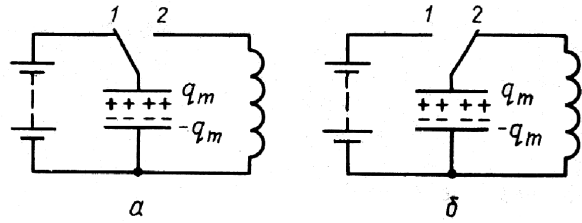
$$W = \frac{Li^2}{2} + \frac{q^2}{2C}.$$

У момент, коли конденсатор повністю розрядиться ( $q=0$ ), енергія електричного поля дорівнюватиме нулю. Енергія ж магнітного поля струму відповідно до закону збереження енергії буде максимальною. Отже, у цей момент сила струму також набуває максимального значення  $I_{max}$ .





Мал. 2.28. Коливальний контур



Мал. 2.29. Схема роботи коливального контуру

Хоч на цей момент часу різниця потенціалів на кінцях котушки дорівнює нулю, електричний струм не може припинитися одразу. Цьому перешкоджає явище самоіндукції.

У результаті конденсатор перезаряджатиметься доти, поки струм, поступово зменшуючись, не дорівнюватиме нулю. Енергія магнітного поля у цей момент також дорівнюватиме нулю, а енергія електричного поля конденсатора знову стане максимальною.

Після цього конденсатор знову перезарядиться, і система повернеться до початкового стану. Якби не було втрат енергії, то цей процес тривав би як завгодно довго. Коливання були б незатухаючими. Через інтервали часу, що дорівнюють періоду коливань, стани системи точно повторювалися б. Повна енергія при цьому зберігалася б і в будь-який момент часу дорівнювала б максимальній енергії електричного поля або максимальній енергії магнітного поля:

$$W = \frac{Li^2}{2} + \frac{q^2}{2C} = \frac{q^2_{max}}{2C} = \frac{LI^2_{max}}{2}$$

Але насправді втрати енергії неминучі. Так, зокрема, котушка і з'єднувальні проводи мають опір  $R$ , і це веде до поступового перетворення енергії електромагнітного поля у внутрішню енергію провідника.

У коливальному контурі енергія електричного поля зарядженого конденсатора періодично перетворюється в енергію магнітного поля струму.

Зміни сили струму в котушці і напруги між обкладками конденсатора, які періодично повторюються без споживання енергії від зовнішніх джерел, називаються вільними або власними електромагнітними коливаннями.

### Перевірте себе

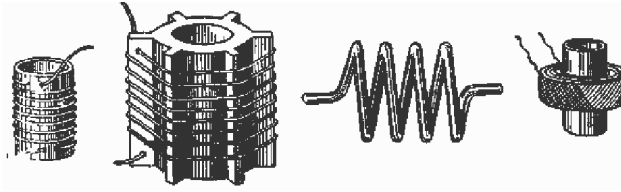
1. Що таке коливальний контур?
2. Як у коливальному контурі виникають електромагнітні коливання?
3. Які перетворення енергії відбуваються в коливальному контурі?
4. Чи можуть бути вільні коливання незатухаючими?

## § 12. Частота власних коливань контуру

*Власні електромагнітні коливання. Період і частота.* Розглянуті нами в попередньому параграфі електромагнітні коливання, що виникають в контурі, якому наданий деякий запас енергії, називаються власними електромагнітними коливаннями.

Чим більша енергія була надана контуру, тим з більшою амплітудою відбуватимуться коливання в контурі.

*Періодом електромагнітних коливань називається найменший проміжок, часу, протягом якого напруга на обкладках конденсатора або струм у контурі здійснює одне повне коливання. Період коливання вимірюється секундами.*



Мал. 2.30. Типи котушок з різною індуктивністю, які застосовуються в радіотехніці.

Щоб мати контур з заданою частотою коливання, застосовуються конденсатори різної ємності і котушки різної індуктивності (мал. 2.30).

Чим більша ємність конденсатора, тим протягом більшого часу він буде розряджатися, також, чим більша індуктивність котушки, тим повільніше наростатиме струм у колі і повільніше розряджатиметься конденсатор.

Залежність періоду власних коливань  $T$  від величини ємності та індуктивності коливального контуру визначається формулою Томсона (Кельвіна):

$$T = 2\pi\sqrt{LC},$$

де  $L$  — індуктивність у генрі,  $C$  — ємність у фарадах, а  $T$  — період у секундах.

Величина, обернена періодові коливань, називається частотою ( $\nu$ ) коливань  $\nu = \frac{1}{T}$ .

Частота коливань вимірюється в герцах (Гц). Частота в 1 Гц відповідає 1 коливанню на секунду.

Через те що в радіотехніці доводиться мати справу з дуже великими частотами коливань, то на практиці часто застосовуються одиниці, які в 1000 раз більші — кілогерц (кГц) і в  $10^6$  раз більші — мегагерц (МГц).

**Коливання, що виникають в контурі, якому наданий деякий запас енергії, називаються власними електромагнітними коливаннями, а їх частота — частотою власних коливань контуру.**

Частота  $\nu = \frac{1}{T}$ , де  $T$  — період власних коливань контуру.

#### Перевірте себе

1. Які коливання в коливному контурі називаються власними? Чи можна їх назвати також вільними?
2. Від чого залежить період електромагнітних коливань у контурі?
3. Чому частота власних коливань контуру називається власною?
4. Які перетворення енергії відбуваються при утворенні власних коливань?

#### Поміркуйте

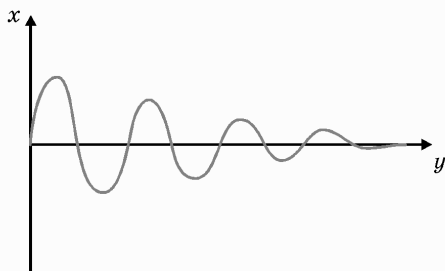
1. Від чого залежить амплітуда власних коливань контуру (максимальний заряд на обкладках конденсатора і максимальний струм у котушці)?
2. Чи можна власні коливання в контурі назвати гармонійними?

**Резонанс електромагнітних коливань. Затухаючі електромагнітні коливання.** Амплітуда струму, який виникає у коливальному контурі від початкового запасу енергії, з часом зменшується (мал. 2.31).

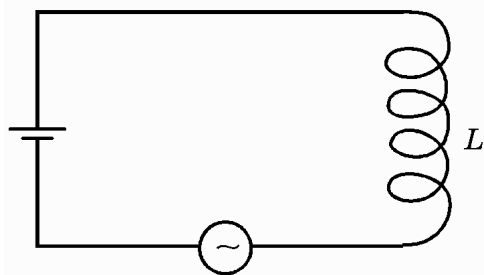
У коливальному контурі не вся енергія електричного поля перетворюється в енергію магнітного поля, частина її безперервно витрачається на перемагання опорів у контурі. Якщо контур не поповнювати енергією, то коливальний процес у ньому практично дуже швидко припиниться, подібно до того, як припиняється коливальний процес



маятника, який також безперервно витрачає надану йому енергію на перемагання різних видів опору. Як механічні, так і електричні коливання такого виду називаються затухаючими коливаннями. Щоб процес затухання коливань проходив повільніше, треба зменшити величину опору контуру. Але неможливо створити коливальний контур, в якому власні коливання тривали б як завгодно довго, бо опір елементів контуру не можна зробити рівним нулеві. Тому *власні коливання в коливальному контурі завжди будуть затухаючими коливаннями.*



Мал. 2.31. Графік зміни струму в коливальному контурі.



Мал. 2.32. Коливальний контур з ввімкненим у нього генератором змінного струму

### Вимушені електромагнітні коливання. Резонанс.

В електричних коливальних контурах може відбуватися вимушені електромагнітні коливання, аналогічно тому, як відбуваються вимушені механічні коливання.

Якщо в якому-небудь коливальному контурі, що складається з котушки індуктивністю  $L$  і конденсатора ємністю  $C$  (мал. 2.32), весь час діє генератор змінного струму, то ЕРС генератора збуджуватиме в цьому контурі змінний електричний струм з частотою коливання ЕРС генератора.

Частота цих вимушених коливань може не збігатися з частотою власних (вільних) коливань контура, які визначаються за формулою:

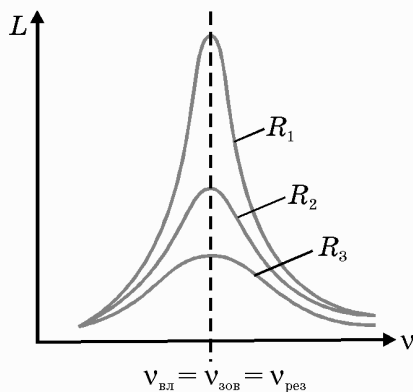
$$\nu = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}.$$

Якщо ця зовнішня змінна ЕРС має сталу амплітуду, то і вимушені коливання в контурі відбуватимуться з сталою амплітудою, тобто будуть незатухаючими.

Таким чином, в коливальному контурі можуть існувати два типи коливань: 1) власні коливання, частота яких визначається властивостями самого контуру, його індуктивністю і ємністю, та 2) вимушені коливання, частота яких визначається дією в контурі ЕРС і може бути довільною.

Коли власна частота коливального контуру далека від частоти ЕРС, що діє в контурі, опір контуру великий і струм у ньому незначний.

При зближенні частоти власних коливань контуру і частоти ЕРС, що діє в контурі, спостерігається збільшення струму в контурі, і коли настає збіг частот, опір контуру стає найменшим, а струм стає найбільшим.



Мал. 2.33. Криві резонансу



Такий випадок є особливо важливим, він називається *резонансом*.

Умовою виникнення резонансу в коливальному контурі є рівність частоти зовнішньої змінної напруги, що діє в контурі, частоті власних коливань контуру.

На мал. 2.33 показаний приблизний вигляд кривих резонансу. По горизонтальній осі відкладена змінна власна частота контуру  $\nu_{\text{вл}}$  (частота  $\nu_{\text{зов}}$  зовнішньої прикладеної напруги звичайно буває сталою), по вертикальній осі підкладені значення струму в контурі. При резонансі ( $\nu_{\text{вл}} = \nu_{\text{зов}} = \nu_{\text{рез}}$ ) струм у контурі, тобто амплітуда вимушених коливань, виходить найбільшим; струм у цьому випадку залежатиме тільки від прикладеної до контуру напруги і омичного опору кола. При відхиленні частоти в будь-яку сторону від резонансної струм у контурі зменшується.

Чим менший опір контуру, тобто чим менше затухання, тим сильніший струм у контурі.

Контур, що має гострий резонанс, дуже чутливий до коливань резонансної частоти. Навпаки, при великому затуханні коливань у контурі (великий опір контуру) струм при резонансі невеликий, резонансна крива полого і резонанс виходить тупий. На малюнку 2.33 показані три резонансні криві для опорів  $R_1 < R_2 < R_3$ .

Явище резонансу широко застосовується в радіотехніці. З цим явищем, наприклад, ми зустрічаємося при налаштуванні радіоприймача на яку-небудь передавальну радіостанцію. Повертаючи ручку настройки, ми тим самим змінюємо ємність конденсатора, а отже, і частоту власних коливань контуру приймача. Коли частота власних коливань у відповідних контурах радіоприймача збігається з частотою, на якій працює передавальна радіостанція, настає резонанс: струм у контурах радіоприймача досягає максимуму, і гучність приймання даної радіостанції виходить найбільшою. В цьому і полягає суть налаштування приймача на передавальну станцію.

**Вільні або власні електромагнітні коливання в контурі затухаючі.** Амплітуда їх з часом зменшується, оскільки енергія, надана контурові внаслідок опору провідників перетворюється у внутрішню.

Коливання, які відбуваються в контурі під дією генератора електромагнітних коливань, називаються вимушеними. При наближенні (співпаданні) частоти електромагнітних коливань генератора і частоти власних коливань контуру амплітуда вимушених коливань у контурі різко зростає — настає явище електричного резонансу.

### Перевірте себе

1. Які коливання в електричному контурі називають затухаючими?
2. Як в коливальному контурі виникають вимушені коливання?
3. В чому полягає явище електричного резонансу?

### Поміркуйте

1. Чому амплітуда коливань різко зростає, коли частота власних коливань і вимушуючої зовнішньої сили співпадають? Спробуйте використати закон збереження і перетворення енергії.

**Утворення і поширення електромагнітних хвиль.** Ви знаєте, що хвиля — це процес поширення у просторі коливань будь-якої природи. Механічні хвилі поширюються в речовині: газі, рідині або твердому тілі. Електромагнітні хвилі, до яких, зокрема, належать радіохвилі й світло, поширюються і у вакуумі.

Якщо в якій-небудь точці простору виникло швидкозмінне електричне поле, то воно в сусідніх точках простору збуджує магнітне поле, яке збуджує електричне поле, і т. д.

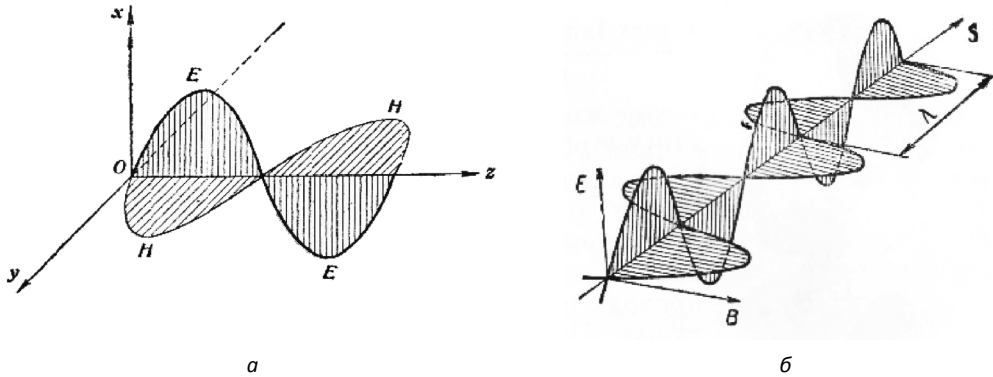
Змінні електричні і магнітні поля захоплюють все нові й нові ділянки простору, поширюючись у вакуумі з швидкістю близько 300000 км/с, тобто з такою ж швидкістю, з якою поширюється світло. В процесі поширення електромагнітного поля відбувається перенесення енергії, яку має це поле.



Процес поширення електромагнітного поля являє собою хвильовий процес — електромагнітну хвилю.

Джерелом електромагнітних хвиль можуть бути не тільки спеціальні пристрої — передавачі, а й будь-які іскрові електричні розряди, наприклад, грозові розряди. Вектори напруженості електричного і магнітного полів в електромагнітній хвилі перпендикулярні один до одного і до напрямку поширення.

На мал. 2.34, а, б зображені графіки зміни напруженості електричного (E) та індукції магнітного (B) полів електромагнітної хвилі, яка поширюється в напрямі s.



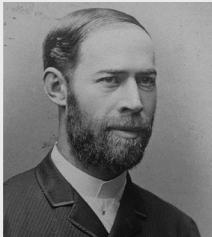
Мал. 2.34. а) Графіки зміни напруженостей електричного і магнітного полів електромагнітної хвилі; б) модель поширення електромагнітної хвилі.

Відстань, на яку переміщується електромагнітна хвиля за проміжок часу, що дорівнює одному періодові коливання вектора напруженості електричного поля або вектора магнітної індукції, називається довжиною хвилі ( $\lambda$ ).

$$\text{Отже, } \lambda = c \cdot T \text{ або } \lambda = \frac{c}{\nu}.$$

У цих формулах  $c$  — швидкість поширення електромагнітних хвиль;  $T$  — період коливання і  $\nu$  — частота коливань.

Як утворюються і випромінюються електромагнітні хвилі? В коливальному контурі (мал. 2.35, а, б), що складається з котушки і конденсатора, змінне магнітне поле, яке виникає, зосереджене головним чином в котушці, а електричне поле — між обкладками конденсатора. Такий контур, який називається закритим контуром, електромагнітні хвилі в простір майже не випромінює.



**Герц Генріх** (1857–1894) — видатний німецький фізик. Він перший добув електромагнітні хвилі, існування яких було теоретично передбачено Максвеллом. Дослідження властивостей електромагнітних хвиль, проведені Герцом, показали, що ці хвилі підлягають тим же законам, що і світлові. Цим відкриттям була підтверджена електромагнітна теорія світла.

**Випромінювання електромагнітних хвиль** можна здійснити з допомогою відкритого коливального контуру, показаного на малюнку 2.35, в. На цьому рисунку верхня обкладка конденсатора замінена проводом, який розміщують якнайвище над землею. Нижній провід, що заміняє другу обкладку конденсатора, розміщують біля самої землі або просто заміняють землею («заземляють»).

Вертикальний провід, який сполучає верхній і нижній горизонтальні проводи, в радіотехніці називається зниженням. Провід зниження бере головну участь у випромінюванні електромагнітних хвиль. Вся розглянута система проводів називається *антенною*.

Антену вперше винайшов О. С. Попов. Він же вперше застосував при радіопередачі і радіоприйманні заземлення.

Зображений на малюнку 2.35, в контур називається *відкритим коливальним контуром*.

Котушка  $L$ , увімкнена в провід зниження, зв'язує його з котушкою індуктивності  $L_a$  високочастотного генератора. Це дає можливість підтримувати у відкритому коливальному контурі безперервні електромагнітні коливання. Щоб мати найбільшу амплітуду цих коливань, антену треба настроїти в резонанс з генератором електромагнітних коливань.

Електромагнітні хвилі, випромінені антенною, поширюються в усі сторони від антени. Якщо на своєму шляху електромагнітні хвилі зустрічають провідники, вони збуджують в них швидкозмінні струми тієї ж частоти, що й частота електромагнітного поля, яке створило їх.

При цьому частина енергії, яку несуть з собою електромагнітні хвилі, перетворюється в енергію індукційних струмів високої частоти, що виникають у провідниках.

Провідники, в яких електромагнітні хвилі збуджують змінні струми високої частоти, називаються *приймальними антенами*.

Процес поширення електромагнітних коливань у просторі називають електромагнітною хвилею. Швидкість поширення електромагнітної хвилі дорівнює швидкості світла  $c$ .

Відстань, на яку поширюється хвиля за час, що дорівнює одному періодові електромагнітного коливання, називається довжиною хвилі:

$$\lambda = cT, \text{ де } T \text{ — період коливань;}$$

$$\lambda = \frac{c}{\nu}, \text{ де } \nu \text{ частота коливань.}$$

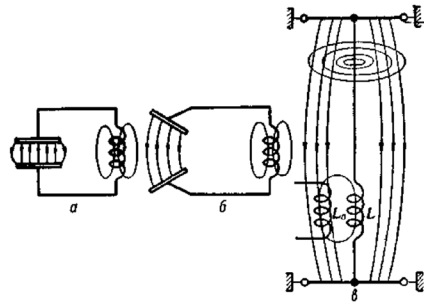
Електромагнітні коливання утворюються у закритому коливальному контурі, електромагнітні хвилі випромінюються відкритим коливальним контуром.

### Перевірте себе

1. Що таке електромагнітна хвиля?
2. Як визначити довжину електромагнітної хвилі?
3. Чим відрізняється відкритий і закритий коливальні контури?
4. Чому для випромінювання електромагнітних хвиль використовують відкритий коливальний контур?

### Поміркуйте

1. Які перетворення енергії відбуваються при поширенні електромагнітної хвилі?
2. Коливальний контур складається з конденсатора 20 пФ і котушки індуктивністю 6 мГн. Знайдіть резонансну частоту в контурі.



Мал. 2.35. Закриті коливальні контури (а, б) та відкритий коливальний контур (в)



## УРОКИ У ДОВКІЛЛІ

### 1. Використання, перетворення енергії об'єктами довкілля

Влаштуйтеся у зручному місці, звідки ви могли б бачити електричні та телефонні дроти, антени телевізорів, споживачі електричного струму, пристрої, в яких використовується дія магнітного поля та ін.

1. Назвіть спостережувані об'єкти, робота яких пов'язана зі споживанням електричної енергії, перетворенням напруги електричного струму, передачею електричного струму тощо (автомобілі, інші транспортні засоби, трансформатори, генератори... лінії електропередачі, майстерні, обладнані станками та ін.). Обґрунтуйте вибір об'єктів для дослідження, одержання, використання електричного струму.
2. Охарактеризуйте електричне обладнання автомобіля.
3. Чим відрізняється електричне живлення тролейбусів, трамваїв від живлення електричною енергією автомобіля? Чому трамваї, тролейбуси живляться постійним струмом?
4. Чи виявилися у вашому довкіллі споживачі трифазного струму? За допомогою Інтернету відшукайте інформацію про дію знижувального трансформатора. Які дані можна отримати при зовнішньому обстеженні трансформаторної будки?
5. Зверніть увагу, чи сідають птахи на проводи електромережі. Чому на них не діє електричний струм?
6. Поцікавтесь, як працюють електрولیчильники (шкільні, домашні).
7. Що є джерелом електричної енергії, яка споживається вашою домівкою, школою?
8. За народним календарем складіть прогнози стану довкілля на 1–3 місяці. Напишіть твір «Як би змінилося життя довкілля при припиненні постачання електроенергії».

### 2. Електричні, магнітні та електромагнітні явища в навколишньому світі

Влаштуйтеся у зручному місці, звідки ви могли б бачити електричні та телефонні дроти, антени телевізорів, споживачі електричного струму, пристрої, в яких використовується дія магнітного поля та ін.

1. Назвіть об'єкти, робота яких пов'язана зі споживанням електроенергії. Струм якої напруги подається до них? Де знаходиться джерело цього струму? Які перетворення енергії електричного струму відбуваються на цих об'єктах?
2. Зверніть увагу, чи сідають птахи на проводи електромережі чи телеграфні проводи. Чому на них не діє електричний струм?
3. Назвіть об'єкти довкілля, де використовується чи враховується електричне, магнітне та електромагнітне поле
4. Чи нема десь поблизу трансформаторної будки? Як вона ізольована від довкілля?
5. Поміркуйте: які поля діють на вас під час перебування в довкіллі? Які з них шкідливі, які корисні для живих організмів?
6. Напишіть оповідання «Електромагнітне поле в природі». Не забудьте згадати про прикмети пращурів у день спостережень.

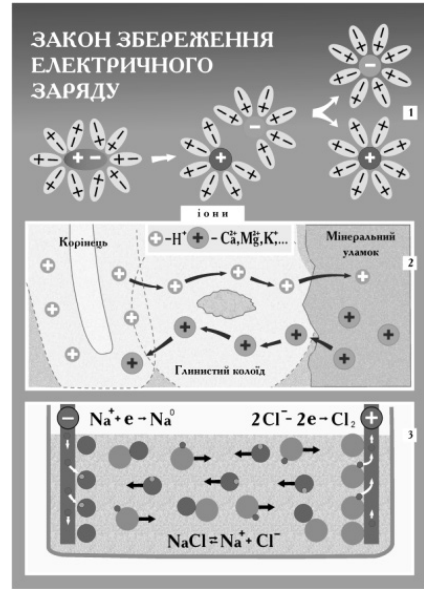
## УЗАГАЛЬНІТЬ ВИВЧЕНЕ З ТЕМИ «ЕЛЕКТРОДИНАМІКА»

Підготуйтеся до висвітлення наступних питань:

1. Вкажіть основні поняття електродинаміки, їх математичний вираз. Як можна встановити взаємозв'язок між ними?
2. Поясніть на основі загальних закономірностей природи:
  - 2.1. Прояви закону збереження електричного заряду у фізичних, хімічних, біологічних процесах (використайте мал. 2.36).



- 2.2. Вплив електричного поля на речовини, використання його в техніці.
- 2.3. Струм у різних середовищах. Використання цього прояву в техніці.
- 2.4. Взаємодія провідників зі струмом; закони, яким вона підлягає. Магнітні властивості речовини.
- 2.5. Електромагнітна індукція.
- 3. Змінний струм. Виробництво, передача, застосування електричного струму.
- 4. Електромагнітні коливання. Електромагнітні хвилі, їх характеристики.
- 5. Змодельуйте цілісність знань з теми за зразком (мал. 2.37)



Мал. 2.36. Збереження електричного заряду



**Зв'язки елементів змісту теми на основі:**

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

Мал. 2.37. Варіант СЛС розділу «Електродинаміка»

## РОЗДІЛ 2. ХВИЛЬОВА І КВАНТОВА ОПТИКА. АТОМНА І ЯДЕРНА ФІЗИКА

### § 13. Вступ. Розвиток уявлень про природу світла

З розділу 1 ви вже знаєте, що світло — електромагнітна хвиля.

І. Ньютон у 1672 р. висловив припущення про корпускулярну природу світла. Проти корпускулярної теорії світла виступали сучасники Ньютона — Р. Гук і Х. Гюйгенс, що розробили хвильову теорію світла. Розкриттю природи світла допомогло визначення швидкості світла.

**Гюйгенс Христіан** (1629–1695) — видатний голландський фізик і математик, творець першої хвильової теорії світла. Основи цієї теорії Гюйгенс виклав у «Трактаті про світло» (1690).



**Швидкість світла.** Першим великим успіхом у вивченні природи світла було здійснення вимірювання швидкості світла.

Найпростіший спосіб визначення швидкості світла полягає у вимірюванні часу поширення світлового сигналу на відому відстань.

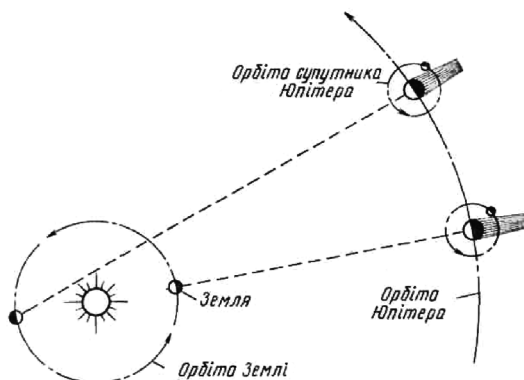
Однак спроби здійснення такого роду дослідів закінчувалися невдачею, ніякого запізнювання світла навіть при відстані кілька кілометрів до дзеркала, від якого відбивався посланий сигнал, знайти не вдавалося.

Вперше швидкість світла була визначена астрономічним методом. Датський вчений Олаф Ремер (1644–1710) у 1676 р. виявив, що при зміні відстані між Землею і планетою Юпітер унаслідок їхнього обертання навколо Сонця відбувається зміна періодичності появи супутника Юпітера Іо з його тіні (мал. 2.38). У тому випадку, коли Земля знаходиться по іншу сторону від Сонця стосовно Юпітера, супутник Іо з'являється після Юпітера на 22 хв. пізніше, ніж це повинно відбутися за розрахунками. Ремер здогадався, що причиною запізнення появи супутника Юпітера при збільшенні відстані між Землею і Юпітером є скінченна величина швидкості поширення світла. При переміщенні Землі на протилежну сторону її орбіти відстань між Землею і Юпітером збільшувалося на діаметр земної орбіти, тобто на 300 млн. км. Розділивши цю відстань на удаваний час запізнення, Ремер знайшов, що швидкість світла перевищує 200000 км/с.

Більш точні виміри показують, що швидкість світла дорівнює 299792 км/с або приблизно 300000 км/с.

**Електромагнітна природа світла.** Одним з найбільш важливих для хвильової теорії світла було питання про те, що ж коливається при поширенні світлових хвиль у середовищі, в якому вони поширюються.

На питання про природу світла і механізм його поширення давала відповідь гіпотеза Максвелла. На підставі збігу експериментально визначеного значення швид-



Мал. 2.38. До визначення швидкості світла

кості світла у вакуумі зі значенням швидкості поширення електромагнітних хвиль Максвелл висловив припущення, що світло — електромагнітна хвиля.

Ця гіпотеза підтверджується багатьма експериментальними фактами. Уявленням електромагнітної теорії світла цілком відповідають експериментально відкриті закони відбивання і заломлення світла, явища інтерференції, дифракції і поляризації світла.

*Корпускулярно-хвильовий дуалізм.* Закони фотоэффекту, явища взаємодії світла з речовиною електромагнітна теорія світла пояснити не може. У ХХ ст. у фізиці утвердилося уявлення про корпускулярно-хвильовий дуалізм властивостей світла.

Той факт, що світло в одних дослідах виявляє хвильові властивості, а в інших — корпускулярні, означає, що природа світла більш складна, ніж природа звичних нам об'єктів навколишнього світу. Світло не є сукупністю частинок. Не можна його уявляти і подібним до звукових хвиль або хвиль на поверхні води.

У будь-яких світлових явищах при глибокому їх вивченні виявляється нерозривний зв'язок корпускулярних і хвильових властивостей світла.

**Світло — електромагнітна хвиля, яка у вакуумі поширюється із швидкістю 300000 км/с. Розвиток уявлень про природу світла доводить, що світло має одночасно властивості хвилі і частинки.**

### Перевірте себе

1. Чому дорівнює швидкість світла?
2. Як вперше була визначена швидкість світла?
3. Які явища підтверджують хвильові властивості світла?
4. Які світлові явища не змогла пояснити хвильова теорія світла?

### Поміркуйте

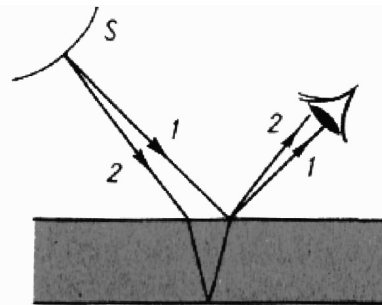
1. Чому для визначення швидкості світла були обрані космічні об'єкти?
2. Пригадайте, які світлові явища відбуваються на межі двох середовищ та яким законам вони підлягають.
3. Як змінюється енергія пучка світла на межі двох середовищ?

## § 14. Світло як електромагнітна хвиля

Електромагнітній хвилі властиві всі світлові явища — інтерференція, дифракція, поляризація.

Інтерференцію світла спостерігали дуже давно. І ви багато разів бачили інтерференційну картину, коли в дитинстві пускали мильні бульбашки або спостерігали райдужне переливання кольорів тонкої плівки гасу чи нафти на поверхні води.

Англійський учений Томас Юнг першим прийшов до геніальної думки про те, що колір тонких плівок можна пояснити додаванням хвиль 1 і 2, одна з яких відбивається від зовнішньої поверхні плівки, а друга — від внутрішньої (мал. 2.39). При цьому світлові хвилі інтерферують одна з одною, внаслідок чого в різних точках простору спостерігається підсилення або послаблення результуючих світлових хвиль (мал. 2.40). Наслідок інтерференції — підсилення або послаблення результуючих коливань в певній точці середовища — залежить від кута падіння світла на плівку, її товщини і довжини хвилі. Світло підсилюватиметься, коли заломлена хвиля 2 відстане від відбитої хвилі 1 на ціле число довжин хвиль.

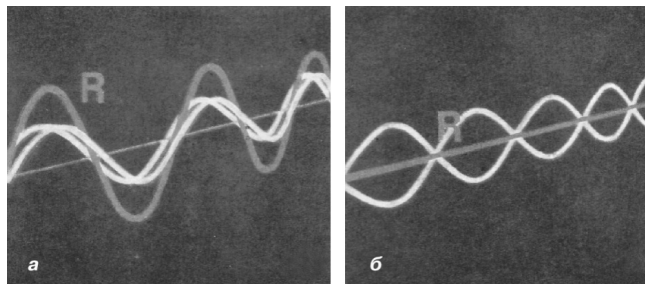


Мал. 2.39. Відбивання хвилі від зовнішньої і внутрішньої поверхні плівки

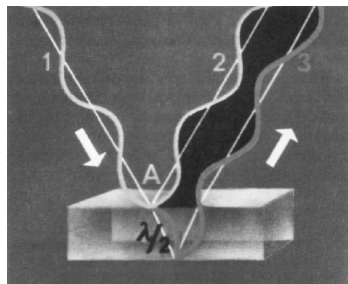


Різниця ходу двох хвиль в цьому випадку буде  $\Delta l = k \lambda$  де  $k$  — ціле число довжин хвиль,  $\lambda$  — довжина хвилі,  $\Delta l$  — різниця ходу відбитої від верхньої і нижньої частин плівки світлової хвилі. Ця умова називається інтерференційною умовою максимуму. На мал. 2.40, а показано підсилення світла світлом внаслідок накладання двох когерентних хвиль, різниця ходу яких визначається наведеною вище формулою.

Якщо ж друга хвиля відстане від першої на половину довжини хвилі або на непарне число півхвиль, то перша хвиля послабиться внаслідок взаємодії із другою хвилею. Умови інтерференційного мінімуму  $\Delta l = (2k + 1) \frac{\lambda}{2}$ , де  $k$  — ціле число (мал. 2.42, б; 2.41).



Мал. 2.40. До пояснення явища інтерференції. Посилення (а) і послаблення (б) хвильового процесу в результаті інтерференції



Мал. 2.41. Послаблення відбитого променя 2 в результаті інтерференції із променем 3, відбитим від нижньої межі плівки

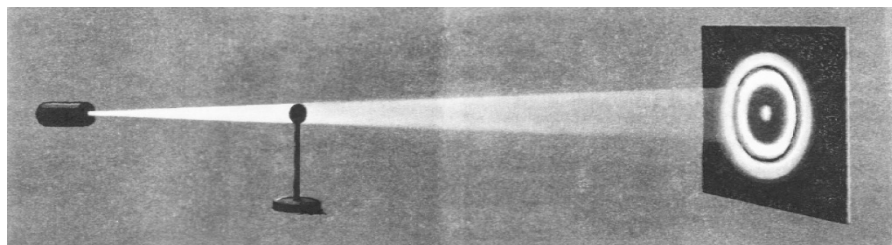
Для того, щоб під час додавання хвиль утворилася стійка інтерференційна картина, хвилі повинні бути когерентними, тобто мати однакову довжину і сталу різницю фаз. Когерентність хвиль, відбитих від зовнішньої і внутрішньої поверхонь плівки, зумовлюється тим, що обидві вони є складовими одного світлового пучка. Якщо хвилі виходять від двох звичайних незалежних джерел, то вони не дають інтерференційної картини, оскільки вони не когерентні.

Підсилення світла світлом або послаблення світла світлом при накладанні когерентних пучків світла називається інтерференцією.

Явище інтерференції світлових хвиль полягає в тому, що при накладанні двох хвиль, спостерігається стійка в часі картина підсилення або послаблення результатуючих світлових коливань у різних точках простору.

**Дифракція світла.** З курсу фізики основної школи ви знаєте, що світло поширюється прямолінійно. Доказом цього є те, що за непрозорими тілами утворюються тіні, що форма тіні повторює форму непрозорої перешкоди.

Пропускаючи тонкий пучок світла через маленький отвір, можна спостерігати відхилення від закону прямолінійного поширення світла. Світла пляма напроти отвору буде більшого розміру, ніж можна сподіватися від прямолінійного поширення світла. Можна також отримати за непрозорим диском дифракційну картину, в центрі якої світла пляма (мал. 2.42).



Мал. 2.42. Дифракція світла на непрозорому диску. В центрі тіні утворюється світла пляма



З цим дослідом в історії фізики пов'язаний цікавий випадок.

На засіданні Французької Академії наук у 1818 р. один з учених звернув увагу на те, що з теорії французького фізика Френеля, який обґрунтував явище дифракції світла, випливають факти, які суперечать здоровому глузду. При певних розмірах отвору і відповідних відстанях від отвору до джерела світла й екрана в центрі світлової плями має бути темна плямка. За маленьким непрозорим диском, навпаки, має бути світла пляма в центрі тіні. Як же здивовані були вчені, коли експерименти довели, що насправді так воно і є (*мал. 2.42*).

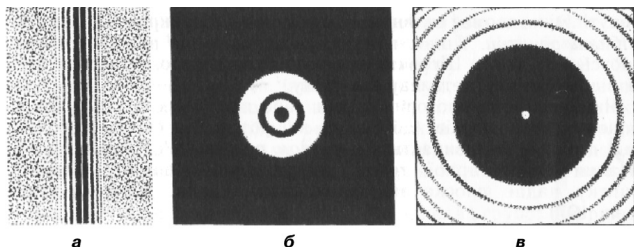


**Френель Огюстен** (1788–1827) — видатний французький фізик; заклав основи сучасної хвильової оптики.

Через те що довжина світлової хвилі дуже мала, кут відхилення світла від напрямку прямолінійного поширення невеликий. Тому, щоб дифракція була виразною, відстань між перешкодою, яку огинає світло, і екраном має бути великою. Якщо ця відстань дуже велика (кілька кілометрів), то дифракцію можна спостерігати й від досить великих предметів (розміром кілька метрів).

На *мал. 2.43* наведено фотографії дифракційних картин від різних перешкод: а) тонкої дротини, б) круглого отвору, в) круглого екрана.

Закон прямолінійного поширення світла й інші закони геометричної оптики досить точні лише тоді, коли розміри перешкод на шляху поширення світла значно більші від довжини світлової хвилі.



*Мал. 2.43. Дифракційні картини: а) від тонкої дротини; б) від круглого отвору; в) від круглого екрана*

**Дифракцією світла називають явище огинання перешкод, сумірних з довжиною світлової хвилі. Явище дифракції спостерігається одночасно з явищем інтерференції.**

#### Перевірте себе

1. У чому полягає явище дифракції?
2. Як явище дифракції підтверджує хвильову природу світла?
3. З яким явищем поєднано явище дифракції?

#### Поміркуйте

1. Як виконується закон збереження енергії за інтерференції світла?
2. Від чого залежить колір тонких плівок?
3. Чому колір тонких плівок бензину чи нафти на воді змінюється?
4. Від чого залежить колір мильних бульбашок?

#### Робота в групах

1. Зробіть голкою в кусочку картону отвір і подивіться через нього на розжарений волосок електричної лампочки. Зарисуйте і опишіть спостережувану вами карти-

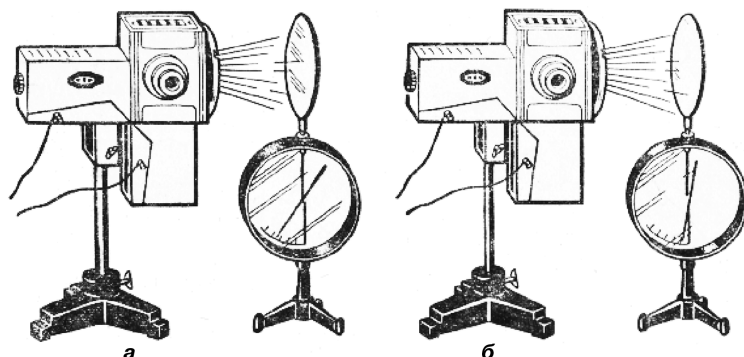
ну. Той самий дослід проведіть, поставивши перед отвором пофарбоване скло або целофанову плівку (кольоровий фільтр). Як зміниться спостережуване явище?

2. Наклейте на скло два леза від безпечної бритви так, щоб між ними утворилась вузька щілина, і за допомогою такого приладу розгляньте різні джерела світла. Скористуйтеся також кольоровим фільтром. Зарисуйте і опишіть спостережувані явища.
3. Натягніть на рамочку тонку дротинку (або волосину) і, тримаючи останню у витягнутій руці перед очима, розгляньте її через лупу. Зарисуйте і опишіть спостережувані вами явища.

## § 15. Квантові властивості світла

З квантовими властивостями світла почнемо знайомитися із вивчення явища фотоелектру.

Явище фотоелектру можна спостерігати при освітленні цинкової пластини, з'єднаної зі стрижнем електрометра. Якщо пластинка і стрижень заряджені позитивно, то електрометр не розряджається при освітленні пластини (мал. 2.44, а). При наданні пластині негативного електричного заряду електрометр розряджається, як тільки на пластинку попадає ультрафіолетове випромінювання (мал. 2.44, б). Цей дослід доводить, що з поверхні металевої пластини під дією світла можуть звільнятися негативні електричні заряди. Вимірювання заряду і маси частинок, що вириваються світлом, показало, що ці частинки — електрони.



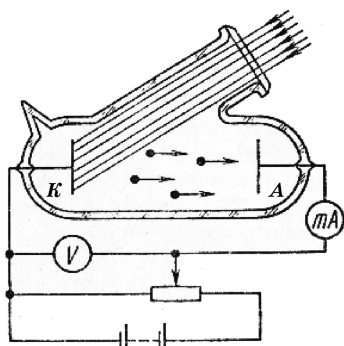
Мал. 2.44. До пояснення явища фотоелектру

Явище виходу електронів з речовини під дією електромагнітного випромінювання називається *фотоелектричним ефектом* (фотоелектром).

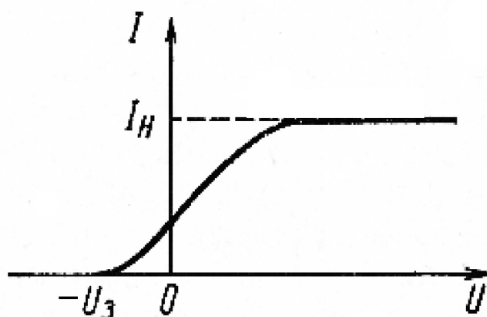
*Закони фотоелектру.* Кількісні закономірності фотоелектричного ефекту були встановлені видатним російським фізиком О. Г. Столетовим (1839–1896) у 1888–1889 рр. Використовуючи вакуумний скляний балон із двома електродами (мал. 2.45), він досліджував залежність сили фотоструму в балоні від напруги між електродами й умов освітлення фотокатода  $K$ .

При незмінних умовах освітлення фотокатода залежність сили струму від напруги мала вигляд, показаний на мал. 2.46.

Якщо підключити до фотокатода негативний полюс батареї, то спочатку сила струму з підвищенням напруги зростає, а потім залишається постійною — настає струм насичення. Сила струму насичення  $I_n$  пропорційна інтенсивності світлового потоку, що падає на фотокатод.



Мал. 2.45. Схема установки для спостереження явища фотоефекту



Мал. 2.46. Графік залежності сили струму від напруги

Якщо за незмінної інтенсивності світлового потоку зменшувати напругу між  $K$  і  $A$ , то сила струму в колі буде зменшуватися. Але навіть при напрузі, рівній нулю, струм в колі не зникає. Це означає, що світло, вириваючи електрони з фотокатода  $K$ , надає їм кінетичної енергії і вони досягають анода  $A$ .

Для визначення кінетичної енергії і швидкості вирваних світлом електронів змінимо напрям напруги — підключимо до фотокатода  $K$  позитивний полюс батареї, щоб створити у трубці електричне поле, яке гальмує рух вирваних світлом електронів.

При певній затримуючій напрузі  $U$  рух вибитих світлом електронів, фотострум у колі припиниться.

На основі закону збереження і перетворення енергії можна скласти рівняння:

$$\frac{1}{2} m v_m^2 = e U_3,$$

де  $m$  — маса фотоелектрона,  $v_m$  — максимальна швидкість фотоелектронів,  $e$  — заряд електрона,  $U_3$  — найменша затримуюча напруга, при якій припиняється струм. Вимірювання показали, що  $v_m$  вибитих електронів не залежить від інтенсивності падаючого на фотокатод випромінювання, а визначається лише частотою цього випромінювання.

Було встановлено також, що не кожне випромінювання спричиняє фотоефект. За певної частоти (довжини хвилі) фотоефект припиняється. Найменша частота (найбільша довжина хвилі) світла, яке викликає фотоефект, називається *червоною межею фотоефекту*.

Червона межа фотоефекту залежить від матеріалу фотокатода і не залежить від інтенсивності світлового потоку.

Незалежності швидкості фотоелектронів від інтенсивності світлового потоку, існування червоної межі фотоефекту електромагнітна теорія світла пояснити не могла.

Перераховані експериментальні факти дозволили сформулювати наступні закони фотоефекту:

1. Сила фотоструму насичення прямо пропорційна інтенсивності світлового випромінювання, що падає на поверхню тіла.

2. Максимальна кінетична енергія фотоелектронів лінійно зростає з частотою світла і не залежить від інтенсивності світлового випромінювання.

3. Якщо частота світла менша деякої визначеної для даної речовини мінімальної частоти, то фотоефект не відбувається. Ця частота світла має назву *червона межа фотоефекту*.

### Перевірте себе

1. У чому полягає суть явища фотоефекту?
2. Сформулюйте закони фотоефекту.

### Поміркуйте

1. Поясніть суть кожного із законів фотоефекту.
2. За яких умов може відбуватися фотоефект?
3. Чи залежить червона межа фотоефекту від природи металу?
4. Як в законах фотоефекту проявляється закономірність збереження?

### Подискутуйте

1. Чому електромагнітна теорія світла не могла пояснити закони фотоефекту?

### 2. Квантові властивості світла. Гіпотеза М. Планка.

*Фотони.* Пояснення основних законів фотоефекту було дано Альбертом Ейнштейном (1879–1955) у 1905 р. Гіпотезу німецького фізика М. Планка (1858–1947) про випромінювання світла у вигляді окремих порцій — квантів з енергією, пропорційній частоті світла, А. Ейнштейн доповнив припущенням про локалізацію цих квантів у просторі.

Відповідно до квантових уявлень світло — це потік особливих частинок світла — фотонів. Енергія кожного фотона визначається формулою

$$E = h\nu,$$

де  $h = 6,626176 \cdot 10^{-34}$  Дж·с<sup>-1</sup> — стала Планка;  $\nu$  — частота світла.

На основі уявлень про фотон як частинку, що може випромінюватися або поглинатися лише як ціле, явище фотоефекту отримує просте пояснення: поглинаючи один фотон, електрон усередині фотокатода збільшує свою енергію на значення енергії фотона  $h$ .

За умови  $h\nu > A$ , де  $A$  — робота виходу електрона з металу, електрон може залишити фотокатод. Якщо на шляху до поверхні фотокатода цей електрон не розтратить частину отриманої від фотона енергії у взаємодіях з електронами інших атомів, то він вийде з фотокатода з кінетичною енергією:

$$E_k = h\nu - A, \text{ де } E_k = \frac{mv^2}{2} \text{ — кінетична енергія фотоелектрона.}$$

$$\text{Отже, } h\nu = \frac{mv^2}{2} + A.$$

Це співвідношення називається *рівнянням Ейнштейна для фотоефекту*.

Таким чином, фотонна теорія світла пояснила лінійну залежність, що спостерігається експериментально, максимальної кінетичної енергії фотоелектронів від частоти світла, що викликає фотоефект.

Червона межа фотоефекту у фотонній теорії визначається з рівняння Ейнштейна умовою рівності енергії фотона роботі виходу електрона  $A$  з металу:

$$h\nu_{\min} = A, \text{ звідки } \nu_{\min} = \frac{A}{h}.$$

Для чистих металів  $A$  знаходиться в довідниках з фізики за таблицею.

Стає зрозумілим і відсутність запізнення виникнення фотоструму після початку освітлення: фотон, що досяг фотокатода, практично миттєво може звільнити з нього один електрон. Пропорційність сили фотоструму інтенсивності випромінювання у фотонній теорії очевидна, тому що чим більше фотонів падає на поверхню тіла, тим більше електронів вони звільняють.



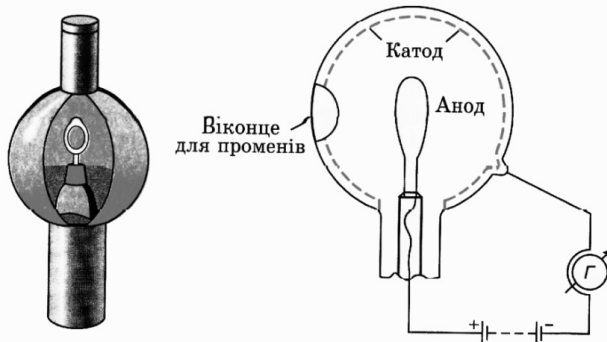
Світлові кванти, фотони проявляють властивості хвилі і частинки. Як і частинки вони мають енергію, імпульс, масу. Фотони існують в русі. Маси спокою вони не мають. Закони фотоелектру підтверджують квантові властивості світла.

### Перевірте себе

1. Які явища підтверджують квантові властивості світла?
2. Як рівняння Ейнштейна для фотоелектру пояснюється на основі закономірності збереження?

## § 16. Застосування фотоелектру. Люмінесценція

Найпростішим приладом, що працює на основі використання фотоелектру, є *вакуумний фотоелемент* (мал. 2.47). Вакуумний фотоелемент складається зі скляної колби з двома клемами. Внутрішня поверхня колби частково покрита тонким шаром металу. Це покриття служить катодом фотоелемента. У центрі балона розташований анод. Клеми катода й анода підключаються до джерела постійної напруги. При освітленні катода з його поверхні вириваються електрони. Цей процес називається зовнішнім фотоелектром. Електрони рухаються під дією електричного поля до анода. У колі фотоелемента виникає електричний струм. Сила струму пропорційна потужності світлового випромінювання. У такий спосіб фотоелемент перетворює енергію світлового випромінювання в енергію електричного струму.



Мал. 2.47. Будова та схема будови вакуумного фотоелемента

У розглянутому фотоелементі використовується зовнішній фотоелектр, під час якого електрони вириваються з поверхні речовини.

Для перетворення енергії світлового випромінювання в енергію електричного струму широко застосовуються *напівпровідникові фотоелементи*, в яких використовується внутрішній фотоелектр.

Напівпровідниковий фотоелемент має наступну будову та принцип дії. У плоскому кристалі кремнію або іншого напівпровідника з дірковою провідністю створюється тонкий шар напівпровідника з електронною провідністю. На межі розділу цих шарів виникає *p-n-перехід*. При освітленні напівпровідникового кристала в результаті поглинання світла відбувається зміна розподілу електронів і дірок за енергією. Цей процес називається внутрішнім фотоелектром. У результаті внутрішнього фотоелектру збільшується кількість вільних електронів і дірок у напівпровіднику, відбувається їхній поділ на границі *p-n-переходу*.

При з'єднанні протилежних шарів напівпровідникового фотоелемента провідником у колі виникає електричний струм; сила струму в колі пропорційна потужності світлового потоку випромінювання, що падає на фотоелемент.

---

---

З'єднання фотоелемента послідовно з обмоткою електромагнітного реле дозволяє автоматично включати або виключати виконавчі пристрої при попаданні світла на фотоелемент. Фотоелементи використовуються в кіно для відтворення звукового супроводу, записаного на кінострічку у вигляді звукової доріжки.

Напівпровідникові фотоелементи широко використовуються на штучних супутниках Землі, міжпланетних автоматичних станціях і орбітальних станціях як енергетичні установки, за допомогою яких енергія сонячного випромінювання перетворюється в електричну енергію. ККД сучасних напівпровідникових фотоелектричних генераторів перевищує 20%.

Напівпровідникові фотоелементи усе ширше застосовуються в побуті. Вони використовуються як невідновлювані джерела струму в годинниках, мікрокалькуляторах; проходять випробування перші сонячні електромобілі.

**Люмінесценція** — нетеплове свічення речовини, що відбувається після поглинання ним енергії збудження. Вперше люмінесценція була описана в XVIII столітті. Інша назва — холодне світло.

Речовина, у якій спостерігається люмінесценція, називається *люмінофором*.

Люмінесцентне випромінювання виникає за рахунок квантових переходів атомів, іонів, молекул зі збудженого стану в основний чи менш збуджений, тому кожен атом, іон чи молекула люмінофора є центром люмінесценції.

Широко використовують в електропроменевих приладах, світлотехніці, дефектоскопії та люмінесцентному аналізі, при люмінесцентній сепарації корисних копалин.

Люмінесценція мінералів є їх важливою діагностичною ознакою.

*Люмінесцентна сепарація* — радіометричний процес розділення мінералів, заснований на здатності їх світитися під дією ультрафіолетових і рентгенівських променів.

Застосовують при збагаченні корисних копалин, що містять мінерали-люмінофори. Іноді люмінесценція може бути викликана присутністю люміногенів (Уран, рідкісноземельні елементи).

**Фотоелементи** — прилади, в яких під дією світла виникає електрорушійна сила. Розрізняють фотоелементи вакуумні і напівпровідникові. Використовуються в автоматичній вакуумній і вимірювальній апаратурі.

Люмінесценція — свічення тіл під дією зовнішнього джерела; люмінесцентне світло має частоту меншу, ніж збуджуюче люмінесцентне світло.

#### Перевірте себе

1. Яку будову мають фотоелементи?
2. Наведіть приклади застосування фотоелементів.
3. В чому полягає явище люмінесценції?
4. Наведіть приклади застосування явища люмінесценції.

#### Поміркуйте

1. Чому ми не бачимо в інфрачервоних променях?
2. Чому фотосинтез не відбувається вночі?

### \*§ 17. Корпускулярно-хвильовий дуалізм світла

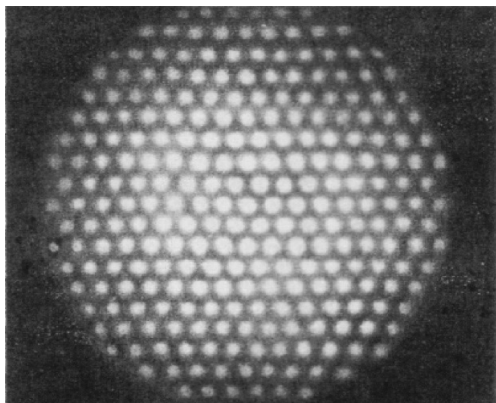
При дослідженні законів фотоефекту і в дослідах за спостереженням розсіювання фотонів на електронах виявляється квантова, корпускулярна природа світла. Але разом з тим світло виявляє здатність до дифракції, інтерференції, заломлення, відбивання, дисперсії, поляризації. Усі ці явища цілком пояснюються на основі уявленнь про світло як електромагнітну хвилю.



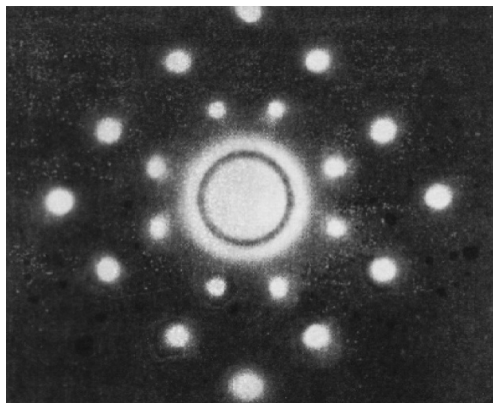
Прояв світлом як хвильових, так і корпускулярних властивостей називається корпускулярно-хвильовим дуалізмом властивостей світла. Зміст корпускулярно-хвильового дуалізму властивостей світла полягає не в тому, що світло одночасно є і хвилею, і потоком частинок. Той факт, що світло в одних умовах виявляє подібність з потоком часток, а в інших — з поперечними хвилями, показує, що в дійсності природа світла більш складна і не може бути об'єктивно описана із застосуванням начних і звичних нам образів класичної фізики. Наприклад, стверджуючи, що фотон має імпульс і масу, не можна забувати, що існує він тільки в русі зі швидкістю світла і, отже, не має маси спокою. Зміст корпускулярно-хвильового дуалізму властивостей світла полягає в тому, що світло має складну природу, що у залежності від умов досліду ці властивості лише приблизно можуть бути описані з застосуванням звичних нам уявлень про хвилі або частинки.

Тепер подумаємо, як змінилася наша природничо-наукова картина світу у зв'язку з ознайомленням з квантовими, тобто корпускулярними властивостями електромагнітних хвиль. Під час вивчення електромагнітного поля у вас складалася уява про матерію, неперервно розподілену в просторі. А електрони уявлялися «частинками» — деякими крихітними кульками матерії. До такого «портрета» електрона звикли. Проте проблема будови атома призвела до необхідності інших уявлень.

У 1923 році молодий французький фізик Луї де Бройль висунув гіпотезу, згідно якої електрон і інші елементарні частинки повинні мати хвильові властивості поруч з корпускулярними. Дослідами з дифракції електронів було підтверджено хвильові властивості електрона (мал. 2.48). Корпускулярно-хвильові властивості приписували всім елементарним частинкам. Наприклад, явище дифракції властиве і нейтронам (мал. 2.49).



Мал. 2.48. Дифракція електронів на тонкій пластинці слюди

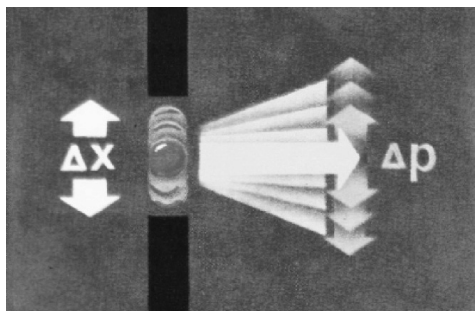


Мал. 2.49. Дифракція нейтронів на кристалі кварцу

Чим точніше ми визначимо координату, тим менш точно зможемо визначити швидкість електрона:

$$\Delta(mv) \geq \frac{h}{\Delta x},$$

де  $\Delta(mv)$  — невизначеність швидкості (імпульса),  $\Delta x$  — невизначеність координати,  $h$  — стала Планка.



Мал. 2.50. До співвідношення невизначеностей

Механізм поширення хвилі, пов'язаний з електронами чи фотонами, не схожий на механізм звукової хвилі, при якому передається коливання від частинки до частинки речовини. Звукова хвиля на перешкоді роздіблюється на окремі пучки. *А електрон і фотон завжди проявляються як ціле.*

Макс Борн висловив думку, що хвиля, пов'язана з електроном — це хвиля імовірності. Амплітуда хвилі електрона визначає не густину матерії електрона в даному об'ємі простору, а *імовірність* того, що електрон буде тут виявлений, якщо провести певний експеримент.

Світло одночасно має властивості і **неперервних електромагнітних хвиль**, і **дискретних частинок** — **фотонів**. За певних умов частинки речовини (електрон, протон, атом тощо) також проявляють хвильові властивості.

### Перевірте себе

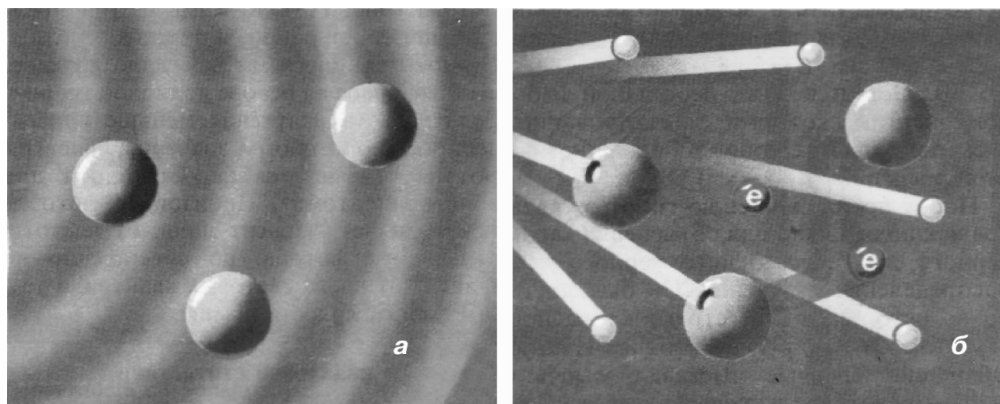
1. В чому проявляється схожість властивостей світла та елементарних частинок?
2. Охарактеризуйте експеримент, який доводить корпускулярні і хвильові властивості світла і елементарних частинок.

### Поміркуйте

1. Як би ви коментували вираз американського фізика Р. Фейнмана: «Якщо ми дивимось на електрон, то він де-небудь та є»?
2. Чи можете уявити електрон як частинку? Як хвилю?

### Подискутуйте

1. Як змінилося ваше уявлення про природничо-наукову картину світу у зв'язку зі знанням про корпускулярно-хвильовий дуалізм?
2. Розгляньте *мал. 2.51*.



Мал. 2.51. Модель опромінення атомів світлом відповідно до хвильової теорії світла (а) і квантової (б)

Поясніть, виходячи з уявлень електромагнітної та квантової теорії світла, закони фотоелекту та використайте при цьому малюнок.

## § 18. Квантові постулати Бора

**\*Історія вивчення атома. Ядерна модель атома. Відкриття електрона.** Перші дослідження, результати, на основі яких можна було зробити висновок про складну будову атомів, про наявність усередині атомів електричних зарядів, були проведені М. Фарадеєм у 1833 р. при вивченні законів електролізу.



У 1897 р. Дж. Дж. Томсон у результаті експериментів по вивченню електричного розряду в розріджених газах, фотоелектричного ефекту і термоелектронної емісії установив, що при зіткненнях атомів у плазмі електричного розряду, при нагріванні речовини або освітленні її ультрафіолетовим світлом з атомів будь-якого хімічного елемента вивірюються однакові негативно заряджені частинки. Ці частинки були названі *електронами*. Електричний заряд окремих електронів уперше був виміряний у дослідах Р. Миллікена в 1909 р. Він виявився дійсно однаковим у всіх електронів.

Маса електрона приблизно в 2000 разів менше маси самого легкого з атомів — атома Гідрогену. Відкриття електрона і виявлення електронів у складі атомів будь-якого хімічного елемента було першим доказом складності атомів.

*Періодичний закон Менделєєва.* Відкриття Д. І. Менделєєвим у 1869 р. періодичного закону поставило перед фізикою питання про причини повторюваності хімічних властивостей елементів, розташованих у порядку зростання атомної маси. Природно було припустити, що збільшення маси атомів хімічних елементів зв'язано зі збільшенням числа частинок, з яких вони складаються. Періодичну повторюваність хімічних властивостей елементів у таблиці Д. І. Менделєєва можна розглядати як свідчення періодичної повторюваності основних особливостей внутрішньої будови атомів у зв'язку із збільшенням кількості частинок, що входять до їх складу.

*Лінійчаті спектри.* Важливим фактором, що свідчить про складну внутрішню структуру атомів, було відкриття лінійчатих спектрів. Дослідження показали, що при нагріванні до високої температури пара будь-якого хімічного елемента випускає світло, вузький пучок якого розкладається призмою на кілька вузьких пучків світла різного кольору, утворюючи на екрані спектр випромінювання. Лінійчатий спектр випромінювання кожного хімічного елемента не збігається зі спектром жодного іншого хімічного елемента. Більш ґрунтовно ви дізнаєтеся про ці спектри пізніше.

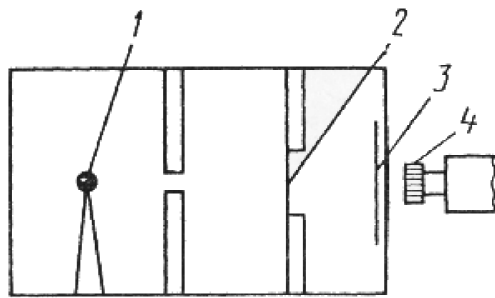
Після відкриття електрона став очевидною зв'язок явищ випромінювання і поглинання світла з наявністю в атомах електронів.

*Радіоактивність.* Доказів складності будови атомів збільшилося з відкриттям явища радіоактивності. У 1896 р. французький фізик Анрі Беккерель (1852–1908) досліджував солі Урану. Він установив, що атоми Урану випускають невидимі оком випромінювання, здатні проникати через папір або картон і викликати почорніння фотографічної пластинки.

Це явище назвали радіоактивністю, серед радіоактивних випромінювань альфа-, бета- і гамма-промені.

*Досліди з розсіювання альфа-частинок.* Успіхи в дослідженні будови атомів були досягнуті в дослідах Резерфорда по вивченню розсіювання швидких заряджених частинок при проходженні через тонкі шари речовини. У цих дослідах вузький пучок альфа-частинок, що випромінюються радіоактивною речовиною 1, направлявся на тонку металеву пластинку 2. За пластинкою містився екран 3, покритий шаром кристалів сульфиду цинку, здатних світитися під ударами швидких заряджених часток (мал. 2.52). Було виявлено, що більшість альфа-частинок відхиляється від прямолінійного шляху на кути не більш 1–2°. Однак невелика частка альфа-частинок зазнавали відхилення на досить великі кути.

*Ядерна модель атома.* Розсіювання окремих альфа-частинок на великі кути



Мал. 2.52. Схема досліду з розсіювання альфа-частинок



---

---

Резерфорд пояснив тим, що позитивний заряд в атомі не розподілений рівномірно в об'ємі атома радіусом  $10^{-10}$  м, як припускали раніше, а зосереджений у центральній частині атома в області значно менших розмірів. Центральну позитивно заряджену частину атома назвали *атомним ядром*. У ньому зосереджена і майже вся маса атома. Розрахунки Резерфорда показали, що для пояснення дослідів з розсіювання альфа-частинок потрібно прийняти радіус атомного ядра рівним приблизно  $10^{-15}$  м.

Згідно гіпотези Резерфорда будова атома подібна планетарній системі. Аналогічно тому, як навколо Сонця на великих відстанях від нього обертаються планети, такі електрони в атомі обертаються навколо атомного ядра. Радіус орбіти самого далекого від ядра електрона і є радіусом атома. Така модель атома була названа *ядерною моделлю*.

Ядерна модель атома пояснює основні закономірності розсіювання заряджених часток.

При зіткненнях з окремими електронами швидкі заряджені частинки зазнають розсіювання на дуже невеликі кути, тому що маса електрона мала. Однак у тих випадках, коли швидка заряджена частка пролітає на дуже близькій відстані від одного з атомних ядер, під дією сильного електричного поля атомного ядра може відбутися розсіювання зарядженої частки на будь-який кут, аж до  $180^\circ$ .

На основі цих дослідів Резерфорд запропонував ядерну модель атома. Ця модель пояснювала результати дослідів з розсіюванням  $\alpha$ -частинок речовиною, давала можливість експериментально визначити заряд ядра. Було доведено, що він дорівнює порядковому номеру хімічного елемента в періодичній системі.

Уявлення про неподільність і вічність атома не узгоджувалися з явищами фотоефекту, з електролізу, розряду в газах, спектрами випромінювання, явищем радіоактивності.

Досліди Резерфорда з розсіювання  $\alpha$ -частинок на тонких металевих плівках привели до ядерної моделі атома.

#### Перевірте себе

1. Які явища доводять складність будови атома?
2. Охарактеризуйте дослід Е. Резерфорда.
3. Розкажіть про ядерну модель атома.

#### Поміркуйте

1. Чому ми говоримо про модель будови атома, а не про будову атома?

**2. Квантові постулати Бора.** *Нестійкість ядерної моделі атома.* Ядерна модель атома дозволила пояснити результати дослідів з розсіювання альфа-частинок, але зустрілася з іншими принциповими труднощами.

Оскільки, електрони в атомі згідно ядерної моделі мали рухатися з доцентровим прискоренням, а будь-який прискорений рух електричних зарядів супроводжується випромінюванням електромагнітних хвиль, то електрон в атомі повинен безперервно випромінювати електромагнітні хвилі з частотою, рівній частоті його обертання навколо ядра. Це має приводити до зменшення енергії електрона, поступового його наближенню до атомного ядра і, нарешті, до падіння на ядро. Таким чином, атом, що складається з атомного ядра й електронів, що обертаються навколо нього, відповідно до законів класичної електродинаміки нестійкий. Він може існувати лише короткий час, за який електрони витратять усю свою енергію на випромінювання й упадуть на ядро. Але це суперечить дійсності.

*Квантові постулати Бора.* Перший крок на шляху усунення протиріч між теорією і результатами експерименту у знаннях про атом був зроблений датським фізиком Нільсом Бором (1885–1962). Свої уявлення про особливі властивості атомів Бор сформулював у вигляді таких постулатів:



1. Атомна система може перебувати тільки в особливих *стаціонарних* або *квантових* станах, кожному з яких відповідає визначена енергія  $E_n$ ; у стаціонарному стані атом не випромінює і не поглинає енергії.

2. При переході атома з одного стаціонарного стану в інший випромінюється або поглинається квант електромагнітного випромінювання. Енергія фотона дорівнює різниці енергій атома в двох стаціонарних станах:

$$h\nu = E_m - E_n, \text{ де } h \text{ — стала Планка.}$$

Різні можливі стаціонарні стани атома, утвореного з атомного ядра й електрона, визначаються за теорією Бора співвідношенням:

$$mvr = nh$$

де  $m$  — маса електрона;  $v$  — його швидкість;  $r$  — радіус орбіти;  $n$  — ціле число;  $h$  — стала Планка.

Усі стаціонарні стани, крім одного, є стаціонарними лише умовно. Нескінченно довго кожен атом може знаходитися лише в стаціонарному стані з мінімальним запасом енергії. Цей стан атома називається *основним*. Всі інші стаціонарні стани атома називаються *збудженими*.

У результаті зіткнення з іншим атомом, із зарядженою частинкою або при поглинанні фотона атом може перейти зі стаціонарного стану з меншим запасом енергії в стаціонарний стан з більшим запасом енергії. З будь-якого збудженого стану атом самочинно може переходити в основний стан; цей перехід супроводжується випромінюванням фотонів. Час життя атомів у збуджених станах звичайно не перевищує  $10^{-8} - 10^{-7}$  с.

Основна зміна, внесена у фізичні знання про атом постулатами Бора, полягала у відмові від уявлень про безперервність зміни усіх фізичних величин і прийняли ідею *квантування фізичних величин*, якими описується внутрішній стан атома. Замість безперервної зміни відстаней між ядром і електроном в атомі виявляється можливим тільки дискретний ряд значень таких відстаней. Дискретними виявляються можливі значення кінетичної і потенціальної енергії електрона в атомі, швидкості його руху по круговій орбіті.

**Перший постулат Бора твердить: атоми перебувають у певних стаціонарних станах, кожному з яких відповідає певна енергія  $E_n$ . У стаціонарному стані атом не випромінює електромагнітні хвилі.**

Згідно другого постулату Бора під час переходу атома із стаціонарного стану з більшою енергією  $E_k$  у стаціонарний стан з меншою енергією  $E_n$  атом випромінює фотон з енергією  $h\nu_{kn} = E_k - E_n$ .

Поглинаючи енергію, атом переходить із стаціонарного стану з меншою енергією до стаціонарного стану з більшою енергією.

### Перевірте себе

1. Чому ядерна модель атома не могла пояснити стійкість атомів?
2. Сформулюйте постулати Бора.
3. Чому постулати Бора мають назву «квантові»?

### Поміркуйте

1. Постулат — твердження, що приймається без доведення. Чому ж на постулатах Бора ґрунтується теорія будови атома?



## § 19. Випромінювання та поглинання світла атомами. Атомні і молекулярні спектри. Спектральний аналіз

Вам вже відомо з розділу 4, що спектри отримують за допомогою спектральних апаратів — спектроскопів або спектрографів. Розглянемо, які бувають спектри.

*Неперервні спектри.* Сонячний спектр або спектр дугового ліхтаря — неперервний. Це означає, що в спектрі є всі довжини хвиль. У спектрі немає розривів, і на екрані спектрографа можна побачити суцільну різноколірну смугу (мал. 2.53).

*Неперервні (або суцільні) спектри,* як показує дослід, дають тіла у твердому і рідкому станах, а також гази з великою густиною. Характер неперервного спектра визначається як властивостями окремих атомів, які випромінюють, так і значною мірою залежать від взаємодії атомів. Щоб дістати неперервний спектр, потрібно нагріти тіло до високої температури.

*Лінійчаті спектри.* Якщо в біле полум'я газового паяльника внести шматочок азбесту, змоченого розчином звичайної кухонної солі, то, розглядаючи в спектроскоп полум'я, на фоні ледь помітного неперервного спектру полум'я можна побачити яскраву жовту лінію (мал. 2.53, 2). Цю жовту лінію дає пара Натрію, яка утворилася внаслідок розпаду молекул кухонної солі в полум'ї. Спектри, які складає сукупність кольорових ліній різної яскравості, розділених широкими темними смугами, називають *лінійчатими*. З них видно, що речовина випромінює світло лише цілком певних вузьких спектральних інтервалів довжин хвиль. Як видно з мал. 2.53, кожна лінія спектра має скінченну ширину.

*Лінійчаті спектри одержують від всіх речовин в газоподібному атомарному стані.* В такому стані світло випромінюють атоми, які практично не взаємодіють один з одним. Це основний вид спектрів.

Для дослідження лінійчатих спектрів розглядають світіння пари речовини в полум'ї або світіння газового розряду в трубці, наповненій цим газом.

Якщо густину атомарного газу збільшувати, то окремі спектральні лінії розширюються. При досить великій густині газу, коли взаємодія атомів стає істотною, ці лінії взаємно перекриваються, утворюючи неперервний спектр.

*Смугасті спектри.* Смугастий спектр складається з окремих смуг, розділених темними проміжками. За допомогою дуже досконалого спектрального апарата можна виявити, що кожна смуга — це сукупність великої кількості щільно розміщених ліній. На відміну від лінійчатих спектрів, смугасті спектри утворюються не атомами, а молекулами, що слабо зв'язані або не зв'язані між собою.

Для спостереження молекулярних спектрів так само, як і для спостереження лінійчатих спектрів, звичайно використовують світіння пари в полум'ї або світіння газового розряду.



Мал. 2.53. Спектри випромінювання:  
1 — суцільний, 2 — Натрію, 3 — Гідрогену, 4 — Гелію.  
Спектри поглинання: 5 — сонячний, 6 — Натрію,  
7 — Гідрогену, 8 — Гелію

*Спектри поглинання.* Усі речовини, атоми яких перебувають у збудженому стані, випромінюють світлові хвилі, енергія яких певним способом розподілена за довжинами хвиль. Поглинання світла речовинами також залежить від довжини хвилі. Так, червоне скло пропускає хвилі, що відповідають червоному світлу ( $\lambda \approx 8 \cdot 10^{-5}$  см), і поглинає всі інші.

Якщо біле світло пропускати через холодний, не випромінюючий газ, то на фоні неперервного спектра джерела з'являються темні лінії ( мал. 2.53, 5–8). Газ поглинає найбільш інтенсивно світло саме тих довжин хвиль, які він випромінює в дуже нагрітій стані. Темні лінії на фоні неперервного спектра — це лінії поглинання, які в сукупності утворюють *спектр поглинання*.

Є неперервні, лінійчаті і смугасті спектри випромінювання. Спектри поглинання є лінійчаті і смугасті.

*Спектральний аналіз.* Лінійчаті спектри дають можливість дізнатися будову атома. Вони утворюються атомами, що не зазнають зовнішніх впливів.

Основна властивість лінійчатих спектрів полягає в тому, що довжини хвиль (або частоти) лінійчатого спектра якої-небудь речовини залежать лише від властивостей атомів цієї речовини і не залежать від способу збудження світіння атомів. Атоми будь-якого хімічного елемента дають спектр, не схожий на спектри всіх інших елементів: вони випромінюють хвилі цілком певного набору довжин.

На цьому ґрунтується *спектральний аналіз* — метод визначення хімічного складу речовини за її спектром. Індивідуальність спектра дає можливість визначити хімічний склад тіла. За допомогою спектрального аналізу можна виявити даний елемент у складній речовині, якщо навіть його маса не перевищує  $10^{-10}$  г.

Вченим відомі спектри всіх атомів, складено таблиці спектрів. За допомогою спектрального аналізу було відкрито багато нових елементів: Рубідій, Цезій та ін. Цим елементам часто давали назви відповідно до кольору найінтенсивніших ліній спектрів. Рубідій дає темно-червоні, рубінові лінії. Слово *цезій* означає «небесно-голубий». Це колір основних ліній його спектра.

Саме за допомогою спектрального аналізу дізналися про хімічний склад Сонця і зірок. Інші методи аналізу тут взагалі неможливі. З'ясувалося, що зорі складаються з тих самих хімічних елементів, які є на Землі. Гелій спочатку відкрили на Сонці і тільки потім знайшли в атмосфері Землі. Назва цього елемента нагадує про історію його відкриття: слово *гелій* у перекладі означає «сонячний».

Спектральний аналіз широко застосовується для контролю складу речовин у металургії, машинобудуванні, атомній індустрії. За допомогою спектрального аналізу визначають хімічний склад руд і мінералів.

Складні, переважно органічні, суміші аналізують за їх молекулярними спектрами.

Для спектрального аналізу використовують не тільки спектри випромінювання, а й спектри поглинання. Саме лінії поглинання в спектрі Сонця й зірок дають можливість дослідити хімічний склад цих небесних тіл.

У Всесвіті не знайдено жодного елемента, якого б не було в складі Землі. Спектральний аналіз доводить матеріальну єдність світу.

**Спектри бувають суцільні, лінійчаті (атомні), смугасті (молекулярні). Ізольовані атоми даного хімічного елемента випромінюють цілком певні довжини хвиль. Лінійчаті спектри розділяються на спектри випромінювання і поглинання. Використання властивостей лінійчатих спектрів для визначення хімічного складу речовини називають спектральним аналізом.**

### Перевірте себе

1. Які бувають спектри?
2. Як отримати спектр?
3. За якими спектрами можна визначити хімічний склад речовини?



## Поміркуйте

1. Що визначають за лініями поглинання в сонячному спектрі: склад атмосфери Сонця чи склад його глибинних шарів?
2. Чи можна вважати спектр лампи розжарювання неперервним?
3. У чому полягає основна відмінність лінійчатих спектрів від неперервних і смугастих?
4. Як спектри підтверджують хвильові і корпускулярні властивості світла?
5. Як спектри підтверджують прояв закономірності збереження у світлових явищах?

### \*§ 20. Атомне ядро

*Заряд ядра.* Досліди Е. Резерфорда довели, що будова атома відповідає ядерній моделі атома, згідно якої вся його маса зосереджена в атомному ядрі. Точні виміри електричного заряду атомних ядер були виконані в 1913 р. англійським фізиком Генрі Мозлі (1887–1915). Заряди ядер атомів різних хімічних елементів він визначив за допомогою рентгенівського випромінювання. Мозлі установив, що електричний заряд ядра атома дорівнює добутковій елементарного електричного заряду  $e$  на порядковий номер  $Z$  хімічного елемента в таблиці Менделєєва:

$$Q = eZ.$$

Було доведено, що порядковий номер хімічного елемента в таблиці Менделєєва визначається числом позитивних елементарних зарядів у ядрі будь-якого атома хімічного елемента або числом електронів в оболонці нейтрального атома.

*Нейтрон.* Оскільки ядро атома хімічного елемента з порядковим номером  $Z$  у таблиці Менделєєва містить  $Z$  елементарних позитивних зарядів, то можна було припустити, що ядро кожного з атомів цього хімічного елемента складається із  $Z$  однакових частинок, кожна з яких має елементарний позитивний заряд. Такою частинкою міг бути протон — ядро самого легкого з атомів — атома Гідрогену. Протон має позитивний елементарний заряд  $q = 1,602 \cdot 10^{-19}$  Кл, маса  $m_p$  протона дорівнює  $1,6726 \cdot 10^{-27}$  кг. В ядерній фізиці прийнято користуватися атомною одиницею маси або її енергетичним еквівалентом  $eV$ . Маса протона дорівнює:  $m_p = 1,007276970$  а.о.м. або  $938,2796$  Ме В.

Якщо б атомні ядра складалися тільки з протонів, то ядро атома хімічного елемента з порядковим номером  $Z$  повинне було б мати електричний заряд  $q = Ze$  і масою  $m = Zm_p$ . Але в дійсності маса, наприклад, ядра атома Оксигену не в 8 разів більша маси ядра атома Гідрогену, а приблизно в 16 разів.

Проблема складу атомного ядра була вирішена тільки після відкриття англійським фізиком Джеймсом Чедвіком (1891–1974) у 1932 р. частинки, що не має електричного заряду і має масу, приблизно рівну масі протона  $m_p = 1,6749543$  а.о.м., що відповідає  $939,5731$  Ме В. Цю частинку назвали *нейтроном*.

*Склад атомних ядер.* Після відкриття нейтрона радянський фізик, українець за походженням, Дмитро Дмитрович Іваненко і німецький фізик Вернер Гейзенберг висунули гіпотезу про протонно-нейтронну будову ядра. Відповідно до цієї гіпотези всі ядра складаються з протонів і нейтронів, які утворюють ядерні оболонки. Число протонів у ядрі дорівнює порядковому номеру елемента в таблиці Менделєєва і позначається знаком  $Z$ . Число нейтронів у ядрі позначається знаком  $N$ . Загальне число протонів і нейтронів у ядрі позначається знаком  $A$  і називається *масовим числом*, нейтрони і протони мають назву *нуклонів*.

*Ізотопи.* Ядра з однаковим числом протонів, але різним числом нейтронів є ядрами різних *ізотопів* одного хімічного елемента. Через різну кількість нейтронів ядра різних ізотопів одного хімічного елемента мають різні маси і можуть відрізнятися за фізичними властивостями, наприклад за здатністю до радіоактивного розпаду. Через однаковий заряд ядра атоми різних ізотопів одного хімічного елемента мають одна-



кову будову електронних оболонок і тому однакові хімічні властивості, але фізичні властивості ізоотопів можуть бути різними.

Позначається ізоотоп символом хімічного елемента  $X$  із позначенням ліворуч угорі масового числа  $A$  і ліворуч унизу числа протонів  $Z$  в атомному ядрі:



Наприклад, найлегший ізоотоп Гідрогену, ядром якого є один протон, позначається символом  ${}^1_1 H$ . Важкий ізоотоп Гідрогену — Дейтерій, ядро якого містить один протон і один нейтрон, позначається символом  ${}^2_1 H$ .

**Сума протонів і нейтронів, тобто загальне число нуклонів у ядрі атома, дорівнює масовому числу атома  $A$ . Число протонів дорівнює заряду ядра атома  $Z$ , число нейтронів  $N = A - Z$ .**

### Перевірте себе

1. Яку будову має ядро атома?
2. Чим відрізняються протон і нейтрон?
3. Що таке ізоотопи? За таблицею Менделєєва назвіть 3–4 елементи, що мають ізоотопи.
4. Як визначити число протонів і нейтронів у ядрі атома за допомогою таблиці Менделєєва?

**2. Ядерні сили. Стійкість ядер. Енергія зв'язку ядра.** Якими силами утримуються частинки в ядрі? Оскільки розміри атомних ядер малі, сили кулонівського відштовхування між частинками, наприклад, атомного ядра свинцю, що містить 82 протони, досягають декількох тисяч ньютонів. Але ядро свинцю не розвалюється на частини під дією кулонівських сил відштовхування, тому варто зробити висновок про існування сил притягання між протонами і нейтронами, що перевершують сили кулонівського відштовхування між протонами.

Сили притягання, що зв'язують протони і нейтрони в атомному ядрі, назвали *ядерними силами*. Інша назва цієї взаємодії — *сильна взаємодія*.

Протон і нейтрон по здатності до сильної взаємодії не відрізняються один від одного, тому в ядерній фізиці їх часто розглядають як одну частинку — *нуклон* — у двох різних станах. Нуклон у стані без електричного заряду називається нейтроном, нуклон у стані з електричним зарядом називається протоном.

Основні властивості ядерних сил можна пояснити тим, що нуклони обмінюються між собою частинками, маса яких більша маси електрона приблизно в 200 разів. Такі частинки були виявлені експериментально в 1947 р., вони одержали назву *пі-мезонів*.

Ядерні сили є короткодійними силами. На відстанях не більших  $10^{-15}$  м сильна взаємодія нуклонів значно перевершує електромагнітну і гравітаційну, але зі збільшенням відстані між нуклонами дуже швидко убиває.

Точні вимірювання мас ядер показують, що маса спокою ядра  $m_{\text{я}}$  завжди менша від суми мас спокою його протонів і нейтронів.

Існує дефект маси — різниця мас

$$\Delta m = Zm_p + Nm_n - m_{\text{я}}$$

За дефектом мас можна визначити енергію зв'язку ядра, використавши співвідношення Ейнштейна між масою і енергією

$$E = mc^2$$

Енергія зв'язку ядра  $E_{\text{зв}} = \Delta m \cdot c^2$

Точні вимірювання мас атомних ядер показують, що маса атомного ядра менша суми мас вільних протонів і нейтронів. Із закону взаємозв'язку маси й енергії ( $E=mc^2$ ), відо-



мого вам з 10 класу, впливає, що повна енергія вільних протонів і нейтронів повинна бути більшою енергії утвореного з них ядра. Для поділу атомного ядра на складові його нуклони потрібно затратити енергію  $E_{зв}$ , рівну різниці між повною енергією вільних протонів і нейтронів і повною енергією ядра:

$$E_{зв} = Zm_p c^2 + Nm_n c^2 - m_x c^2 = \Delta m c^2,$$

де  $\Delta m = Zm_p + Nm_n - m_x$ , де  $\Delta m$  називається дефектом мас.

$E_{зв}$  — та енергія, яку потрібно затратити для поділу атомного ядра на складові його нуклони. Ця енергія витрачається на здійснення роботи проти дії ядерних сил притягання між нуклонами.

При з'єднанні протонів і нейтронів в атомне ядро відбувається звільнення енергії. Енергія, що звільняється, дорівнює енергії зв'язку ядра  $E_{зв}$ . Ця енергія звільняється за рахунок роботи сил ядерного притягання між нуклонами.

*Питома енергія зв'язку.* Відношення енергії зв'язку ядра  $E_{зв}$  до числа нуклонів  $A$  в ядрі називається *питомою енергією зв'язку* нуклонів у ядрі.

Питома енергія зв'язку нуклонів у різних атомних ядрах неоднакова. Спочатку з ростом масового числа  $A$  вона збільшується у ядра дейтерію  ${}^2_1H$  до ядра ізотопу заліза  ${}^{56}_{26}Fe$ , а далі з ростом масового числа поступово убуває і знижується в ізотопу Урану  ${}^{238}_{92}U$ .

Питома енергія зв'язку нуклонів в атомних ядрах у сотні тисяч разів перевершує енергію зв'язку електронів в атомах.

**Мінімальна енергія  $E_{зв}$ , яку потрібно затратити для поділу атомного ядра на складові його нуклони, називається енергією зв'язку ядра. Енергія зв'язку нуклонів у різних атомних ядрах неоднакова.**

#### Перевірте себе

1. Які сили називаються ядерними?
2. Що таке енергія зв'язку?
3. Що таке дефект мас?
4. Які види фундаментальних взаємодій виявляються в атомному ядрі?
5. Яка природа ядерних сил?
6. Чому існує дефект мас? Чим це можна пояснити?

#### Поміркуйте

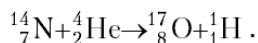
1. Як дефект мас, енергію зв'язку можна пояснити на основі уявлень про перехід частинок, що взаємодіють, до мінімуму енергії їх взаємодії?

### \*§ 21. Фізичні основи ядерної енергетики.

#### Ланцюгова реакція поділу ядер Урану

*Ядерні реакції.* Взаємодія частинки з атомним ядром, що призводить до перетворення цього ядра в нове ядро з виділенням вторинних частинок або гамма-квантів, називається *ядерною реакцією*.

Перша ядерна реакція була здійснена Резерфордом у 1919 р. Він довів, що при зіткненнях альфа-частинок з ядрами атомів азоту утворюються протони, що швидко рухаються. Це означало, що ядро ізотопу азоту  ${}^{14}_7N$  в результаті зіткнення з альфа-частинкою  ${}^4_2He$  перетворювалося в ядро ізотопу кисню  ${}^{17}_8O$ :



Ядерні реакції можуть відбуватися з виділенням чи поглинанням енергії. Енергетичний вихід реакцій визначають по різниці маси ядер і частинок до реакції і після неї. Якщо вона додатна, то енергія виділяється.



Використовуючи закон взаємозв'язку маси й енергії, енергетичний вихід  $\Delta E$  ядерної реакції можна визначити, знайшовши різницю мас  $\Delta m$  часток, що вступають у реакцію, і продуктів реакції:

$$\Delta E = \Delta mc^2$$

Для ядерних реакцій справджуються закони збереження енергії, імпульсу, електричного заряду, які визначають кінцеві продукти реакції та її енергетичний вихід.

Під час перебігу ядерних реакцій може відбуватися поділ ядер чи їх синтез. Реакцію синтезу легких ядер називають термоядерною. Такі реакції потребують високих температур. В природних умовах термоядерні реакції синтезу відбуваються в надрах зірок.

*Ланцюгова реакція розпаду ядер Урану.* Серед різних ядерних реакцій особливо важливе значення в житті сучасного людського суспільства мають ланцюгові реакції розпаду деяких важких ядер.

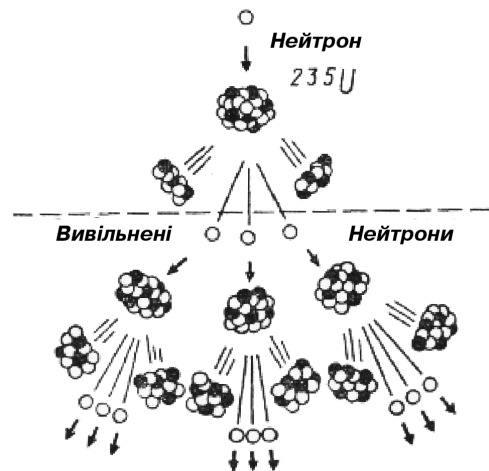
Реакція розпаду ядер Урану при бомбардуванні їх нейтронами була відкрита в 1939 р. У результаті експериментальних і теоретичних досліджень, виконаних Е. Фермі, М. Жоліо-Кюрі, О. Ганом, Ф. Штрассманом, Л. Мейтнер, О. Фришем, Ф. Жоліо-Кюрі, було встановлено, що при влучанні в ядро Урану одного нейтрона ядро поділяється на дві-три частини.

При розпаді одного ядра Урану звільняється близько 200 МеВ енергії. На кінетичну енергію руху ядер-осколків припадає приблизно 165 МеВ, іншу енергію несуть гамма-кванти.

Знаючи енергію, що виділяється при розпаді одного ядра Урану, можна підрахувати, що вихід енергії при розпаді всіх ядер 1 кг Урану виділяється енергії в кілька мільйонів разів більше, ніж при спалюванні 1 кг кам'яного вугілля або нафти. Тому були початі пошуки шляхів вивільнення ядерної енергії в значних кількостях для використання її в практичних цілях.

Практичне здійснення ланцюгових реакцій — не така проста задача, як це виглядає на схемі (мал. 2.54). Нейтрони, що звільняються при розпаді ядер Урану, здатні викликати розпад лише ядер ізоотопу Урану з масовим числом 235. Для руйнування ж ядер ізоотопу Урану з масовим числом 238 їхня енергія виявляється недостатньою. У природному Урані на частку Урану з масовим числом 238 припадає 99,3%, а на частку Урану з масовим числом 235 — усього лише 0,7%. Тому перший можливий шлях здійснення ланцюгової реакції розпаду зв'язаний з поділом ізоотопів Урану й одержанням у чистому вигляді в досить великих кількостях ізоотопу  $\frac{A}{h}$ . Необхідна умова для здійснення ланцюгової реакції — наявність достатньо великої кількості  $^{235}_{92}\text{U}$ , тому що в зразку малих розмірів більшість нейтронів пролітає крізь зразок, не потрапивши в жодне ядро. Мінімальна маса Урану, у якому може виникнути ланцюгова реакція, називається *критичною масою*. Критична маса для Урану-235 — кілька десятків кілограмів.

Найпростішим способом здійснення ланцюгової реакції в Урані-235 є наступний: виготовляють два шматки металевого Урану, кожний з масою, трохи меншої критичної. Ланцюгова реакція в кожному з них окремо йти не може. При швидкому з'єднанні цих



Мал. 2.54. Схема протікання ланцюгової реакції розпаду ядер Урану

шматків розвивається ланцюгова реакція і виділяється колосальна енергія. Температура Урану досягає мільйонів градусів, сам Уран і будь-які інші речовини, що знаходяться поблизу, перетворюються в пару. Розпечена газоподібна куля швидко розширюється, спалюючи і руйнуючи усі на своєму шляху. Так відбувається ядерний вибух.

Використовувати енергію ядерного вибуху в мирних цілях дуже важко, тому що виділення енергії при цьому не піддається контролю. Керовані ланцюгові реакції розподілу ядер Урану здійснюються в *ядерних реакторах*.

**Наслідком ядерних реакцій є утворення нових ядер і випромінювання частинок і гамма-квантів. Відомі ядерні реакції синтезу ядер атомів і поділу ядер.**

#### Перевірте себе

1. Які реакції називають ядерними? Чим вони відрізняються від хімічних реакцій?
2. Як визначити енергетичний вихід реакції?
3. Наведіть приклади різних видів ядерних реакцій.
4. Охарактеризуйте ланцюгову реакцію. При яких умовах вона відбувається і підтримується?

#### Поміркуйте

1. Чому при ядерних реакціях виділяється велика кількість енергії?

## § 22. Елементарні частинки

Відкриття явища радіоактивності і результати дослідів Резерфорда переконливо показали, що атоми не є неподільними найпростішими частинками. Як було встановлено, вони складаються з електронів, протонів і нейтронів. Спочатку частинки, з яких побудовані атоми, вважалися не здатними до змін і перетворень. Тому їх назвали елементарними частинками. Знайомство з властивостями цих трьох частинок, найбільш розповсюджених у вивченій частині Всесвіту, показало, що термін «елементарна частинка» досить умовна. Одна з цих частинок — нейтрон — у вільному стані існує в середньому лише близько 15 хв, а потім самочинно розпадається на протон, електрон і нейтрино. Однак вважати протон, електрон і нейтрино «дійсними» елементарними частинками, а нейтрон «складною» елементарною частинкою не можна, тому що кожна з цих частинок при взаємодії з іншими частинками й атомними ядрами може перетворюватися в інші частинки.

Повне число параметрів, що визначають властивості частинок, досить велике. Найважливішими з них є маса частинки, її електричний заряд, спин і час життя. З усіх названих характеристик спеціального пояснення вимагає лише спин. Спіном називається величина, що дає кількісну характеристику обертального руху частинки. Спин частинки (механічний момент) у різних частинок може мати різні значення, але всі частинки одного типу мають однакові спіни.

Особливо слід зазначити існування чотирьох типів фундаментальної взаємодії між елементарними частинками — гравітаційної, електромагнітної, сильної і слабкої. Найкраще вивченими є гравітаційні сили, що діють між будь-якими частинками, і електромагнітні сили, що діють між зарядженими частинками. Прикладом сильної взаємодії можуть служити ядерні сили, що зв'язують в атомних ядрах протони і нейтрони. Слабка взаємодія виявляється в процесах, зв'язаних з випусканням або поглинанням нейтрино.

*Античастинки.* Англійський фізик Поль Дірак у 1928 р. розробив теорію, з якої випливало, що в природі повинна існувати частинка з масою, рівною масі електрона, але заряджена позитивно. Така частинка — позитрон — була виявлена експериментально в 1932 р.



Таблиця елементарних частинок

Назва частинки		Символ		Маса		Спін в одиницях $\hbar$	Електричний заряд, кратний заряду електрона $e$ (частинка-античастинка)		Час життя, с	
		Частинки	Античастинки	в масах електрона $m_e$	в МеВ					
Фотон		Г		0	0	1	0		Стабільний	
Лептони	Електронне нейтрино	$\nu_e$		0	0	1/2	0		Стабільний	
	Мюонне нейтрино	$\nu_\mu$		0	0	1/2	0		Стабільний	
	Тау-нейтрино	$\nu_\tau$		0	0	1/2	0		Стабільний	
	Електрон	$e^-$	$e^+$	1	0,511	1/2	-1	1	Стабільний	
	Мюон	$\mu^-$	$\mu^+$	207	105,66	1/2	-1	1	$2,2 \cdot 10^{-6}$	
	Тау-лептон	$\tau^-$	$\tau^+$	3492	1782	1/2	-1	1	$1,46 \cdot 10^{-12}$	
Адрони	Мезони	Пі-мезони	$\pi^0$	$\pi^0$	264,1	134,96	0		$1,83 \cdot 10^{-16}$	
			$\pi^+$	$\pi^-$	273,1	139,57	0		$2,6 \cdot 10^{-8}$	
		Ка-мезони	$K^+$		966,4	493,67	0		$1,2 \cdot 10^{-8}$	
			$K^0$		974,1	437,7	0		$K_S^0 - 8,9 \cdot 10^{-11}$ $K_L^0 - 5,2 \cdot 10^{-8}$	
	Ета-нуль-мезон	$\eta^0$		1074	548,8	0		$2,4 \cdot 10^{-19}$		
	Нуклони	Протон	$p$		1836,1	933,28	1/2	1	-1	Стабільний (?)
		Нейтрон	$n$		1838,6	939,57	1/2	0		$10^3$
	Гіперони	Лямбда-гіперон	$\Lambda^0$		2183,1	1115,6	1/2	0		$2,63 \cdot 10^{-10}$
		Сигма-гіперони	$\Sigma^+$		2327,6	1189,4	1/2	1	-1	$8 \cdot 10^{-11}$
			$\Sigma^0$		2333,6	1192,5	1/2	0		$5,55,8 \cdot 10^{-20}$
$\Sigma$		2343,1	1197,4	1/2	-1	1	$1,48 \cdot 10^{-10}$			

У 1933 р. Фредерік і Ірен Жоліо-Кюрі довели, що гамма-квант з енергією, більшою енергії спокою електрона і позитрона, яку можна підрахувати за формулою  $E = 2mc^2 \approx 1,02\text{МеВ}$ , при проходженні поблизу атомного ядра може перетворитися в пару електрон-позитрон. Позитрон, здатний до спільного «народження» у парі з електроном і до анігіляції при зустрічі, назвали античастинкою. Народження електронно-позитронних пар і анігіляція електронів і позитронів при зустрічі наочно показують, що дві форми матерії — речовина і поле — не є різко розмежованими, можливі перетворення матерії з однієї форми в іншу.

---

---

Після відкриття першої античастинки — позитрона природно виникло запитання про існування інших античастинок. До цього часу встановлено, що античастинка є в кожній елементарній частинці. Маса будь-якої античастинки в точності дорівнює масі відповідної частинки, а електричний заряд (для заряджених частинок) дорівнює за абсолютним значенням зарядові частинки і протилежний йому за знаком.

*Кварки.* Крім частинок, представлених у таблиці, відкрите велике число частинок з дуже малим часом життя — близько  $10^{-22}$  с. Ці частинки названі *резонансами*. З відкриттям цих частинок невизначеність поняття «елементарна частинка» стала особливо помітною.

У 1963 р. М. Гелл-Манно і Дж. Цвейгом була запропонована гіпотеза про існування в природі декількох частинок, названих *кварками*. Відповідно до цієї гіпотези всі побудовані з кварків і антикварків, з'єднаних між собою в різних комбінаціях.

Елементарними частинками вважають частинки, які не складаються з інших відомих частинок і під час взаємодії з іншими частинками чи полями поведуться як єдине ціле.

Однією з найбільш важливих властивостей частинок є їх взаємоперетворюваність, яка підлягає законам збереження.

### Перевірте себе

1. Як в науці розвивалося уявлення про першооснови буття — елементарні частинки?
2. Які елементарні частинки вам відомі з курсу фізики і хімії?
3. Якими величинами характеризуються елементарні частинки?

### Поміркуйте

1. Охарактеризуйте фотон як елементарну частинку.
2. Чи можете назвати стабільні елементарні частинки?
3. Чи можна вважати, що нейтрон складається з протона-електрона?
4. Охарактеризуйте основну властивість елементарних частинок.
5. Яким загальним закономірностям підпорядковане існування елементарних частинок?

## § 23. Фізика й науково-технічний прогрес та природничо-наукова картина світу

Ви познайомилися з досягненнями ядерної енергетики, її роллю в забезпеченні електричною енергією.

Розвиток механіки, засобів зв'язку, автоматики, отримання матеріалів із заданими властивостями привели до створення сучасної космічної техніки. Можливо, ви будете співучасниками проектів заселення Марса, житимете в час, коли збудуться слова пісні: «І на Марсі будуть яблуні цвісти».

Розроблення всіх проектів, пов'язаних з досягненнями фізики, має спиратися на екологічне мислення, образ природи, в основі якого поруч із загальними закономірностями природи лежать закони екології. Пригадайте їх метафоричний вираз: «Все зв'язано з усім», «Все повинно кудись діватися», «За все потрібно платити», «Природа знає краце».

Екологічні лиха нашої цивілізації, технічного прогресу не випадкові. Вони — закономірний результат взаємодії фрагментарного, сегментованого мислення людини з довкіллям. Тільки цілісне мислення людини, виразом якого є життєствердний образ природи, може зберегти цивілізацію, виважено взаємодіяти з нею.

*Природничо-наукова картина світу та її складова — фізична картина світу.*

З попередніх класів ви знаєте, що природничо-наукова картина світу — це система знань, яка утворюється під час обґрунтування всіх елементів знань на основі загальних



---

---

закономірностей природи. Ці закономірності — збереження, спрямованості самочинних процесів до рівноважного стану, періодичності процесів у природі — великою мірою є предметом вивчення фізики. Сучасні уявлення про світ, пов'язані з мікросвітом, також є предметом вивчення фізики.

Наукова картина світу, яку почали створювати Галілей і Ньютон, а завершували Фарадей, Максвелл і Ейнштейн, відображала філософські переконання, які брали початок ще від древніх: природа не робить стрибків. Такі висновки ґрунтувалися на безперервності процесів. Цю думку змінила квантова теорія, згідно якої речовина при випромінюванні випускає енергію цілими порціями — квантами. Енергія кванта рівна  $E=hf$ , де  $f$  — частота світла (випромінювання),  $h$  — стала Планка. Ця величина відіграє величезну роль не тільки в сучасній фізиці, а у природознавстві взагалі.

Зі Сталою Планка увійшло до науки уявлення про дискретність енергії в мікросвіті; стала Планка виявилася пов'язаною з поняттям про будову атома. Вам відомо, що на основі експериментальних даних Резерфордом була розроблена планетарна модель атома. Це була остання наочна його модель. У травні 1911 р. фізики дізналися про те, як виглядає атом, але на Сольвеївському конгресі в Брюсселі вони про це промовчали. Запропонована Резерфордом модель була катастрофою для класичної фізики. Згідно уявленням електродинаміки Максвелла електрон, який рухається навколо ядра, повинен випромінювати енергію і тому має дуже швидко впасти на ядро. Виходило, що з визнанням моделі атома Резерфорда слід переглянути класичну електродинаміку. Хоча на Сольвеївському конгресі не було сказано, що планетарна модель атома не має права на існування, Резерфорд розумів, що «його» атом приречений. Тим більш радісно було дізнатися про його порятунок.

У березні 1913 р. з Копенгагена Резерфорду прийшов пакет від молодого датського фізика Нільса Бора з нарисом його першої роботи по квантовій теорії будови атома.

Теорія будови атома, створена Резерфордом і Бором, дозволила пояснити багату фактів. Наприклад, були пояснені спектральні закономірності, періодичність зміни властивостей атомів хімічних елементів. Але виникли нові запитання, на які, як тоді здавалося фізикам, неможливо було відповісти. Ейнштейн писав: «Це було так, ніби з-під ніг пішла земля і ніде не було видно твердого ґрунту, на якому можна було б будувати...» Дійсно, що це за «орбіти», на яких електрони можуть рухатися, не розтрачуючи енергію. Як електрон «знає», який квант енергії йому слід випромінювати при переході з одного енергетичного рівня на інший? Наприклад, електрон переходить з четвертого енергетичного рівня на другий, випромінюючи певний квант енергії. Але він може перейти і на третій, і на перший енергетичний рівень. І тоді він повинен випромінювати енергію, відповідну цим переходам... Бор не знав, як відповісти на ці питання. Відповідь знайшли інші фізики, правда, для цього довелося відмовитися від колишніх уявлень про мікропроцеси.

Як ви пам'ятаєте, в механіці і електродинаміці мікрочастинки уявлялися незмінними, їх швидкість, координату, енергію можна було визначити абсолютно точно в будь-який заданий момент часу. У сучасній картині миру абсолютно інший погляд і на самі мікрочастки, і на їхню поведінку.

Французький фізик Луї де Бройль в 1924 р. запропонував розглядати дискретні стани електрона в атомі як хвильові явища. Це давало можливість пояснити, чому електрон при своєму русі довкола ядра не випромінює енергію. Незабаром була відкрита дифракція електронів, що підтвердило наявність у них хвильових властивостей. Обумовлено це тим, що елементарним частинкам властиві властивості корпускули і хвилі. Для них неможливо з абсолютною точністю одночасно визначити координату і імпульс, зміну енергії і інтервал часу, впродовж якого відбувається ця зміна. І не тому, що ми не володіємо достатньо точними для цієї мети приладами, а з тієї ж причини, з якої не можна побудувати вічний двигун: сама природа не дозволяє цього зробити.



Мікрооб'єкт не може мати одночасно і певної координати, і певної відповідної до неї проекції імпульсу, і певним чином змінити свою енергію в точно визначуваній інтервалу часу. Наприклад, чим точніше ми визначимо координату електрона, тим більша невизначеність буде допущена у визначенні його імпульсу. Під час переходу електрона з одного енергетичного рівня на іншій існує невизначеність в значенні його енергії, тому немає чого замислюватись над тим, як електрон «вибирає», який квант йому слід випромінювати, щоб потрапити на той, а не на інший енергетичний рівень. У нього є «шанс» опинитися на кожному з можливих енергетичних рівнів, поведінка його не передбачувана, вона імовірна. Співвідношення, які дають можливість побачити, як зв'язані між собою невизначеності при визначенні координати і імпульсу мікрооб'єкту, енергії і часу його життя в певному стані, введені в 1927 р. В. Гейзенбергом:

$$\Delta p_x \Delta x \geq h; \Delta E \Delta t \geq h.$$

Експерименти в області фізики високих енергій змінили уявлення про світ... Починаючи від Демокріта, атомісти пояснили нескінченну різноманітність речей об'єднанням і роз'єднанням їх частин, в цих процесах кінцевими і неділимими частинками уявлялися атоми. У їх вічності і збереженні їх кількості убачалися докази вічності світу.

А в чому ж ми бачимо основу для розуміння незнищеності і несотворимості світу? Чи можемо ми елементарні частинки вважати «кінцевими частинками» матерії аналогічно тому, як атомісти представляли вічні і неділимі атоми? Щоб відповісти на це питання, подумаємо, чим відрізняється поняття подільності в класичній і сучасній фізиці.

Уявимо собі уявний експеримент, в якому моделлю «кінцевої частинки» матерії служить тарілка. Візьмемо дві тарілки з синтетичного матеріалу і ударимо одну об іншу. З точки зору класичної фізики можливі два випадки:

- тарілки залишаться цілими, тоді вони «неділимі»;
- тарілки розлетяться на шматочки, складемо їх — форма тарілок відновиться; маса шматочків дорівнює масі вихідної тарілки. Тарілка «ділима».

Якби набір посуду мав властивості елементарних часток, ми спостерігали б щось абсолютно інше. Уявимо собі, що ми ударяємо одну тарілку об іншу. І нічого не відбувається. Ударяємо їх з більшою силою, і ось результат: у нас в руках виявляється дві тарілки і одна чашка! Чи можна їх вважати осколками двох тарілок? Звичайно, ні! Ці «елементарні частинки», що утворилися, мають такий же статус елементарних частинок, як і вихідні. Цікаво, що маса частинок, що утворилися, не обов'язково дорівнює масі початкових: вона може бути як більшою їх маси, так і меншою, залежно від умов, в яких відбувалася взаємодія.

У сучасній науковій картині світу елементарна частинка — це найпростіший елемент даного поля або просто «квант даного поля». Пояснити, що таке поле, теж не просто. Але сенс цього поняття стане ясніший, якщо ми вдамося до такого порівняння: поля сучасної фізики можна порівняти із стихіями в картині світу древніх мислителів. Якщо вони вважали фундаментальними сутностями чотири стихії (землю, воду, повітря, вогонь), то сучасна фізика намагається розкрити весь вміст реального світу через прояв чотирьох видів взаємодій (мал. 2.55).

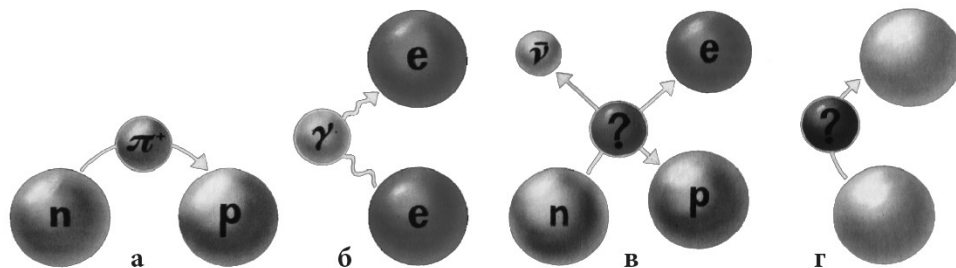
Сильну взаємодію (мал. 2.55, а) забезпечує зв'язок нуклонів в атомних ядрах. Ядерні сили діють лише на малих відстанях ( $10^{-15}$  м).

Електромагнітна взаємодія (мал. 2.55, б) зв'язує електрони в атомах і атоми в молекулах. Інтенсивність її приблизно в 100 разів менша, ніж сильної, але вона діє на будь-яких відстанях.

До слабкої взаємодії (мал. 2.55, в) схильні більшість елементарних частинок. Вона відповідальна за розпад деяких частинок і за процеси за участю нейтрино. Її інтенсивність складає лише  $10^{-14}$  від інтенсивності сильної взаємодії.



Гравітаційна взаємодія (мал. 2.55, г) найбільш слабка. Її інтенсивність складає  $10^{-43}$  від інтенсивності електромагнітної взаємодії. Вона діє між всіма матеріальними об'єктами.



Мал. 2.55. До видів взаємодії у природі: а — сильні взаємодії; б — електромагнітні взаємодії; в — слабкі взаємодії; г — гравітаційні взаємодії

Такі у загальних рисах сучасні уявлення про взаємодії в природі. Звести всі сили до єдиної основи, до чого прагнуло людське знання впродовж всього розвитку науки, сучасній фізиці поки не вдалося.

**Фізика була і є основою технічного прогресу та наукових досягнень людства, які змінювали світогляд, умови життя людини.**

**Фізика має бути нерозривно пов'язана з екологією, з формуванням у людини життєствердного образу світу, його основи — образу природи.**

**У сучасній ПНКС вічними вважаються закони природи, яким підлягають всі взаємодії і взаємодії у мікросвіті.**

### Перевірте себе

1. Наведіть приклади вкладу досягнень фізики в технічний прогрес. Наведіть приклади вкладу досягнень фізики в суспільний розвиток.
2. Які напрямки покращення умов життя людини ви пов'язуєте з фізикою?
3. Що називають природничо-науковою картиною світу?
4. З яких підсистем знань складається природничо-наукова картина світу?
5. Як уявлення про елементарні частинки змінила уявлення про першооснови світу, які панували відповідно до уявлень класичної фізики (механіка, електродинаміка)?
6. Які види взаємодій проявляються у природі відповідно до сучасної картини світу?

### Поміркуйте

1. Яких знань вам не вистачає для характеристики впливу фізики на технічний прогрес? (Підказка: з історії фізики, історії розвитку суспільства, історії техніки...)
2. Якими власними прикладами ви можете підтвердити вплив фізики на розвиток суспільства? На технічний прогрес?
3. Чи можуть учні своїми проектами, дослідженнями вплинути на розвиток фізики, технічний прогрес?

### Матеріали для проекту

#### Виконайте проект «Теплові насоси»

«Теплові насоси» здатні, забравши з електромережі кіловат-годину, подати у житлові чи виробничі приміщення значно більше енергії, оскільки «насос» поглинає енергію з холодного повітря навколишнього середовища. Примітивним «тепловим насосом»

може бути практично кожен холодильник, вмонтований у вікно так, щоб теплообмінник був у кімнаті, а дверцята назовні. Коли увімкнати апарат в електромережу та відчинити дверцята, «холодильною» камерою стане вулиця, а двигун-компресор і теплообмінник виділять у кімнату не тільки енергію електричного струму, а й ту енергію, яку прилад вилучить із атмосфери, намагаючись її охолодити. Вважаємо, що коефіцієнт корисної теплової дії холодильника за таких умов перевищить 100%, і він стане «тепловою помпою».

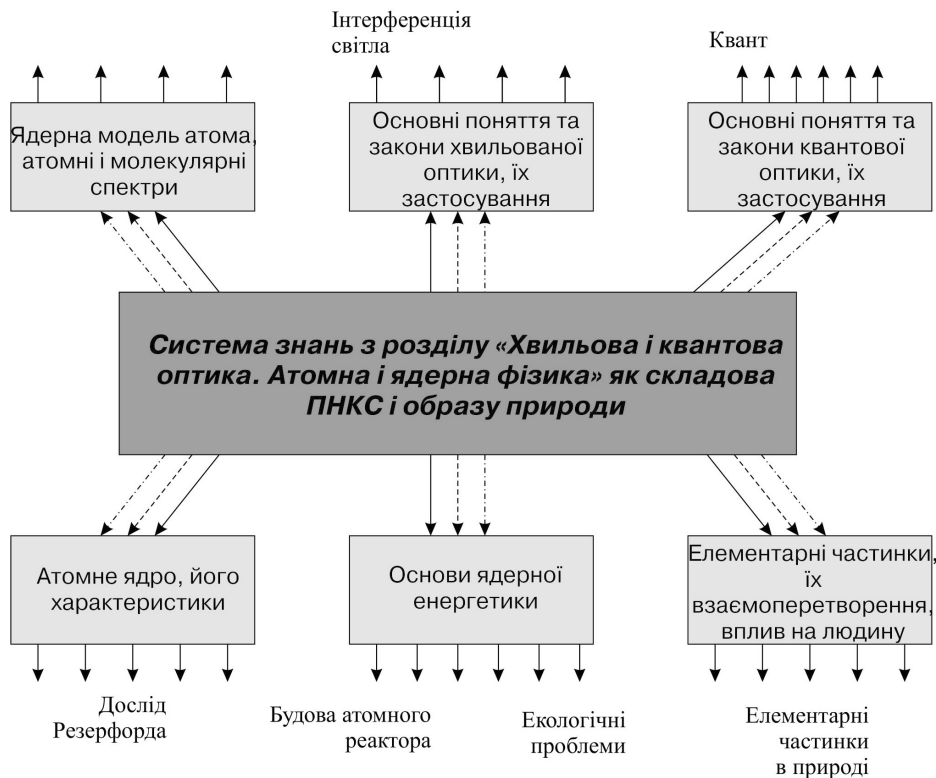
**Виконайте проект «Теплий горщик»**

Використовуючи будь-які пошукові системи Інтернету, знайдіть, яким чином можливо обігріти приміщення за допомогою глиняного горщика і парафінової свічки. Спробуйте відтворити проект. Обґрунтуйте його принцип роботи та виясніть недоліки.

**УЗАГАЛЬНІТЬ ВИВЧЕНЕ**

I. Обґрунтуйте на основі загальних закономірностей, із застосуванням природничо-наукової компетентності як здатності оперувати загальними закономірностями природи наступні основні знання розділу.

- 1) Світло як електромагнітна хвиля та його властивості (інтерференція, дифракція, поляризація, дисперсія).
- 2) Квантові властивості світла, їх прояв і застосування (фотоефект, квантові генератори, корпускулярно-хвильовий дуалізм та ін.).
- 3) Атомне ядро, його характеристика.
- 4) Основи ядерної енергетики.
- 5) Елементарні частинки, їх взаємоперетворення, вплив на людину.



Мал. 2.56. Варіант СЛС розділу «Хвильова і квантова оптика. Атомна і ядерна фізика»



П. За зразком (*мал.2.56*) складіть СЛС, підберіть до неї малюнки, фото з Інтернету або власні малюнки, вірші, які ви покажете під час презентації схеми як моделі цілісності знань з підрозділу. Бажано показати на СЛС результати спостережень, досліджень під час уроків у докільлі, під час виконання проєктів (в групі чи самостійних). Адже СЛС буде використана під час моделювання образу природи (основи образу світу в кінці навчального року).

## УРОКИ У ДОВКІЛЛІ

Світло і звук у навколишньому світі

1. Які предмети оточують вас? Який вони мають колір? Чим він обумовлений.
2. Які явища в навколишньому світі пов'язані з відбиванням, заломленням, прямолінійним поширенням світла?
3. Які звуки ви чуєте? Які з них належать до шкідливого для людини шуму? Як їх можна було б уникнути?
4. Чи можете вказати, які з почутих вами звуків відрізняються кількістю коливань за секунду (висотою)? Вкажіть, які перетворення енергії мають місце при звучанні тіл.
5. Яких птахів ви можете впізнати за голосами? Спробуйте відтворити спів птахів.
6. Спостерігайте явище інтерференції, дифракції інтерференції звуку.
7. Спостерігайте явище дифракції, інтерференції світла.
8. Напишіть оповідання «Світло і звук у природі».



## РОЗДІЛ 3. РОЗВИТОК ЗНАНЬ ПРО ВСЕСВІТ

### § 24. Предмет астрономії. Вимірювання часу

Хай кожна мить, що в вічність промайне,  
Тебе вщасливиює, бо головне,  
Що нам дається тут, — життя: пильнуй же!  
Як ти захочеш, так воно й мине.

**Омар Хайям**

Астрономія — наука про небесні світила, про закони їхнього руху, будови і розвитку, а також про склад й розвиток Всесвіту.

Основи нової астрономії, наукового світорозуміння її були закладені великим польським ученим Миколаєм Коперником (1473–1543). У своїй книзі «Про обертання небесних сфер» (1543 р.) він виклав новий погляд на систему світу, яка в подальшому дістала назву геліоцентричної. В основу цієї системи було покладено такі твердження:

1. У центрі світу знаходиться Сонце.
2. Земля та інші планети рухаються навколо Сонця і одночасно обертаються навколо одного із своїх діаметрів.
3. Рух планет проходить по майже колових орбітах із сталою швидкістю.

Вперше в астрономії Коперник дав правильний план будови Сонячної системи і встановив її відносні масштаби, розрахував істинні (сидеричні) періоди обертання планет навколо Сонця. Геліоцентричну систему світу Коперника розвивали далі багато вчених і серед них: Джордано Бруно, Галілео Галілей, Йоган Кеплер, Ісаак Ньютон. Геліоцентрична система світу є загальноприйнятою, вона розвивається далі.

Теорія Коперника стала основою для введення в науку поняття відносності руху, з яким ви вже ознайомились раніше. Це положення є одним з найголовніших у сучасній фізиці.

Водночас астрономія є найдавнішою наукою, яка задовольняє потреби людей.

Здавня людям потрібно було вимірювати час. Природа надала їм для цього три явища, які періодично повторюються: зміну дня й ночі, зміну зовнішнього вигляду (фаз) Місяця, зміну пір року. Тривалість першого явища названо *добою*.

Зручним виявився інший, тривалістю 29,53 доби, проміжок часу (місяць), протягом якого Місяць змінює свій зовнішній вигляд.

І звичайно ж люди зуміли використати тривалість третього явища — *року*. На основі тривалості року ґрунтується система лічення часу — календар (від латинського «календа», що означає перший день місяця).

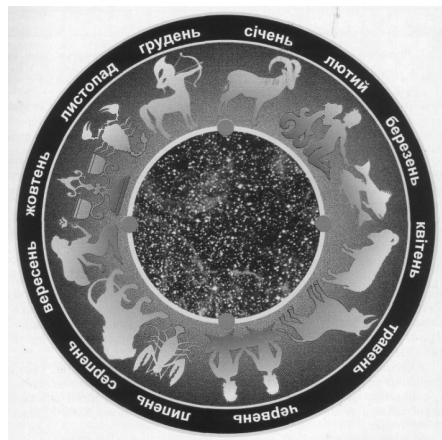
Існують різні види календарів: сонячний, місячний, юліанський, григоріанський, астрономічний та інші. Ми користуємося григоріанським астрономічним календарем. Він складається на кожний рік і базується на обертанні Землі навколо Сонця. Період її обертання близько 365 діб і 6 год 9 хв і 9 сек. Календарні роки містять ціле число діб — 365 або 366 (у кожному четвертому році, який називають *високосним*).

Рік складається з 12-ти місяців, число днів у них коливається від 28 до 31. Місяці назвали відповідно до погоди, яка була характерна для даної пори року: січень — січе мороз, вітер; лютий — лютують завірюхи, морози; березень — починається рух соку по стовбурах беріз; квітень — зацвітають квіти; травень — росте молода трава; червень — червоніють ягоди і т.д.

Сонце протягом року рухається вздовж великого кола небесної сфери, по черзі перебуваючи в зодіакальних сузір'ях («зодіак» — від грецького «коло тварин»). Цих сузір'їв, за кількістю місяців, дванадцять. Ось їхні назви: *Овен, Тілець, Близнюки, Рак, Лев, Діва, Терези, Скорпіон, Стрілець, Козерог, Водолій, Риби*. Знаки цих сузір'їв зображені на мал. 2.60.

Проміжна одиниця вимірювання часу між добою і місяцем — семиденний — тиждень виникла у древньому Вавілоні. Її виникнення пов'язане з вірою у магичність числа сім — за кількістю видимих небесних тіл (Місяць, Меркурій, Венера, Марс, Юпітер, Сатурн, Сонце). У ті часи дні тижня так і називали: понеділок — день Місяця, вівторок — день Марса і т.д.

Є інше пояснення назви днів тижня. День, коли нічого не робили, назвали неділею; перший день після неділі — понеділком; другий день — вівторком; середину тижня — середию; четвертий день — четвер; п'ятий — п'ятницею. Назва суботи походить від тих часів, коли в деяких народів цей день вважався днем відпочинку («сабат» в давньоєврейській мові — відпочинок).



Мал. 2.57. Знаки Зодіаку

**Календар — система обчислення часу, заснована на періодичності явищ природи.**

### Перевірте себе

1. Які міри часу ви найчастіше вживаєте?
2. Які міри часу вказують в календарі?
3. Чи можна назвати системою дванадцять місяців року?

### Поміркуйте

1. Чи можна сказати, що хвилина складається з 60 секунд аналогічно тому, як молекула складається з атомів?

## § 25. Основні точки і лінії небесної сфери, небесні координати

Астрономічні спостереження цікавили наших пращурів завжди. По спостереженню за зорями і місяцем виходили в поле, сіяли, збирали врожай.

Шлях до вивчення зір починається з того, що ми не просто дивимось на них і милуємося ними, а і вивчаємо *абетку астрономії*, без якої важко, майже неможливо, обійтись у спостереженні і дослідженні неба.

*Познайомтеся з основними точками і лініями небесної сфери, небесними координатами.*

Уявімо собі, що небо — велетенський глобус довільного радіуса, а спостерігач перебуває в його центрі. Очевидно, що як і на земному глобусі, на глобусі небесному також можна нарисувати певну координатну сітку, за допомогою якої можна позначати розташування світил на небі.

Цьому сприяє обставина: дивлячись на небо, ми не сприймаємо на око різниці у відстанях до небесних світил. Тому можемо (і це дуже зручно) вважати, що всі вони є на однаковій відстані від спостерігача, або, як прийнято-говорити, — на *небесній сфері*.

*Небесною сферою називається уявна сфера довільного радіуса, в центрі якої знаходиться спостерігач і на яку спроектовано всі світила так, як їх бачить спостерігач у деякий момент часу з певної точки простору.*

Нагадаємо таке: якщо сферу перерізає площина, то утворюється коло. Якщо площина проходить через центр сфери, то коло називають *великим*, у протилежному випадку коло *мале*.

**Точки і лінії небесної сфери.** Щоб мати змогу провести на сфері (цьому уявному глобусі, усередині якого є спостерігач) лінії, потрібні передовсім опорні точки. Найперше, це *зеніт* і *надир*.

*Зеніт*  $Z$  — це верхня, а *надир*  $Z'$  — нижня точки перетину небесної сфери вертикальною лінією, що проходить через її центр. Велике коло небесної сфери, площина якого перпендикулярна до вертикальної лінії і називається *горизонтом* (мал. 2.58).

Дугу великого кола, що проходить від зеніту через світило до горизонту, називають *вертикалом*.

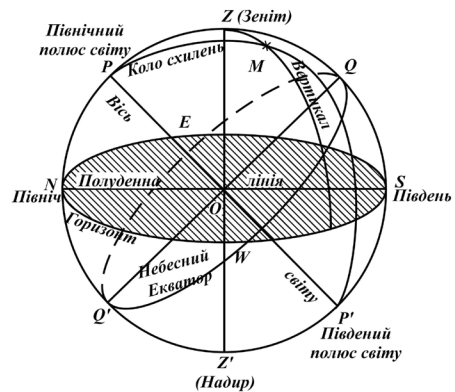
Небесна сфера обертається навколо одного зі своїх діаметрів.

Діаметр, навколо якого обертається небесна сфера, називається *віссю світу*. Точки перетину осі світу з небесною сферою — *полюси світу*. Один з них — *Північний*, протилежний — *Південний*.

Велике коло небесної сфери, площина якого перпендикулярна до осі світу, називається *небесним екватором*. Небесний екватор ділить небесну сферу на дві півкулі: *північну* і *південну*.

Небесний екватор перетинає горизонт у двох точках: у *точці сходу*  $E$  і в *точці заходу*  $W$ . Вертикал, що проходить через точку  $E$ , називається *першим вертикалом*. Добові рухи світил відбуваються по *добових паралелях*.

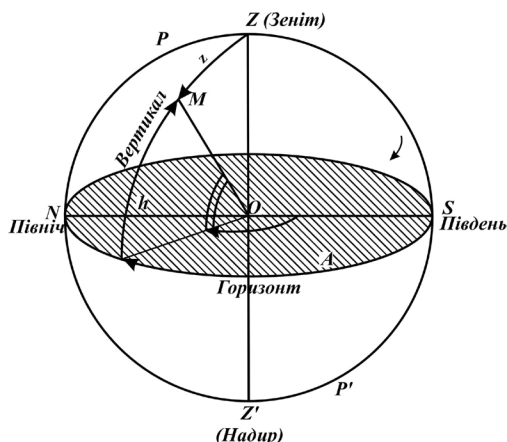
Велике коло, яке проходить через полюси світу і зеніт, називається *небесним меридіаном*. Він ділить небесну сферу на дві півкулі: *східну* і *західну*. Площина небесного меридіана перерізає площину горизонту, утворюючи *полуденну лінію*. Вона ж перетинає горизонт у двох точках: у *точці півночі*  $N$  і в *точці півдня*  $S$ . Точка півночі  $N$  ближча до Північного полюса світу (розташована «під ним»), точка півдня  $S$  ближча до Південного полюса світу (розташована «над ним»). Велике коло, яке проходить через полюси світу і світило  $M$ , називається *колом схилення світила*, або *годинним колом*.



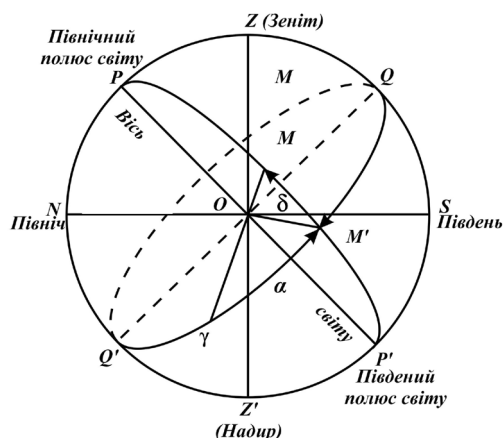
Мал. 2.58. Точки і лінії небесної сфери

Нарешті, видимий річний рух Сонця здійснюється по великому колу, яке називається *екліптикою*. Площина екліптики нахилена до площини небесного екватора під кутом  $23^{\circ}27'$ . Точки перетину екліптики з небесним екватором називаються *точками весняного і осіннього рівнодень*. Через точку весняного рівнодення ( $\Gamma$ ) 20 або 21 березня. Сонце переходить з південної півкулі неба в північну. Через точку осіннього рівнодення ( $\Omega$ ) 22 або 23 вересня Сонце переходить з північної півкулі в південну. Точки екліптики, віддалені на  $90^{\circ}$  від точок рівнодень, називаються *точками сонцестоянь*.

**Горизонтальна система небесних координат.** Найпростіша з систем небесних координат — горизонтальна. У ній основою є площина горизонту, а початком координат — точка півдня  $S$ . Тут задають і вимірюють азимут світила і його висоту над горизонтом. Азимут світила  $A$  позначає дуга від точки півдня  $S$  уздовж горизонту в бік заходу до вертикала світила. Висоту світила  $h$  відлічують від горизонту вздовж вертикала до світила. Як азимут, так і висоту вимірюють у градусах. Замість висоти  $h$  світила часто використовують *зенітну відстань*  $z$ , причому очевидно, що  $z = 90^{\circ} - h$  (мал. 2.59).



Мал. 2.59. Горизонтальна система небесних координат, стрілками вказано напрями відліку азимута  $A$  й висоти  $h$



Мал. 2.60. Екваторіальні системи небесних координат; стрілками вказано напрями відліку годинного кута  $t$ , прямого піднесення  $\alpha$ , і схилення  $\delta$

**Екваторіальні системи небесних координат.** В астрономії використовують дві системи екваторіальних координат. Основною площиною в них є площина небесного екватора. Однак у *першій* основною точкою є верхня точка небесного екватора  $Q$  (точка перетину небесного екватора з небесним меридіаном), розташована над точкою півдня. Тут вимірюють такі дві координати (мал. 2.60): годинний кут  $t$  світила і схилення  $\delta$  світила.

*Годинний кут*  $t$  світила вимірюється від найвищої точки небесного екватора  $Q$  уздовж небесного екватора в напрямі заходу до кола схилення світила.

*Схилення*  $\delta$  світила вимірюють дугою від небесного екватора уздовж кола схилень до світила. Обчислюють у градусах від  $0$  до  $+90^{\circ}$  у бік Північного полюса світу і від  $0$  до  $-90^{\circ}$  у південній півкулі.

У *другій* системі екваторіальних координат використовують пряме піднесення світила (за старою термінологією — пряме сходження)  $\alpha$  і схилення  $\delta$ . *Пряме піднесення*  $\alpha$  світила вимірюють дугою від точки весняного рівнодення  $\gamma$  уздовж небесного екватора *назустріч* видимому обертанню небесної сфери до кола схилення світила. Обчислюють  $\alpha$  за допомогою годинної міри: від  $0^h$  до  $24^h$ . Друга координата  $\delta$  — така ж, як і в першій екваторіальній системі.

**Сузір'я** — це певна ділянка зоряного неба з чітко окресленими межами та з назвою, з належними їй світилами.

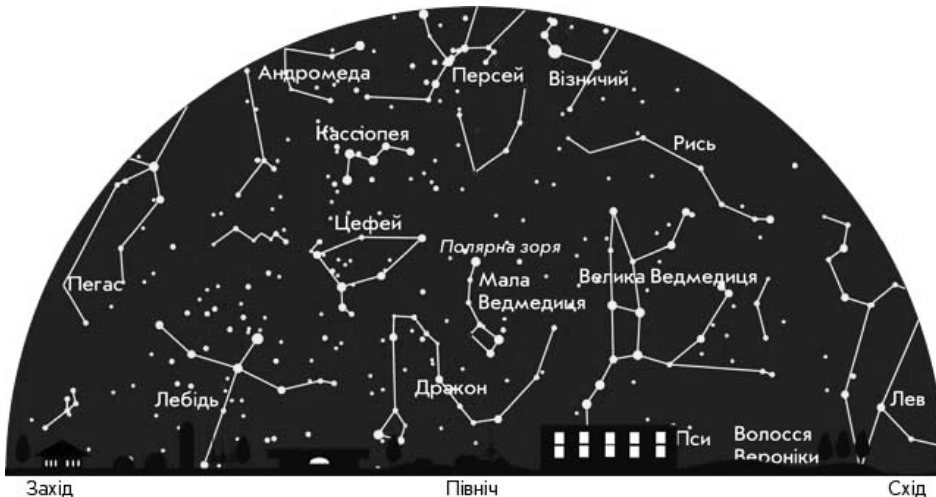
У наш час на зоряному небі налічують 88 сузір'їв, межі яких у 1922 р. офіційно затверджено Міжнародним астрономічним союзом (МАС). Відому систему позначення яскравих зір у сузір'ї літерами грецької абетки ввів німецький астроном *Йоган Байєр* (1572–1625). Англійський астроном *Джон Флемстід* (1646–1719) присвоїв зорям номери в порядку зростання їхніх прямих піднесень у межах кожного сузір'я. Цими номерами зорі часто позначають і в наш час (наприклад, 61 Лебеда, 70 Змієноця тощо).

Розгляньте на *мал.2.61*, як визначити положення Полярної зорі, за якою визначають положення Північного полюсу світу.



*Мал. 2.61. Положення Полярної зорі та найбільш яскраві сузір'я*

Напевно, з основної школи вам відомо, що Північний полюс світу є недалеко від зорі, що називається Полярною (*мал. 2.61*). Ставши ввечері обличчям до неї, невдовзі переконаємось, що справді зорі, які зліва від неї, опускаються вниз, тоді як ті, що справа, підносяться вгору, отже, обертання небесної сфери відбувається проти годинникової стрілки.



*Мал. 2.62. Сузір'я північної півкулі*

**Визначення відстаней до небесних світил.** В астрономії використовують особливі одиниці для вимірювання відстаней: астрономічна одиниця (а.о.) дорівнює середній відстані Землі від Сонця (149600000 км); парсек (пк) від слів «паралакс» і «секунда» —

відстань, з якої середній радіус земної орбіти видно під кутом  $1^\circ$ . Використовується також одиниця довжини *світловий рік* (св.р.). Це відстань, яку проходить світло за 1 рік (швидкість світла  $300000 \text{ км/с}$ ).

### Перевірте себе

1. Що називають небесною сферою?
2. Назвіть основні точки і лінії небесної сфери, покажіть їх на малюнку, виконаному в зошиті.
3. Які системи небесних координат можна використовувати для визначення положення світл?

### Поміркуйте

1. Які домашні спостереження буде виконувати?

#### Спостереження видимого руху і зміни фаз Місяця.

Найкраще почати ці спостереження того вечора, коли Місяць видно, як вузький серпик, невисоко над горизонтом одразу після заходу Сонця. Змалювавши вигляд Місяця і визначивши приблизну кутову відстань його від точки заходу Сонця, ці спостереження слід повторити в наступні вечори в той самий час (одразу після заходу Сонця). Так можна буде простежити поступову зміну фаз Місяця та його переміщення на небі в напрямі, протилежному добовому обертанню неба.

#### Ознайомлення із сузір'ями і найяскравішими зорями.

Використовуючи мал. 2.62, можна знайти на небі і запам'ятати обриси сузір'їв Великої і Малої Ведмедиці, а також Лебедя, Ліри та Орла, в яких знаходяться яскраві (першої величини) зорі Вега, Денеб і Альтаір. У зошиті для спостережень корисно записати, які сузір'я було видно увечері в південній частині неба. Щоб не забути обриси сузір'їв, слід час від часу знаходити їх на небі.

#### Спостереження добового обертання неба.

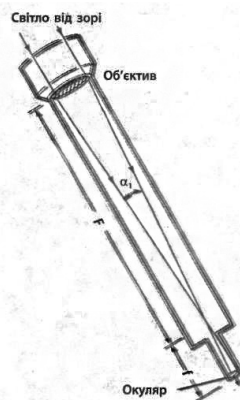
Почавши спостереження сузір'їв, запам'ятайте положення яких-небудь яскравих зір відносно горизонту. Через одну-дві години повторіть ці спостереження і переконайтесь у переміщенні зір внаслідок добового обертання неба.

## § 26. Вивчення Всесвіту

**Телескопи.** Телескопи (грец. tele — далеко, skopos — бачити) дозволяють нам побачити далекі небесні світила або зареєструвати їх за допомогою фотоапарата, відеокамери. За конструкцією телескопи можна поділити на три групи: *рефрактори*, або лінзові телескопи (мал. 2.63) (лат. refractus — заломлення); *рефлектори*, або дзеркальні телескопи (мал. 2.64), (лат. reflectio — відбиваю) та *дзеркально-лінзові* телескопи.

Припустимо, що на нескінченності розташовується небесне світило, яке для неозброєного ока видно під кутом  $\alpha_1$ . Двоопукла лінза, яку називають об'єктивом, будує зображення світила у фокальній площині на відстані  $F$  від об'єктива (мал. 2.64). У фокальній площині встановлюють фотопластину, відеокамеру або інший приймач зображення. Для візуальних спостережень використовують короткофокусну лінзу — лупу, яку називають окуляром.

**Рефрактор** — телескоп, у якому для створення зображення використовують лінзи.



Мал. 2.63. Схема лінзового телескопа (рефрактора)

**Рефлектор** — телескоп, у якому для створення зображення використовують дзеркало.

Збільшення телескопа визначається так:

$$n = \frac{\alpha_2}{\alpha_1} = \frac{F}{f}$$

де  $\alpha_2$  — кут зору на виході окуляра;  $\alpha_1$  — кут зору, під яким світило видно неозброєним оком;  $F, f$  — фокусні відстані відповідно об'єктива й окуляра.

Роздільна здатність телескопа залежить від діаметра об'єктива, тому при однаковому збільшенні більш чітке зображення дає телескоп із більшим діаметром об'єктива.

Крім того телескоп збільшує видиму яскравість світл, яка буде у стільки разів більша за ту, що сприймається неозброєним оком, у скільки площа об'єктива більша від площі зіниці ока. В телескоп не можна дивитись на Сонце, бо його яскравість буде такою великою, що ви можете втратити зір.

Шкільні телескопи мають об'єктиви з фокусною відстанню 80–100 см, та набір окулярів із фокусними відстанями 1–6 см. Тобто збільшення шкільних телескопів згідно з формулою може бути різним (від 15 до 100 разів), залежно від фокусної відстані окуляра, який застосовується під час спостережень. У сучасних астрономічних обсерваторіях є телескопи, які мають об'єктиви з фокусною відстанню більше за 10 м, тому збільшення цих оптичних приладів може перевищувати 1000. Але під час спостережень такі великі збільшення не застосовують, бо неоднорідності земної атмосфери (вітри, забрудненість пилом) дуже погіршують якість зображення.

**Вивчення Всесвіту за допомогою космічних апаратів.** Із початком космічної ери настає новий етап вивчення Всесвіту за допомогою штучних супутників Землі (ШСЗ) та автоматичних міжпланетних станцій (АМС). Космічні методи мають суттєву перевагу перед наземними спостереженнями, тому що значна частина електромагнітного випромінювання зір і планет затримується в земній атмосфері. У наш час у космосі функціонує багато обсерваторій, які реєструють та аналізують випромінювання всіх діапазонів — від радіохвиль до гамма-променів.

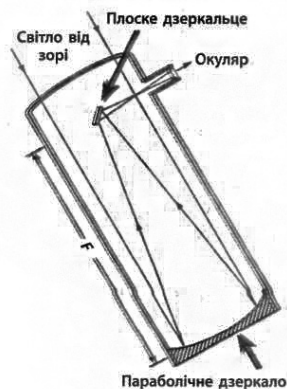
Великий внесок у вивчення Всесвіту зробили українські вчені. За їхньою участю були створені перші космічні апарати (КА), які почали досліджувати не тільки навколоземний простір, але й інші планети. Автоматичні міжпланетні станції серії «Луна», «Марс», «Венера» передали на Землю зображення інших планет із такою роздільною здатністю, яка в тисячі разів перевершує можливості наземних телескопів.

Розглянемо відомі космічні апарати.

**Космічна ракета** — багатоступінчаста ракета для виведення космічних апаратів (штучних супутників Землі, космічних кораблів) на орбіту супутника Землі чи міжпланетну трасу. Принцип реактивного руху, відомий ще з давніх-давен, використано для проникнення в космічний простір лише в ХХ ст. саме завдяки створенню космічної ракети. Ідею використання космічної ракети як засобу космічного польоту подав і науково обґрунтував наш геніальний співвітчизник К. Е. Ціолковський.

**Космічний літальний апарат (КЛА)** — загальна назва апаратів для польотів у космосі. Космічними літальними апаратами є штучні супутники Землі та Місяця, космічні кораблі, автоматичні станції, космічні ракети та ракети-носії.

**Космічний корабель (КК)** — літальний апарат для польотів у космос людини. Від інших типів космічних літальних апаратів КК відрізняється наявністю герметичної кабіни з життєзабезпеченням. Космічними кораблями є апарати «Восток», «Восход», «Союз», «Меркурій», «Джеміні», «Аполлон».



Мал. 2.64. Схема дзеркального телескопа (рефлектора)



**Практичне використання космонавтики.** У наш час космонавтика використовується не тільки для вивчення Всесвіту, але й приносить велику практичну користь людям на Землі. Штучні космічні апарати вивчають погоду, досліджують космос, допомагають вирішувати екологічні проблеми нашої планети, ведуть пошуки корисних копалин, забезпечують радіонавігацію. Але найбільший успіх космонавтики випав на долю космічних засобів зв'язку, телебачення та Інтернету.

Україна бере активну участь у міжнародних космічних програмах. Учені проектують будівництво космічних сонячних електростанцій, які будуть передавати енергію на Землю.

*Головна астрономічна обсерваторія Національної академії наук України (ГАО НАН України)* — заснована 1944 р. у м. Києві. Основні напрями досліджень обсерваторії: визначення положень небесних тіл; вивчення обертання Землі; фізика тіл Сонячної системи, Сонця та зір; будова Галактики; нестационарні процеси в надрах зір; вивчення комет.

**Космонавтика як наука про польоти в міжпланетний простір бурхливо розвивається і займає особливе місце в методах вивчення небесних тіл та космічного середовища. Крім того в наш час космонавтика успішно використовується в засобах зв'язку, у навігації, геології, метеорології та багатьох інших галузях діяльності людини.**

#### Перевірте себе

1. Які телескопи можна використовувати для спостереження за небесними тілами?
2. Які апарати використовуються для вивчення космосу?
3. Які дослідження космосу проводяться в Україні?

#### Подискутуйте

1. Що ви можете запропонувати для майбутніх космічних програм, у яких могли б брати участь українські вчені?

#### Робота в групах

##### *Завдання для спостережень*

1. Увечері відшукайте на небі супутник або міжнародну космічну станцію, які освітлюються Сонцем і з поверхні Землі мають вигляд яскравих точок. Намалюйте їхній шлях серед сузір'їв протягом 10 хвилин. Чим відрізняється політ супутника від руху планет?

## § 27. Еволюція Всесвіту і його будова

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, метеорити, 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.

Задумайтесь, який закон діє при утворенні планети? Той, який обумовлює протікання самочинних процесів, тобто закон мінімуму потенційної енергії взаємодіючих речовин. 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.

У 1929 р. американський астроном Едвін Габбл, вивчаючи спектри галактик, установив, що лінії поглинання в цих спектрах суттєво зміщені по довжині хвилі в червону сторону (у напрямку більш довгих хвиль у порівнянні зі стандартними лабораторними спектрами). Цей ефект, названий *червоним зміщенням* у спектрах далеких галактик, пояснюється на підставі ефекту Доплера як наслідок віддалення галактик однієї від другої.

*Ефект Доплера* полягає в тому, що якщо джерело випромінювання рухається відносно приймача випромінювання зі швидкістю  $v$ , то замість випромінювання на довжині хвилі  $\lambda_0$  приймач реєструє випромінювання з довжиною хвилі  $\lambda$ , більшою, ніж у тієї, що випромінюється.

Габбл установив, що швидкості віддалення далеких галактик  $v$  пропорційні відстаням до них —  $r$ . Коефіцієнт пропорційності був названий згодом постійною Габбла —  $H$ . Ця закономірність одержала назву *закона Габбла*:

$$v = H \cdot r.$$

Звичайно космічні відстані вимірюють у парсеках (1пк = 3,26 св. р.), мегапарсеках (Мпк), швидкість віддалення галактики — у км/с, тоді  $H$  становить приблизно 75 (км/с)/Мпк.



Розбіжність галактик може бути пояснена розширенням усього Всесвіту. Таким чином, спостереження Габбла вперше встановили її нестаціонарність.

Незадовго до відкриття Габбла, в 1922 р., російський учений Олександр Фрідман, що працював у той час у Ленінграді, теоретично показав неможливість існування стаціонарного Всесвіту й розрахував можливі варіанти його еволюції, які зараз називають моделями Фрідмана. Згідно із цими моделями, якщо середня щільність Всесвіту перевершує деяке критичне значення  $10\text{--}29\text{г/см}^3$ , то через якийсь час під дією гравітації почнеться процес зближення галактик і схлопування Всесвіту. Якщо середня щільність Всесвіту менше критичної, то її очікує нескінченне розширення. І тільки у випадку рівності середньої густини речовини Всесвіту й критичної щільності розширення Всесвіту через якийсь час сповільниться й зупиниться.

**Гіпотеза великого вибуху. Формування хімічних елементів і еволюція Всесвіту.** Спостережуване розширення Всесвіту можна трактувати як наслідок первісного **Великого вибуху**, що відбувся на початку існування нашого Всесвіту. Згідно із сучасними даними відбулося це приблизно 14 млрд. років тому. У перші миті Всесвіт був дуже гарячий і щільний, наповнений випромінюванням, що виникає під час народження і анігіляції елементарних частинок і античастинок. Далі, у Всесвіті, що остигає і розширюється, залишилися електрони, ядра атомів водню, гелію, а також дейтерію й літію в незначних кількостях. При остиганні Всесвіту електрони і ядра стали об'єднуватися в атоми (епоха рекомбінації й відділення випромінювання від речовини при  $T \approx 4000\text{ К}$ ). Через мільйони років у вже холодному Всесвіті почалося формування галактик завдяки гравітаційній нестійкості хмар газу. У галактиках народилися зірки першого покоління, до складу яких входили в основному водень і гелій.

В 1965 р. американські радіоастрономи А. Пензіас і Р. Вільсон виявили радіовипромінювання Всесвіту, що досить рівномірно йде в усіх напрямках, з температурою близько 2,7 К. Це випромінювання, назване **реліктовим**, пояснюють як залишкове випромінювання раннього гарячого Всесвіту. Це відкриття виявилось експериментальним підтвердженням моделі еволюції раннього Всесвіту.

Формування більш важких, ніж водень і гелій, хімічних елементів (аж до заліза) відбувається лише в надрах зірок.

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.

Всесвіт згідно із сучасними уявленнями не стаціонарний, він еволюціонує. Спостерігається прискорене розширення Всесвіту. Хімічні елементи синтезувалися в ході еволюції Всесвіту й космічних об'єктів, насамперед зірок.

### Перевірте себе

1. Що вам відомо про Великий вибух?
2. В чому полягає ефект Доплера?
3. В чому полягає закон Габбла?
4. Які можливі варіанти еволюції Всесвіту?

### Поміркуйте

1. Чому спостережуване у спектрах далеких галактик зміщення спектральних ліній називають червоним зміщенням?
2. Які процеси проходили в ранньому Всесвіті згідно зі сценарієм Великого вибуху?
3. Чи стаціонарний Всесвіт? Із чого все почалося? Що первинне: елементарна частинка чи атом? Які спостереження підтверджують гіпотезу Великого вибуху?
4. Яким загальним законам природи підлягають процеси народження Всесвіту?



## § 28. Утворення галактик, зірок, планетних систем

**Формування галактик.** Проблемою походження окремих небесних тіл і їх систем займається область астрономічної науки, яка називається *космогонією*. Мільярди *галактик*, величезних космічних зоряних систем масою від  $10^5$  до  $10^{14}$  мас Сонця із середньою густиною речовини в них  $10\text{--}24$  г/см<sup>3</sup> є основними одиницями великомасштабної структури Всесвіту.

На початку ХХ в. англійський астроном сер Джеймс Джинс запропонував модель формування галактик із хмар газу, пов'язану із *гравітаційною нестійкістю* речовини. Згідно із цією моделлю, в однорідному по щільності газі раннього Всесвіту випадково виявилися згущення. Вони під дією сил гравітації стискувалися, виокремлювалися з навколишнього середовища.

Процеси гравітаційного виокремлення речовини Всесвіту стали можливі тільки після того, як Всесвіт у результаті розширення охолов до 4000 К, пройшов процес рекомбінації, речовина стала нейтральною, випромінювання перестало взаємодіяти з речовиною й перешкоджати гравітаційному стиску. Це трапилося приблизно через мільйон років після Великого вибуху. Вивчаючи галактики, що перебувають на різних від нас відстанях (у мільйони й навіть мільярди світлових років), астрономи фактично мають можливість досліджувати галактики різного віку. Гравітаційний стиск первісної неоднорідності відбувається доти, поки сили гравітації не компенсуються іншими силами, наприклад тиску, газів. При цьому галактика стабілізується. Таким чином, формування зірок відбувається у вже відособлених галактиках.

**Утворення і еволюція зір.** У спочатку однорідному галактичному середовищі могли утворюватися гравітаційні нестійкості: випадково виниклі ущільнення газу масою більш  $10^5$  мас Сонця під дією гравітації стискаються й відокремлюються, розпадаються на фрагменти, які поступово набувають сферичної форми. З них і народжуються зорі.

Спочатку стиск виниклої *протозорі* відбувається ізотермічно (при постійній температурі), потім температура газу зростає. Стиск триває доти, поки зростаючі сили тиску, що залежать від температури й щільності, не зрівноважать сили гравітації. Перший етап еволюції зорі залежить від її маси й може тривати від декількох сотень тисяч до декількох сотень мільйонів років.

Якщо в центрі протозорі температура перевищить кілька мільйонів кельвінів, а тиск — кілька мільярдів атмосфер, що мимовільно може трапитися тільки з об'єктом масою не менше  $0,01$  маси Сонця, у надрах зорі почнуться реакції термоядерного синтезу. Тоді зорю вже можна назвати *нормальною зорею*. Цей етап порівняно тривалий, хоча і його тривалість залежить від маси зорі: він може тривати від 10 млн. до 10 млрд. років. Маломасивні зорі, наприклад з масою  $0,1$  маси Сонця, — довгожителі. Вони можуть залишатися в стані рівноваги на стадії нормальної зорі сотні мільярдів років. У ядрах зір іде перетворення гідрогену в гелій і більш важкі елементи (аж до заліза в масивних зорях). Коли «пальне» (наприклад, гідроген) зорі закінчується, наступають останні стадії еволюції зорі, які можна порівняти зі старінням і смертю.

Якщо маса зорі порівняна з масою Сонця, то в міру вигорання водню центральні області зорі стискаються, формуючи гаряче щільне ядро (середня щільність близько  $10^9$  кг/м<sup>3</sup>). Оболонка зорі при цьому роздувається, і протягом сотень тисяч років така зоря буде виглядати червоним гігантом, розмірами з орбіту Юпітера. Потім оболонка стиснеться, і маленький, із Землю, *білий карлик* буде повільно остигати протягом  $10^{12}$  років. Така доля очікує наше Сонце.

Якщо маса зорі не перевершує п'яти мас Сонця, то вона також спочатку перетвориться в червоного гіганта розміром у кілька десятків радіусів Сонця, а потім скине оболонку, яку можна буде спостерігати як планетарну туманність. Маса зорі (її центральної зони), що залишилася, перетворюється в білий карлик, який світить за ра-



---

---

хунок накопиченого тепла, остигає й зрештою перетворюється в темного, так званого коричневого карлика.

Масивні зорі на останній стадії своєї еволюції стають екзотичними об'єктами — *нейтронними зорями* або *чорними дірами*. Спочатку зорі масою більше п'яти мас Сонця перетворюються в червоні надгіганти з радіусом у сотні радіусів Сонця, а потім вибухають. Спостерігається так званий спалах зверхньої зорі. Зоря починає світитися, як мільярди окремих зір. Підвищена яскравість спостерігається десятки днів. При цьому температура плазми зорі при такому спалаху досягає мільярда Кельвінів. У цьому «казані» синтезуються всі хімічні елементи, важчі від заліза. Більша частина речовини зорі розкидається в міжзоряний простір, збагачуючи його важкими хімічними елементами. Зі збагаченого міжзоряного середовища утворюються зорі наступних поколінь. На місці вибуху може залишитися або нейтронна зоря, якщо маса залишку не перевершує 2,5 мас Сонця, або чорна діра, якщо маса перевершує це значення.

**Про утворення Сонячної системи.** Згідно із сучасними уявленнями, народження Сонця й народження планет — це єдиний процес. Усі об'єкти Сонячної системи сформувалися з газопилової туманності в результаті гравітаційної нестійкості. Згідно однієї з гіпотез, стиск цієї туманності був стимульований ударними хвилями, що виникли в результаті вибуху зверхньої зорі, який відбувся поблизу Сонячної системи. Стиск центральної частини хмари привів до утворення Сонця, а на периферії хмари, що через обертання ставала все більш плоскою, почали формуватися планети. При цьому будівельним матеріалом планет були відносно невеликі тверді шматки речовини. Зустрічаючись, багато їх злипалося, збільшуючись у розмірах, або руйнувалося. Великі шматки притягали до себе дрібні. У результаті приблизно за 100 млн. років навколо Сонця утворилися Земля і інші планети, а також їх супутники, астероїди, комети.

Астрономи виявили десятки інших планетних систем. Не всі вони схожі на нашу Сонячну систему. У більшості виявлених планетних систем більші планети з масою, як у Юпітера, перебувають за незрозумілими поки причинами поблизу центральної зірки, а не на периферії.

**Основними процесами, пов'язаними з еволюцією галактик, зір, планетних систем, керує гравітація.** Стиск об'єктів припиняється, коли врівноважуються сили гравітації й тиску газів. У надрах нормальної зорі йдуть реакції термоядерного синтезу. Кінцевими стадіями еволюції зір залежно від їхньої маси можуть стати білі карлики, нейтронні зорі або чорні діри.

Газові й газопилові туманності, що мають момент обертання, породжують обертові, досить плоскі системи (спіральні галактики, планетні системи й ін.)

### Перевірте себе

1. До яких наслідків може привести ситуація гравітаційної нестійкості масивних газових хмар?
2. Що таке нормальна зоря?

### Поміркуйте

1. Чи може стати зорею Юпітер, якщо його маса в тисячу раз менша маси Сонця?
2. Як утворювалися галактики? Який механізм спричиняє утворення галактик і зір? Як утворюються планетні системи?
3. Який загальний закон природи обумовлює еволюцію космічних об'єктів?

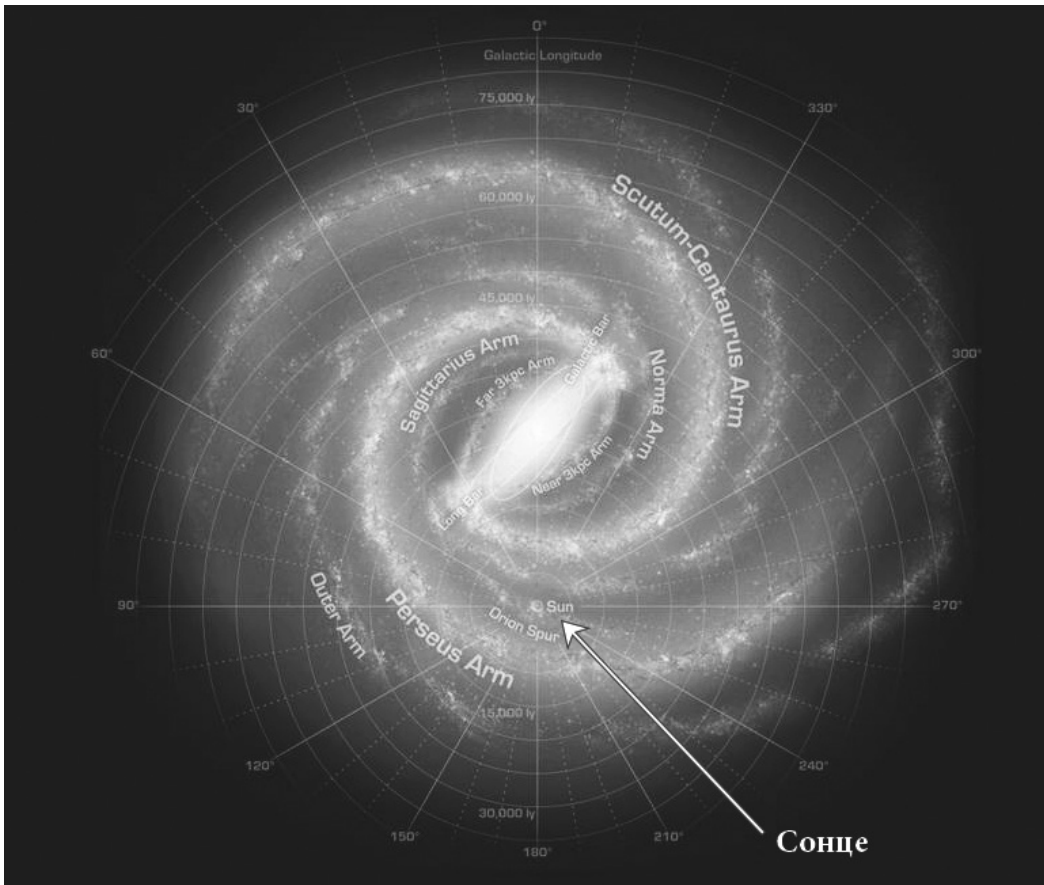


## \*§ 29. Наша Галактика

*Галактика* — зоряна система, в якій перебуває Сонячна система.

Зорі в Галактиці утворюють певні системи, які тривалий час існують у спільному гравітаційному полі. Найчисельніші системи об'єднання зір налічують сотні тисяч об'єктів — це *зоряні скупчення та асоціації*. *Кулясті зоряні скупчення* складаються з мільйонів зір. *Розсіяні зоряні скупчення* мають кілька тисяч об'єктів (найяскравіші з них *Пляди (Стожари)* та *Гіади* видно неозброєним оком у сузір'ї *Тельця*). У *зоряні асоціації* входять відносно молоді зорі, які мають спільне походження.

Галактика має сферичну форму з діаметром майже **300000** св. років, але більшість зір великої світності розміщуються приблизно в одній площині, тому їх видно на небі як туманну світлу смугу, яку в Україні називають *Чумацький Шлях*. Назва *Галактика* прийшла з Давньої Греції і в перекладі означає *Молочний Шлях*. Всі яскраві зорі (сузір'я *Оріон, Лебідь, Лира, Орел*) розташовуються у смугі Молочного Шляху. У цій площині розташовується значна частина газопилових туманностей, з яких утворюються нові покоління зір і планет. Усі ці об'єкти формують так звану *плоску складову Галактики*, до якої входить і Сонячна система (мал. 2.65).



Мал. 2.65. Галактика Чумацький Шлях та Сонячна система у ній (фотоархів NASA)

Центр Галактики розташований у напрямку сузір'я Стрільця. У центрі Галактики розміщене ядро діаметром 1000–2000 пк. Існує гіпотеза, що у ядрі Галактики розташовується чорна діра з масою у мільйони разів більшою, ніж маса Сонця.

---

---

Спостерігаючи інші галактики, астрономи звернули увагу на те, що не всі вони мають спіральну структуру. За зовнішнім виглядом існують три типи галактик — *спіральні, еліптичні та неправильні*. Наша Галактика, так само як і галактика в сузір'ї Андромеди М31, належить до спіральних. Вони мають схожий вигляд, майже однакові розміри і приблизно однакову кількість зір.

У спіральних рукавах галактик зараз відбувається інтенсивне народження молодих зір та формування планетних систем, у той час як в еліптичних галактиках більше старих жовтих та червоних зір. Можливо, що в еліптичних галактиках процес утворення зір уже закінчився.

Зорі утворюють величезні скупчення, які налічують сотні тисяч і мільйони об'єктів. У спільному полі тяжіння галактик розташовуються уже сотні мільярдів зір, які обертаються навколо спільного центра. Галактики теж утворюють окремі скупчення, які розміщені у великому масштабі не хаотично, а утворюють дуже дивні структури, що нагадують величезні сітки з волокон. Ми живемо у Всесвіті, який розширюється у безмежному просторі.

### Перевірте себе

1. Що означає слово *галактика* в перекладі з грецької мови?
2. Згідно із законом Габбла, всі галактики розлітаються в різних напрямках. Що розташоване у центрі цього розширення?
3. Які структури мають галактики?

### Поміркуйте

1. Чи можуть відбуватися зіткнення галактик?

### Подискутуйте

1. Визначте, через які сузір'я проходить Молочний Шлях.
2. Знайдіть на небі Туманність Андромеди (галактику у сузір'ї Андромеди). У яку пору року цю галактику видно всю ніч?

## § 30. Про еволюцію зір

У космосі можна спостерігати мільярди зір різного віку.

Важко побачити зорю до її народження, поки вона не почне світитися у видимій частині спектра. Зорі зароджуються разом із планетами з розріджених газопилових хмар, які утворюються після вибуху старих зір. За допомогою сучасних телескопів астрономи виявили в космосі сотні таких величезних газопилових туманностей, де зараз відбувається утворення молодих світів. Наприклад, такі своєрідні «ясла» новонароджених зір можна побачити в сузір'ї Оріона та зоряному скупченні Плеяди.

Протягом свого тривалого життя кожна зоря може як збільшувати, так і зменшувати всі свої основні параметри — температуру, світність та радіус. Зорі на головній послідовності перебувають у стані *гравітаційної рівноваги*, коли зовнішні шари за рахунок гравітації тиснуть до центра, у той час як тиск нагрітих газів діє в протилежному напрямку — від центра. Зоря в стані гравітаційної рівноваги не змінює своїх параметрів, бо інтенсивне випромінювання енергії з поверхні компенсується джерелом енергії в надрах — термоядерними реакціями. Такий процес триває доти, доки половина Гідрогену у ядрі не перетвориться на Гелій, і тоді інтенсивність термоядерних реакцій може зменшитися.

Зорі з масою у кілька разів більшою, ніж сонячна, закінчують своє життя грандіозним вибухом. У 1054 р. китайські астрономи спостерігали надзвичайно яскраву



---

нову зорю, яку було видно вдень протягом кількох тижнів. Цю незвичайну зорю помітили також літописці в Київській Русі, бо це був рік смерті Ярослава Мудрого.

Вважалося, що поява нової зорі віщувала «Боже знамення» на сумну подію в житті Русі. Сьогодні на тому місці, де спалахнула ця таємнича зоря, видно *туманність Краб*. Зорі, які протягом кількох днів збільшують свою яскравість у сотні мільйонів разів, називають *Новими*. Інколи Нова випромінює майже стільки ж енергії, скільки виділяють разом усі зорі в галактиці — такі зорі мають назву *Наднових*. Туманність Краб у сузір'ї Тільця є залишком такої Наднової, що спалахнула 4 липня 1054 р.

**Чорні діри.** Чорні діри утворюються на останній стадії еволюції зір із масою більшою ніж  $3M_{\odot}$ . Така дивна назва пов'язана з тим, що ці тіла мають бути невидимими, бо не випускають за свої межі світла. З іншого боку, такі об'єкти втягують все з навколишнього простору. Якщо космічний корабель потрапить на межу чорної діри, то вирватися з її поля тяжіння він не зможе, бо друга космічна швидкість біля її поверхні дорівнює швидкості світла  $300000$  км/с.

Теоретичні розрахунки показують, що такі зорі, як Сонце, ніколи не стануть чорними дірами, бо вони мають недостатню масу для гравітаційного стиснення до критичного радіуса. У стані гравітаційної рівноваги Сонце може світити  $10^{10}$  років, але ми не можемо точно визначити його вік, тобто скільки часу пройшло від його утворення.

У космосі постійно відбуваються народження молодих зір із газопилових туманностей та вибухи старих, коли утворюються нові туманності. Сонячна система утворилася близько 5 млрд. років тому з велетенської газопилової хмари, яка виникла на місці вибуху старої зорі. У стані рівноваги Сонце буде світити ще кілька мільярдів років, а потім перетвориться на червоного гіганта, який знищить усе живе на Землі...

### Перевірте себе

1. Назвіть зорі, які зустрічаються в космосі.
1. Що означає термін «чорна діра»?

### Поміркуйте

1. Чи може корабель впасти в «чорну діру»?
2. Які етапи еволюції Сонця можете вказати?
3. Які загальні закономірності проявляються в утворенні, існуванні космічних об'єктів?

## § 31. Життя у Всесвіті

**Антропний принцип.** Життя є однією з великих таємниць Всесвіту. Ми бачимо на Землі різноманітні живі організми, але нічого не знаємо про інші форми життя на чужих планетах. Усі живі істоти народжують дітей, а потім рано чи пізно вмирають, тобто перетворюються на неживу матерію. Але на Землі ще ніхто не спостерігав безпосереднє зародження живих біологічних клітин із неживих хімічних сполук. Із цього приводу англійський біолог Ф. Жрік висловився так: «Ми не бачимо шляху від первісного бульйону до природного відбору. Можна дійти висновку, що походження життя — чудо, але це свідчить лише про наше незнання».

Астрономічні спостереження показують, що параметри орбіти Землі, її маса, радіус і хімічний склад найбільш сприятливі для існування життя. Для цього також потрібне стабільне Сонце, яке протягом кількох мільярдів років майже не змінювало своєї світності. Навіть розширення Всесвіту теж сприяє існуванню життя, бо у фазі стиснення смертельне короткохвильове фонове випромінювання могло б знищити все живе. Виникає таке враження, що все суще в космосі існує для того, щоб на Землі



жили розумні люди. Таким чином була сформульована філософська основа космології — **антропний принцип** (від грец. антропос — *людина*): «Ми спостерігаємо Всесвіт таким, яким ми його бачимо, бо ми існуємо». Тобто, може десь у космосі існують світи з іншими параметрами, але там немає розумних істот, які могли б описати своє буття і передати цю інформацію з минулого в майбутнє.

*«Вважати Землю єдиним заселеним світом було б так само безглуздо, як стверджувати, що на величезному засіяному полі міг би вирости лише один колосок».*

**Митридор (III ст. до н. е.)**

**Антропний принцип.** Ми спостерігаємо Всесвіт таким, яким ми його бачимо, бо ми існуємо.

**Відкрита система** обмінюється з навколишнім середовищем енергією та інформацією.

**Життя як відкрита система, яка зберігає та передає інформацію з минулого в майбутнє.** Загальні характеристики живих істот можна описати за допомогою деяких термінів теорії складних систем, поведінку та еволюцію яких вивчає нова наука *синергетика*. Усі живі істоти за допомогою генів створюють величезний об'єм інформації, яка зберігається і передається нащадкам. Об'єм інформації, який зберігає тільки одна клітина живого організму, оцінюється в  $10^{22}$ – $10^{23}$  біт. Для порівняння нагадаємо, що об'єм інформації, яку зберігають сучасні комп'ютерні диски, у мільярди разів менший.

Біологічна еволюція живих організмів відбувається у напрямку збільшення об'єму інформації, який передається нащадкам. Наприклад, загальна маса усіх живих істот 100 млн. років тому була не менша, ніж маса сучасних живих істот, але об'єм нової інформації, якою володіє наша цивілізація, у мільярди разів більший, ніж інформація, що зберігалася у велетенських тілах динозаврів.

Гігантський стрибок у збільшенні потоку інформації відбувся 100000 років тому з появою розумної людини — *Homo sapiens*. Біологи доводять, що тоді на Землі паралельно існували два види розумних людей — *кроманьйонці* та *неандертальці*. Хоча неандертальці були фізично сильними та могутніми, але під час льодовикового періоду вони загинули. Вижили кроманьйонці, які навчилися не тільки добувати та зберігати вогонь, а й передавати свої знання нащадкам, тобто передавати інформацію з минулого в майбутнє не тільки за допомогою генів. Майже всі тварини для обміну інформацією користуються звуками, але тільки розумна людина для збереження інформації почала застосовувати різноманітні знаки і символи, які з часом перетворилися на писемність.

Завдяки комп'ютерам на сучасному етапі розвитку нашої цивілізації теж спостерігається значне збільшення потоку інформації, якою володіє людство. За допомогою АМС ми почали збирати інформацію на далеких планетах та приступили до безпосередніх пошуків позаземних форм життя.

Імовірність існування життя на інших тілах Сонячної системи досить мала, тому пошуки позаземних цивілізацій зараз ведуться поблизу інших зір. Недавно виявлено понад тисячу темних супутників зір, що свідчить про існування інших планетних систем, де можуть бути досі невідомі цивілізації.

**Прогнози еволюції земної цивілізації.** Час існування окремої цивілізації теж впливає на визначення загальної кількості цивілізацій у Галактиці. Наприклад, у Середньовіччі, коли середня тривалість життя людини була 20–30 років, кількість населення Землі не перевищувала 100 млн. осіб, і тільки в кінці ХХ ст., коли значно зріс середній вік людей, населення Землі сягнуло за 6 млрд. Скільки часу може існувати окрема цивілізація, ми не знаємо, бо спостерігаємо тільки за розвитком людства. Існують кілька наукових оцінок тривалості життя цивілізації. За так званою песимістичною точкою зору середня тривалість існування окремої ізольованої





---

---

цивілізації не перевищує **10000** років. Відповідно до цієї шкали земна цивілізація наближується до смерті, бо людство зіткнулося з цілим рядом проблем, які можуть призвести до катастрофічних наслідків.

Учені, які мають іншу, не таку безнадійну точку зору, вважають, що всі ці проблеми в майбутньому можуть бути розв'язані, тому оптимістична оцінка тривалості існування нашої цивілізації — **100000** років. Тобто за цією шкалою наша цивілізація тільки народжується, і в майбутньому нас чекає розквіт, освоєння міжзоряного простору та зустрічі з інопланетними цивілізаціями. Для цієї мети в наших школах і вивчають астрономію — науку про таємничий і дивовижний космос.

### **Інтернет**

Дозволяє нам значно збільшити об'єм нових знань і отримати інформацію не тільки з будь-якої бібліотеки на Землі, але й побачити те, що відбувається у космосі на інших планетах.

### **Основні причини, які можуть викликати загибель нашої цивілізації:**

1. Екологічна катастрофа, яка може виникнути внаслідок забруднення навколишнього середовища промисловими відходами наших підприємств.
2. Зміна клімату на Землі через збільшення кількості вуглекислого газу в атмосфері, збільшення парникового ефекту та підвищення температури.
3. Збільшення озонових дір в атмосфері може викликати підвищення частки ультрафіолетового випромінювання Сонця, яке досягає поверхні Землі, внаслідок чого можуть загинути флора і фауна нашої планети (окрім живих організмів у воді та під поверхнею Землі).
4. Катастрофічне зіткнення з астероїдом або кометою може призвести до різкого зниження температури та виникнення нового льодовикового періоду.
5. Цивілізація може закінчити життя самогубством через атомну війну. Події останніх років показують, що така загроза існує, поки атомна зброя поширюється серед держав, які не спроможні її належним чином контролювати.
6. Інтелектуальна деградація людства.

**Життя** — це складна відкрита система хімічних і біологічних сполук із високим ступенем упорядкованості, яка зберігає величезний об'єм інформації про себе і навколишній світ. Земля за багатьма параметрами є закритою системою, тому проблема виживання людства пов'язана з освоєнням космосу. Наша цивілізація зробила перші кроки в цьому напрямку — ми почали дослідження Сонячної системи. Але в людства можуть виникнути проблеми під час установлення контактів із чужими цивілізаціями, які перебувають на вищому, у порівнянні з нами, ступені інтелекту.

### **Перевірте себе**

1. Що таке синергетика?
2. Що вам відомо про контакти з інопланетними цивілізаціями?
3. Як розшифровується абревіатура НЛО?
4. Над якою проблемою працює міжнародна організація *SETI*?
5. Яку роль відіграють космічні катастрофи в еволюції життя на Землі?
6. Які існують підстави для пошуків життя за межами Сонячної системи?
7. Скільки часу сучасні космічні кораблі повинні летіти до найближчої зорі?

### **Завдання для спостережень**

Часто з'являються повідомлення про непізнані літаючі об'єкти (НЛО) на доказ відвідування Землі космічними кораблями чужих цивілізацій. Якщо ви колись спостерігали незвичайне небесне явище, яке не було схожим на відомі космічні світила (зорі,



планети, комети, боліди і т.д.), то опишіть його. Вкажіть дату і час його спостереження, яскравість у порівнянні із зорями або планетами, швидкість переміщення по небосхилу.

## § 32. Дослідження космосу та зв'язок астрономії з іншими науками

Люди давно мріяли про небо, про небесні тіла. Одним з наслідків цього є той факт, що навіть сузір'я названі іменами мешканців Землі. Мріяли люди і про те, щоб побувати на небесних тілах. Це бажання знайшло відображення в численних науково-фантастичних творах, в яких описувалися міжпланетні подорожі. Ви, напевне, читали широковідому книгу Жюль Верна «З гармати на Місяць», вперше опубліковану у 1867 році.

Теоретично обґрунтував можливість польотів на інші планети Костянтин Едуардович Ціолковський (1857–1935), який походить із старовинного козацького роду Северина Наливайка (мал. 2.68). Ціолковський запропонував також схематичні малюнки космічних кораблів, вперше обґрунтував доцільність створення на орбітах навколо Землі проміжних станцій для польотів на інші тіла Сонячної системи. Ряд важливих ідей у галузі здійснення міжпланетних польотів висловив Юрій Васильович Кондратюк (1897–1942), уродженець Полтавщини.

Ви вже знаєте, що Земля притягує до себе всі тіла і, наприклад, снаряд при пострілі з гармати падає на землю. Але якщо снарядові надати швидкість близько 8 км/с, то він не впаде на земну поверхню, а перетвориться на штучний супутник Землі. Таку швидкість називають *першою космічною швидкістю*. Рухаючись з другою космічною швидкістю (близько 11 км/с), тіло долає силу тяжіння Землі і стає супутником Сонця — штучною планетою.

**4 жовтня 1957 року** вперше в історії людства було запущено штучний супутник Землі. З цієї знаменної дати почалося практичне освоєння космосу. 14 вересня 1959 року станція «Луна-2» вперше досягла поверхні Місяця.

Ці польоти були здійснені на ракетах, сконструйованих під керівництвом Сергія Павловича Корольова (1906–1966), який народився і навчався в Україні (мал. 2.67).

Згодом штучні супутники Землі і космічні станції запускалися США, Францією, Японією, Китаєм, Індією, Німеччиною. На сьогодні число запущених супутників становить кілька тисяч. Вони різні за конструкцією та призначенням — слідкують за погодою, фотографують ділянки земної поверхні, служать для здійснення телевізійного і телефонного зв'язку, використовуються для вивчення природних ресурсів Землі. Дані, одержані за допомогою навігаційних супутників, використовуються у судно- і літаководінні.

**12 квітня 1961 року** вперше в космос піднявся корабель з людиною на борту. Цією людиною був Юрій Олексійович Гагарін (1934–1968). Він перший побачив Землю з космосу. Ось як Гагарін описував побачене: «Чітко розрізнялись гірські хребти, великі озера. Найкрасивішим видовищем був горизонт — пофарбована всіма кольорами веселки смуга, яка відділяла Землю від чорного неба. Була помітна випуклість, кулястість Землі. Здавалося, вона вся огорнута ореолом ніжно-блакитного кольору, який з блакитного, синього і фіолетового переходить у синювато-чорний...». В 1965 році пілот-космонавт О. Леонов здійснив перший вихід у космічний простір.

Вперше побували на Місяці американські астронавти (так в США прийнято називати учасників космічного польоту) на космічному кораблі «Аполон-11» **16 липня**



Мал. 2.66. Костянтин Едуардович Ціолковський-Наливайко



**1969 року.** У польоті брали участь три астронавти — Н. Армстронг (командир корабля), М. Колінз (пілот корабля) і Е. Олдрін (пілот експедиційного апарату). **21 липня** на поверхню Місяця вперше ступила людина — Н. Армстронг, а потім до нього приєднався Е. Олдрін. Польоти астронавтів до Місяця супроводжувалися виходами їх на його поверхню для встановлення науково-дослідного устаткування, проведення експериментів, збирання мінеральних зразків.

Наша планета — чудова перлина в космічному просторі. Астронавти розповідають, що блакитне небо та білі хмари Землі при спостереженні її з космосу створюють враження краси, з якою ніщо не може зрівнятись. Це найкрасивіший об'єкт, який кружляє навколо Сонця, огорнутий своєю блакитною атмосферою.

У космосі вже побували космонавти багатьох країн, вони виходили туди в скафандрах, жили на космічних станціях. Побудовані станції, наприклад «Мир», де протягом року можуть жити та працювати кілька космонавтів.

Згодом були запущені автоматичні міжпланетні станції до інших планет Сонячної системи: Венери, Марса, Юпітера тощо. Запущена 2 березня 1972 року до планети Юпітер американська автоматична станція «Піонер-10» пролетіла повз планети, передала на Землю інформацію і покинула межі Сонячної системи.

**Зв'язок астрономії з іншими науками.** Астрономія тісно пов'язана з багатьма науками, перш за все з фізикою та математикою, досягнення яких вона широко використовує і надає їм велику допомогу. Багато фізичних ідей і теорій в тій чи іншій мірі пройшли або проходять перевірку в астрономії: закони механіки і теорії відносності, елементарних частинок і будови атома, взаємодії речовини з випромінюванням та ін.

Космічний простір — унікальна лабораторія, в якій речовина знаходиться в найрізноманітніших умовах — від розрідженого газу в просторі між галактиками до зверхщільних станів в нейтронних зорях, при температурах, як близьких до абсолютного нуля далеко від зір, так і тих, що досягають десятків мільйонів градусів в надрах зір. Речовину в таких екстремальних станах не можна отримати на Землі.

Крім фізики і математики, з якими в даний час астрономія органічно пов'язана, вона надає велику допомогу і багатьом іншим наукам, наприклад геології, геофізиці і біології, вивчаючи ті умови, в яких виникла і розвивалась Земля. За астрономічними явищами, які згадуються в давніх літописах і хроніках, вона допомагає історії уточнювати дати важливих історичних подій.

Земля з космосу здається блакитною кулею. В освоєнні космічного простору велику роль зіграли дослідження вчених, які народилися в Україні. Штучні супутники Землі — це тіла, які обертаються навколо Землі завдяки тому, що вони досягли першої космічної швидкості — приблизно 8 км/с поблизу земної поверхні.

Астрономія — найдавніша наука, знання з якої використовувалися в землеробстві, мореплавстві, в усіх природничих науках, у філософії.

### Перевірте себе

1. Яких учених, що зробили значний внесок у розвиток космонавтики, ви знаєте?
2. Що таке штучний супутник Землі? Чому об'єкт може стати ним лише при досягненні першої космічної швидкості?
3. Що ви знаєте про людей, які побували в космічному просторі?



Мал. 2.69. Ю. О. Гагарін і С. П. Корольов



## УРОКИ У ДОВКІЛЛІ

### I. Урок в обсерваторії

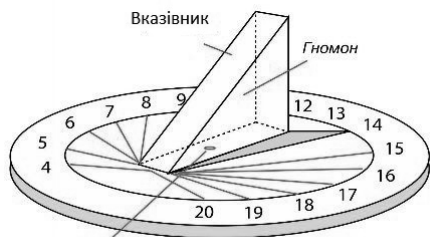
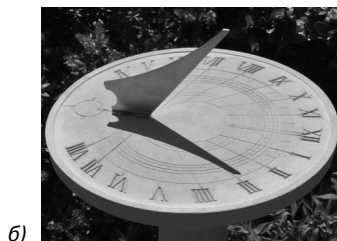
1. Відвідайте найближчу обсерваторію.
2. Ознайомтесь з обладнанням для дослідження небесної сфери.
3. За допомогою телескопа розгляньте небесні об'єкти, по можливості зробіть фото, малюнки.
4. Познайомтесь з результатами астрономічних досліджень обсерваторії, спробуйте обрати спільний із співробітниками проект.

### II. Урок у доквіллі

Розташуйтесь на екологічній стежці чи майданчику для спостереження.

Які зміни пори року, порівнюючи з початком навчального року, відмітите? Чим обумовлюються періодичні зміни пір року?

Як періодичність руху небесних тіл відбивається на змінах живих організмів у доквіллі? Прояв яких біоритмів (добових, місячних, річних) спостерігається в доквіллі? Які прості пристрої маєте для визначення напряму полуденної лінії?



а)

в)

Мал. 2.68: а) гномон; б) сонячний годинник; в) компас

Щоб визначити напрямок полуденної лінії, слід почати спостерігати за тінню гномона приблизно за 2 години до полудня. Треба позначити 2–3 точки, які відповідають кінцям тіні гномона за 2 год. до полудня і через 2 год. після полудня. З'єднавши ці точки дугою і поділивши її пополам, сполучимо точку, в якій розміщений кілок гномона, з точкою поділу. Це і буде напрямок полуденної лінії. Вздовж неї буде простягатися тінь гномона о 12 годині дня, коли Сонце буде в найвищій точці над горизонтом.

Сонячний годинник виготовити теж дуже просто. Роблять підставку — циферблат розміром 25 x 25 см. У центрі її розміщують стержень довжиною 10 см, направивши його на Полярну зірку. Навколо центра проводять коло радіусом 10 см і на ньому відмічають положення тіні через кожен годину від сходу до заходу Сонця. Тепер ви маєте годинник, який не треба носити до ремонтної майстерні, — з'явиться Сонце і годинник покаже вам правильний час.

Найбільш зручним і точним є спосіб орієнтування за допомогою компаса. Цей прилад дає можливість визначити основні (північ, південь, захід, схід) та проміжні (пів-

нічний захід, південний схід і т. д.) сторони горизонту. За допомогою компаса також можна визначити точний, а не орієнтовний напрямок на предмет, вимірявши азимут.

Азимут — це кут між напрямком на північ і напрямком на даний предмет, відрахований за годинниковою стрілкою. Його значення може змінюватися від  $0^\circ$  до  $360^\circ$ , що охоплює весь видимий горизонт (коло).

Сторонам горизонту відповідають певні числові значення азимута. Наприклад, напрямку на північ відповідає  $0^\circ$ , на схід —  $90^\circ$ , на південь —  $180^\circ$ , на захід —  $270^\circ$ .

Якщо немає компаса і день похмурий, можна орієнтуватися за місцевими ознаками. Вночі можна орієнтуватися за зорями.

Зробіть фото для презентації «Прояв закономірності періодичності в довкіллі» та для твору «Всесвіт — це все, що існує, від атома до галактик».

## УЗАГАЛЬНИТЬ ВИВЧЕНЕ

1. Як ви підготувалися до спостережень за зоряним небом та проводили їх?
2. Для чого людям астрономічні знання? Як вони використовувалися і використовуються?
3. Які ви знаєте методи та засоби астрономічних досліджень?
4. Назвіть основні етапи утворення Всесвіту та склад. Які закономірності проявляються в процесі еволюції Всесвіту?
5. Охарактеризуйте будову Сонячної системи. Які закономірності дають можливість вам пояснити довговічність її будови?
6. За допомогою таблиці охарактеризуйте взаємозв'язки астрономії з іншими науками (мал. 2.69).



**Макросвіт**

**Рух галактик та планет**

**Графік змін сонячної активності від 1800 по 1975 рік**

Поперева електромагнітних хвиль розділяють сонячного проміння

### Періодичність процесів у природі

Повторюваність, періодичність процесів у природі є певні сміло рисою всього розвитку.

Повторюваність може бути повною, на тому самому ступені розвитку: рух електрона навколо ядра, планет навколо центрального світила та ін.

Така повторюваність виходить з періодичності: вона є необхідною умовою сталості структури — атомів, кристалів, небесних систем.

Періодична система хімічних елементів є прикладом часткової періодичності, коли на різних ступенях розвитку повторюються не всі риси об'єкта, що розвивається.

Ритм — природа властивість живої матерії. Немає жодного органа, клітини організму, діяльність яких була б неритмічною.

На прикладі павови клена (мал. 9) видно, як рослини переводять часовий ритм в ритм просторовий: бруньки через ритм проривають масу розташовуються на однакових відстанях одна від одної.

Ритми живої природи зв'язані з періодичністю зливи у певній природі: зміна форм року і доби зумовлена обертанням Землі.

Ритмічність сонячної діяльності виходиться на життєдіяльності всього живого (мал. 8).

**Ритми в живій природі**

Мал. 7. Зміна пір року залежить від руху землі навколо Сонця

ШИРОКІ КЛІТКИ ПОВТОРЮЮТЬСЯ ЧЕРЕЗ ПІ РОКІВ

ПАТІН КЛЕНА

**КАРДИОГРАМА СЕРЦЯ**

**МІКРОСВІТ**

3	Li	4	Be	5	B	6	C	7	N
8	Ne	10	Mg	11	Al	12	Si	13	P

Мал. 6. Фрагмент періодичної системи хімічних елементів Д.І.Менделєєва

Мал. 2.69. Періодичність процесів у природі

7. Складіть структурно-логічну схему (СЛС) розділу за зразком (мал. 2.70). Покажіть на СЛС поняття, явища, які ви вважаєте найбільш важливими. Подайте до них ілюстрації.

8. Як ви включите знання розділу в образ природи?



Мал. 2.70. Варіант СЛС розділу «Розвиток знань про Всесвіт»

### Оберіть проект

- Ефективність використання сонячної енергії в залежності від країни (наявність технологій, клімат, ландшафт і т.д.).
- Комбінація яких екологічно чистих джерел енергії дозволить отримати максимальний ККД у вашій місцевості.
- Формування поверхні планети в залежності від розміру, маси і відстані до Сонця.
- Планети Сонячної системи та їх супутники. Можливості їх дослідження.
- Звідки взявся Місяць?
- Використання сузір'їв і найяскравіших зір в туристичному поході і навколосвітній подорожі.
- Подорож в історію телескопа.
- Використання радіотелескопів в Україні і світі.



### 3. ХІМІЧНИЙ МОДУЛЬ

#### ОРГАНІЧНІ СПОЛУКИ

##### § 1. Єдність неорганічних і органічних речовин, місце знань з органічної хімії в природознавстві

*Вивчивши параграф, ви дізнаєтесь про єдність неорганічних і органічних сполук, яка зумовлює єдність неживої і живої природи, зможете оцінити місце знань про органічні речовини серед природничих наук, їх роль у створенні наукової картини світу.*

У 9-му класі ви познайомилися з властивостями органічних речовин — складних хімічних сполук, до складу яких входить Карбон. Органічні речовини дуже поширені і мають надзвичайно важливе значення у нашому житті. Вони містяться в усіх тваринних і рослинних організмах, забезпечуючи життєво важливі біологічні процеси в них; входять до складу їжі (хліба, м'яса, овочів); служать матеріалами для виготовлення одягу, взуття, меблів; утворюють різні види палива; використовуються як ліки, барвники, засоби захисту врожаю тощо.

**Уявлення про існування «життєвої сили».** Хоча органічні речовини люди використовували ще за глибокої давнини, хімічна природа їх тривалий час була невідомою. За деякими ознаками вони, як здавалось, суттєво відрізнялись від речовин неорганічних. Так, якщо неорганічні речовини можна було перетворити в інші сполуки, а з тих знову одержати вихідні речовини, то в разі органічних сполук таке ніколи не спостерігалось. Після їхнього згорання, наприклад, залишалась лише купка попелу, із якого вихідні речовини ніколи не утворювались. Мінеральні сполуки вдавалось отримувати штучно із елементів, а от органічні речовини можна було виділити тільки із рослинних чи тваринних організмів.

Тоді здавалось, що світ живої природи різко відрізняється від природи неживої, а утворення органічних речовин неможливе без дії деякої специфічної «життєвої сили». Вважали, що ця таємнича «субстанція» залишається в речовинах і після того, як вони виділяються із живого тіла, в якому утворились. Вчення про існування «життєвої сили» одержало назву *віталізму*. До середини XIX ст. його поділяли багато провідних хіміків Європи. Причиною цього була невивченість, а тому і незрозумілість істинних причин хімічних явищ.

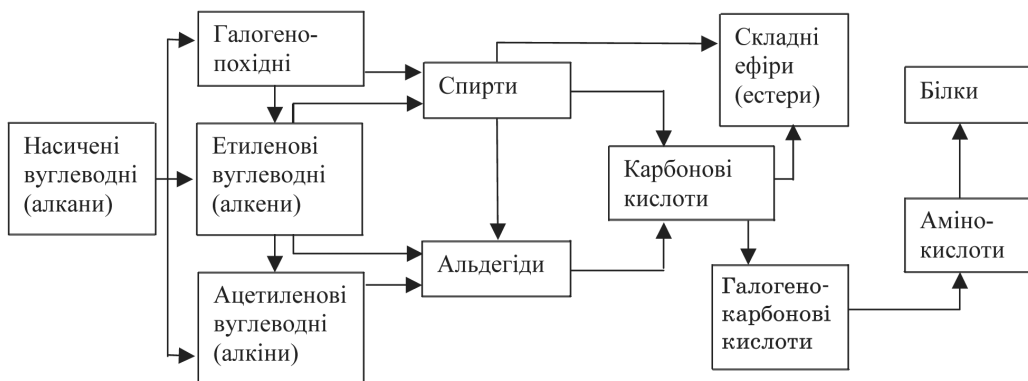
Лише після того, як вчені-хіміки (Ф. Велер, А. Кольбе, М. Бертло, О. М. Бутлеров та ін.) здійснили в середині XIX століття перші синтези органічних речовин із неорганічних, стало зрозумілим, що між органічними і неорганічними речовинами, а отже і світом неживої та живої природи, немає непрохідної межі, що хімічні процеси утворення будь-яких сполук підпорядковуються тим самим законам. Для отримання відомих і створення нових органічних речовин потрібні знання про закони хімічного перетворення, а не залучення якихось таємничих сил.

**Єдність хімічних речовин.** Про єдність природи неорганічних і органічних сполук свідчить і їхня здатність до взаємного перетворення, тобто наявність генетичного зв'язку між ними.

Згадай, що називають генетичним зв'язком між речовинами. Наведи приклади генетичного зв'язку: а) між неорганічними речовинами; б) між органічними речовинами (при виконанні завдання скористайся схемою, наведеною на мал. 3.1).

Покажи на прикладах, як з неорганічних сполук можна отримати органічні і навпаки, як з органічних речовин одержати неорганічні.



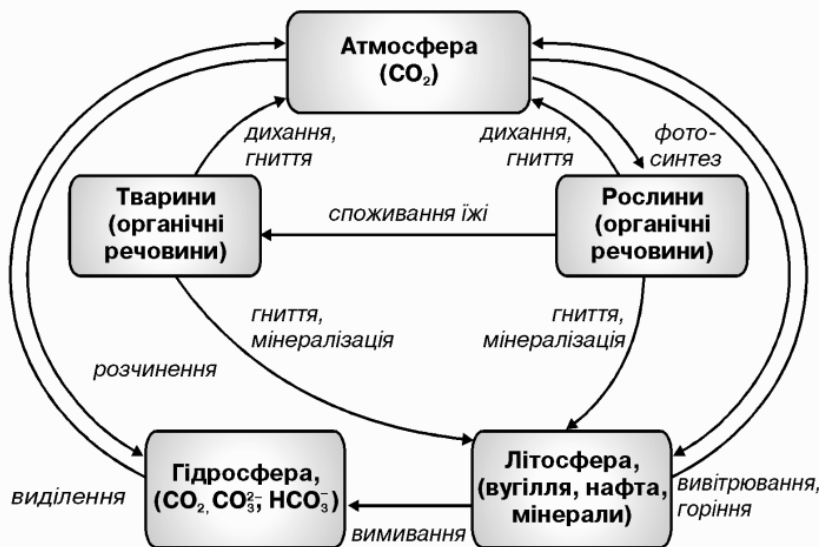


Мал. 3.1. Генетичний зв'язок між класами органічних сполук

Із курсів природознавства та біології вам добре відомий процес фотосинтезу, при якому під дією світла із неорганічних речовин утворюються органічні сполуки. Утворені при фотосинтезі сполуки в живих організмах знову перетворюються на неорганічні. Між неживою природою і живими системами постійно відбувається обмін речовинами. Матеріальну єдність неживої і живої природи щомиті підтримують кругообіги елементів. Із кругообігом найважливіших для живих систем елементів (Оксигену, Нітрогену, Карбону) ви уже знайомились, вивчаючи хімію та біологію у 10 класі.

Опиши основні ланки природного кругообігу Карбону (мал. 3.2), Нітрогену (мал. 3.3). Які об'єкти неживої та живої природи беруть у них участь?

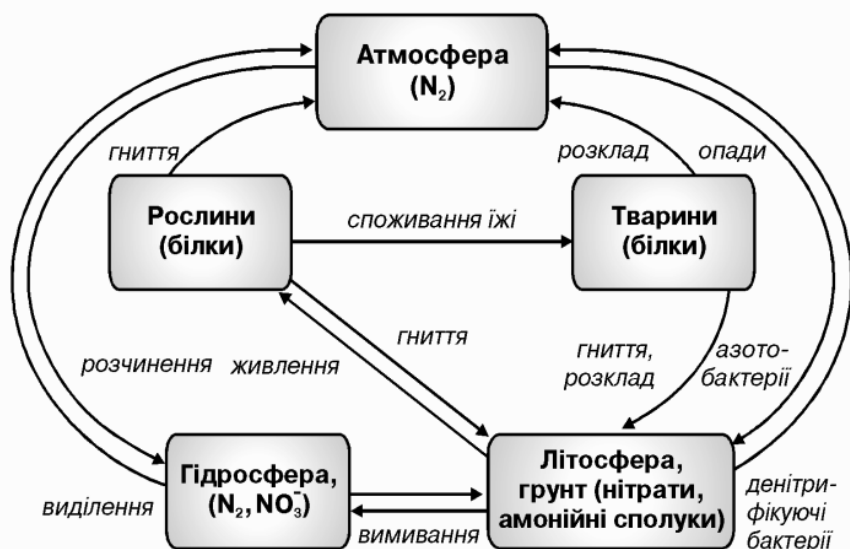
Серед процесів, які забезпечують кругообіги елементів, назви ті, що відбуваються самочинно. Які процеси в кругообігах є несамочинними?



Мал. 3.2. Схема кругообігу Карбону

Нагадаємо, що кругообіг біогенних елементів циклічний, бо харчові ланцюги мають замкнений характер. Це забезпечило можливість тривалого існування живої природи, інакше найбагатші запаси будь-якого елемента швидко б вичерпались.





Мал. 3.3. Схема кругообігу Нітрогену



Єдність природи хімічних речовин зумовлює єдність усього матеріального світу. **Органічна хімія серед природничих наук.** Із вивченого раніше матеріалу випливає, що 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. Вам, мабуть, уже відоме образне висловлювання про те, що хімія знаходиться в центрі наук. Ви згодні з ним?

Яке ж місце в ряду природничих наук займає наука про органічні речовини — органічна хімія? В ході еволюції матерії органічні речовини утворювались із неорганічних, найскладніші з органічних сполук — біополімери (білки та нуклеїнові кислоти) стали матеріальною основою життя. Органічні речовини є своєрідною проміжною ланкою між неживою і живою природою. Органічна хімія, таким чином, займає місце між неорганічною хімією і біологією. Розкриваючи процес поступового ускладнення речовин, їхні різноманітні перетворення вона допомагає зрозуміти еволюцію речовин у природі та «хімізм» життєдіяльності організмів. Врешті-решт, наближає нас до розуміння сутності більш високої форми руху — біологічної.

Тому вивчення органічних сполук допоможе вам глибше зрозуміти процеси, які відбуваються в природі, їх закономірний характер. Це сприятиме створенню у вашій свідомості правильного образу природи, і наблизить до формування природничо-наукової картини світу.

**Органічні речовини широко розповсюджені в природі. Вони відіграють надзвичайно важливу роль у життєдіяльності всіх живих організмів.**

**Утворення і реакції органічних та неорганічних речовин відбуваються за однаковими законами, вони можуть взаємно перетворюватися. Єдність неорганічних і органічних сполук зумовлює єдність неживої і живої природи. Органічні речовини служать ланкою, що з'єднує неживу і живу природу.**

Окремо взяте кожне життєве явище не є наслідком якоїсь особливої сили, якихось особливих причин, а здійснюється за загальними законами природи.

Д. І. Менделєєв

## Запиши до словника

**Віталізм** — уявлення про існування «життєвої сили», без якої нібито неможливе утворення органічних речовин. Був спростований в середині XIX ст.

### Перевір себе

1. Які речовини називають органічними? Які хімічні елементи входять до складу органічних сполук?
2. Наведи приклади природних і синтетичних сполук.
3. Чим відрізняються органічні та неорганічні речовини? Назви їх спільні ознаки.
4. Який тип зв'язків найхарактерніший для органічних сполук?
5. Які досягнення хіміків спростували уявлення про існування «життєвої сили»?

### Поміркуй

1. Дії яких загальних законів природи підпорядковуються хімічні перетворення неорганічних та органічних сполук?
2. Які, на твою думку, причини відмінностей розчинності у воді та швидкості взаємодії органічних і неорганічних речовин?
3. У першій половині XIX ст. вчення про «життєву силу» (віталізм) поділяло багато провідних хіміків світу. Що було причиною цього?
4. Наведи приклади, які б підтверджували думку, що єдність неорганічних і органічних сполук зумовлює єдність неживої та живої природи.
5. Запиши ланцюжок перетворень, який підтверджує генетичний зв'язок між неорганічними і органічними речовинами: кальцій карбід → ацетилен → тетрахлороетан.
6. Встанови спільні та відмінні ознаки неорганічних та органічних речовин і познач ознаки, характерні для неорганічних речовин літерою А, ознаки, характерні для органічних речовин, літерою Б, спільні ознаки неорганічних та органічних речовин літерою В. Поряд із хибними твердженнями постав літеру Г.
  - реакції неорганічних речовин відбуваються за тими самими законами, що й органічних;
  - валентність більшості елементів змінна;
  - якісний склад обмежений;
  - переважно утворюють ковалентні зв'язки;
  - можливе взаємне перетворення;
  - в основному стійкі до нагрівання, тугоплавкі;
  - хімічні елементи виявляють мале число валентних станів;
  - можуть бути електролітами;
  - кристалічні ґратки молекулярні;
  - сполуки мають найрізноманітніші види хімічних зв'язків;
  - утворення неорганічних та органічних речовин відбувається за різними законами;
  - як правило, мають запах;
  - хімічні реакції відбуваються у водних розчинах;
  - у більшості випадків реагують між собою повільно;
  - згоряють з утворенням карбон(IV) оксиду і води;
  - в основному, добре розчинні у воді;
  - є термічно нестійкими речовинами;
  - реагуючи, утворюють осад, гази, змінюють забарвлення, виділяють енергію;



- значну кількість добувають з природних речовин, а ще більше синтезують в хімічних лабораторіях;
- у сполуках атоми Карбону, Гідрогену, Оксигену мають сталі валентності.

## § 2. Теорія хімічної будови органічних сполук

*Засвоївши матеріал параграфа, ви познайомитесь з теоретичною основою органічної хімії — теорією хімічної будови органічних сполук О. М. Бутлерова, зможете сформулювати основні положення цієї теорії.*

**Багатоманітність органічних сполук.** На відміну від неорганічних речовин, якісний склад органічних сполук обмежений. Проте кількість їх дуже велика.

Знайомлячись у 9-му класі із найважливішими органічними сполуками, ви переконались, що світ органічних речовин — вражає різноманітний. На сьогодні відомо понад 20 мільйонів органічних сполук, у той час як неорганічних — у багато разів менше. Із року в рік число сполук Карбону зростає за рахунок речовин, добутих у хімічних лабораторіях. Чому ж органічних сполук так багато?

- Пригадай будову атома Карбону, враховуючи його розміщення в періодичній системі, запиши його електронні формули для основного і збудженого стану. Зобрази графічну електронну формулу з використанням енергетичних комірок.
- Яку валентність виявляє Карбон в органічних сполуках? Які типи хімічного зв'язку він утворює?

Ви вже знаєте, що багатоманітність органічних речовин зумовлена унікальною властивістю атомів Карбону з'єднуватись один з одним, утворюючи при цьому довгі, часто розгалужені ланцюги, створювати цикли різних типів, встановлювати порядок із звичайними (одинарними) кратні (подвійні, потрійні) зв'язки. Для атомів інших елементів спроможність сполучатись між собою з утворенням довгих ланцюгів не характерна. Ця життєво важлива здатність Карбону обумовлена як ковалентним характером утворюваних ним зв'язків, так і досить високою їх міцністю — енергія C — C зв'язку становить близько 350 кДж/моль. Це помітно більше енергії зв'язку між атомами найближчого аналога Карбону — Силіцію (190 кДж/моль).

Структуру органічних сполук зображають структурними формулами. На відміну від молекулярних формул, які виражають лише якісний та кількісний склад речовини, структурні формули показують також послідовність сполучення атомів та зв'язки між ними у молекулі.

Властивості органічних сполук, як відомо, вивчаються органічною хімією. Теоретичною основою органічної хімії є теорія хімічної будови органічних сполук.

**Основні положення теорії хімічної будови.** Тривалий час загадковим явищем в органічній хімії було існування речовин, що мали однаковий якісний і кількісний склад, але різні властивості. Це явище пояснила *теорія хімічної будови* органічних сполук, розроблена російським хіміком О. М. Бутлеровим у другій половині XIX століття. За її допомогою вдалось з'ясувати взаємозв'язок між складом, будовою та властивостями органічних сполук. Основні положення цієї теорії такі:

- 1) атоми в молекулах сполучені один з одним не безладно, а у певному порядку згідно з їх валентністю; атоми Карбону мають унікальну здатність сполучатись між собою утворюючи ланцюги — лінійні, розгалужені та циклічні;
- 2) властивості речовин залежать не тільки від якісного і кількісного їх складу, але і від того, в якому порядку вони зв'язані між собою (послідовність сполучення атомів в молекулі, яка визначає властивості речовини, називають *хімічною будовою*);
- 3) атоми (або групи атомів) певної молекули взаємно впливають один на одного — від цього залежить реакційна здатність молекули.



Отже, згідно з теорією хімічної будови властивості речовин залежать не лише від їхнього складу, але і від хімічної будови молекул. Хімічна будова речовин може бути відображеною структурною формулою, яка є одною єдиною для цієї речовини.

**Теорія як вища форма наукових знань.** Теорія хімічної будови органічних сполук О. М. Бутлерова дістала назву класичної. Вона є одним із найважливіших узагальнень хімічної науки. Теорія — це вища форма наукових знань, яка дає цілісне уявлення про закономірності та суттєві зв'язки об'єктів і явищ, що вивчаються. Науковцями вважають, що певна наукова дисципліна набуває статусу справжньої науки лише тоді, коли вона спирається на кількісні закони і створює власні теорії.

Створення теорії — завжди значний крок у розвитку науки. Лише за допомогою наукової теорії можливе достовірне пояснення експериментальних фактів. Вона не лише узагальнює, систематизує і пояснює накопичений експериментальний матеріал, визначає шляхи досліджень, а й дозволяє робити передбачення. Адже без передбачення неможлива цілеспрямована людська діяльність. Теорія хімічної будови органічних сполук О. М. Бутлерова, наприклад, не лише пояснила будову і властивості уже відомих речовин, а й передбачила будову і властивості нових (у тому числі практично важливих) сполук

Наукові теорії, як правило, існують спочатку у вигляді гіпотези — правдоподібної, свідомо спрощеної моделі того чи іншого явища. Потім гіпотезу детально і всебічно перевіряють на практиці. У хімії та фізиці надійним і ефективним засобом перевірки гіпотез є експеримент. І лише коли гіпотеза витримує всебічну перевірку, вона стає теорією.

Наукові теорії разом із науковими законами та принципами є найбільш достовірними формами знання і становлять основу будь-якої науки. Вони є важливими елементами наукової картини світу, складають її ядро.

### **Лабораторний дослід 1.**

#### **Виготовлення моделей молекул парафінів**

Для виготовлення моделей молекул зробіть із пластиліну темного кольору чотири кульки діаметром 2–3 см (вони будуть моделювати атоми Карбону) та десять кульок світлого кольору меншого розміру (1,5–2 см), які будуть відповідати атомам Гідрогену. На поверхні великих кульок намітьте по чотири крапки, рівновіддалених одна від одної, вони позначають місця можливого «утворення» хімічних зв'язків.

*Модель молекули метану.* За допомогою сірників або невеликих паличок приєднайте до темної кульки («атому» Карбону) в намічених раніше місцях чотири світлі кульки («атом» Гідрогену). Пластилінові кульки злегка вдав'яють одну в іншу, при цьому вони дещо сплющуються, що буде імітувати перекривання електронних хмар атомів.

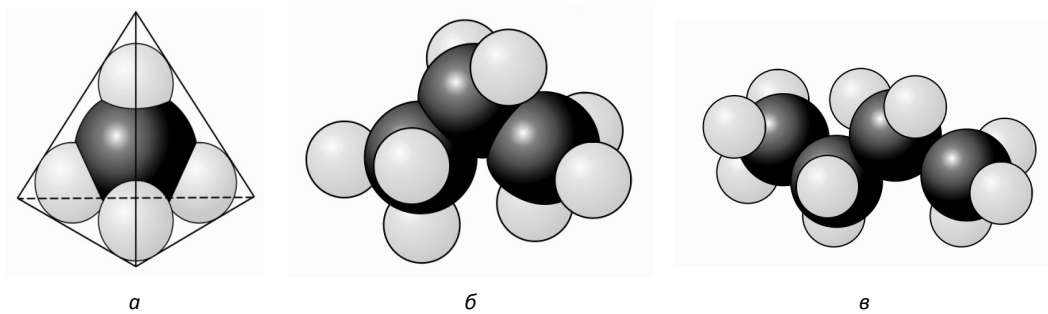
*Модель молекули пропану.* Від виготовленої вами моделі метану відніміть одну світлу кульку і на її місце приєднайте, злегка вдавлюючи, темну кульку («атом» Карбону). До неї приєднайте дві маленькі кульки — «атом» Гідрогену, а на вільне четверте місце — третій «атом» Карбону з трьома «атомами» Гідрогену. У створеній моделі карбоновий ланцюг починає приймати зигзагоподібну форму.

*Модель молекули бутану.* Продовжте ланцюг описаним вище способом ще на одну «групу»  $\text{CH}_3$ . Перевірте можливість обертання атомів навколо осей C–C.

Порівняйте виготовлені вами моделі молекул вуглеводнів із моделями, наведеними на мал. 3.4.

**Атоми в молекулах органічних речовин сполучені між собою в певному порядку, відповідно до їх валентності. Зв'язок між складом, будовою та властивостями органічних сполук пояснює теорія хімічної будови, розроблена О. М. Бутлеровим. Керуючись теорією хімічної будови, вчені синтезують сьогодні практично важливі сполуки.**





Мал. 3.4. Масштабні моделі молекул вуглеводнів: метану (а), пропану (б), бутану (в)

### Запиши до словника

**Хімічна будова сполук** — послідовність сполучення атомів у молекулі, яка визначає властивості речовин.

**Теорія хімічної будови** — теорія, згідно з якою властивості речовин залежать не лише від складу, але і від хімічної будови молекул; розроблена російським хіміком О. М. Бутлеровим у 1861 р.

**Ізомери** — речовини, що мають однаковий якісний і кількісний склад, але різну будову молекул і тому різні властивості.

Не можна не дивуватись, оглядаючись назад, який гігантський крок зробила органічна хімія за час свого існування. Незрівнянно більше, однак, чекає на неї попереду.

**О. М. Бутлеров**

Лише за участю теорії знання, складаючись у зв'язне ціле, стає науковим знанням; злагоджене сполучення фактичного знання створює науку

**О. М. Бутлеров**

### Перевір себе

1. Що показують структурні формули? Які ще типи хімічних формул ти знаєш?
2. Чим пояснюється багатоманітність сполук Карбону?
3. Від чого залежать властивості органічних сполук?
4. Що називають хімічною будовою? Розкрий суть теорії хімічної будови О. М. Бутлерова.
5. Що називають науковою теорією? Які функції теорії у науковому пізнанні?

### Поміркуй

1. Як слід розуміти послідовність сполучення атомів у молекулі?
2. Чому у переважній більшості сполук валентність Карбону становить чотири? Як це пов'язано із сучасними електронними уявленнями про хімічний зв'язок?

### Подискутуйте

У творах письменників-фантастів описане життя на далеких планетах, що виникло на основі Силіцію та Сульфуру, оскільки, атоми цих елементів також здатні сполучатись між собою з утворенням ланцюгів. Враховуючи розміщення Si та S в періодичній системі, підтвердіть або спростуйте можливість життя на основі цих елементів. Спробуйте спрогнозувати, наскільки міцними будуть утворені ними сполуки.

### § 3. Ізомерія органічних сполук

Засвоївши зміст параграфу, ви дізнаєтесь про явище ізомерії — одну із причин різноманітності органічних сполук, вмітимете записувати структурні формули ізомерів вуглеводнів та їхніх похідних.

**Явище ізомерії.** Вивчаючи будову органічних сполук, О. М. Бутлеров зробив висновок, що для речовин складу  $C_4H_{10}$  можливі два способи з'єднання атомів Карбону — у вигляді нерозгалуженого і розгалуженого ланцюга:



У першому випадку (а) кожен атом Карбону сполучений з одним (первинний атом) або з двома (вторинний атом) атомами Карбону; у другому випадку (б) з'являється атом, сполучений з трьома атомами Карбону (третинний атом).

У той час була відома лише одна речовина такого складу — бутан. О. М. Бутлеров вирішив одержати сполуку й іншої структури. Синтезована ним речовина мала той же склад  $C_4H_{10}$ , але інші властивості, зокрема нижчу (майже на  $12^\circ C$ ) температуру кипіння. Нову речовину назвали ізобутаном (від грецьк. слова «*isos*» — схожий). Послідовність сполучення атомів у новій сполуці змінилась, але атом Карбону зберіг свою чотиривалентність.

**Речовини, які мають однаковий якісний і кількісний склад, але різну будову молекул і тому різні властивості, називають ізомерами, а явище існування таких речовин — ізомерією.**

Кожен ізомер — індивідуальна речовина, що має власну структуру і назву; із зростанням числа атомів Карбону в молекулі стрімко збільшується число можливих ізомерів. Так, для сполуки  $C_6H_{14}$  відомо 5 ізомерів, для  $C_{10}H_{22}$  — 75 ізомерів, а для сполуки  $C_{30}H_{62}$  — число ізомерів може перевищувати 4 мільярди!

**Ізомери вуглеводнів та їхніх похідних.** Якщо ви спробуєте скласти структурну формулу ізомерів наступного за бутаном вуглеводню — пентану, то побачите, що їх число більше, ніж у бутану.

Молекула нормального пентану, тобто вуглеводню з нерозгалуженим ланцюгом, містить 5 атомів Карбону:

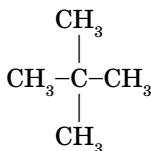


Його ізомери можна одержати при заміні в молекулі нормального бутану якогось із атомів Гідрогену, що знаходяться при другому або третьому атомах Карбону, на метильну групу  $-CH_3$ :



Ці дві структури, проте, зовсім однакові і є одним ізомером. В цьому легко переконатися, якщо вести нумерацію атомів Карбону з іншого кінця.

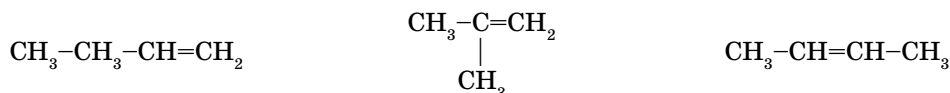
Однак крім нормального бутану існує ще ізобутан. Якщо замінити в ньому єдиний атом Гідрогену при третинному атомі Карбону на метильну групу, то можна отримати ще один ізомер з четвертинним центральним атомом Карбону.



Таким чином, пентан може існувати уже у вигляді трьох ізомерів.

- Гексан — речовина складу  $C_6H_{14}$  має п'ять ізомерів. Зобрази їхні структурні формули (врахуй що в органічних сполуках Карбон має валентність 4, а Гідроген — 1)

Ще більше можливостей для утворення ізомерів мають ненасичені вуглеводні. Якщо бутан існує у вигляді двох ізомерів, то його похідна з подвійним зв'язком має уже три ізомери:



Утворюють ізомери і речовини, що належать до різних класів. Так, етиловий спирт(етанол) та диметиловий етер (раніше цей клас сполук називали простими ефірами) мають однаковий склад  $C_2H_6O$ , але різну будову:



Ці ізомерні сполуки мають, як і слід було чекати, різні властивості. Етиловий спирт — рідина з температурою кипіння  $78^\circ C$ , а диметиловий етер — газ, який скраплюється при температурі  $-23^\circ C$ . Причиною цього є взаємний вплив атомів у молекулі.

Ізомерію карбонового ланцюга, яку ми розглядали, називають *структурною* ізомерією. Існують і інші види ізомерії, наприклад просторова. Вчення про просторову будову молекул, яке називають *стереохімією* (грецьке слово «стерео» означає просторовий), створене в 80-х роках XIX століття. З його допомогою вдалось пояснити явища, які не вдавалось пояснити без стереохімічних уявлень, а також передбачити нові факти.

Таким чином, теорія хімічної будови пояснила причини згадуваної вище різноманітності органічних сполук: вона зумовлена властивістю атомів Карбону сполучатись між собою, а також їх здатністю утворювати ланцюги різної будови, тобто явищем ізомерії.

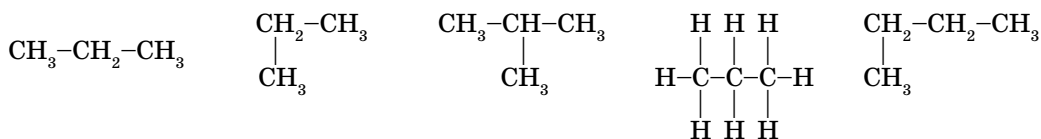
**Для органічних сполук характерне явище ізомерії — існування речовин однакового складу, але різної будови і з різними властивостями. Здатність органічних сполук утворювати ізомери є однією із причин їх багатоманітності.**

### Перевір себе.

- Що називають ізомерією, ізомерами?
- Як зв'язані між собою будова і властивості органічних сполук?

### Поміркуй

- До спільних ознак ізомерів належать:
  - однаковий якісний склад;
  - однакова будова молекул;
  - однакові фізичні властивості;
  - однаковий кількісний склад;
  - однакова молекулярна формула.
- Залежність властивостей речовин від їхньої будови характерна:
  - тільки для неорганічних сполук;
  - тільки для сполук Карбону;
  - для всіх хімічних сполук;
  - тільки для ізомерів та гомологів.
- Зобрази структурні формули ізомерів гептану  $C_7H_{16}$ . Скільки їх?
- \* Наведи приклади взаємного впливу атомів у молекулі.
- Напиши структурні формули ізомерів вуглеводню з 5 атомами Карбону, що має подвійний зв'язок.
- Скільки речовин зображено наступними структурними формулами?

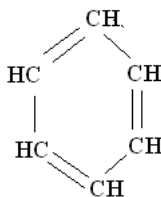


## § 4. Класифікація органічних речовин

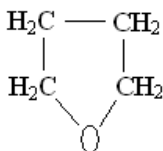
Вивчивши параграф, ви дізнаєтесь про класифікацію органічних сполук за різними ознаками — будовою карбонового ланцюга, складом молекул, функціональними групами.

Оскільки кількість органічних речовин величезна, їх необхідно класифікувати, розділити на певні групи — інакше в такому розмаїтті сполук не розібратись. Будь-які предмети чи явища, як відомо, можна класифікувати за різними ознаками.

При класифікації за будовою карбонового скелета в органічній хімії виділяють дві великі групи речовини — нециклічні та циклічні. Якщо основою карбонового скелета молекул є ланцюг атомів, то такі речовини відносять до нециклічних, або *аліфатичних*. Серед них виділяють *насичені* та *ненасичені* речовини. Циклічні сполуки поділяють на *карбоциклічні* та *гетероциклічні*. Якщо в основі скелета знаходяться замкнені в цикл атоми Карбону, то сполуки називають *карбоциклічними*. Важливими представниками карбоциклічних речовин є *ароматичні* сполуки, в основі яких лежить так зване бензенове кільце. Його умовно зображують у вигляді шестичленного циклу з чергуванням подвійних і одинарних зв'язків:



Нарешті, є циклічні сполуки, молекулярний скелет яких складається не тільки з атомів Карбону, але й атомів інших елементів. Такі речовини одержали назву *гетероциклічних*:



Розглянуту класифікацію можна представити у вигляді такої короткої схеми:



Мал. 3.5. Схема «Класифікація органічних сполук»

Речовини, близькі між собою за певними ознаками, об'єднують в *класи* сполук.

Так, при класифікації за складом молекул виділяють клас *вуглеводнів* — речовин, що складаються тільки з Карбону та Гідрогену, а також класи *оксигеновмісних*, *нітрогеновмісних* сполук тощо.







Зручною є класифікація органічних речовин за *функціональними групами*, оскільки саме останні багато чим визначають хімічні властивості речовин. Сполуки з однаковими функціональними групами складають класи *спиртів* (вони містять функціональну групу  $-\text{OH}$ ), альдегідів ( $-\text{C}\begin{matrix} \text{O} \\ // \\ \text{H} \end{matrix}$ ), карбонових кислот ( $-\text{C}\begin{matrix} \text{O} \\ // \\ \text{OH} \end{matrix}$ ), амінів ( $-\text{NH}_2$ ) тощо (табл. 1).

При класифікації органічних сполук використовують і ознаки *молекулярної маси*. Так, сполуки, молекулярна маса яких досягає десятків тисяч і більше, відносять до *високомолекулярних сполук* (ВМС).

Таблиця 1

Основні класи органічних сполук

Клас сполук	Загальна формула	Особливості будови	Особливості назви
Насичені вуглеводні (алкани)	$\text{C}_n\text{H}_{2n+2}$	Одинарні зв'язки $\text{C}-\text{C}$	Суфікс <i>-ан</i>
Ненасичені вуглеводні ряду етилену (алкени)	$\text{C}_n\text{H}_{2n}$	Подвійні зв'язки $\text{C}=\text{C}$	Суфікс <i>-ен</i>
Ненасичені вуглеводні ряду ацетилену (алкіни)	$\text{C}_n\text{H}_{2n-2}$	Потрійні зв'язки $\text{C}\equiv\text{C}$	Суфікс <i>-ін (-ин)</i>
Ароматичні вуглеводні (арени)	$\text{C}_n\text{H}_{2n-6}$	Ароматичне (бензенове) кільце 	
Одноатомні спирти (насичені)	$\text{C}_n\text{H}_{2n+1}\text{OH}$	Функціональна група $-\text{OH}$	Суфікс <i>-ол</i>
Двох/трьохатомні спирти (насичені)	$\text{C}_n\text{H}_{2n}(\text{OH})_2$ $\text{C}_n\text{H}_{2n-1}(\text{OH})_3$	Дві (три) функціональні групи $-\text{OH}$	Суфікси <i>-ді-, -три-, -ол</i>
Альдегіди	$\text{C}_n\text{H}_{2n-1}\text{C}\begin{matrix} \text{O} \\ // \\ \text{H} \end{matrix}$	Функціональна група 	Суфікс <i>-аль</i>
Карбонові кислоти (насичені одноосновні)	$\text{C}_n\text{H}_{2n-1}\text{C}\begin{matrix} \text{O} \\ // \\ \text{OH} \end{matrix}$	Функціональна група 	Суфікс <i>-ова (кислота)</i>
Естери	$\text{R}_1-\text{C}\begin{matrix} \text{O} \\ // \\ \text{O}-\text{R}_2 \end{matrix}$	$\text{R}_1$ — залишок кислоти $\text{R}_2$ — залишок спирту	
Вуглеводи	$\text{C}_n(\text{H}_2\text{O})_m$ ( $n > 3$ )		У моно- і олігосахаридів суфікс <i>-оза</i>
Амінокислоти		Дві функціональні групи: карбоксильна  і аміногрупа $-\text{NH}_2$	Префікс <i>аміно-</i> , суфікс <i>-ова (кислота)</i>

**Органічні речовини класифікують за різними ознаками: за будовою карбонового скелета молекули, за складом, за наявністю певних функціональних груп тощо.**

### Перевір себе

1. За якими ознаками класифікують органічні сполуки?
2. Перелічи основні класи сполук, що класифікуються за функціональними групами.
3. Назви відомі тобі класи органічних сполук, які мають дві чи більше функціональних груп.
4. Зобрази функціональні групи, характерні для спиртів, альдегідів, карбонових кислот

### Поміркуй

1. Встанови відповідність між причинами різноманітності органічних речовин і узагальнюючою назвою цих причин:
  - 1) утворення різноманітних карбонових ланцюгів — лінійних, розгалужених, циклічних;
  - 2) утворення з однакових атомів різних за будовою і властивостями речовин;
  - 3) наявність простих (одинарних), кратних (подвійних, потрійних) зв'язків між атомами Карбону;
  - 4) поява сполук з подібними властивостями при зміні складу молекули на певну групу атомів;
  - 5) наявність функціональних груп в органічних сполуках;
  - 6) здатність деяких органічних сполук з кратними зв'язками взаємодіяти між собою з утворенням макромолекул.
    - А. Явище гомології; Б. Здатність атомів Карбону з'єднуватись між собою;
    - В. Явище ізомерії; Г. Специфіка утворення хімічних зв'язків між атомами Карбону; Д. Процес полімеризації; Е. Існування різних класів органічних сполук.
2. Наведи приклади відомих тобі органічних речовин та вкажи, до якого класу сполук вони належать.
3. \* Густина алкану за воднем становить 29. Знайди молекулярну формулу сполуки та запиши її структурну і електронну формули.

## § 5. Уявлення про номенклатуру органічних сполук.

### Номенклатура насичених вуглеводнів

*Засвоївши матеріал параграфа, ви вмітимете називати органічні речовини, зокрема ізомери парафінів, за сучасною науковою номенклатурою, записувати структурні формули сполук за їх назвою.*

Доки органічних сполук знали порівняно небагато, учених цілком влаштовували їхні традиційні назви, що склалися історично: ацетилен, етиловий спирт, оцтова кислота, бензол тощо. Однак з часом, коли число органічних сполук стало стрімко зростати, з'явилась необхідність у систематизації їхніх назв. Сьогодні хіміки всіх країн користуються міжнародною *систематичною номенклатурою*.

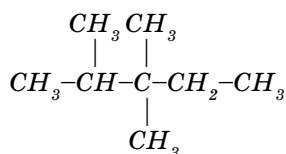
**Номенклатура насичених вуглеводнів.** Познайомимось із основними принципами систематичної номенклатури на прикладі насичених вуглеводнів — *алканів* розгалуженої будови (назви вуглеводнів з лінійним ланцюгом відомі вам з курсу хімії 9 класу — метан, етан, пропан, бутан і т.д.)

1. У молекулі алкану вибирають головний (найдовший) ланцюг і нумерують атоми Карбону, починаючи з того кінця, до якого ближче стоїть відгалуження, або замісник (замісники раніше називали радикалами).

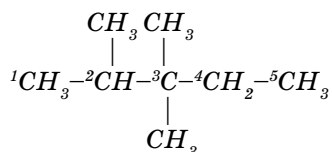
2. Називають відгалуження, які утворюють бічні ланцюги. Перед назвою кожного відгалуження (замісника) ставлять цифру, яка вказує номер атома Карбону, біля якого міститься це відгалуження. Цифру відгалуження відокремлюють дефісом. Назви замісників перелічують в алфавітному порядку. Якщо вуглеводень має у своєму складі кілька однакових відгалужень, то записують у порядку зростання номери атомів Карбону, біля яких стоять ці відгалуження; цифри відокремлюють одну від одної комами. Після цифр записують префікси, які показують, скільки однакових відгалужень містить даний вуглеводень: *ди*- (якщо однакових замісників два), *три*- (коли однакових відгалужень три) і т.д. У тому випадку, коли два однакових замісники містяться біля одного і того ж атома Карбону, номер цього атома ставиться двічі.

3. Називають вуглеводень, що відповідає головному карбонівому ланцюгу, пам'ятаючи при цьому, що назви всіх насичених вуглеводнів мають суфікс *-ан*.

*Приклад 1.* Назвати за систематичною номенклатурою вуглеводень:



*Розв'язання.* Визначаємо найдовший (головний) ланцюг атомів Карбону. Нумеруємо атоми Карбону головного ланцюга, починаючи з лівого краю:

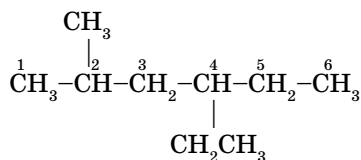


Оскільки головний ланцюг містить п'ять атомів Карбону, то сполуку слід вважати похідною пентану. Називаючи її, треба враховувати, що до третього атома Карбону приєднані дві метильні групи  $-\text{CH}_3$ , а всього таких груп три. Отже, назва сполуки 2,3,3-триметилпентан.

*Приклад 2.* Записати скорочену структурну формулу 4-етил-2-метилгексану.

*Розв'язання.* Сполука — похідна гексану, отже, головний ланцюг містить 6 атомів Карбону; до 2-го атома приєднана метильна група ( $-\text{CH}_3$ ), а до 4-го — етильна ( $-\text{CH}_2\text{CH}_3$ ). Нарешті, до кожного атома Карбону слід приєднати таку кількість атомів Гідрогену, щоб його валентність дорівнювала чотирьом.

Отже, скорочена структурна формула сполуки така:



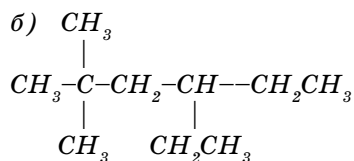
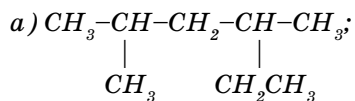
**Органічні сполуки надзвичайно поширені. Щоб уміти розпізнавати різні органічні речовини за їх назвами, треба знати систематичну номенклатуру органічних сполук.**

### Перевір себе

1. Для чого потрібна систематична номенклатура? Які її основні положення?
2. Ізомерами є: а) 2-метилгексан та 3-етилгексан; б) 3-етилгексан та 2,2-диметилгексан; в) 2-метилгексан та 2,3-диметилбутан.
3. \* Напиши структурні формули речовин: а) пропан; б) пропен; в) пропін; г) пропанол; д) пропанова кислота.

## Поміркуй

1. Напиши структурні формули ізомерів гексану  $C_6H_{14}$  і назви їх за систематичною номенклатурою.
2. \* Склади структурні формули таких сполук: а) 2,2,3-триметилбутан; б) 4-етил-2-метилгексан; в) 3,5-діетил-2,3-диметилпентан.
3. Назви за систематичною номенклатурою вуглеводні:



4. \* Назви за систематичною номенклатурою насичений вуглеводень, головний ланцюг якого має чотири атоми Карбону, а відносна молекулярна маса його дорівнює 114.
5. Який клас сполук — алканів чи алкенів утворює більшу кількість ізомерів? Чому?

## § 6. Органічні сполуки в живих організмах. Жири

*Вивчивши матеріал параграфа, ви дізнаєтесь про основні класи органічних сполук, що входять до складу живих організмів, розширите знання про будову, властивості та біологічну роль жирів.*

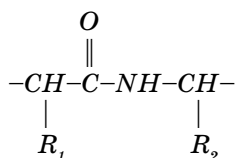
Людину завжди цікавило, як функціонує живий організм, з молекул яких речовин він складається, як вони взаємодіють між собою, які біологічні функції виконують. Дуже часто такі знання є життєво необхідними. Сьогодні про це ми вже знаємо набагато більше. Це сталося завдяки розвитку нових галузей науки, які з'явилися на перехрестях біології, хімії та фізики — біохімії, біофізики, молекулярної біології.

**Речовини, з яких складаються живі організми.** Хімічні сполуки, що входять до складу живого організму, дивовижно різноманітні за хімічною природою. Враховуючи особливості структури і функції цих сполук, їх називають *біомолекулами*.

Навіть у найпростіших одноклітинних істотах — бактеріях — міститься величезна кількість найрізноманітніших молекул — від найпростіших, наприклад води, до складених із десятків і сотень тисяч атомів. Біомолекули поділяють на кілька класів. Найважливішими з них є білки, або протеїни, вуглеводи, жири, нуклеїнові кислоти (рибонуклеїнова РНК та дезоксирибонуклеїнова ДНК). З їх складом, будовою та деякими хімічними властивостями ви знайомились, вивчаючи хімію в 9 класі. Важливу роль в організмі відіграють також ферменти, гормони, вітаміни. Навіть найпростіший одноклітинний організм містить до 3 тис. видів білків та близько 1 тис. видів нуклеїнових кислот. У вищих організмах їх значно більше: в організмі людини, наприклад, білків близько 5 млн. Важливо, що кожен біологічний вид характеризується унікальним набором білків і нуклеїнових кислот.

Більшість молекул живих клітин є макромолекулами, тобто являють собою довгі ланцюги, які складаються з величезної кількості порівняно простих і невеликих за розмірами фрагментів. Величезне різноманіття білків, наприклад, зумовлене різною послідовністю лише 20 амінокислот — порівняно невеликих молекул, що складаються із 10–30 атомів. Щоб визначити хімічну структуру макромолекули, достатньо знати структуру цих «будівельних» блоків та порядок їх сполучення. Зверніть увагу, що макромолекули клітин відрізняються від «малих» молекул не лише за розмірами. Білки, нуклеїнові кислоти, жири, полісахариди мають специфічні властивості, які не притаманні тим невеликим фрагментам, з яких вони побудовані.

Для макромолекул живих організмів характерна ще одна особливість — усі вони мають своєрідний скелет, специфічний для кожного класу речовин. Так, в основі білкової молекули лежить поліпептидний ланцюг, який, як ви вже знаєте, утворюється внаслідок взаємодії аміногруп однієї амінокислоти з карбоксильною групою іншої амінокислоти. Від цього незмінного ланцюга — скелета відгалужуються бокові групи, склад і будова яких залежать від виду амінокислоти (літерою R позначені бокові замісники (залишки) амінокислот):



Фрагмент поліпептидного ланцюга

В молекулах жирів таким скелетом виступає залишок трьохатомного спирту гліцерину, а замісники вищих карбонових кислот можуть змінюватись від молекули до молекули.

Хоча в основі «конструювання» всіх класів молекул лежать спільні закономірності, між білками і нуклеїновими кислотами, з одного боку, і полісахаридами та жирами, з іншого, існують принципові відмінності. Білки та нуклеїнові кислоти мають чітко визначену послідовність розміщення «будівельних» блоків, оскільки вони містять важливу інформацію про властивості організмів і виконують в організмі функції носіїв інформації. Послідовність же в полісахаридах випадкова та важливої для організму інформації не несе.

Таблиця 2

Основні класи біомолекул та їх структурні складові

Класи біомолекул	Основні структурні складові
Білки	Амінокислотні залишки
Ферменти	Амінокислотні залишки
Нуклеїнові кислоти	Нуклеотиди
Вуглеводи	Моно-, ди- та полісахариди
Жири	Гліцерин, залишки молекул вищих карбонових кислот
Гормони	Білки, похідні амінокислот
Вітаміни	Різна хімічна природа

Докладніше про біологічні функції найважливіших сполук живих організмів ви дізнаєтесь із наступних параграфів.

**Жири, їх будова, знаходження у природі.** З жирами ви маєте справу щодня і знаєте, що вони бувають твердими та рідкими (останні інакше називають *оліями*).

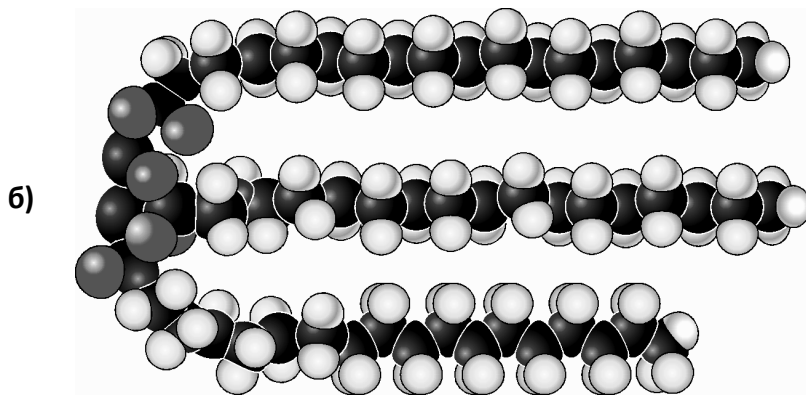
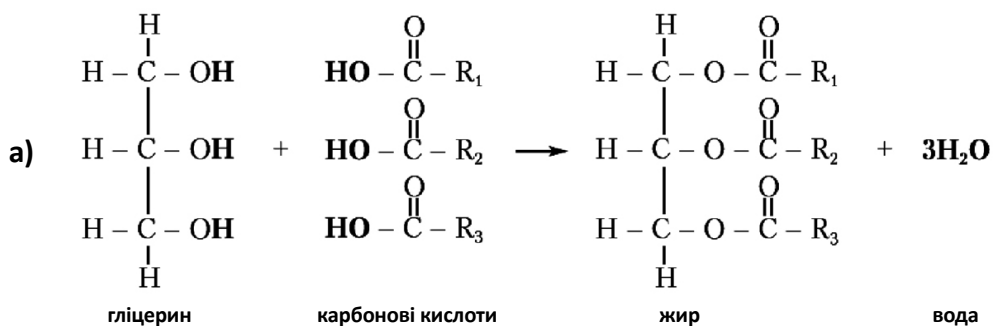
За своєю будовою жири — це естери трьохатомного спирту гліцерину та карбонових кислот.

Утворюються жири із цих речовин внаслідок реакції естерифікації (*мал. 3.6, а*).

У формулах сполук літерами R позначені замісники — залишки карбонових кислот.

Жири утворюються переважно вищими насиченими карбоновими кислотами — пальмітиноюю і стеариноюю (*мал. 3.6, б*) — та ненасиченою олеїноюю кислотою.

Жири, як ви знаєте з повсякденного досвіду, нерозчинні у воді. Це пояснюється тим, що в складі їх молекул відсутні полярні гідроксильна та карбоксильна групи, які обумовлюють розчинність спиртів та карбонових кислот у воді. Крім того, в молекулах жирів містяться вуглеводневі замісники, які перешкоджають розчиненню речовин у воді.



Мал. 3.6. (а) Схема утворення молекули жиру внаслідок реакції естерифікації; (б) модель молекули жиру (тристеарину)

Як вам відомо з курсу хімії 9 класу, засвоєння жирів організмом відбувається внаслідок їхнього *гідролізу*, тобто розкладу водою на гліцерин і карбонові кислоти. Ось чому реакція каталітичного гідролізу жирів має дуже важливе біологічне значення.

Зобрази схему реакції гідролізу жирів

Отже, реакція гідролізу є зворотною до реакції естерифікації. У залежності від умов вона може відбуватись як в одному, так і в іншому напрямку.

Жири входять до складу всіх природних клітин. Вони забезпечують організм будівельним матеріалом і енергією. Харчові жири мають як тваринне, так і рослинне походження.

Основне джерело рослинних жирів (олій) — олійні (соняшник, рапс) та зернові (кукурудза) культури, а також кісточка деяких плодів.

**Найважливішу роль в живих організмах відіграють білки, жири, вуглеводи, нуклеїнові кислоти, а також ферменти, гормони, вітаміни. Жири — органічні сполуки-естери, утворені трьохатомним спиртом гліцерином і карбовоними кислотами (насиченими і ненасиченими, переважно вищими). Жири є будівельним матеріалом і найважливішим джерелом енергії живих організмів.**

#### Запиши до словника

**Біомолекули** — молекули речовин, що забезпечують функціонування живих організмів. Найважливішими класами біомолекул є білки, нуклеїнові кислоти, жири, вуглеводи, ферменти, гормони, вітаміни.

#### Перевір себе

1. Що називають біомолекулами? Назви основні класи біомолекул.

2. За хімічною природою жири належать до: а) солей, б) спиртів, в) естерів, г) карбонових кислот.
3. Розкрий значення процесу гідролізу жирів для життєдіяльності організму.
4. Чому жири нерозчинні у воді? У яких розчинниках, на твій погляд, вони можуть розчинятись?

### Поміркуй

1. Зобрази структурну формулу жиру, утвореного гліцерином і масляною ( $\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_2-\text{COOH}$ ), олеїною та стеариною кислотами.
2. \* Визнач масу речовини (естеру), яку можна отримати при взаємодії 100 г 9% -ого розчину оцтової кислоти і 9,7 г етанолу.
3. \* Гліцерин застосовують у техніці і медицині. Обчисли масу жиру, витраченого на добування гліцерину масою 23 т, якщо вважати, що жир є чистим триолеїном, а масова частка жиру, розщепленого при гідролізі, становить 80%.

## § 7. Біополімери в живій природі

Вивчивши параграф, ви дізнаєтесь про поширення вуглеводів та білків у живій природі, зможете обґрунтувати їхню роль у функціонуванні організмів.

Основою функціонування живих організмів є органічні макромолекули — біополімери. Найпоширенішими із них є вуглеводи та білки.

**Вуглеводи.** Крохмаль — основний вуглевод, що міститься в нашій їжі. Він утворюється із вуглекислого газу та води в зелених листках рослин, що містять хлорофіл, у процесі фотосинтезу. Рослини накопичують енергію переважно в молекулах саме крохмалю.

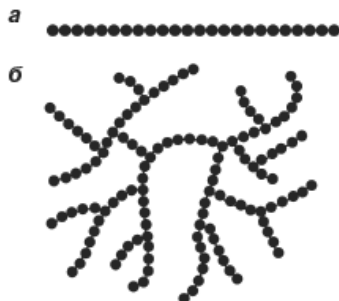
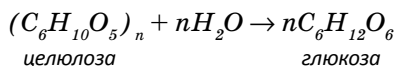
Целюлоза, або клітковина, входить до складу рослин, утворюючи в них оболонки клітин. Целюлоза надає рослинам необхідну міцність та пружність. Якщо крохмаль — джерело енергії рослин, то целюлоза є їхнім будівельним матеріалом.

Волокна бавовни містять до 95–98% целюлози, в деревині її частка досягає 50%. Папір, бавовняні тканини — це вироби із целюлози. Особливо чистими зразками целюлози є отримані із очищеної бавовни вата та фільтрувальний папір.

Целюлоза, виділена із природних матеріалів, являє собою волокноподібну речовину, яка не розчиняється ні у воді, ні в полярних органічних розчинниках.

Целюлоза, як і крохмаль, є природним полімером. Учені-хіміки виявили, що ці речовини мають однакові за складом структурні ланки — залишки молекул глюкози, а тому й однакову молекулярну формулу ( $\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5$ ). Чому ж властивості цих речовин різні? Головна відмінність між целюлозою та крохмалем полягає у структурі їхніх макромолекул. Якщо молекули крохмалю мають і лінійну, і розгалужену будову, то молекули целюлози — лише лінійну. У природних волокнах бавовни та льону молекули целюлози орієнтуються в одному напрямку. Численні водневі зв'язки, які виникають між гідроксильними групами різних макромолекул, зумовлюють високу міцність цих волокон.

Як і крохмаль, целюлоза зазнає гідролізу в присутності мінеральних кислот (при нагріванні):



Мал. 3.7. Будова макромолекул крохмалю (а — лінійна; б — розгалужена)

Останнім часом широко використовують і гідроліз целюлози, що відбувається за участю ферментів. Піддаючи йому, наприклад, солому чи бадилля кукурудзи, отримують полісахариди з меншою молекулярною масою, які є цінним кормом для худоби. При квашенні капусти, силосуванні кормів відбувається молочнокисле бродіння клітковини з утворенням молочної кислоти; остання виявляє консервуючу дію при зберіганні цих продуктів.

В організмі людини целюлоза, спожита з рослинною їжею, не зазнає гідролізу, а тому не засвоюється. А ось в організмі жуйних тварин утворюються ферменти, під дією яких в органах травлення відбувається гідроліз клітковини, отже, і її засвоєння. Однак їжу, багату клітковиною (морква, зелень), людині споживати необхідно. Проходячи через кишечник, целюлоза «очищує» його, поглинаючи з його стінок залишки від перетравлювання їжі.

**Білки.** За своєю хімічною природою білки — природні високомолекулярні сполуки, які побудовані із залишків молекул амінокислотних, сполучених пептидним зв'язком. Важливо, що кожен білок має чітко визначену послідовність амінокислот (амінокислотних залишків). Комбінацією 20 амінокислот, залишки молекул яких входять до складу природних білків, можна утворити практично нескінченне число білків. Як ви вже знаєте, з білками пов'язані всі життєві процеси, вони входять до складу клітин і тканин усіх живих істот. Білки в організмі людини та тварин виконують різноманітні функції: вони є будівельним матеріалом клітин шкіри (колаген), волосся (кератин), м'язів (міозин, актин), забезпечують перенесення кисню (гемоглобін). Обмін речовин, скорочення м'язів, нервова діяльність, функціонування клітин відбуваються під дією білків-ферментів. Наприклад, фермент амілаза сприяє перетворенню крохмалю в глюкозу. Білки-гормони (інсулін, вазопресин) регулюють роботу органів, а захисні функції організму забезпечуються білками імуноглобулінами, противірусним білком інтерфероном тощо. У той же час отрута, наприклад, зміїна, також є білковою речовиною.

Білки є матеріальною основою життя. За участю білків регулюються всі багатогранні функції організму — ріст, рухливість, обмін речовин, імунітет тощо.

**Вуглеводи відіграють важливу роль у життєдіяльності організмів, є одним із основних компонентів їжі.**

**Білки — природні високомолекулярні речовини, що складаються з багаторазово повторюваних амінокислотних залишків. Особливості хімічної будови і просторової структури визначають специфічні біологічні функції білків в організмі.**

### Домашній експеримент. Де міститься крохмаль?

Проведи вдома дослідження на вміст крохмалю в різних продуктах. Невелику кількість спиртового розчину йоду розбав водою (1: 10). Використовуючи одержаний розчин, випробуй, чи міститься крохмаль у сирій і вареній картоплі, білому хлібі, подрібненому рисі, зубній пасті, неспілому яблуці, салі.

### Запиши до словника

**Бродіння** — хімічне перетворення вуглеводів у більш прості речовини — спирт, оцтову кислоту тощо, — яке викликається діяльністю мікроорганізмів або їхніх ферментів.

**Гідроліз** — розклад речовини водою; в разі органічних речовин посилюється під дією кислот, лугів, ферментів.

### Перевір себе

1. Крохмаль і целюлоза належать до: а) моносахаридів; б) дисахаридів; в) полісахаридів.
2. Крохмаль утворюється в рослинах внаслідок процесу: а) фотосинтезу; б) гідролізу; в) гідратації.





3. Чим за будовою схожі та відмінні крохмаль і целюлоза? Яка загальна хімічна властивість притаманна крохмалю, целюлозі та сахарозі?
4. Які речовини називають білками? Перелічи хімічні елементи, що входять до їх складу.
5. Де білки зустрічаються в природі? Яке їх біологічне значення?

#### Поміркуй

1. Які ознаки в будові крохмалю та целюлози є однаковими: а) структура макромолекул; б) ступінь полімеризації; в) склад молекул; г) середня молекулярна маса?
2. Визнач, більша чи менша маса глюкози утворилась внаслідок гідролізу крохмалю порівняно з вихідною масою крохмалю (вважай, що при гідролізі увесь крохмаль перетворився на глюкозу). Чи узгоджується отриманий тобою результат із законом збереження маси речовини?
3. \* При повному окисненні 1 моль глюкози виділяється 2870 кДж енергії. Розрахуй енергію, яка виділиться при окисненні глюкози масою 10 г.
4. Чому із целюлози виробляють волокна, а з крохмалю їх виготовлення неможливе?
5. Яку роль відіграють водневі зв'язки у білковій молекулі?

#### Подискутуйте

Утворення в організмі білків та інших біополімерів, які мають дуже впорядковану структуру, відбувається з поглинанням енергії. Отже, їхнє самочинне утворення, згідно із загальним законом спрямованості процесів, неможливе. На цій підставі деякі науковці стверджують, що хімічні процеси в живих організмах не підпорядковуються загальним законам природи. Чи мають вони рацію? За рахунок чого біосинтез цих важливих сполук, на ваш погляд, все-таки відбувається?



## § 8. Біомолекули як структурна та функціональна основа єдності і різноманітності живих систем

*Вивчивши параграф, ви дізнаєтесь, чому біополімери вважають основою єдності і різноманітності живих організмів, узагальните знання про найважливіші біологічні функції білків, жирів, вуглеводів та речовин інших класів.*

За складом та структурою молекули речовин, що забезпечують функціонування організму, — біомолекули мало чим відрізняються від молекул «звичайних» органічних речовин. Та все ж вони мають свої особливості. Основною специфічною рисою біомолекул є те, що вони відібрані природою для виконання певних завдань. Речовини саме такого складу та будови найкраще підходять для виконання тієї чи іншої функції організму, найефективніше забезпечують узгоджену роботу окремих органів та організму в цілому. Природний відбір необхідних біомолекул відбувався протягом сотень мільйонів років у ході спочатку хімічної, а згодом і біологічної еволюції.

Оскільки всі живі істоти пов'язані між собою генетично, еволюційно, то однотипні функції в них виконують, як правило, або ті ж самі речовини, або речовини, що належать до одного класу. Функціонування організму забезпечують, перш за все, білки, нуклеїнові кислоти, ферменти, вітаміни, вуглеводи, жири, гормони. Це найважливіші для організму класи біомолекул.

**Найважливіші біологічні функції біомолекул в організмі.** Є біомолекули, які виконують лише притаманні їм специфічні функції. Наприклад, збереження і передача спадкової інформації — це функція, специфічна для нуклеїнових кислот. Каталітичну функцію виконують в організмі ферменти (*мал. 3.8*).

Деякі біомолекули виконують по кілька функцій. Так, жири і вуглеводи виконують енергетичну, структурну та захисну функції. Гормони, крім виконання гормональної

функції, беруть участь у регуляції обмінних процесів. Особливе місце серед поліфункціональних молекул належить білкам. Вони забезпечують каталітичну, транспортну, захисну, структурну, гормональну функції, а також резервну (функцію живлення). Не випадково, мабуть, їхня інша назва — протеїни — нагадує про давньогрецького морського бога Протея, здатного, за легендою, приймати різний вигляд і виконувати різноманітні функції. Крім того, ферменти — це також речовини білкової природи, які служать каталізаторами біохімічних процесів. Деякі гормони теж належать до білків або їх похідних.

Ряд функцій дублюється кількома класами біомолекул. Так, енергетичну, захисну і структурну функції виконують жири і вуглеводи, а захисну і структурну ще й білки. У регулюванні обмінних процесів беруть участь і вітаміни, і гормони.



Мал. 3.8. Основні класи біомолекул та їхні функції

**Особливості взаємодій (зв'язків) між біомолекулами.** Оскільки для функціонування живого організму необхідна чітка організація роботи всіх його систем, то зв'язки між біомолекулами в організмі теж мають свої особливості.

Більшість органічних сполук, що входять до складу живих систем, являють собою макромолекули — довгі ланцюги, які складаються з великої кількості елементарних ланок. На прикладі білків і нуклеїнових кислот ви знаєте, що макромолекули, як правило, не залишаються в «лінійному» вигляді, а утворюють різні просторові структури — вигинаються в спіралі, згортаються в клубки тощо. Для утримання таких просторових угруповань (згадайте вторинну та третинну структури білка), між окремими частинами макромолекул виникають зв'язки.

Крім того, окремі біомолекули об'єднуються в комплекси, групи макромолекул. Прикладом такого об'єднання є рибосоми — комплекси, що складаються з 50–100 різних білкових молекул та кількох молекул РНК. Рибосоми виконують дуже важливу роль в організмі — на них відбувається синтез нових білків у клітині. Комплекси

макромолекул об'єднуються далі у крупніші структури — органели: ядра, мітохондрії, хлоропласти тощо (з ними ви знайомі з курсу біології). Сукупність органел утворює клітину — основну функціональну частину всього живого.

Звичайні ковалентні зв'язки, які існують в усіх органічних сполуках, для об'єднання макромолекул або їх частин не підходять, бо є занадто міцними. Їхня енергія становить, як правило, від 100 до 1000 кДж/моль. Біомолекули, з'єднані ковалентними зв'язками, нагадували б сталевий трос. Для таких гігантів, як макромолекули білків чи нуклеїнових кислот, потрібне зовсім інше — щось на зразок тонкої риболовної сітки. Така «сітка» надійно утримує молекули вкупі і одночасно надасть їм певну свободу, необхідну для виконання їхніх функцій. Подібні «гнучкі» структури можуть утворюватися при наявності зв'язків, значно слабших за ковалентні. Їх називають слабкими взаємодіями. Між біомолекулами та їх окремими частинами діють три типи слабких взаємодій — водневі зв'язки (про них ви знаєте з курсів природознавства та хімії), електростатичні та ван-дер-ваальсові сили (з ними ви знайомі із курсу фізики). Ці взаємодії визначають, як різні ділянки молекул розміщуються одна відносно іншої. Внаслідок слабких взаємодій за рахунок участі в них величезної кількості атомів формуються стійкі структури. Один чи два такі зв'язки, звичайно, легко розірвати (енергія кожного з них становить від 10 до 40 кДж/моль), та з виникненням величезної кількості зв'язків стійкість структур суттєво підвищується.

Отже, органічні біополімери виступають структурною та функціональною основою єдності всіх біологічних систем. Однак, оскільки різні організми розвивались в різних умовах середовища, по-різному пристосовуючись до їхніх змін, то і за своїми морфологією та функціями вони стали відрізнятися один від одного — утворювалися їх численні види. Все ж біополімери настільки різноманітні, що змогли забезпечити функціонування організму будь-якої складності. З цього погляду, можна сказати, що різноманіття органічних молекул є одним із чинників, які обумовили і різноманіття живих систем.

Згадай, які ще чинники зумовлюють біологічне різноманіття.

**Функціонування організму забезпечують біомолекули, перш за все, білків, нуклеїнових кислот, вуглеводів, жирів, вітамінів, гормонів. Біомолекули є структурною і функціональною основою єдності і, в той же час, різноманітності живих організмів.**

### Перевір себе

1. Які класи біомолекул є найважливішими для організму?
2. Які функції виконують біомолекули в організмі? Назвіть функції, які виконують білки.
3. Які класи біомолекул виконують у клітині по кілька функцій?
4. Які класи біомолекул беруть участь у регулюванні обмінних процесів?
5. Ферменти виконують функцію: а) каталітичну; б) захисну; в) енергетичну; г) транспортну.
6. Які типи зв'язків називають слабкими? Яка їхня роль в організмі?
7. Збереження і передача спадкової інформації — це функція, характерна для: а) білків; б) вуглеводів; в) нуклеїнових кислот; г) ферментів.
8. Каталітична функція специфічна для: а) білків; б) вуглеводів; в) ферментів; г) жирів.

### Поміркуй

1. Встанови відповідність:

- |                         |              |
|-------------------------|--------------|
| а) енергетична функція; | 1) білки;    |
| б) структурна функція;  | 2) жири;     |
| в) каталітична функція; | 3) вуглеводи |
| г) захисна функція;     |              |



2. Обґрунтуй твердження про те, що біомолекули є структурною і функціональною основою єдності живих систем.

### Подискутуйте

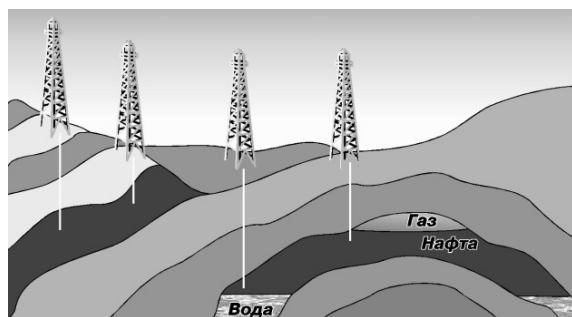
Чи міг би, на вашу думку, справно діяти організм, якби між біополімерами та окремими їх частинами діяли лише ковалентні зв'язки?

## § 9. Природні джерела органічних речовин і продукти їх переробки

*Засвоївши матеріал параграфа, ви дізнаєтесь про основні природні джерела органічних речовин, зокрема вуглеводнів, та використання продуктів їх переробки, зможете описати склад і властивості нафти, природного газу, кам'яного вугілля.*

Основними природними джерелами вуглеводнів, з яких синтезують інші органічні речовини, є нафта, природний і супутній нафтовий газ, кам'яне вугілля.

**Нафта.** Нафта — рідка горюча корисна копалина. Відносно невеликі запаси нафти є і в Україні. Зараз загальноприйнятою є органічна теорія походження нафти, згідно з якою вона утворилась унаслідок розкладу морських рослин і тварин протягом мільйонів років. У глибинах землі нафта створює великі скупчення (мал. 3.9). Для видобування її бурять свердловини. Неперероблену нафту називають сировою. Це масляниста, в'язка рідина чорного або коричневого кольору з характерним запахом. Вона не розчиняється у воді та плаває на її поверхні.



Мал. 3.9. Схема розрізу нафтового родовища

Нафта є сумішшю різних речовин, переважно вуглеводнів — насичених, циклічних, ароматичних. Основними хімічними елементами, що утворюють ці речовини, є Карбон і Гідроген, а також в незначній кількості Сульфур, Нітроген і Оксиген. Сирову нафту звичайно не використовують, її завжди переробляють, вилучають розчинені солі, зневоднюють, відокремлюють супутні гази.

Найвідоміші продукти переробки нафти — різні види палива. Бензин використовується для двигунів автомобілів, гас — для реактивних літаків і ракет, дизельне паливо — для тракторів. Мазут слугує паливом для теплових електростанцій, з нього виготовляють мастила, машинне масло тощо. Залишком при переробці мазуту є гудрон, який використовується для покриття асфальтових доріг та дахів будинків.

Серед нафтопродуктів є і медичні препарати, наприклад вазелін. Із нафти одержують парафін. Найбільшим його споживачем є сірникова промисловість: парафіном обробляють сірники, щоб вони краще горіли. Свічки теж виготовляють з парафіну. Сажа, яка осідає після переробки нафти, необхідна для виробництва гуми. Синтетичний каучук — основу гуми — теж отримують із нафтопродуктів.

Пластмаси та синтетичні пральні порошки, фарби та вибухові речовини, ліки та розчинники — ці та багато інших корисних і важливих речей виготовляють із нафтопродуктів. Тому нафту і називають «чорним золотом».

**Кам'яне вугілля.** Вугілля — це тверда горюча корисна копалина рослинного походження. Період часу в історії Землі, що характеризувався бурхливим розвитком рослинності і який дав матеріал для утворення кам'яного вугілля, геологи називають кам'яновугільним. Він розпочався понад 350 млн. років тому, тривалість цього періоду

становила близько 75 млн. років. Саме тоді склалися умови для розкладу решток рослин без доступу повітря. Цей процес супроводжувався виділенням летких продуктів розпаду і поступовим збагаченням Карбоном основного продукту — вугілля.

Спочатку відбувалося утворення величезних покладів торфу. Його подальша доля визначалася особливостями геологічної історії кожного регіону. Якщо занурення суші було незначним і поклади торфу вкривалися тонкими шарами осадових порід, торф перетворювався на буре вугілля. За значного занурення суші та потужного нагромадження осадів торф, зазнаючи великого тиску, а іноді й дії високої температури, перетворювався на різні види кам'яного вугілля й антрацит, що містить найбільше Карбону. Антрацити мають найвищу тепловіддачу та використовуються як високоякісне паливо в металургії та хімічній промисловості. В електротехніці з антрациту виготовляють мікрофонний порошок. У табл. 3 наводиться вміст Карбону в різних видах вугілля.

Таблиця 3

Вміст Карбону у вугіллі

Вид вугілля	Масова частка Карбону, %
Буре	65–75
Кам'яне	75–90
Антрацит	До 95–97

Енергія Сонця, увібрана і нагромаджена рослинами під час росту, збереглась і «законсервувалась» у різних видах вугілля. Ось чому поклади вугілля називають енергетичними коморами Сонця. Найбільші родовища кам'яного вугілля в Україні — Донецьке, Керченське, Західноукраїнське.

**Природний газ.** Найекономніший вид палива, що широко використовується в промисловості й побуті, — це природний газ. Його найпростіше транспортувати, що робить цей вид палива дешевшим. За теплотворною здатністю (бл. 33000 кДж/м<sup>3</sup>) природний газ перевищує всі відомі види палива. До того ж, при спалюванні газу довілля менше забруднюється продуктами згорання.

Газ також є цінною сировиною для виробництва синтетичних волокон, каучуку, пластмас, спиртів, жирів, вибухових речовин, медикаментів, нітратних добрив тощо. Газ має таке ж походження, як і нафта. Але якщо нафта відома людству понад вісім тисячоліть і давно використовується, то газ почали використовувати лише останніми десятиліттями.

Газ, що зберігається під землею, поділяють на природний (він утворює самостійні скупчення) і супутній (міститься в нафті в розчиненому стані). Природний газ складається з вуглеводнів, переважно метану, з домішками азоту, вуглекислого газу, сірководню, гелію й аргону. В супутніх газах міститься менше метану, зате більше пропану, етану, бутану.

**Деревина та інша рослинна сировина.** Важливим поновлюваним джерелом органічних речовин є деревина (мал. 3.10), яка містить 50–70% целюлози. Із целюлози виробляють різні сорти паперу, штучні волокна, пластмаси. Цукрову тростину та цукрові буряки, які містять велику кількість сахарози, використовують для добування цукру, насіння олійних культур (соняшника, льону, кукурудзи) — для одержання рослинних жирів. Із соку тропічної рос-



Мал. 3.10. Промислова деревина

лини гевої виробляють каучук. Із різних рослинних відходів отримують етиловий спирт, оцтову кислоту та інші цінні продукти.

Узагалі, джерелом органічних сполук можуть служити різноманітні природні матеріали, вибір яких для одержання певних хімічних продуктів визначається в кожному випадку економічними показниками.

**Основними природними джерелами вуглеводнів є нафта, кам'яне вугілля, природний газ. Вони є цінною сировиною для виробництва великої кількості хімічних речовин та матеріалів.**

### Перевір себе

1. Назви основні природні джерела вуглеводнів.
2. Розкажи про походження нафти, газу, кам'яного вугілля.
3. Які хімічні речовини та матеріали одержують із вуглеводневої сировини?

### Поміркуй

1. Назви відомі тобі природні джерела органічних речовин, про які не йшла мова в тексті параграфа. Які речовини та продукти з них добувають? Де вони застосовуються?
2. Які родовища природного газу, нафти і кам'яного вугілля в Україні та світі тобі відомі? Покажи їх на карті.
3. Чому, на твій погляд, природні джерела вуглеводнів практично не містять ненасичених вуглеводнів?
4. Поясни, чому нафта не розчиняється у воді і спливає на її поверхню.

## § 10. Переробка вуглеводневої сировини

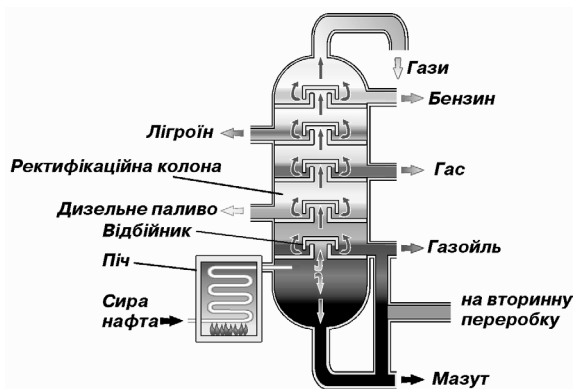
*Вивчивши матеріал параграфа, ви дізнаєтесь про основні методи переробки вуглеводневої сировини, термічний і каталітичний крекінг нафти, риформінг нафтопродуктів; зможете описати продукти перегонки нафти та переробки кам'яного вугілля.*

**Переробка нафти.** Щоб добути з нафти технічно цінні продукти, її переробляють.

Первинна переробка нафти полягає в її перегонці, тобто розділенні на складові частини — фракції. Процес перегонки базується на тому, що окремі компоненти нафти мають різні молекулярні маси, а тому і різні температури кипіння. Легші вуглеводні киплять при порівняно невисоких температурах, а важчі, з більшою молекулярною масою, — при більш високих температурах. Кожна фракція, що виділяється при перегонці, є сумішшю кількох вуглеводнів, близьких за молекулярною масою.

У промисловості для перегонки нафти використовують високі (до 40–50 м) циліндричні апарати — ректифікаційні колони (процес розділення нафти на фракції у таких колонах називають *фракціюванням* або *ректифікацією*). Схема установки для ректифікації нафти наведена на мал. 3.11.

Унаслідок перегонки добувають такі нафтопродукти: бензин (температура кипіння від 40 до 200 °С), лігроїн (120–240 °С), гас (180–300 °С), дизельне паливо (220–360 °С), мазут — в'язку чорну рідину, що залишається після перегонки. З мазуту в іншій колоні за



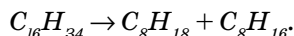
Мал. 3.11. Схема ректифікаційної установки для перегонки нафти

умов зниженого тиску виділяють різні мастила та гудрон (бітум), що використовується при будівництві доріг.

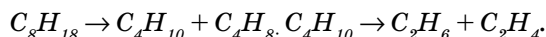
Сучасна техніка, зокрема автомобільний транспорт, потребують великої кількості пального, насамперед бензину.

Однак вихід бензину при первинній перегонці нафти не перевищує 20%. Цей показник підвищують до 70–80% за допомогою *крекінгу* (розщеплення) — високотемпературної переробки нафти чи її фракцій з метою одержання вуглеводнів з меншою молекулярною масою. Таким способом добувають паливо та сировину для нафтохімічної промисловості.

У результаті крекінгу відбувається розрив зв'язків між атомами Карбону і утворюються легші вуглеводні (їх використовують як автомобільне пальне):



Процес частково триває далі з утворенням більш легких вуглеводнів:



Одночасно з розривом зв'язків С–С відбувається перетворення нерозгалужених сполук у більш розгалужені молекули, що підвищує якість бензину, його детонаційну стійкість (про неї йтиме мова далі).

Використовують два види крекінгу: термічний і каталітичний.

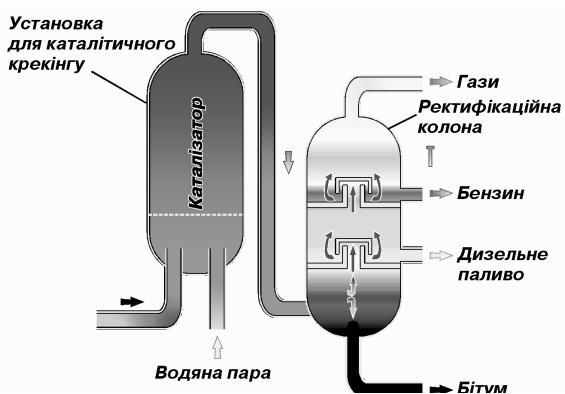
*Термічний крекінг* — це переробка нафтової сировини (переважно мазуту) шляхом нагрівання (до 550 °С) при тиску 2–7 МПа. Бензин, одержаний таким способом, містить у своєму складі значну кількість ненасичених сполук, що покращують якість пального, але зменшують його стійкість при зберіганні.

*Каталітичний крекінг* (мал. 3.12) здійснюють за нижчих температур (близько 450 °С) та при атмосферному тиску в присутності алюмосилікатних каталізаторів. На відміну від термічного, під час каталітичного крекінгу відбувається ізомеризація вуглеводнів з утворенням більш розгалужених сполук. Ненасичені ж вуглеводні утворюються в менших кількостях, що підвищує стійкість бензину під час зберігання.

Іншим поширеним процесом переробки нафти є *каталітичний риформінг* — переробка бензинових фракцій під підвищеним тиском у присутності каталізаторів, внаслідок цього зростає вміст ароматичних вуглеводнів. Це дає змогу підвищити детонаційну стійкість бензину, а також одержувати ароматичні вуглеводні (бензен, толуен), які є цінною сировиною для органічного синтезу.

**Детонаційна стійкість бензину.** Одним із важливих показників якості бензину є його стійкість до *детонації* — надзвичайно швидкого розкладу (вибуху) пального, що відбувається раптово при стисканні горючої суміші у циліндрі двигуна. Детонація знижує потужність двигуна, призводить до надмірної витрати пального і швидкого зносу мотора. Детонаційні властивості пального залежать від будови карбонових ланцюгів молекул вуглеводнів, які входять до його складу. Ізомери з розгалуженим ланцюгом значно стійкіші до детонації, ніж ізомери з нерозгалуженим ланцюгом.

Для кількісної характеристики детонаційної стійкості використовують октанове число. Октанове число 2,2,4-триметилпентану (ізооктану), що має найвищу детонаційну стійкість,



Мал. 3.12. Схема установки для каталітичного крекінгу

прийняте за 100, а лінійного гептану — за нуль. Октанове число бензину означає масову частку ізооктану в суміші з гептаном, яка за своєю детонаційною стійкістю відповідає даному бензину. Наприклад, бензин марки А-76 має октанове число 76.

**Коксохімічне виробництво.** Важливим джерелом добування вуглеводнів, зокрема ароматичних, є і продукти, що утворюються при переробці кам'яного вугілля. *Коксування кам'яного вугілля* — це розклад його за температури 900–1100 С без доступу повітря з утворенням коксового газу, легких речовин та твердого залишку — коксу. З коксового газу виділяють кам'яновугільну смолу та аміачну воду. З кам'яновугільної смоли шляхом перегонки одержують бензин, його гомологи та інші органічні сполуки — більше 50 речовин. Далі газ очищають від аміаку, що утворився в процесі коксування; дією сульфатної кислоти його перетворюють на амоній сульфат, який є цінним азотним добривом. Кокс є високоякісним паливом, яке у великих кількостях використовується у металургійній промисловості.

### Лабораторний дослід 2.

#### Ознайомлення зі зразками нафтопродуктів

Розгляньте колекцію зразків продуктів нафтопереробки та дослідіть їхні властивості, встановивши зв'язок між хімічним складом, фізичними характеристиками та галузями їх застосування. Результати своїх досліджень внесіть до таблиці.

Таблиця 4

Загальна характеристика нафтопродуктів

№ п/п	Нафтові фракції	Фізичні властивості			агрегатний стан	Використання	Висновки
		інтервал температур кипіння	колір	запах			

У висновках зазначте зв'язок між складом, властивостями та застосуванням нафтопродукту.

Основними методами переробки нафти є пряма перегонка, термічний та каталітичний крекінг, каталітичний риформінг. Кам'яне вугілля для добування ароматичних вуглеводнів та коксу піддають коксуванню.

#### Запиши до словника

**Ректифікація** — розділення нафти на фракції шляхом перегонки її в ректифікаційних колонах.

**Крекінг** — процес високотемпературної переробки нафти чи її фракцій з метою одержання вуглеводнів з меншою молекулярною масою.

**Каталітичний риформінг** — переробка бензинових фракцій під тиском у присутності каталізаторів.

**Коксування** — переробка кам'яного вугілля за високої температури без доступу повітря, внаслідок чого утворюється кокс та коксові гази.

#### Перевір себе

1. Назвіть найтипівіші методи переробки нафти.
2. Які фракції виділяють із нафти при її фракційній перегонці?
3. Що називають крекінгом? Чим відрізняється термічний і каталітичний крекінг?
4. Які продукти добувають із кам'яновугільної смоли при коксохімічному виробництві?



- Що таке октанове число? Яку властивість бензину воно характеризує?
- Перегонка нафти базується на: а) фізичних властивостях речовин; б) хімічних властивостях речовин; в) реакції розкладу.
- Крекінг нафти базується на: а) фізичних властивостях речовин; б) хімічних властивостях речовин; в) розчинності компонентів нафти. г) реакції розкладу.

#### Поміркуй

- З якою метою здійснюють вторинну переробку нафти?
- Що визначає якість бензину? Чим вона зумовлюється?
- Із переліку речовин та їх сумішей:  
а) кокс; б) газ; в) бензин; г) дизельне паливо; д) коксовий газ; е) мазут; є) лігроїн  
зазнач ті, що належать до продуктів:  
1) перегонки нафти; 2) коксування кам'яного вугілля.
- Чому бензин, одержаний шляхом каталітичного крекінгу, зберігається краще за бензин, отриманий термічним крекінгом?
- Напиши рівняння реакції розщеплення вуглеводнів  $C_6H_{14}$  і  $C_{12}H_{26}$  у процесі крекінгу.
- Для збільшення октанового числа у бензин раніше додавали 0,01% плумбум тетраетил у  $Pb(C_2H_5)_4$ . Під час згоряння бензину у газ переходить 90% свинцю. Визнач масу свинцю, який виділяється при згорянні бензину масою 10 кг. Чому останнім часом плумбум тетраетил не використовують?



### § 11. Основні види палива та їх значення в енергетиці

*Вивчивши параграф, ви дізнаєтеся про найважливіші види палива та їх використання у виробництвіта побуті, актуалізуєте знання про необхідність раціонального використання природних джерел енергії.*

**Паливо та його види.** Паливо поряд із атомною та електроенергією є основою сучасної енергетики. *Паливом* називають горючі речовини, які використовуються для добування тепла, що виділяється при спалюванні. Горючих речовин відомо дуже багато — деревина, нафта, вугілля, сірка, папір тощо. Проте не всяка речовина, що здатна горіти, може бути паливом і використовуватись для промислових і побутових потреб. Сірка, наприклад, горюча речовина, але як паливо вона не придатна, тому що в природі сірки мало, при згоранні вона дає мало тепла, а продукт згорання — сульфур (IV) оксид  $SO_2$  — отрує повітря.

Як паливо використовуються тільки такі горючі речовини, які є у великій кількості в природі в готовому вигляді або виробляються з дешевої природної сировини і дають при згоранні багато тепла, не утворюючи при цьому великої кількості отруйних газів.

Паливо може бути твердим, рідким і газоподібним. До *твердого палива* належать кам'яне вугілля (мал. 3.13), горючі сланці, торф, деревина. Щоправда, сьогодні деревину як паливо у промисловості практично не застосовують; її широко використовують як будівельний матеріал і як сировину для хімічної переробки. До *рідких видів палива* належать бензин, газ, мазут, а також горючі рідини, що добувають із кам'яного вугілля. Рідке паливо необхідне для двигунів внутрішнього згорання та реактивних двигунів.

Найважливіший представник *газоподібного палива* — природний газ. Це найвигідніше та найекономніше паливо. Газ легко транспортувати (мал. 3.14), при його згоранні не залишається ніякого твердого залишку, бо в ньому немає домішок негорючих мінеральних речовин.



Мал. 3.13. Антрацит — різновид кам'яного вугілля



Мал. 3.14. Газопровід

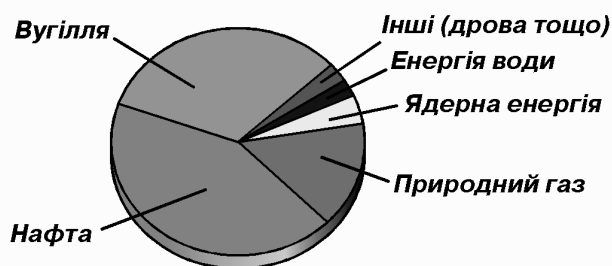
**Теплотворна здатність палива.** За енергоємністю різні види палива нерівноцінні: однакові кількості палива при згоранні виділяють різні кількості теплоти. Тому для оцінки якості палива визначають його *теплотворну здатність* — кількість теплоти, яка виділяється при повному згоранні 1 кг палива (табл. 5).

Таблиця 5

Теплотворна здатність основних видів палива (кДж/кг)

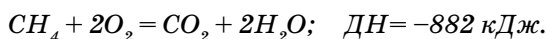
Деревина	19000	Кам'яне вугілля	35000
Торф	23000	Нафта	45000
Буре вугілля	28000	Природний газ	50000

Основні енергоносії нашого часу — нафта, природний газ та кам'яне вугілля. Їхня частка становить понад 90% загальної кількості виробленої енергії (мал. 3.15).



Мал. 3.15. Діаграма використання найважливіших джерел енергії

Найвищу теплотворну здатність із основних видів палива має природний газ, основою складовою якого є метан:



Це зумовлене тим, що при його згоранні не витрачається енергія на розривання зв'язків між атомами Карбону, як це відбувається при згоранні твердого палива чи важких вуглеводнів нафти. Крім того, газ повністю змішується з киснем повітря, тому при його спалюванні потрібен незначний надлишок кисню. Це знижує втрати теплоти на нагрівання надлишку повітря.

**Раціональне використання палива.** Людська цивілізація обрала технологічний шлях розвитку, тому потребує величезної кількості енергії, зокрема палива. З кожним роком ці потреби зростають; забезпеченість енергією є неодмінною умовою соціально-економічного розвитку будь-якої країни.

Останнім часом енергетична проблема загострилася у більшості країн світу. Насамперед, це пов'язано з тим, що традиційні природні джерела енергії — вугілля, нафта, природний газ, сланці — належать до непоновлюваних, і їх запаси в надрах Землі стрімко зменшуються. За підрахунками вчених, запаси нафти і газу вичерпаються уже за 30–50 років, вугілля вистачить не більше, ніж на 100–200 років. Тому перед суспільством постає завдання, з одного боку, пошуку нових, як правило, поновлюваних джерел енергії, а з іншого — раціонального використання наявних джерел енергії.

Чим більше тепла, що виділяється при згоранні, можна використати для техніки і побуту, чим менші його втрати, тим економічніша витрата горючих матеріалів. При спалюванні палива намагаються, насамперед, досягти повного його згорання. Основна умова цього — добре перемішування частинок палива з повітрям. Тому перед спалюванням твердого палива його подрібнюють.

Добре перемішування з повітрям потрібне і для рідкого палива. На виробництві рідке паливо розпилюють за допомогою форсунок. Такими форсунками користуються, наприклад, для одержання високої температури в сталеплавильних печах. Достатньо повне використання рідкого палива досягається у двигунах внутрішнього згорання. Бензин або інше рідке паливо розпилюється там за допомогою карбюратора або інжектора, в циліндри двигуна надходить уже готова суміш розпиленого палива з повітрям. Найкраще перемішується з повітрям газоподібне паливо, і при його спалюванні досягається найбільша повнота згорання.

Серед можливих шляхів розв'язання паливної проблеми заслуговує на увагу газифікація вугілля, тобто добування з вугілля газоподібного палива, яке може використовуватись і як сировина для хімічних синтезів. Перспективним видається також використання водню як палива. Суттєвою перевагою водню є те, що він належить до екологічно чистих видів палива — при його спалюванні утворюється лише пара води.

При використанні того чи іншого виду палива завжди слід враховувати вплив продуктів його згорання на навколишнє середовище. На жаль, серед продуктів згорання міститься багато шкідливих для довкілля речовин — чадний газ, аміак, сірководень, різні оксиди Нітрогену і Сульфуру тощо. Тепер на підприємствах хімічної промисловості, паливної галузі використовують фільтри, пилогазовловлювачі, які значно зменшують попадання шкідливих речовин в атмосферу.

### **Лабораторний дослід 3.** **Ознайомлення зі зразками продуктів коксування вугілля** **та різних видів палива**

Розгляньте видану вам колекцію зразків продуктів коксування кам'яного вугілля, видів палива. Дослідіть фізичні властивості, встановивши їх зв'язок із хімічним складом та галузями застосування. Дані внесіть у *таблицю 6*.

Таблиця 6

**Загальна характеристика різних видів палива**

№ п/п	Види палива	Фізичні властивості			агрегатний стан	Використання	Висновки
		інтервал температур кипіння	колір	запах			

У висновках зазначте зв'язки між складом, фізичними характеристиками і галузями застосування продуктів коксування та доцільність використання того чи іншого продукту як палива.



Для добування тепла як джерела енергії спалюють величезні кількості палива. Основними видами палива на сьогодні є нафта, природний газ та кам'яне вугілля. При використанні цих та пошуку нових джерел енергії слід враховувати їх вплив на довкілля.

### Запиши до словника

**Паливо** — горючі речовини, які доцільно використовувати для добування тепла, що виділяється при спалюванні.

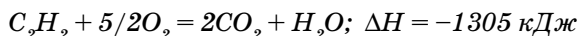
**Теплотворна здатність** — кількість теплоти, яка виділяється при згоранні палива масою 1 кг.

### Перевір себе

1. Назви основні види твердого, рідкого і газоподібного палива і дай їх коротку характеристику. Чому не кожна горюча речовина може бути паливом?
2. Вкажи основні умови раціонального спалювання палива.
3. Чому при спалюванні газоподібного палива краще забезпечується повнота згорання, ніж при спалюванні твердого?

### Поміркуй

1. Порівняй різні види палива за їх теплотворною здатністю. Використання яких видів палива є найраціональнішим?
2. Назви основні продукти, що утворюються при згоранні твердого, рідкого та газоподібного палива. Напиши рівняння відповідних реакцій.
3. \* Розрахуй, який об'єм кисню потрібний для спалювання метану об'ємом 1 м<sup>3</sup>. Яка маса вуглекислого газу утворилась при цьому?
4. \* Користуючись таблицею теплотворної здатності палива, визнач, скільки деревини, бурого і кам'яного вугілля потрібно було б для заміни 1 т нафти.
5. \* Визнач кількість теплоти, що виділиться при спалюванні 1 кг: а) вуглецю (коксу); б) метану; в) ацетилену, якщо термохімічні рівняння реакцій такі:



(термохімічне рівняння горіння метану знайди в тексті параграфа).

Порівняй теплотворну здатність речовин. Використання якої з них для опалення буде найекономнішим?

6. \* У кам'яному вугіллі міститься 0,01% домішки сірки. Яка маса сульфур (IV) оксиду утвориться при спалюванні вугілля масою 5 т?

### Подискутуйте

1. Часто кажуть, що нафта і кам'яне вугілля — це речовини, у хімічних зв'язках яких «законсервована» енергія Сонця. При спалюванні цих речовин зв'язки між атомами Карбону розриваються і енергія вивільняється у вигляді тепла. Але ж це неможливо, кажуть інші, адже при розриванні зв'язків енергія поглинається, а не виділяється. Хто, на ваш погляд, має рацію в цій суперечці? За рахунок чого при згоранні палива виділяється тепло?
2. Які види палива ви вважаєте найперспективнішими? Чому?

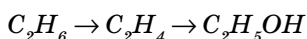
## § 12. Синтез органічних речовин із вуглеводневої сировини

Вивчивши параграф, ви дізнаєтесь, як синтезують органічні сполуки різних класів, використовуючи природні джерела вуглеводнів, зможете навести приклади синтезів на основі вуглеводневої сировини.

**Генетичний зв'язок органічних речовин.** При вивченні властивостей хімічних речовин у попередніх класах ви знали, що всі речовини зв'язані між собою різними хімічними перетвореннями, взаємопереходами. Із речовин одного класу шляхом послідовних перетворень можна отримати речовини інших класів. Такий зв'язок між хімічними сполуками називають *генетичним*, тобто зв'язком за походженням.

Насичені вуглеводні, як ви знаєте, перетворюють в ненасичені. Окиснюючи останні, одержують спирти, які, в свою чергу, можна окиснити до карбонових кислот. Із спиртів і карбонових кислот одержують естери.

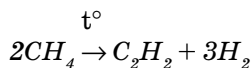
Склади рівняння реакцій, за допомогою яких можна здійснити такі перетворення:



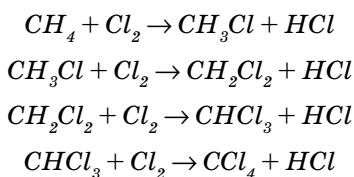
Можна скласти багато подібних ланцюгів перетворень. Загальна схема генетичних зв'язків між органічними речовинами різних класів наведена на *мал.1*. Отже, із порівняно простих речовин можна добути більш складні сполуки. Це дає змогу добути практично всі відомі на сьогодні сполуки, виходячи із порівняно дешевої вуглеводневої сировини — нафти, природного і супутнього газу.

**Синтези органічних сполук на основі вуглеводнів.** Природний газ складається, як вам відомо, переважно з метану та невеликої кількості інших вуглеводнів. Вони є цінною сировиною для хімічних виробництв. Нафта також є сировиною для одержання речовин різних класів.

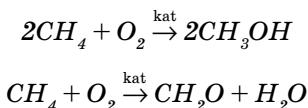
При сильному нагріванні у печах спеціальної конструкції відбувається розклад метану на водень та ацетилен:



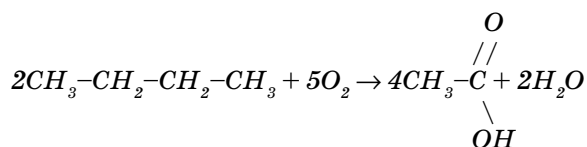
З курсу хімії 9-го класу ви знаєте, що для насичених вуглеводнів (алканів) характерні реакції заміщення та окиснення. Послідовно заміщуючи в молекулі метану атоми Гідрогену на атоми Хлору або Броду (ці реакції відбуваються під дією світла) одержують галогенопохідні, зокрема трихлорометан (хлороформ)  $CHCl_3$  та тетрахлорометан  $CCl_4$ , які використовуються як розчинники смол, жирів, каучуку та інших органічних речовин. Послідовно відбувається ланцюг таких реакцій:



При окисненні метану за участю каталізаторів добувають метиловий спирт (метанол)  $CH_3OH$  і формальдегід  $CH_2O$ :



Окиснюючи бутан, отримують оцтову кислоту:

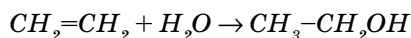


У хімічній промисловості оцтову кислоту використовують для виробництва пластмас, барвників, лікарських речовин, штучного волокна (ацетатного шовку) тощо.



Ненасичені вуглеводні — етилен, ацетилен, їх гомологи та похідні — також є вихідною сировиною для здійснення багатьох *хімічних синтезів* (синтезом в органічній хімії називають процес одержання складних органічних сполук з простіших; як правило процес синтезу відбувається у кілька, чи навіть у кілька десятків стадій). З ацетилену добувають оцтову кислоту, синтетичний каучук, полівінілхлоридні пластмаси. З етилену, як ви знаєте, добувають поширений полімер — поліетилен.

Етилен, який у великих кількостях утворюється при крекінгу нафти, є вихідною сировиною для добування етилового спирту:



Реакція відбувається при температурі 260–300 °С, тиску до 10 МПа і наявності каталізаторів. Етиловий спирт використовують для добування оцтової кислоти, барвників, синтетичного каучуку, виробництва пластмас.

Продукти, що одержують з вуглеводнів, — галогенопохідні, спирти, альдегіди, карбонові кислоти, — як бачите, служать сировиною для подальших синтезів більш складних органічних речовин.

Вуглеводні застосовують як сировину для проведення численних синтезів органічних речовин різних класів. Синтезовані речовини (спирти, альдегіди, карбонові кислоти тощо) є основою для добування барвників, синтетичних волокон і каучуку, лікарських засобів, виробництва пластмас.

Нафта — не паливо. Топити можна і асигнаціями.

Д. І. Менделєєв

### Запиши до словника

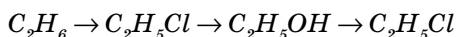
*Хімічний синтез* — сукупність реакцій одержання складних речовин із простіших.

### Перевір себе

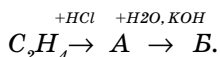
1. Які корисні копалини є природними джерелами вуглеводнів? Які органічні речовини можна отримати з них?
2. Що таке хімічний синтез? Наведи приклади.
3. Перелічи продукти, при виробництві яких використовують оцтову кислоту.

### Поміркуй

1. Прокоментуй наведений вислів Д. І. Менделєєва про нафту.
2. Напиши рівняння реакцій, за допомогою яких можна здійснити такі перетворення:



3. \* Склади рівняння реакції процесу добування оцтової кислоти із метану, який здійснюють у кілька стадій: метан → ацетилен → ацетальдегід → оцтова кислота.
4. \* Назви речовини А і Б у схемі перетворень:



Напиши рівняння реакцій, за допомогою яких можна здійснити ці перетворення.

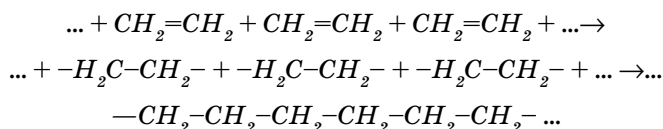
## § 13. Полімерні матеріали. Пластмаси

Опанувавши параграф, ви дізнаєтесь про найпоширеніші полімерні матеріали та їхні властивості, вмітимете робити висновок щодо їх придатності для використання.

Слово «полімери» міцно увійшло в нашу мову поряд з такими термінами, як атомна енергія, космічні польоти, гена інженерія, комп'ютерна техніка... Всі ці слова уособлюють найважливіші досягнення наукового прогресу.

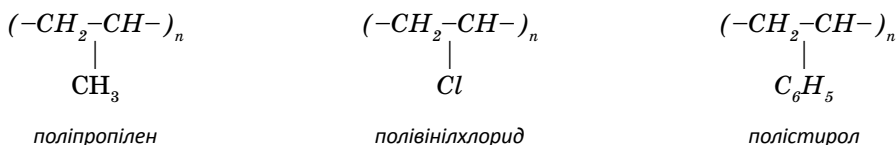
**Поширені полімерні матеріали.** Полімери являють собою матеріали, що складаються з високомолекулярних речовин, утворених із низькомолекулярних сполук — мономерів внаслідок реакції полімеризації. Як вам відомо із курсу хімії 9 класу, полімеризація є процесом послідовного сполучення однакових молекул вихідної речовини (мономеру) з утворенням гігантських макромолекул.

В реакції полімеризації, як ви знаєте, легко вступають етилен та його похідні. Під дією температури і високого тиску подвійні зв'язки у вихідних молекулах розриваються і ті за рахунок вивільнених валентностей сполучаються між собою, утворюючи довгі ланцюги:



Так утворюється поліетилен, полімер, із властивостями якого ви вже знайомі. Поліетилен належить до найпоширенішого різновиду полімерних матеріалів — пластмас. *Пластмасами (пластичними масами)* називають полімерні матеріали, здатні при їх термічній переробці у виробі набувати задану форму і зберігати її при експлуатації. За масштабами виробництва вони займають перше місце серед полімерних матеріалів.

Серед поширених пластмас назвемо також *поліпропілен*, який відзначається високою міцністю, *полівінілхлорид*, що характеризується значною хімічною стійкістю, термостійкістю та пластичністю, *полістирол*, який виявляє високі діелектричні властивості:



#### **Лабораторний дослід 4.**

##### **Ознайомлення зі зразками пластмас та виробів із них**

Розгляньте видані вам зразки поліетиленової плівки, гранулу, ізоляційного покриття для електропроводів, частинки пробки тощо. Випробуйте зразки на дотик, пластичність, міцність та встановіть їх відношення до води. Зробіть відповідні висновки.

Якщо гранули полімерного матеріалу помістити у пробірки і долити розчини сульфатної кислоти, натрій гідроксиду та калій перманганату, то ніяких змін спостерігатись не буде. Це демонструє стійкість полімерного матеріалу в агресивних середовищах (які вуглеводні реагують подібно до нього?). Цей дослід підтверджує ваш висновок про те, що за хімічною будовою полімерні матеріали належать до насичених вуглеводнів.

Нагрійте зразок полімеру над полум'ям спиртівки. У пом'якшеному стані за допомогою скляної палички надайте матеріалу будь-якої форми. Вона буде зберігатися і після твердіння полімеру. Така властивість називається *термопластичністю*. Вона зворотна і при цьому не відбувається ніяких хімічних змін. (У чому полягає відмінність між відомою вам пластичністю і термопластичністю?)

Полімер плавиться при подальшому нагріванні, але процес плавлення має свої особливості, які полягають у тому, що спочатку в рідкий стан переходять його коротші макромолекули, а потім — довші: звідси широкий інтервал температур плавлення. У цьому разі відсутня певна температура плавлення, характерна для кристалічних низькомолекулярних речовин. Ці властивості поєднуються в пласт-



масах з високою механічною міцністю, малою густиною, високими тепло- та електроізоляційними якостями.

Підпаліть під витяжною шафою зразки полімеру і спостерігайте за його горінням. Зверніть увагу, чи утворюється кіптява, чи буде горіти зразок поза полум'ям, чи мають запах продукти горіння (висловіть припущення щодо їхнього складу). Зробіть висновки на основі хімічної будови та проведених лабораторних дослідів про властивості поліетилену та інших пластмас. З вуглеводнями якого класу їх можна порівняти?

**Застосування полімерних матеріалів.** Фізичні та хімічні властивості полімерів зумовлюють їх широке застосування в техніці, сільському господарстві, побуті (мал. 3.16; 3.17). Це викликано тим, що пластмаси на основі різних полімерів мають властивості, завдяки яким їх використання є економічно доцільним. До них належать їх легкість, морозостійкість, хімічна стійкість, високі оптичні якості, а також можливість регулювати ці властивості у потрібному напрямку, змінюючи склад та структуру полімеру. Сюди слід додати технологічну простоту виготовлення виробів, високу продуктивність, економічну вигідність. Ці властивості переважають деякі експлуатаційні недоліки пластмас, характерні для них (низька термостійкість, невисока температура плавлення тощо).



Мал. 3.16. Труби, виготовлені із полімерних матеріалів

Виробництво пластмас з необхідними експлуатаційними властивостями досягається додаванням у полімерну масу спеціальних речовин. Наприклад, щоб перетворити твердий полімер на еластичний, добавляють *пластифікатори*. Для підвищення термічної та хімічної стійкості використовують антиоксиданти — речовини, які запобігають окисненню; щоб запобігти наелектризованості — антистатиками; для забарвлення у певний колір — пігменти. У пластмаси вводять також різні наповнювачі — пісок, крейду, волокна, арматуру тощо. Застосування полімерного матеріалу в залежності від його властивостей можна звести у таблицю (табл. 7).

Таблиця 7

Властивості та застосування полімерів

№ п/п	Властивості	Галузі застосування
1.	Водо- і газонепроникність	Виготовлення пакувальних матеріалів, плівки для теплиць тощо.
2.	Морозостійкість, хімічна стійкість	Виготовлення предметів побутового призначення, водогінних труб, деталей апаратів, що працюють в агресивному середовищі, посуду для перевезення і зберігання лугів і кислот, антикорозійних покриттів.
3.	Електроізоляційні властивості	Виготовлення ізоляційних матеріалів для покриття електричного дроту та кабелів.
4.	Оптичні властивості	Виготовлення плівок для теплиць (на відміну від скла поліетиленова плівка не поглинає потрібні рослинам ультрафіолетові промені).
5.	Механічна міцність	Виготовлення деталей машин.



6.	Пластичність	Виготовлення лінолеуму, штучної шкіри, плащової тканини.
7	Термічна стійкість	Виготовлення електроізоляційних матеріалів, виробів, що експлуатуються при високій температурі.

**Полімери на службі медицини.** Завдяки виробництву полімерів із широким спектром властивостей, сьогодні по-новому вирішуються питання охорони здоров'я. Хірурги успішно здійснюють заміну уражених ділянок кровоносних судин, бронхів, трахей, стравоходу еластичними і міцними пластмасовими трубками. Штучні кровоносні судини з часом обростають оболонкою з клітин організму, не викликаючи запальних процесів, тому що мають бактерицидну дію. Переломи кісток склеюють синтетичним полімерним клеєм, що є надійним засобом для швидкого виліковування. Спеціальні водорозчинні полімери здатні замінити до третини крові людського організму. Важливу роль в очищенні від різних домішок питної води, медичних препаратів, антибіотиків відіграють синтетичні йонообмінні смоли. Здобутки наукового прогресу наповнюють сьогодні всі сфери життя.



Мал. 3.17. Вироби із пластмаси

Шляхом полімеризації ненасичених вуглеводнів і їх похідних добувають багато цінних синтетичних матеріалів. Полімери стійкі до дії лугів, кислот, сильних окисників, мають високі механічні характеристики. Полімерні матеріали широко використовуються у техніці та побуті.

Хімія сама створила свій предмет. Ця творча здатність, схожа з мистецтвом, докорінно відрізняє хімію від інших природничих і гуманітарних наук.

**М. Бертло**

#### Запишіть до словника

**Полімери** — продукти реакції полімеризації, органічні матеріали, основу яких складають високомолекулярні сполуки.

**Пластмаси** — полімерні матеріали, здатні при термічній переробці набувати задану форму і зберігати її при експлуатації.

**Пластифікатори** — спеціальні речовини, які додають у полімерну масу для підвищення еластичності матеріалу.

### Перевір себе

1. Що називають реакцією полімеризації? У чому полягає механізм утворення полімерів?
2. Чому полімер не має певної температури плавлення? Які особливості поняття «відносна молекулярна маса» для полімерів і низькомолекулярних речовин?
3. Що таке пластмаси? Які особливості цих полімерів?
4. Пластмаси мають властивості: а) горючість; б) негорючість; в) розчинність; г) термопластичність; д) електропровідність; е) хімічну стійкість; є) електроізоляційну здатність.
5. Назви галузі застосування пластмас в залежності від їхніх властивостей.

### Поміркуй

1. Як визначити ступінь полімеризації етилену, якщо середня молекулярна маса полімеру становить, наприклад, 280000?
2. Як пояснити, що етилен знебарвлює бромну воду, а поліетилен — ні?
3. Полімеризацією хлороетилену  $\text{HCl}=\text{CH}_2$ , який називають також вінілхлоридом, одержують полівінілхлорид, із якого виробляють водогінні труби, плівки, шпалери тощо. Напиши схему реакції полімеризації. Зазнач структурну ланку полімеру. Яка масова частка Хлору в даному полімері?
4. Напої і їжу часто зберігають у пластмасовому посуді. Чи не зашкодить це здоров'ю? Чи можна їсти із пластмасового посуду?

### Подискутуйте

1. Порівняйте різні види пластмас. Обговоріть їхні переваги і недоліки, перспективи їх використання у майбутньому. Чи стане, на ваш погляд, XXI століття епохою полімерів?
2. Через високу хімічну стійкість полімерних матеріалів виникає проблема утилізації полімерних виробів, що відпрацювали. Запропонуйте кілька способів утилізації полімерних відходів, доведіть їхню перевагу.

## § 14. Природний і синтетичний каучук. Гума

*Засвоївши параграф, ви дізнаєтесь про властивості і застосування природного та синтетичного каучуків, гуми, про методи їх добування.*

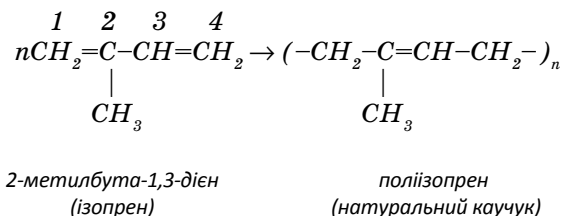


Мал. 3.18. Сік гевеї — основне джерело природного каучуку

**Природний каучук.** *Каучуки* — це еластичні матеріали, з яких виготовляють гуму. Індіанці, корінні жителі Південної Америки, отримували натуральний каучук із соку дерева гевеї — головного каучуконоса. З розрізів на деревині витікає молочний сік, який висихає на повітрі й темніє, його називають *латексом*. З латексу бразильської гевеї (мал. 3.18) і виділяють натуральний каучук.

Багато сотень років тому індіанці навчилися просочувати смолою гевеї одяг і той набував властивості не промокати. Із деревної смоли робили також взуття, пляшки та різний посуд. Європейці познайомилися із цим матеріалом у XVI столітті після плавання Колумба.

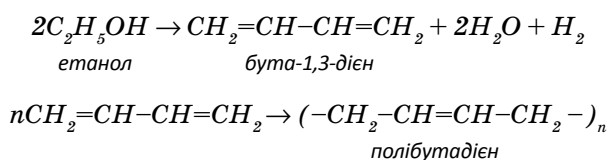
Натуральний, або природний, каучук за хімічним складом є високомолекулярним ненасиченим вуглеводнем складу  $(C_5H_8)_n$ , де  $n$  становить від 1000 до 3000. Він є похідним дієнових вуглеводнів, які містять у карбоновому ланцюгу два подвійних зв'язки. Натуральний каучук — полімер 2-метилбута-1,3-дієну, або ізопрену (назви дієнових вуглеводнів утворюють від назв насичених вуглеводнів, у яких останню букву замінюють закінченням — дієн; цифрами вказують місцезнаходження подвійних зв'язків у ланцюгу):



Макромолекули натурального каучуку побудовані лінійно, хоч і скручені в спіралі або клубки, які легко «розтягуються». Якщо розтягування припинити, то внаслідок внутрішнього теплового руху окремих ланок макромолекули повертаються до початкового стану. Цим пояснюється еластичність каучуку.

**Синтетичний каучук.** Зростаючі потреби промисловості зумовили необхідність розробки методів добування синтетичного каучуку. Синтетичні каучуки — це високомолекулярні сполуки, які одержують полімеризацією дієнових вуглеводнів.

Бутадієновий каучук був першим синтетичним каучуком, метод синтезу якого запропонував у 1927 р. радянський хімік С. В. Лебедев. Бутадієн полімеризували за наявності каталізатора — металічного натрію, а необхідний бута-1,3-дієн одержували з етанолу шляхом одночасної дегідратації та дегідрогенізації за температури 400...500 С над каталізатором —  $Al_2O_3$  та  $ZnO$ :



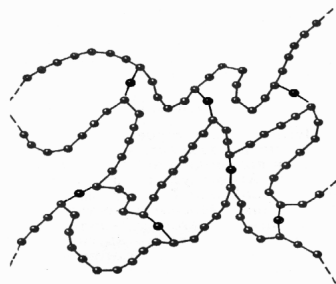
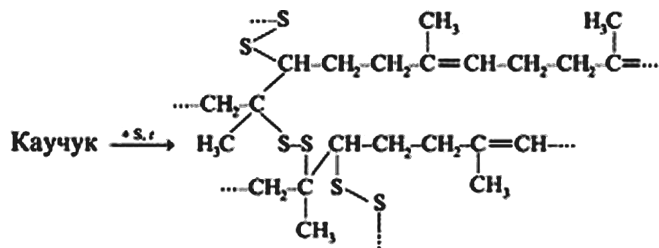
Пізніше встановили, що вигідніше добувати бутадієн із бутану, що утворюється в результаті переробки нафти.

Перші зразки синтетичних бутадієнових каучуків поступалися перед натуральними як за еластичністю, так і за зносостійкістю. Тепер освоєно виробництво бутадієнових каучуків впорядкованішої структури; їх назвали *дивініловими*. Синтетичні дивінілові каучуки за властивостями близькі до натурального, а за стійкістю проти стирання навіть перевершують його.

Сьогодні промисловість випускає кілька видів каучуків. Із каучуку та продуктів його переробки виготовляють шини і камери для літаків, автомобілів і велосипедів. Їх використовують для електроізоляції, виробництва промислових товарів та медичних приладів.

**Гума.** Використання сирого каучуку досить обмежене через невисокі експлуатаційні властивості. Він липкий, недостатньо міцний, при низьких температурах стає крихким. Для поліпшення якості натуральних і синтетичних каучуків їх перетворюють на гуму. *Гума* — це вулканізований каучук. Суть *вулканізації* полягає в насиченні каучуку сіркою при нагріванні. Атоми Сульфуру приєднуються до ниткоподібних макромолекул каучуку на місці подвійних зв'язків. Один із зв'язків при цьому розривається і сюди приєднуються атоми Сульфуру, які наче зшивають макромолекули

одна з одною. Внаслідок вулканізації липкий і неміцний каучук перетворюється на пружну і еластичну гуму. Гума (мал. 3.19, 3.20) міцніша за каучук і стійкіша до змін температури.



Мал. 3.19. Схема будови вулканізованого каучуку (гуми)



Мал. 3.20. Вироби із гуми

### Лабораторний дослід 5. Ознайомлення зі зразками каучуків

Розгляньте видану вам колекцію натуральних і синтетичних каучуків. Дослідіть фізичні характеристики, встановивши їх зв'язок із хімічним складом та галузями застосування. Дані внесіть у таблицю.

Таблиця

№ п/п	Назва каучуку	Особливості складу	Фізичні властивості:			Висновки
			зовнішній вигляд	еластичність	відношення до нагрівання	

У висновках зазначте взаємозв'язки між досліджуваними характеристиками та доцільність використання того чи іншого каучуку в різних галузях.

Зазначте основну властивість, на якій ґрунтується застосування каучуків. Як можна покращити властивості сирого каучуку?

Каучук та гума широко використовуються в авто-, авіа-, машинобудуванні, в електротехніці, медицині, побуті. Виробництво синтетичного каучуку і гуми щорічно зростає.

### Домашній експеримент Вилучення каучуку із молочного соку рослин

Каучук міститься в багатьох рослинах і легко може бути вилучений із них. Однією з таких рослин є кімнатний фікус.

Для вилучення каучуку із фікуса необхідно зрізати листок і зібрати в пробірку молочний сік, який буде виділятися з черешка. До зібраного соку додати 5–10 мл води та кальцій хлориду або амоній сульфату (не більше 1 г). Суміш розмішати і по краплинам добавляти в неї спирт до появи каучуку на поверхні розчину. Каучук перенести скляною паличкою в пробірку, в якій міститься декілька мілілітрів розчинника (бензин, бензен, хлороформ). Вміст пробірки розділити на 2 частини. До першої частини додати розчин калій перманганату (марганцівки). На що вказує зникнення забарвлення розчину?

Другу частину розчину обережно випарюють на склі. Після видалення розчинника на склі утворюється еластична плівка каучуку.

За допомогою пінцета каучук, який дістали із розчину, можна витягти в тонкі, довгі нитки.

### Перевір себе

1. Із якої сировини одержують природний каучук?
2. Розкрий «хімізм» добування синтетичного каучуку.
3. Які види синтетичного каучуку ти знаєш?
4. Як одержують гуму? В чому полягає процес вулканізації?
5. Назви основні галузі застосування каучуку та продуктів його переробки?

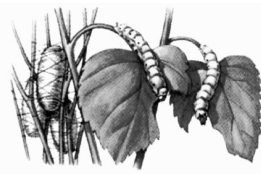
### Поміркуй.

1. Чому каучук еластичний? Яких властивостей набуває каучук, перетворений у гуму?
2. Гума, як відомо, має властивість розтягуватись. Чим, на твою думку, це можна пояснити?
3. Гумові вироби не можна зберігати при високій і дуже низькій температурі. Чому? Спрогнозуй, що може відбуватись з гумою за цих умов?
4. \* Розрахуй об'єм 1,3-бутадієну, який можна добути з 500 л розчину, масова частка етилового спирту в якому 96%, а густина  $\rho = 0,8$  кг/л.

## § 15. Хімічні волокна

*Вивчивши параграф, ви дізнаєтесь про найважливіші штучні та синтетичні хімічні волокна, їхнє застосування у сучасній техніці та побуті, будете вміти розрізняти основні типи волокон.*

**Природні та хімічні волокна.** Люди здавна використовують волоконні матеріали для виготовлення одягу та виробів домашнього вжитку. Одні з цих природних, або натуральних, волокон мають рослинне походження (бавовняні, лляні) і складаються з целюлози, а інші — тваринне походження (вовняні, шовкові) і складаються з білків (мал. 3.21). Усі волокна — це сукупність величезних макромолекул, що мають лінійну будову та розміщені впорядковано, орієнтуючись вздовж осі волокна.



Гусениці шовкопряда  
(шовк)



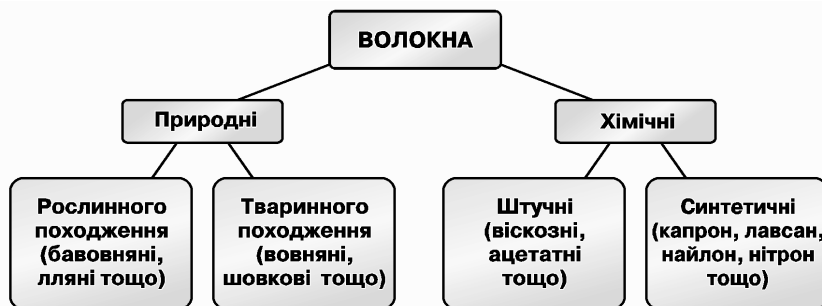
Коробочки бавовнику  
(бавовна)



Вівця (вовна)

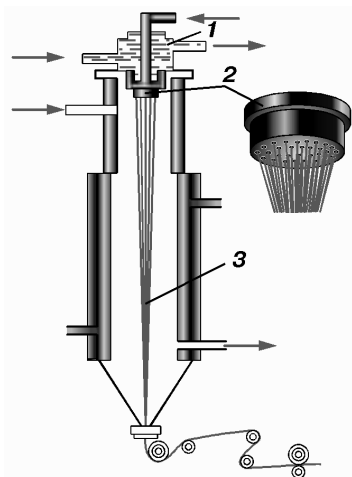
Мал. 3.21. Основні джерела природних волокон

З розвитком техніки і текстильної промисловості, попит на волокна помітно зріс. Виникла потреба їх одержання хімічними методами. Одну групу *хімічних* волокон (їх називають *штучними*) отримують шляхом переробки природних полімерних матеріалів (віскозні, ацетатні волокна), а волокна іншої групи (їх називають *синтетичними*), одержують із полімерів, синтезованих хімічно (лавсан, капрон, найлон) (мал. 3.22).



Мал. 3.22. Класифікація волокон

**Штучні волокна.** Вихідним природним полімером для одержання штучних волокон є целюлоза, виділена із деревини або бавовни. Щоб відділити полімерні макроланцюги целюлози один від одного, її хімічно обробляють, переводять в розчинний стан. Досить поширеною є обробка целюлози оцтовою або нітратною кислотами. Ці речовини вступають у реакцію естерифікації, внаслідок чого утворюються естери-полімери (ацетилцелюлоза або нітроцелюлоза).



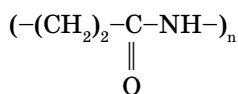
Мал. 3.23. Схема формування ацетатного волокна  
(1 — прядильна голівка, 2 — фільтри, 3 — волокно, що утворюється)

У розчині, що утворився, макромолекули розміщені досить хаотично. Для одержання волокон розчин полімеру пропусकाють крізь фільтри, що містять багато дрібних отворів. Проходячи крізь отвори фільтри, макромолекули, як стовбури дерев при їх сплавленні вузькою річкою, починають орієнтуватися вздовж осі струменя розчину (мал. 3.23). При подальшій обробці розміщення макромолекул стає ще впорядкованішим.

Часто штучні волокна використовують не у вигляді довгих ниток (шовк), а у вигляді різаних волокон довжиною в кілька сантиметрів (штапель). Штапель нерідко застосовують для спільного прядіння з іншими волокнами, наприклад, із вовною.

**Синтетичні волокна.** Основу синтетичних волокон, як ви вже знаєте, складають не природні високомолекулярні речовини, а синтетичні полімери. Речовини, що утворюють синтетичні волокна, певним чином схожі з білковими речовинами. Молекули всіх волокон мають лінійну будову і складаються із ланок, що повторюються. Такими ланками у молекулі целюлози є залишки глюкози, а в молекулах білків, наприклад, натурального шовку та вовни, — залишки амінокислот. Останні з'єднуються в макромолекулу білка вже відомими вам пептидними зв'язками.

У молекулах, що утворюють поширені синтетичні волокна (капрон, найлон), також існують пептидні зв'язки між групами атомів, що повторюються. Але за хімічною природою ці групи атомів відрізняються від тих, що утворюють молекули природних білків. Наприклад, полімерна молекула капрону має такий вигляд:



При нагріванні вихідні речовини взаємодіють між собою, утворюючи полімерні молекули. У результаті цього утворюється в'язка смола, яку продавлюють крізь тонкі отвори фільтри. Охолоджений струмінь смоли твердне, утворюючи волокна. Далі волокна розтягують на барабанах; при цьому вони значно подовжуються, бо макромолекули, що утворюють їх, випрямляються і розміщуються вздовж осі волокна. Від цього міцність волокон зростає.

Синтетичні волокна (мал. 3.24) за міцністю значно перевершують природні та штучні волокна. Із капрону, наприклад, можна одержати настільки тонкі волокна, що нитка довжиною майже 10 км матиме масу лише 1 г. Вироби із капрону та найлону не піддаються гниттю, не поїдаються міллю, вони не гігроскопічні, після прання швидко сохнуть і приймають початкову форму. Із цих волокон виробляють панчохи і шкарпетки, шарфи, канати, щітки, тканину для парашутів, волокна спеціального призначення тощо. До їх недоліків можна віднести порівняно низьку термостійкість. Так, капрон плавиться уже за температури близько 200 °С.

Широкого розповсюдження набули й інші синтетичні волокна — лавсан, хлоран, нітрон, енант тощо. Останнім часом розроблюються і виробляються волокна спеціального призначення.



а



б

Мал. 3.24. Нитки із синтетичних волокон

**Розпізнавання типу волокон.** Зручним способом визначення типу волокна є спостереження за його поведінкою при нагріванні та горінні.

*Бавовняні тканини* горять швидко, розповсюджуючи запах паленого паперу, після згорання залишається попіл. *Вовна та натуральний шовк* горять повільно, із запахом паленого пір'я; після згорання утворюється темна кулька, яка при розтиранні перетворюється в порошок. *Штучне ацетатне* волокно горить швидко, утворюючи некрихку кульку темно-бурого кольору.

*Синтетичні волокна капрон і лавсан* при нагріванні розм'якшуються і плавляться, із розплаву можна витягти нитки. При згоранні утворюють темні кульки, що не розтираються. Лавсан горить кіптявим полум'ям, горіння капрону супроводжується неприємним запахом.

### Лабораторний дослід 6

#### Ознайомлення зі зразками натуральних, штучних і синтетичних волокон.

#### Розпізнавання волокон

1. Приготуйте дві нитки: одну вовняну, а другу бавовняну. Потримайте їх пінцетом над полум'ям спиртівки. Вони горять із виділенням специфічного запаху. Одна,

згораючи, виділяє запах паленого пір'я, а інша — паленого паперу. Пригадайте, з чого одержують вовняну та бавовняну нитки.

2. **Натуральний шовк** — тканина тваринного походження, капрон належить до синтетичних волокон. Візьміть для досліду нитку натурального шовку і капронову нитку. Спаліть їх по черзі. Одна з них горить, виділяючи запах паленого пір'я, після згорання залишається чорна кулька, яку можна легко розтерти на порошок. Інша нитка швидко плавиться, утворюючи чорну тверду кульку, яку не можна розтерти.
3. Візьміть невеликий клаптик тканини з натурального шовку, покладіть його в пробірку й обережно нагрійте над полум'ям спиртівки. Над отвором пробірки потримайте вологий лакмусовий папірець. Спостерігайте посиніння папірця. Зверніть увагу на запах, що з'явився в пробірці. Який газ має такий запах?

Подібний дослід проведіть з клаптиком ацетатного шовку, тримаючи над пробіркою вологий індикаторний папірець. Що спостерігаєте? Що це означає?

Опишіть досліди, зробіть висновок про те, як можна розрізнити природні та хімічні волокна.

**Волокна широко використовують у народному господарстві та побуті. Хімічні волокна одержують шляхом переробки природних та синтетичних матеріалів. Різні типи волокон можна розпізнати за характером їх горіння.**

#### Перевір себе

1. Назви основні типи волокон. Яке походження вони мають?
2. Чим відрізняються штучні та синтетичні волокна?
3. Як можна розрізнити різні типи натуральних і синтетичних волокон?
4. Як практично відрізнити вовняну тканину від бавовняної?
5. Назви основні сфери використання синтетичних волокон.

#### Поміркуй

1. Порівняй натуральні, штучні і синтетичні волокна та вироби з них. Вкажи переваги і недоліки кожного типу волокон.
2. Чи можна прасувати речі з капрону гарячою праскою? Чому ти так думаєш?
3. Що є спільного і чим відрізняються за будовою макромолекули каучуку і волокон? Як це позначається на їхніх властивостях?
4. Встанови відповідність між походженням волокна (1 — природне; 2 — штучне; 3 — синтетичне) та його типом: а — віскозне; б — ацетатне; в-бавовняне; г — шовкове; д — капрон; е — лавсан.
5. Одяг виготовляють переважно із так званих комбінованих тканин, в яких у певних пропорціях поєднуються натуральні і синтетичні волокна. Які, на твою думку, якості тих і інших волокон намагаються при цьому зберегти?

#### Подискутуйте

Деякі публіцисти називають наш час епохою полімерів, добою найлону. Чи згодні ви з ними? Висловіть свої аргументи.

## § 16. Органічні речовини та здоров'я людини.

### Синтетичні лікарські препарати

*Опанувавши матеріал параграфа, ви дізнаєтесь про найпоширеніші лікарські препарати та їхнє використання, зможете обґрунтувати роль органічних сполук та препаратів на їх основі в охороні здоров'я.*





Одна з найбільших цінностей для людини — її здоров'я. Протягом усього історичного розвитку люди потребували ліків — речовин для боротьби з хворобами.

**Ліки природної аптеки.** Ще в стародавні часи з лікувальною метою застосовували деякі рослини або певним чином оброблені органи тварин. Так, давно було помічено, що коріння валеріани та конвалії виявляє заспокійливу дію на нервову систему, а листя подорожника — протизапальну. Здавна відома людям лікувальна дія зміїної отрути, на основі якої виготовляли мазі. Від ревматизму та інших запальних хвороб суглобів звільнялись, піддаючи себе укусам мурашок і бджіл. Тривалий час ефективним засобом від багатьох хвороб вважалися п'явки, за їх допомогою, на переконання тодішніх лікарів, з організму виводилася «погана кров».

Поступово стало зрозумілим, що лікувальну дію має не вся рослина, а певна речовина, яка міститься в ній. Спочатку вчені навчались виділяти такі речовини із природної сировини, а згодом опанували синтез ліків у хімічній лабораторії.

**Синтетичні лікарські засоби.** Створення синтетичних лікарських препаратів належить до найвагоміших досягнень сучасної хімії. Особлива увага приділялася пошуку засобів боротьби з хворобами, які раніше вважалися невиліковними.

Справжню революцію в медицині зробило відкриття *антибіотиків* — сполук, здатних пригнічувати розвиток мікроорганізмів та пухлин. Вони стали універсальним засобом для боротьби з різного роду інфекціями. Перший антибіотик — пеніцилін — виділили із плісняви у 1930-ті роки. Згодом одержали й інші, більш ефективні антибіотики — тетрациклін, стрептоміцин тощо. Завдяки широкому застосуванню цих лікарських засобів у медицині людство позбавилось від жахливих епідемій тифу, чуми і холери. Значно полегшилась боротьба з туберкульозом, менінгітом та іншими інфекційними захворюваннями.

Створення нових ліків є тривалою і складною справою. Тисячі речовин, синтезованих у лабораторіях, перевіряються на лікувальну дію. Їх випробовують спочатку на тваринах, а потім апробують у клініках. Враховуючи ці дані, відбирають речовини з потрібними хімічними та фізіологічними властивостями, які далі надходять у виробництво. Фармацевтична промисловість випускає сьогодні декілька тисяч найменувань ліків різноманітного призначення — для лікування серцево-судинних, кишково-шлункових, інфекційних, ракових та багатьох інших видів захворювань. Більшість із цих препаратів хіміки створили в хімічних лабораторіях; серед них є і такі, що за ефективністю та стійкістю перевершують природні лікарські засоби. Як правило, це складні органічні сполуки, що належать до різних класів, поєднують у собі різні функціональні групи. Часто ними є циклічні сполуки, зокрема ароматичного ряду, що містять різні вуглеводневі радикали, карбокси- ( $-\text{COOH}$ ), нітро- ( $-\text{NO}_2$ ), аміно- ( $-\text{NH}_2$ ), гідрокси- ( $-\text{OH}$ ) групи тощо.

**Як діють ліки.** Створення ефективних ліків значно полегшується, коли відомий механізм їхньої дії.

Учені встановили, що ліки впливають на деякі біохімічні реакції в організмі, які відповідають за певні фізіологічні процеси. Дія ліків зводиться, по-суті, до «вмикання» чи «вимикання» відповідної біохімічної реакції.

Ви вже знаєте, що жива клітина складається зі складних високомолекулярних речовин — біополімерів. Найважливіші із них вам відомі. Це білки-ферменти, які каталізують усі реакції, що відбуваються в живому організмі, нуклеїнові кислоти, за допомогою яких передаються спадкові ознаки при відтворенні складного організму та забезпечується біосинтез усіх білків і ферментів тощо. Якщо ввести ліки в організм, то вони починають взаємодіяти з одним із біополімерів, що міститься в організмі, наприклад, з ферментом мікроба, порушуючи його функції. Внаслідок цього мікроби гинуть і людина виліковується від заразної хвороби.

При іншому захворюванні у людини може порушитись дія якогось ферменту. Вводячи відповідний лікарський препарат, відновлюють дію цього білка-ферменту



---

в організмі та нормалізують порушені фізіологічні процеси. Встановлення механізмів дії ліків при різних захворюваннях триває.

Учені-хіміки разом з біохіміками, фізіологами, медиками працюють над тим, щоб встановити механізм лікувальної дії тих чи інших функціональних груп лікувального засобу, а потім на основі цих знань навчитись комбінувати ці групи, створюючи нові медичні препарати з наперед заданими лікувальними властивостями.

**Ліки домашньої аптечки.** Зазирніть до домашньої аптечки. Жодна з них не обходиться, мабуть, без йоду, калій перманганату, розчину брильянтового зеленого (зеленки) для лікування порізів і травм, гідроген пероксиду (перекису водню) для первинної обробки ран, активованого вугілля для допомоги при отруєнні, гірчичників для лікування запальних процесів, а також без знеболювальних, жарознижуючих, заспокійливих, відхаркувальних засобів.

До *жарознижуючих* засобів належать ацетилсаліцилова кислота (аспірин), амідопірин, парацетамол та ін. Врахуйте однак, що ці ліки не усувають причин хвороби, тому при підвищеній температурі тіла слід звертатися до лікаря. Жарознижуючу дію виявляють також мед та малина, дія яких посилюється, якщо вжити їх з великою кількістю рідини.

*Знеболювальні засоби.* Для вгамування болю найчастіше використовують *анальгетики* — амідопірин, анальгін, аспірин, парацетамол тощо.

*Відхаркувальні засоби* — речовини, що полегшують виділення мокротиння при кашлі. До них належать ефірні олії, питна сода, препарати йоду (натрій йодид чи калій йодид). Особливо відчутний лікувальний ефект вони дають під час інгаляцій — вдихання з водяною парою.

*Заспокійливі засоби* (сполуки бром — броміди, препарати валеріани та ін.) діють, передусім, на вищу нервову систему. Їх лікувальна дія виявляється у зменшенні дратівливості, поліпшенні настрою, нормалізації сну. Їх застосовують при лікуванні різних невротичних станів.

Усі ліки мають свій термін зберігання, який обов'язково вказується на упаковці. Тому потрібно постійно контролювати термін придатності ліків і вилучати прострочені. Важливо також правильно зберігати лікарські препарати: це повинна бути настінна шафа, краще з замком. Ліки повинні бути класифіковані за призначенням. Ліки для дітей слід тримати окремо.

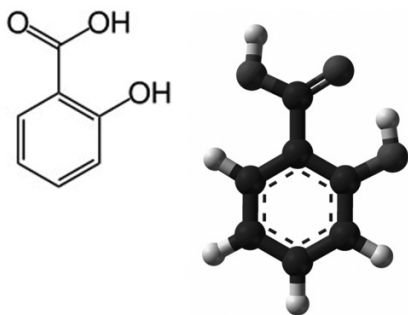
**Як діють антибіотики?** Вчені-біохіміки вважають, що антибіотики є інгібіторами ферментативних процесів, які відбуваються в мікроорганізмах, тобто речовинами, що перешкоджають ферментам різних бактерій виконувати властиві їм функції.

Пеніцилін, наприклад, перешкоджає бактеріям виробляти сполуки, із яких вони будують свою клітинну оболонку. Тетрациклін і стрептоміцин порушують життєвий цикл бактерії, подавляючи синтез необхідних їй білків. За схожим принципом діють і сульфамідні препарати (стрептоцид, норсульфазол, сульфадимезин, етазол). Вони структурно схожі з деякими органічними кислотами, необхідними для розмноження бактерій. Заміщуючи ці кислоти у ферментах, сульфаміди припиняють ріст бактерії.

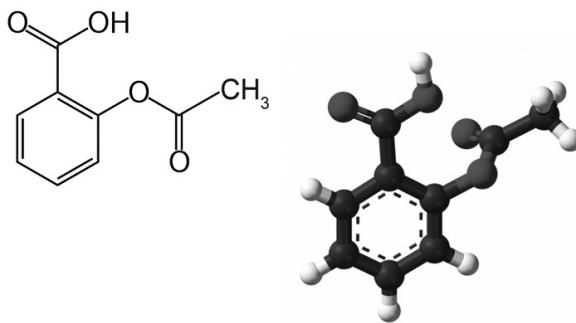
А от при вірусних захворюваннях (грип, кір, вітрова віспа) антибіотики втрачають ефективність. Це пояснюється тим, що віруси на відміну від бактерій не мають власних ферментів, а використовують ферменти організмів, у яких вони живуть, порушуючи цим їхню життєдіяльність.

**Що являє собою аспірин?** Найвідомішим із анальгетиків — речовин, що виявляють знеболювальну дію, є аспірин, або ацетилсаліцилова кислота. За хімічною природою — це сполука, похідна саліцилової (гідроксибензойної) кислоти (мал. 3.25), у якій атом Гідрогену гідроксильної групи заміщений на ацетилгрупу (ацетат-аніон  $\text{CH}_3\text{COO}-$ ) — залишок оцтової кислоти  $\text{CH}_3\text{COOH}$  (мал. 3.26):





Мал. 3.25. Салицилова кислота



Мал. 3.26. Аспірин (ацетилсалицилова кислота)

Аспірин — лікарський препарат із широким спектром застосування. Це жарознижувачий, знеболюючий, антиревматичний, антиневралгійний засіб. Тому його виробляють у великих кількостях. Щорічно на планеті вживають близько 50 млн. упаковок аспірину.

Вважають, що знеболювальна дія аспірину полягає в гальмуванні дії ферменту, який відповідає за синтез гормонів «болю» (простагландинів). Останні регулюють передачу больових сигналів, а також процес розширення і звуження кровоносних судин, що викликають головний біль. Проте, цим препаратом слід користуватись обережно, особливо хворим на виразку шлунку. Адже при розкладі він створює кисле середовище (чому?), що може викликати загострення хвороби.

**З лікувальною метою, поряд з природними, широко використовують синтетичні лікарські препарати — антибіотики, жарознижувачі, болезаспокійливі засоби тощо. Всі лікарські препарати потрібно правильно зберігати і використовувати лише за призначенням.**

Сьогодні пересічний homo sapiens має значну свободу для визначення власної долі. Тому його слід би познайомити з хімією, щоб він уявляв наслідки застосування нових лікарських препаратів та їх комбінацій.

**Д. Вільямс**

### Запиши до словника

**Антибіотики** — речовини, здатні пригнічувати розвиток бактерій, пухлин тощо; до препаратів-антибіотиків належать пеніцилін, тетрациклін, стрептоміцин.

**Анальгетики** — речовини, що виявляють знеболювальну дію; до препаратів-анальгетиків належать аспірин, амідопірин, анальгін, парацетамол тощо.

### Перевір себе

1. Назви відомі тобі рослини, що мають лікувальні властивості.
2. З якою метою використовують антибіотики?
3. Що являє собою аспірин?
4. Назви основні препарати, що повинні бути в домашній аптечці. З якою метою вони використовуються?
5. Які ліки не можна вживати? Як правильно зберігати ліки?

### Поміркуй

1. Поясни, чому антибіотики ефективно лікують інфекційні захворювання, викликані бактеріями?
2. Чому антибіотики втрачають ефективність при лікуванні вірусних інфекцій?

## Домашнє завдання

З дозволу батьків розсортуйте ліки в домашній аптечці (відповідно до інструкцій). Складіть таку таблицю:

Таблиця

Ліки у домашній аптечці

Назва ліків	Застосування

Оберіть проект: 1. Виготовлення ліків з лікарських рослин

### § 17. Жири, білки, вуглеводи як компоненти їжі, їхня роль в організмі

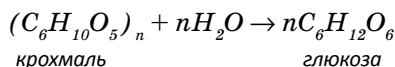
Опанувавши матеріал параграфу, ви дізнаєтесь про біологічну роль білків, вуглеводів та жирів як основних компонентів їжі, засвоїте основні правила раціонального харчування.

**Основні компоненти їжі.** Їжею називають органічні та неорганічні речовини, які використовуються для харчування.

Основними складовими їжі людини є білки, жири, вуглеводи, а також мікроелементи і вітаміни. Білки і частково жири належать до пластичних речовин, тобто вони використовуються в організмі для побудови нових і заміни старих клітин і тканин. До них же відносять і деякі мінеральні речовини, що містять Фосфор, Кальцій та ін. Вуглеводи і жири забезпечують енергетичні потреби організму. Вітаміни і мікроелементи беруть участь в обміні речовин і виконують каталітичну та інші регулятивні функції.

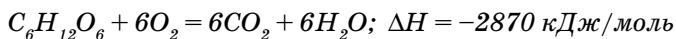
Потрапивши до організму, компоненти їжі зазнають багатьох перетворень і врешті-решт окиснюються киснем, що вдихається з повітрям, до простіших речовин — води, вуглекислого газу, аміаку тощо. Процеси окиснення супроводжуються виділенням енергії. При розкладі 1 г сахарози (цукру), наприклад, виділяється 16,5 кДж теплоти.

**Вуглеводи.** Як ви вже знаєте з курсів біології та хімії, крохмаль, що міститься в їжі, у травному тракті перетворюється переважно на глюкозу, яка далі окиснюється у клітинах організму. Крохмаль є високомолекулярною, нерозчинною у воді речовиною і тому не може безпосередньо засвоюватись організмом: в органах травлення він спочатку зазнає гідролізу. При цьому під дією молекул води рвуться зв'язки між ланками  $C_6H_{10}O_5$  і до кожного фрагменту приєднуються атом Гідрогену та гідроксильна група. У результаті кожна ланка макромолекули перетворюється в молекулу глюкози:



Процес розщеплення (гідролізу) крохмалю розпочинається уже при перетравлюванні їжі в роті під дією ферментів, що містяться в слині. Далі гідроліз продовжується у шлунку та кишечнику. Глюкоза, що утворюється при цьому, всмоктується через стінки кишечника в кров і надходить до печінки, а вже звідти — в усі тканини організму.

Окиснення глюкози супроводжується виділенням необхідної організму енергії і завершується утворенням вуглекислого газу та води:



Глюкоза легко засвоюється організмом, тому її застосовують у медицині для підтримки життєдіяльності ослабленого організму. Розчин глюкози вводять безпосередньо в кров, оскільки саме вона є переносником поживних речовин до клітин організму.

Речовини, які утворюються при неповному гідролізі крохмалю, називають *декстринами*. Вони легше засвоюються організмом, ніж крохмаль, бо складаються з менших за розмірами молекул і краще розчиняються у воді. Тому перед тим, як використовувати продукти, що містять крохмаль, для їжі, деякі з них бажано спеціально обробити. Частковий гідроліз крохмалю з утворенням декстрину відбувається, наприклад, при варінні картоплі та випіканні хліба. З виникненням клейких декстринів пов'язана, зокрема, поява пахучої скоринки на хлібі та смаженій картоплі.

**Жири.** Жири нерозчинні у воді і не можуть безпосередньо засвоюватись організмом. Тому реакція гідролізу жирів має дуже важливе біологічне значення. Під впливом ферментів жири розпадаються у тонкому кишечнику на гліцерин та карбонові кислоти. Продукти гідролізу всмоктуються в кров, попадають у клітини, де утворюється жир, властивий даному організму. Синтезований жир через лімфатичну систему потрапляє в кров і переноситься нею до жирової тканини. Звідси жири поступають в інші органи і тканини організму, де в процесі безперервного обміну речовин у клітинах знову піддаються гідролізу і поступовому окисненню до  $\text{CO}_2$  і  $\text{H}_2\text{O}$ . Ці екзотермічні реакції дають організму енергію, необхідну для життєдіяльності. При окисненні 1 г жиру в організмі виділяється близько 38 кДж енергії — вдвічі більше, ніж при окисненні білків та вуглеводів. Доросла людина повинна споживати 80–100 г жирів на добу.



Мал. 3.27. Олії — жири, що знаходяться у рідкому стані

Рослинний жир краще засвоюється організмом, тому дієтологи радять споживати більше рослинної олії (мал. 3.27).

**Білки.** Білки — важлива складова їжі. Засвоєння білків організмом розпочинається, як і в разі жирів та вуглеводів, з їхнього гідролізу. У процесі розкладу виділяється необхідна для життєдіяльності організму енергія, проте в менших кількостях, ніж при розщепленні жирів. Гідроліз білків відбувається поступово. У шлунку під впливом ферментів (згадайте з курсу біології, які ферменти містяться в шлунковому соку) макромолекули білків розкладаються на менші структури («осколки» макромолекул), які в кишечнику врешті-решт розпадаються на амінокислоти. Останні всмоктуються в кров і розносяться нею до всіх клітин і тканин організму. Основна маса амінокислот використовується для синтезу білків, характерних саме для цього організму.

Поряд із синтезом білків у організмі відбувається процес руйнування білкових речовин, кінцевим результатом якого є утворення сечовини, вуглекислого газу та води, що виводяться з організму.

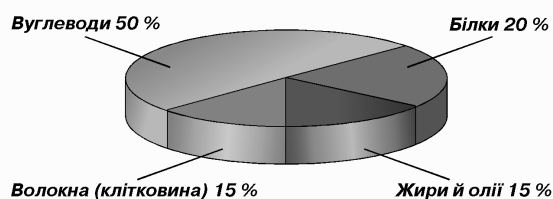
Харчова цінність білків визначається амінокислотами, які входять до їхнього складу (їх всього 20). Серед них 8 (а для малих дітей 9) є незамінними, вони в організмі людини не синтезуються або утворюються в недостатній кількості. Це аргінін, валін, лейцин, ізолейцин, лізин, метіонін, треонін, триптофан, а для дітей і гістидин. Ці амінокислоти треба вводити в організм з їжею, переважно у вигляді білків тваринного походження.

**Калорійність їжі та раціональне харчування.** Енергію, яка виділяється при перетравлюванні їжі в організмі, називають *калорійністю*, бо раніше всі енергетичні ефекти виражали переважно в калоріях (1 кал = 4,18 Дж).

Основна частина енергії їжі витрачається на рух, обмін речовин в організмі та підтримання температури тіла. Витрати енергії залежать від інтенсивності діяльності. Якщо людина відпочиває, її енергетичні витрати невеликі, коли ж вона виконує фізичну роботу, то витрати енергії значно збільшуються. У середньому витрати енергії людини складають близько 6 кДж на хвилину, коли вона сидить, і до 30–40 кДж за

хвилину, якщо біжить. Вважають, що добова потреба людини в енергії складає в середньому близько 10–12 тисяч кДж (2,5–3 тисячі ккал).

Значні витрати енергії треба компенсувати калорійною їжею. Але й переїдання недоцільне. «Нерозтрачена» енергія «мобілізується» організмом на синтез жирів, які відкладаються в організмі як його енергетичний резерв. Люди, які регулярно переїдають, найчастіше потерпають від ожиріння. Та і для здоров'я зайва вага шкідлива, адже це — наслідок порушення обміну речовин. Ожиріння супроводжується, як правило, низкою ускладнень — підвищенням кров'яного тиску, серцевою недостатністю, зниженням працездатності та стійкості до різних захворювань. Статистика свідчить, що смертність людей, що мають надмірну вагу, на 50–70% вища, ніж людей з нормальною вагою.



Мал. 3.28. Діаграма співвідношення основних компонентів їжі при збалансованому харчуванні

Для забезпечення нормальної діяльності організму необхідне раціональне харчування. Для цього треба вживати достатню кількість продуктів, компоненти яких повинні міститись в оптимальному співвідношенні. Вчені-дієтологи вважають оптимальним таке споживання, коли із загальної маси продуктів 60–65% припадає на вуглеводи (включаючи клітковину), близько 20% — на білки, 15–20% — на жири (мал. 3.28).

Щоб харчування було раціональним, в раціон треба включати м'ясо, рибу, молочні продукти (основні джерела білків та жирів), а також овочі і фрукти (джерела вуглеводів, вітамінів, мінеральних речовин).

Найважливішим вуглеводом їжі є крохмаль, у процесі перетравлювання їжі він поступово піддається гідролізу, кінцевим продуктом якого є глюкоза. При окисненні глюкози виділяється необхідна для організму енергія. Приготування їжі часто пов'язане з перетворенням крохмалю в проміжні продукти — декстрини, що полегшує його засвоєння.

Жири при перетравлюванні їжі піддаються каталітичному гідролізу і є найважливішим джерелом енергії живих організмів. Під час процесів розкладу білків також виділяється необхідна для життєдіяльності організму енергія, проте в менших кількостях, ніж при розщепленні жирів.

Поряд із енергетичною цінністю (калорійністю) продуктів треба враховувати і їхню біологічну цінність. Регулярне підтримання оптимальної калорійності та збалансованості свого харчування — одна із заповорок здоров'я та довголіття.

### Запиши до словника

**Декстрини** — речовини, що утворюються при неповному гідролізі крохмалю; вони легше засвоюються організмом, ніж крохмаль, бо складаються з менших за розмірами молекул і краще розчиняються у воді.

### Перевір себе

1. Яку роль в організмі виконують білки, жири, вуглеводи, вітаміни?
2. Чим зумовлена поява скоринки на хлібі при його випіканні?
3. Назви основні принципи раціонального харчування.

### Поміркуй

1. Які хімічні перетворення відбуваються при засвоєнні крохмалю організмом?

2. Чому декстрин засвоюється організмом легше, ніж крохмаль?
3. Розкрий значення гідролізу жирів для життєдіяльності організму.
4. Куди надходять продукти гідролізу білків і на що вони витрачаються в організмі?
5. \* Чому в печінці та м'язах тварин створюються запаси вуглеводів у вигляді глікогену, хоча організм зберігає значну частину енергії у вигляді запасів жирів.

### Подискутуйте

Досить поширеною є думка, що основними компонентами їжі повинні бути овочі та фрукти, які містять багато вуглеводів. Інші ж віддають перевагу їжі, багатій білками та жирами, оскільки вона найкалорійніша. Яка ваша думка з цього приводу?

### Домашнє завдання

Хто хоче до глибокої старості зберегти здоров'я, працездатність і гарний зовнішній вигляд, повинен контролювати енергетичну цінність свого харчування. Зробіть розрахунок оптимального за калорійністю добового раціону харчування. Необхідну для розрахунку інформацію знайдіть у бібліотеці чи Інтернеті.

## § 18. Вітаміни

*Засвоївши матеріал параграфа, ви дізнаєтесь про роль вітамінів у життєдіяльності організмів, їх вміст у продуктах харчування, умови кулінарної обробки овочів, що містять вітаміни.*

Для повноцінної життєдіяльності поряд з білками, жирами та вуглеводами будь-якому живому організму необхідні *вітаміни*, які (разом з ферментами) виконують роль каталізаторів у процесі обміну речовин. Без них багато важливих і корисних процесів просто не відбуваються. Так, вітамін  $B_1$  входить до складу фермента, який бере безпосередню участь в обміні вуглеводів, вітамін  $B_6$  виконує важливу функцію в ферментах, що регулюють обмін амінокислот. Вітаміни  $B_2$  та РР беруть участь в побудові молекул окиснювальних ферментів. Людині необхідно на добу лише близько 150–200 мг різних вітамінів, проте їхня відсутність може мати тяжкі наслідки для здоров'я. Хвороби, що виникають в організмі через нестачу вітамінів, називають *авітамінозами*.

Вітаміни — це в основному тверді речовини, які однак розчиняються у воді (група вітамінів В, а також вітаміни С і Р) або оліях (А, Д, Е, К). У розчиненому вигляді вони засвоюються організмом. Основне джерело вітамінів — рослини. Але деякі вітаміни містяться і в тваринній їжі. Багато вітамінів хіміки навчилися синтезувати у лабораторіях.

**Основні групи вітамінів.** *Вітамін А*, який стимулює функції підшлункової залози і захисні сили організму, утворюється з каротину — речовини помаранчевого кольору, якої багато в моркві, помідорах, абрикосах. Саме вона надає жовтогарячого забарвлення осінньому листю. Сам каротин — не вітамін, а провітамін. З кожної його молекули утворюються дві молекули вітаміну А. У готовому вигляді вітамін А міститься у вершковому маслі, риб'ячому жирі, печінці риби, яєчному жовтку, молоці. При нестачі вітаміну А в людини затримується ріст, погіршується зір, знижується опір інфекціям. Оскільки вітамін А розчиняється в жирі, то салати зі свіжої моркви краще запраляти оліями. Тоді каротин розчиняється в них і потрапляє в організм у вже розчиненому вигляді та краще засвоюється.

Відсутність у їжі *вітамінів групи В* ( $B_1$ ,  $B_2$ ,  $B_6$ ,  $B_{12}$  та ін.), що сприяють нормалізації обміну речовин, викликає затримку росту, порушення роботи нервової системи, ураження шкіри. Вітаміни групи В містяться у багатьох видах харчових продуктів:



горосі, квасолі, горіхах, моркві, м'яси, печінці, яйцях (вітамін  $B_{12}$  є тільки в їжі тваринного походження).

*Вітамін С*, або аскорбінова кислота, підвищує опір організму інфекційним захворюванням. Тому лікарі пропонують під час епідемії грипу регулярно вживати препарат вітаміну С. В недалекому минулому нестача цього вітаміну викликала у жителів крайньої Півночі небезпечну хворобу — цингу. Його багато в чорній смородині, цитрусових, шипшині, а також молоці. Великий вміст вітаміну С в молодих пагонах хвойних дерев. Перець також містить вітамін С, де його вперше і виявили. Вітамін С — сполука нетривка. Він легко руйнується киснем повітря, ферментами, кип'ятінням його розчину.

*Вітаміни групи D* регулюють обмін йонів Кальцію в організмі. Вони запобігають розвитку рахіту в дітей і містяться в тих самих продуктах, що й вітамін А. Вітамін D утворюється в шкірі людини, коли вона засмагає на сонці. Тому помірне перебування на сонці корисне.

*Вітаміни групи К* беруть участь у формуванні білкових речовин, які утворюють тромби в кровоносній системі. Нестача цих вітамінів у організмі спричиняє підшкірні й м'язові кровотечі, а надлишок — небезпечну хворобу тромбоз. Вітамінами К багаті зелені частини рослин.

*Вітамін РР* у складі ферментів бере участь у клітинному диханні. Його нестача викликає дерматити, порушення функцій шлунково-кишкового тракту, нервової системи. Міститься у бобових рослинах, гречаній та перловій крупах, картоплі, горіхах, сирі, м'яси.

Добова потреба у вітамінах кожного виду та основні наслідки їх нестачі наведені у табл. 8.

Таблиця 8

Найважливіші вітаміни

Вітамін	Хімічна назва	Добова потреба, мг	Основні наслідки авітамінозу
А	Ретинол	1.5	Куряча сліпота
$B_1$	Тіамін	1.5–2	Запалення нервових волокон (бері-бері)
$B_2$	Рибофлавін	2.5–3.5	Ураження шкіри, очей, слизових оболонок
$B_6$	Піридоксин	2–3	Зупинка росту, запалення шкіри (дерматит)
$B_{12}$	Оксикобаламін	0.01 – 0.02	Малокрів'я
С	Аскорбінова кислота	70–120	Цинга
D	Кальціферол	0.01	Рахіт, остеопороз.
РР	Нікотинова кислота	10–20	Дерматит, ураження нервової системи
К	Філохінон	1–2	Малокрів'я

**Як зберегти вітаміни в продуктах?** Багато вітамінів, на жаль, є нетривкими речовинами. Вони розкладаються при зберіганні та кулінарній обробці і втрачають свою біологічну активність.

Так, вітамін С, що міститься в цибулі, капусті, картоплі, добре розчиняється у воді, розкладається при взаємодії з киснем повітря та нагріванні. Схожі властивості виявляють і інші вітаміни, наприклад  $B_1$ ,  $B_2$ ,  $B_6$ , А тощо. Тому при кулінарній обробці овочів не



слід їх залишати надовго на повітрі дрібно нарізаними, особливо при яскравому освітленні, та тривалий час вимочувати у воді. Овочі бажано нарізати безпосередньо перед використанням, закладати у киплячу воду і варити лише до готовності, максимально скорочуючи час теплової обробки. Для запобігання втрати вітамінів овочі не рекомендують варити у відкритому посуді, готову їжу довго зберігати та кілька разів підігрівати.

Зберігати овочі треба в темних приміщеннях уникаючи попадання сонячного світла.

Для нормального функціонування кожного організму необхідні вітаміни, які виконують роль каталізаторів у процесі обміну речовин. Вітаміни містяться у їжі рослинного та тваринного походження. При зберіганні та кулінарній обробці продуктів харчування значна частина вітамінів розкладається.

### Запиши до словника

**Вітаміни** — біоорганічні сполуки, що є життєво необхідними компонентами обміну речовин; на відміну від інших біомолекул вітаміни не синтезуються в організмі людини, а надходять з продуктами харчування.

**Авітамінози** — хвороби, що виникають в організмі через нестачу вітамінів.

### Перевір себе

1. Що таке вітаміни? Яка їхня роль у організмі?
2. Назви основні типи вітамінів та продукти, в яких вони знаходяться.
3. Яку роль в організмі виконує вітамін С? Чи доцільно вживати його для профілактики інфекційних захворювань?
4. Чим корисне помірне засмагання на сонці?

### Поміркуй

1. Чому салати із капусти, «солодкого» перцю та інших овочів рекомендують їсти «свіжими», не піддаючи їх тривалій кулінарній обробці?
2. Речовина провітаміну А містить кратні зв'язки. Спрогнозуй властивості цієї речовини. Дай пропозиції щодо зберігання овочів, до складу яких входить провітамін А.
3. Вітамін К виробляється бактеріями, які живуть у шлунку людини. Проте в шлунку деяких дітей такі бактерії відсутні. До яких наслідків для дітей це може призвести?

## § 19. Харчові добавки

*Опанувавши матеріал параграфа, ви дізнаєтесь про харчові добавки як компоненти продуктів споживання, їхню роль у виготовленні та зберіганні харчових продуктів.*

У харчовій промисловості широкого використання останнім часом набули харчові добавки. Так називають групу речовин, які використовуються для покращення якості їжі, поліпшення смаку та зовнішнього вигляду продуктів, зміни їхньої консистенції.

Деякі харчові добавки застосовуються людиною вже багато століть, згадайте хоча б сіль, спеції, гвоздику, корицю, мед.

**Основні класи харчових добавок та їхні технологічні функції.** За технологічними функціями харчові добавки поділяють на кілька класів: консерванти, харчові барвники, ароматизатори, підсилювачі смаку тощо.

**Харчові барвники.** Їжа повинна виглядати привабливою. У свіжих продуктів яскраві, насичені кольори, а мутні, сіруваті, плямисті, пожовтілі ми сприймаємо як наслідок псування. Яскраві тони у свіжих овочів: помідори — червоні, дині — жовті, морква — жовтогаряча, салат — світло-зелений. Барвні речовини — пігменти, як правило, нестійкі, при варінні, смаженні чи квашенні вони руйнуються, У результаті чого їжа змінює колір. Руйнуються пігменти і при псуванні продуктів.



---

---

Під час виготовлення харчових продуктів до них додають різні барвники: каротин, сік буряка, барвники з винограду, шипшини, порічок. Відомо, що природний цукор жовтого кольору, а людина значно краще сприймає білий колір, тому до цукру додають ультрамарин — синтетичний барвник блакитного кольору.

**Смакові добавки.** Смак, як відомо, складається з чотирьох компонентів: кислого, солодкого, солоного та гіркого. Для створення кислого смаку використовують кислоти: лимонну, молочну, яблучну, оцтову тощо. Солоний смак створюють, додаючи кухонну сіль, гіркий — за допомогою перцю. А над солодким смаком хімікам довелося добре попрацювати. Цукор — це не найсолодша речовина. Створений хіміками ксиліт солодший удвічі, а сахарин — у 400–500 разів. Дуже солодкий і аспартам, який був синтезований у 1960-ті роки. Він у 150 разів солодший від сахарози.

Для поліпшення і загострення смаку м'ясних, рибних, овочевих страв та бульйонів широко використовують глутамат натрію. Покращують смак їжі також прянощі. Вони можуть надавати їй як аромату, так і кольору. Це перець, кориця, фенхель, кріп, кмин тощо.

**Консерванти** допомагають краще зберігати продукти. Бензойну кислоту та її солі, наприклад, використовують для виробництва рибних консервів, маргарину, напоїв. Пропіонова кислота використовується в кондитерській, хлібобулочній промисловості, лимонна — у виробництві маргаинової продукції.

**Ароматизатори** — речовини, які покращують смак і аромат продуктів харчування. Їх виділяють з фруктів, овочів і рослин у вигляді соків, есенцій або концентратів, деякі добувають синтетичним способом. Це ефірні олії, альдегіди, спирти. У виробництві концентратів, перших і других страв часто використовують глутамінову кислоту та її солі.

Для надання їжі пористої структури використовують *розпушувачі*. Поширеним розпушувачем є, наприклад, питна сода.

Знаючи склад та властивості питної соди, поясни, чому її застосовують як розпушувач тіста.

**Стабілізатори** (крохмаль, лецитин) надають продуктам стійкої консистенції.

**Поживні добавки** підвищують харчову цінність їжі. До них належать вітаміни та мінеральні добавки.

**Е-числа.** Сьогодні у світі застосовують понад 600 харчових добавок. Для зручності використання їх позначають літерою Е з цифровим кодом, який вказує на клас (призначення) речовини. Добавки від Е100 до Е182 належать до барвників; їх додають переважно до солодких напоїв, цукерок, варення. Е200–Е283 — це консерванти, вони збільшують термін зберігання продуктів, захищають їх від мікробів та грибів. Е300–Е399 — антиокиснювачі та регулятори кислотності. Вони захищають ковбасні вироби, шоколад та інші продукти, що містять жири, від згіркнення. Стабілізатори, згущувачі та емульгатори входять до четвертої сотні добавок. Завдяки першим зберігається консистенція продуктів, наприклад, джемів. Емульгатори забезпечують підтримання однорідної емульсії. Харчові добавки Е600–Е699 — це підсилювачі смаку та аромату. До дев'ятої сотні добавок входять пропеленти, підсолонувачі тощо.

**Чи треба боятись харчових добавок?** Спеціалісти вважають, що добавки (якщо їхня доза не перевищує рекомендовану в десятки разів) цілком безпечні для організму людини. Слід пам'ятати однак, що добавки здебільшого штучно синтезують, тому їхня структура нерідко може бути «чужорідною» для людського організму. В групу підвищеного ризику входять, насамперед, алергіки та люди з хронічними захворюваннями і послабленим імунітетом.

Харчову алергію можуть викликати продукти з деякими барвниками, наприклад тартразином (Е 102), консервантами (містяться в напоях, рибних продуктах, консервованих овочах і фруктах), зокрема бензоатами натрію (Е 211) та кальцію



(Е 213), антиоксидантами (використовуються при виробництві продуктів на основі жиру, жувальної гумки), наприклад Е 320, Е 321, Е 311, Е313. В деяких випадках небезпечними можуть бути і такі добавки: Е 110, Е 122 — Е 124, Е 150, Е 151, Е 228, Е 414.

Тому в продуктах, призначених для дитячого харчування, штучні добавки, як правило, не використовуються. В разі пастеризованого молока, вершків, сметани псуванню запобігає тривала термічна обробка, а йогуртів, ряжанки з живими культурами бактерій — власні бактерії, що служать натуральними консервантами.

### *Лабораторний дослід 7*

#### *Ознайомлення зі змістом етикеток до харчових продуктів*

Уважно розгляньте та проаналізуйте етикетки чи написи на упаковках найуживаніших харчових продуктів — хліба, печива, масла, молока, сметани, сиру, яєць, чаю, кави, круп тощо.

Ознайомтесь з інформацією щодо складу продукту, його енергетичної (калорійність) та поживної (харчової) цінності (кількості білків, жирів, вуглеводів). Зробіть висновок про раціональну кількість вживання того чи іншого продукту.

Визначте, чи містять продукти консерванти та інші харчові добавки. При їх наявності за наведеними Е-числами встановіть призначення добавок.

Зверніть увагу на терміни придатності продукту та умови його зберігання. Пам'ятайте, що харчові продукти не можна використовувати після закінчення термінів їх придатності.

Для покращення якості їжі у харчових виробництвах та побуті широко використовують харчові добавки. Їх застосовують як консерванти, підсилювачі смаку, ароматизатори, барвники тощо. Для зручності ідентифікації харчових добавок їх позначають Е-числами.

Передбачається, що дозволена для вживання добавка не завдають шкоди здоровому організму. Не слід, однак, ними зловживати і перевищувати вказані на упаковці дози.

### *Запиши до словника*

**Харчові добавки** — група речовин, які використовуються для покращення якості їжі, поліпшення смаку та зовнішнього вигляду продуктів, зміни їхньої консистенції.

### *Перевір себе*

1. З якою метою використовують харчові добавки?
2. Назви основні класи добавок. Які технологічні функції виконують харчові добавки кожного класу?
3. Що таке Е-числа? З якою метою їх застосовують?
4. Чи безпечно використовувати добавки у харчуванні? Коли вони можуть завдати шкоди?
5. Чи використовують добавки у дитячому харчуванні? Чому?

### *Поміркуй*

1. Виходячи із складу та будови відомих тобі речовин, що використовуються як харчові добавки, спрогнозуй їхні властивості та функції, які вони можуть виконувати у продуктах харчування.
2. Поцікався у мами чи бабусі, які овочі та інші харчові компоненти вони використовують, коли готують український борщ. Які із компонентів можна вважати харчовими добавками? Яку роль вони виконують?



## § 20. Алкоголь і наркотичні речовини, їхня згубна дія на організм

*Ознайомившись із матеріалом параграфа, ви переконаєтесь у згубному впливі нікотину, алкоголю та наркотичних речовин на організм людини.*

**Нікотин.** Куріння тютюну стало однією з найпоширеніших шкідливих побутових звичок. Більшість курців втягуються в куріння ще в дитячому та юнацькому віці. Слід пам'ятати однак, що тютюновий дим містить близько 1000 різних компонентів, значна частина яких має отруйну дію: нікотин, аміак, чадний газ, синильну, оцтову і мурашину кислоти, ряд канцерогенних речовин, сажу. Від куріння однієї сигарети утворюється до двох літрів диму, сажа від якого осідає в легенях. В момент затяжки температура на кінці сигарети досягає 600–900 °С, утворюється тютюновий дьоготь, що містить канцерогенні речовини. Учені підраховали, що під час згорання тютюну утворюються понад 80 канцерогенних сполук. Чадний газ, вміст якого в тютюновому димі досягає 4–8%, зв'язується з білками серцевого м'яза, що призводить до загибелі окремих м'язових волокон і дистрофічних змін у серцевому м'язі.

Про те, що нікотин є досить сильною отрутою, свідчить і те, що одна його крапля вбиває, наприклад, собаку. П'явка, яка насмокталася крові збитого курця, теж падає мертвою. Для людини, яка раніше ніколи не курила, смертельна доза нікотину становить 60–100 мг. Одна сигарета містить від 1 до 3 мг нікотину. За 30 років курець, таким чином, пропускає через легені дим, у якому міститься до 1500 г нікотину.

Багаторічне куріння тютюну стає причиною таких хвороб, як рак легень, ішемічна хвороба серця, запалення артерій ніг, виразкова хвороба шлунку та дванадцятипалої кишки. Курець живе на 5–7 років менше порівняно зі своїм однолітком, який не курить. Вважається, що від так званих тютюнових захворювань помирає в 4–6 разів більше людей, ніж їх гине в автомобільних катастрофах.

**Наркотики.** Наркотичними речовинами користуються у медицині для зняття сильного фізичного болю, але в той же час вони можуть стати і страшною отрутою.

Наркотичні речовини відомі людям здавна. Так, опійний мак висівали з давніх-давен і використовували при порушеннях сну. Пізніше з нього виділили активну речовину — морфій (названий на честь міфічного Морфея — давньогрецького бога сну). Із листя чайного куща і зерен кави одержували кофеїн, який виявляє збуджувальну дію. Зі стебел конопель раніше виробляли міцні канати, а конопляну олію використовували в лампадах. Однак у наш час виявили, що з квітів цієї рослини можна отримати сильні наркотичні речовини — гашиш та марихуану. У тропічних країнах жителі люблять жувати листя коки, у якому міститься наркотик кокаїн; при цьому вони спочатку збуджуються, а потім стають млявими й апатичними.

Тривалий час у вживанні наркотичних речовин не бачили нічого небезпечного. Однак поступово з'ясувалося, що люди, які часто вживали наркотичні речовини, зберігають до них особливу пристрасть. Ці речовини стають їм необхідними вже не для того, щоб позбутися хвороби, а, навпаки, самі спричиняють виникнення нової хвороби — наркоманії. Ця небезпечна недуга полягає в тому, що людина відчуває нестерпний біль, якщо до її організму не надходять наркотики. Щоб угамувати цей біль, необхідне постійне «підживлення» все більшою і більшою кількістю отрути. Організм наркомана при цьому швидко руйнується. Людина вже не може нормально жити. Усі її думки спрямовані на пошук наркотику. Наркоманія важко піддається лікуванню, а без нього хвороба прогресує і наркоман швидко гине. Особливо згубна ця хвороба для молодого організму, який росте і розвивається.

**Алкоголь.** Фізіологічна дія вживання спиртів на організм людини — негативна. *Метанол є сильною отрутою, а етанол — сильним наркотиком!* Метанол у невеликих кількостях викликає сліпоту, у великих — спричиняє смерть. Навіть вживання 30 мл його може стати причиною загибелі людини.

Етанол є основою для виробництва лікєро-горілочаних виробів. Унаслідок високої розчинності він швидко всмоктується в кров і викликає поступове отруєння організму, важкі захворювання нервової та серцево-судинної систем, травного тракту. Під впливом алкоголю в людини послаблюється увага, загальмовується реакція, порушується кореляція рухів, з'являється «розв'язність» у поведінці. Така людина стає небезпечною, особливо за кермом автомобіля. Внаслідок постійного вживання спиртних напоїв настає тяжка хвороба — алкоголізм. Що є причиною алкоголізму з погляду біохімії?

Етанол, що надходить до організму людини, окиснюється до оцтового альдегіду — ацетальдегіду  $\text{CH}_3\text{COH}$ . Ця речовина у невеликих кількостях міститься в організмі, бо є одним із регуляторів тканинного дихання. При постійному надходженні спирту в організмі відбувається перебудова біохімічних процесів — він припиняє утворювати ацетальдегід, адже той надходить ззовні з етанолом. Коли ж надходження спирту припиняється, виникає дефіцит ацетальдегіду, знижується тканеве дихання, порушується енергообмін. Падіння концентрації ацетальдегіду викликає патологічну тягу до алкоголю. Вживання етанолу компенсує цю нестачу та лише на деякий час. Для лікування алкоголізму потрібно відновити в організмі процеси альдегідного обміну, а це не завжди вдається.

До того ж при вживанні великих доз алкоголю, виникає надмірна кількість ацетальдегіду, який знезаражується печінкою. Велике навантаження на печінку при зловживанні алкоголем часто призводить до серйозних захворювань. Токсична дія алкоголю підриває здоров'я людини, викликає деградацію її як особистості.

**Куріння, вживання наркотичних речовин і алкоголю підривають здоров'я людини, викликають деградацію її як особистості.**

**Знання властивостей спиртів та наркотичних речовин, їхньої фізіологічної дії потрібні людині для збереження власного здоров'я та здоров'я оточуючих.**

#### Перевір себе

1. Чому куріння тютюну шкідливе для людини?
2. Чим викликається шкідливий вплив вживання наркотичних речовин?
3. До чого призводить тривале вживання наркотиків? Ким стає наркоман?
4. Розкрий фізіологічну дію етанолу на організм людини.

#### Поміркуй

1. Які, на твій погляд, основні біохімічні причини виникнення алкоголізму?
2. Який вибір ти повинен зробити, знаючи наслідки дії нікотину, наркотичних речовин та алкоголю на організм?
3. \*Для визначення алкоголю в повітрі, яке видихається, інколи використовують хром(VI) оксид і сульфатну кислоту. За зміною кольору (з темно-червоного до темно-синього) можна судити про наявність етанолу (алкоголю) у повітрі. Користуючись електронно-йонним способом підбору стехіометричних коефіцієнтів, склади рівняння окисно-відновної реакції, знаючи, що серед продуктів реакції буде відома в побуті органічна кислота та сіль Хрому (III).

## § 21. Органічні речовини у побуті

У цьому параграфі ви познайомитесь із органічними речовинами та хімічними засобами на їх основі, які широко використовуються в побуті — розчинниками, клеями, засобами косметики; нагадаєте собі про необхідність дотримання правил безпечного поводження з побутовими хімікатами.

Сьогодні важко навіть уявити наш побут без продукції сучасної хімії. Незалежно від того, любить та чи інша людина хімію чи ні, хоче вона того чи не хоче, хімія



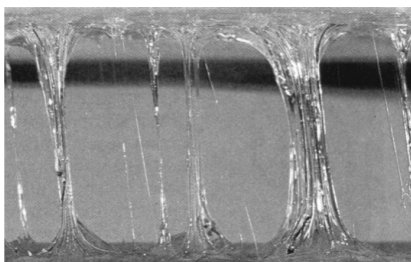
обов'язково супроводжує її у повсякденному житті у вигляді одягу із синтетичних тканин, пластмасового посуду, лікарських препаратів, мила і косметики тощо. Вдома всі ми трохи хіміки незалежно від свого основного заняття. Познайомимось із деякими поширеними побутовими хімічними препаратами.

**Органічні розчинники.** Розчинники широко використовуються в побуті для виведення плям, зняття застарілих фарб і емалей, іржі. Хорошими розчинниками, є насичені вуглеводні та їхні похідні. Здавна відомо, що рідини розчиняються одна в одній за схожості властивостей. «Подібне розчиняється в подібному», — говорили ще алхіміки. Молекули алканів малополярні, тому рідкі алкани та їх суміші (бензин, газ) добре розчиняють малополярні речовини, наприклад, жири, природні смоли, каучуки. Хлоропохідні насичених вуглеводнів — трихлорометан (хлороформ)  $\text{CHCl}_3$  та тетрахлорометан  $\text{CCl}_4$  — також використовують як розчинники. На відміну від бензину та газу, вони не горять і тому зручні у користуванні.

У якості розчинників застосовують також етиловий спирт  $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$  та ацетон  $\text{CH}_3\text{COCH}_3$  (його хімічна назва — диметилкетон). Ацетон — поширений розчинник для лаків, фарб і емалей. Крім того він розчиняє жири, смоли, каучук, ним легко можна зняти нагар з клапанів автомобільного двигуна.

Перш ніж використовувати той чи інший побутовий хімікат, слід уважно ознайомитись із правилами його безпечного застосування.

**Клеї.** Кожному доводилось, мабуть, склеювати між собою дві поверхні, наприклад, два аркуші паперу чи підшву до черевика. Хімічна промисловість випускає великий асортимент різних клеїв. Міцність зчеплення клею з поверхнями, що склеюються, визначається силами *адгезії* — взаємодії між молекулами чи іншими частинками обох поверхонь. Здебільшого клей створюють на основі термопластичних полімерів (смоли), які розчиняються в легких розчинниках з утворенням липких розчинів, що добре змочують поверхню. Розчинник випаровується, а молекули полімеру міцно скріплюють поверхні за рахунок утворення міжмолекулярних або хімічних зв'язків (мал. 3.29).



Мал. 3.29. Склеювання поверхонь

Значної популярності набули клеї на основі полівінілацетату, наприклад ПВА. Полівінілацетатні клеї застосовують для склеювання не лише пористих матеріалів — паперу, шкіри, деревини, а й плівок — целофану та інших полімерних матеріалів. До групи високоякісних клеїв належать *епоксидні* (епоксидною називають групу з одного атома Оксигену та двох Карбону, яка має циклічну будову). Їм властива висока адгезія (липкість) до скла, фарфору, металів, пластмас, дерева та висока міцність. Епоксидний клей міститься в аптечці кожного автомобіліста. У побуті широко використовують також клеї типу БФ (БФ-2, БФ-5), виготовлені на основі фенолоформальдегідних смол.

Серед клеїв природного (рослинного або тваринного) походження згадаємо борошняний *клейстер*, який застосовували уже при виробленні папірусу; яєчний жовток, що використовували при кладці стін; казеїн (міститься в молоці), з якого виготовляли казеїновий клей.

**Засоби косметики.** Первісне значення грецького слова «космос» — порядок. Всесвіт називали космосом тому, що в ньому все уявлялось впорядкованим. Зараз косметикою люди називають «приведення в порядок» вигляду свого тіла. Косметичних засобів дуже багато.

*Креми* використовують як засоби догляду за різними типами шкіри. Як правило, вони являють собою *емульсію* різних жирів та продуктів їх переробки. Олії (кукурудзяна, соняшникова, касторова, арахісова, кокосова тощо) легко засвоюються шкірою, надають їй еластичності, захищають від проникнення бруду і пилу, різкої зміни температур. До складу кремів входять також воски, які пом'якшують шкіру і сприяють обміну речовин у ній, біологічно-активні речовини та вітаміни (А, Д, Е, F), що активізують обмінні процеси і поліпшують вигляд шкіри.

Для миття волосся використовують різноманітні *шампуні*. На відміну від мил, вони не містять лугу, який «сушить» шкіру і знижує міцність волосся, не втрачають мийної дії у воді будь-якої твердості. До їх складу входять корисні добавки, що оберігають шкіру голови та волосся від надмірної сухості, вітаміни, ефірні олії, засоби проти лупи. Шампуні для жирного волосся містять речовини, що регулюють жироділення шкіри — екстракти ромашки, хмелю, звіробію.

*Дезодоранти* використовують для усунення запаху поту. Виділення поту — природний процес, який захищає людину від перегрівання. Піт на 99% складається з води та невеликої кількості сечовини, аміаку, деяких солей і сам по собі не має запаху. Однак, на поверхні шкіри піт розкладається бактеріями, внаслідок чого з'являється неприємний запах. До складу дезодорантів входять спирт та інші антимікробні засоби, що вбивають бактерії, які розкладають піт, та ароматизатори, що «перебивають» його запах. Деякі дезодоранти містять адсорбенти, які поглинають неприємний запах.

Важливим косметичним і гігієнічним засобом є мило. З милом та іншими мийними засобами ви познайомитесь у наступному параграфі.

### Лабораторний дослід 8

#### Ознайомлення зі змістом інструкцій до товарів побутової хімії

Уважно розгляньте та проаналізуйте зміст інструкцій, наведених на упаковках товарів побутової хімії — органічних розчинників, фарб, лаків, мийних засобів, отрутохімікатів тощо.

Ознайомтесь із правилами безпечного використання побутових хімікатів. Зверніть увагу на умови їх зберігання та термін придатності для використання. Зробіть висновок про необхідність дотримання зазначених правил при зберіганні та використанні товарів побутової хімії у повсякденному житті.

**У побуті широко використовують хімічні препарати, виготовлені на основі органічних сполук, — розчинники, клеї, косметичні та мийні засоби тощо. Застосовуючи побутові хімікати, слід дотримуватись правил безпечного поводження з ними.**

#### Запиши до словника

**Адгезія** — міцність молекулярного контакту двох різнорідних поверхонь, що стикаються.

**Емульсії** — колоїдні системи, що складаються з рідин, які не змішуються між собою, наприклад води і олії.

#### Домашній експеримент. Позбуваємось плям

##### а) Виведення плям від іржі.

Скориставшись іржавим цвяхом, зроби пляму на клаптику білої тканини і опусти її в гарячий розчин оцту. Потім промий тканину водою. Поясни, чому зникає пляма.



Згадай, що до складу іржі входить ферум (III) гідроксид, який реагує з кислотами, зокрема оцтовою, розчином якої є оцет.

#### б) Виведення плям йоду

На клаптику білої тканини зроби пляму йодною настоячкою. Змочивши тканину холодною водою, кілька разів протри з обох боків пляму свіжим зрізом сирої картоплини. Пляма зникає.

Цього і слід було чекати, оскільки в картоплі міститься крохмаль, який взаємодіє з йодом і знебарвлює пляму.

#### в) Виведення плям від ягід

Нанесену на білий клаптик тканини пляму змочи розчином гідроген пероксиду (1 чайна ложка пероксиду та кілька крапель нашатирного спирту на півсклянки води) і протри чистою ганчіркою. Тканину промий водою і висуши на повітрі. Пляма зникає, бо барвник, що міститься в ягодах, знебарвлюється гідроген пероксидом.

### Перевір себе

1. Перелічи предмети домашнього вжитку та побутові засоби, матеріали для яких створені хіміками.
2. Назви найпоширеніші розчинники. Речовини якого типу вони можуть розчиняти?
3. Що називають адгезією? Які типи клею тобі відомі?
4. Назви косметичні засоби, якими користуються у вашому домі.

### Поміркуй

1. Чому при використанні побутових хімікатів слід неухильно дотримуватись правил безпечного поводження з ними?
2. Жирну масляну пляму на світлому одязі посипають порошком крейди, використовуючи її як: а) окисник; б) відновник; в) нейтралізатор; г) адсорбент.
3. З якою метою, на твій погляд, до складу засобів для чищення посуду та раковин часто вводять тверді інертні речовини (абразиви)?

## § 22. Мила і синтетичні мийні засоби

*Опанувавши матеріал параграфа, ви дізнаєтесь про склад і хімічну природу мил та інших мийних засобів, про причини їхньої мийної дії, необхідність збереження водойм від шкідливих викидів мийних засобів.*



Мал. 3.30. Мило — поширений засіб особистої гігієни

**Значення мила і мийних засобів.** Мило (мал. 3.30) та синтетичні мийні засоби широко використовуються у сучасному виробництві та побуті. Усі ми щодня використовуємо мило для особистої гігієни. Відомо, що на кожному квадратному сантиметрі шкіри людини одночасно знаходиться від 100 тис. до 1 млн. мікроорганізмів. Шкіра виділяє особливі захисні речовини, що руйнують білки бактерій. Однак при її забрудненні виділення цих речовин різко знижується. При митті значна частина мікробів зі шкіри видалається. Тому потрібно слідкувати за чистотою шкіри й одягу.



Наведи приклади використання мила та інших мийних засобів у побуті та на виробництві.

**Хімічна природа мила та синтетичних мийних засобів.** Мило було відоме людині ще в стародавні часи. Миловарна промисловість існувала вже наприкінці епохи середньовіччя. Проте про хімічну сутність процесів добування мила та його мийної дії тоді майже нічого не знали. Лише в XIX ст. завдяки дослідженням багатьох учених, перш за все французьких хіміків Е. Шевреля та М. Бертло, була встановлена хімічна природа жирів і стала зрозумілою реакція їх омилення.

Мило за хімічним складом — це натрієва чи калієва сіль вищих карбонових кислот, наприклад, стеаринової:  $C_{17}H_{35}COONa$ ,  $C_{17}H_{35}COOK$ . Натрієві мила тверді, а калієві — рідкі.

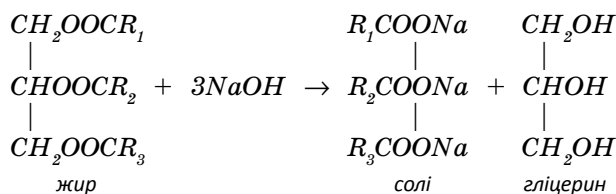
У виробництві мило добувають шляхом гідролізу (омилення) жирів.

1. Згадай, які речовини називають естерами.

2. Що являють собою жири? Що відбувається при гідролізі (омиленні) жирів?

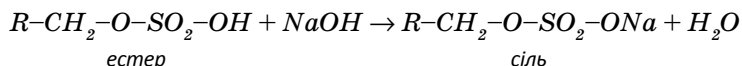
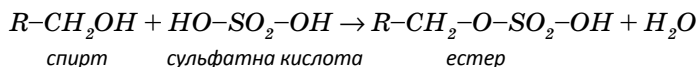
Ви вже знаєте, що за хімічною природою жири — це естери, утворені трьохатомним спиртом гліцерином і вищими карбоновими кислотами — переважно пальмітиною  $CH_3(CH_2)_{14}COOH$ , стеариною  $CH_3(CH_2)_{16}COOH$  і олеїною  $CH_3(CH_2)_7CH=CH(CH_2)_7COOH$ . У рідких рослинних жирах переважають ненасичені кислоти, зокрема олеїнова, які містять подвійні зв'язки, а в твердих тваринних жирах — насичені кислоти (стеаринова, пальмітинова тощо), в складі яких подвійні зв'язки відсутні.

У лужному середовищі жири піддаються гідролізу, або омиленню, розкладаючись на гліцерин та солі карбонових кислот:



Оскільки жири розкладаються у лугах, то більшість мийних засобів мають лужне середовище.

Останнім часом з милом (або замість нього) все частіше використовують синтетичні мийні засоби (СМЗ). Їх виготовляють на основі натрієвих солей естерів сульфатної кислоти та вищих спиртів:



Молекули солей, що є основою складовою мила та СМЗ, являють собою ланцюги, які мають гідрофобну та гідрофільну частини. «Філео» у перекладі з грецької — люблю. Отже, *гідрофільний* — це той, що любить воду, взаємодіє з її молекулами. «Фобос» означає страх, боязкість. Отже, *гідрофобний* — це той, що боїться води, уникає її. Неполарна частина молекули солі — вуглеводневий замісник  $CH_3-CH_2-CH_2-CH_2-...$  є гідрофобною, а полярна частина, що містить, наприклад, карбоксильну групу —  $COOH$ , — гідрофільною. Молекули таких речовин здатні *адсорбуватись*, тому їх називають *поверхнево-активними речовинами (ПАР)*.

Згадай, яке явище називають адсорбцією. Чому воно відбувається?

**Як діють мийні засоби?** Забруднення дуже різноманітні за своєю хімічною природою, проте найчастіше вони малорозчинні або зовсім нерозчинні у воді. Такі ре-

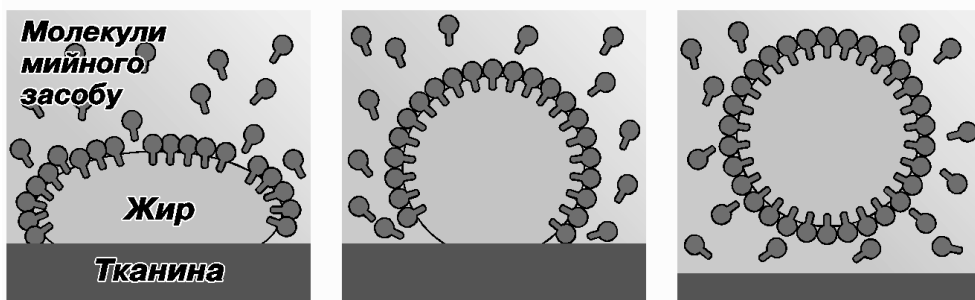


човини, як правило, є гідрофобними, тобто з водою вони не взаємодіють (у таких випадках кажуть, що вони не змочуються водою). Для видалення таких забруднень із поверхні треба використовувати мийні засоби.

Гідрофобна частина молекули речовини, що виявляє мийну дію, взаємодіє з неполярними молекулами забруднення, а гідрофільна (полярна) частина цієї молекули взаємодіє з полярними молекулами води (мал. 3.31). Полярна група молекули ПАР намагається проникнути у водне середовище, «тягнучи» при цьому за собою частинки забруднювача, «приєднані» до гідрофобного кінця цієї молекули. Крім того, молекули ПАР проникають у мікроскопічні щілини між частинками бруду і поверхнею, яка очищується, що також сприяє відриванню частинок бруду від поверхні. Окремі частинки бруду утворюють у водному середовищі емульсії або суспензії, що стабілізуються молекулами ПАР.

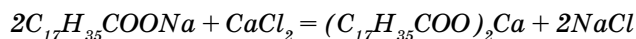
Для покращення прання брудної білизни мийний розчин нагрівають (чому?) та використовують механічну дію. Більшість мийних засобів утворюють стійку піну, яка також покращує механічне видалення бруду.

Отже, будь-який мийний засіб виконує подвійну функцію — взаємодіє із забруднюючою речовиною, видаляючи її з поверхні, та переводить забруднення у водний розчин.



Мал. 3.31. Схема дії мийних засобів

**Використання мийних засобів у побуті.** Найчастіше мийний засіб використовують для прання білизни. Однак нерідко при пранні мило втрачає свою мийну дію. Це трапляється у випадках, коли у воді, що використовується для прання, міститься велика кількість солей Кальцію та Магнію. Таку воду, як ви знаєте, називають *твердою*. Мило погано розчиняється у твердій воді, через те, що залишки вищих карбонових кислот утворюють із йонами Кальцію та Магнію нерозчинні солі:



Щоб мило не втрачало своїх якостей у такій воді, останню «пом'якшують». Для цього часто використовують соду (чому?). На відміну від мила, більшість СМЗ не утворюють нерозчинних солей і тому не втрачають мийної дії у воді будь-якої твердості.

Сьогодні промисловість виробляє великий асортимент мил і мийних засобів. Для виготовлення туалетного мила до нього додають парфумерні віддушки, відбілювачі, барвники тощо. Як правило, мила та СМЗ утворюють лужне або слабколужне середовище. Існують і такі мийні засоби, що утворюють середовище, близьке до нейтрального. Для сухої та нейтральної шкіри краще використовувати мило з нейтральним середовищем, а для жирної — із слабколужним.

Важливою умовою широкого застосування синтетичних ПАР як мийних засобів у побуті та промисловості є можливість їхнього біологічного розкладу, наприклад, бактеріями. Ця обставина має велике значення з екологічної точки зору. Справа

в тому, що синтетичні мийні засоби часто містять фосфати і до того ж не піддаються руйнуванню після їх використання. Потрапляючи у водойми (ставки, озера) вони створюють умови для сильного розростання зелених водних рослин. Це може призвести до загибелі флори і фауни водойм, оскільки водорості інтенсивно поглинають кисень, розчинений у воді. Ось чому перед хіміками стоїть важливе завдання створення таких мийних засобів, які б забезпечували не тільки високу мийну дію, але й руйнувалися під дією мікроорганізмів.

### Лабораторний дослід 9

#### Порівняння властивостей мила і синтетичних мийних засобів

Вам необхідно дослідити ефективність мийної дії мила та прального порошку у звичайній та твердій воді.

Перевірте свою готовність до проведення досліджень.

1. Які бувають мила?
2. Назвіть спільні та відмінні риси у складі мила та синтетичних мийних засобів (СМЗ).
3. Поясніть мийну дію мила та СМЗ. Які переваги мають СМЗ над милом?
4. Чим зумовлена твердість води?
5. Наведіть правила безпеки при нагріванні речовин і безпечного поводження з лугами та кислотами.

6. Для розщеплення молекул жиру застосовують «каустичну соду». Йони кислотних залишків пальмітинової та стеаринової кислот, вступаючи в реакцію з каустичною содою, утворюють мило. Запишіть рівняння реакції в молекулярному та йонному вигляді.

7. Якщо до складу мила входять йони Калію, його використовують для виготовлення кремів та засобів для гоління. Чому? Запишіть йонне рівняння взаємодії пальмітинової кислоти з калій гідроксидом.

**Реактиви і матеріали:** Водний розчин мила ( $w_{\text{мила}} = 1\%$ ), водний розчин прального порошку ( $w_{\text{порошку}} = 1\%$ ), спиртовий розчин фенолфталеїну.

**Дослід 1. Випробування розчинів мила та прального порошку на хімічний характер середовища.** У дві пробірки налийте по 1–2 мл розчинів мила і прального порошку. Додайте декілька крапель фенолфталеїну до вмісту кожної пробірки. Якого забарвлення набули розчини? Запишіть ваші спостереження і зробіть висновки.

**Дослід 2. Поводження мила і прального порошку у твердій воді.** У дві пробірки налийте по 2–5 мл твердої води. У першу пробірку додайте краплями розчин мила, а в другу — розчин прального порошку. Після кожної краплі вміст пробірок збовтуйте. Що спостерігаєте? У якій пробірці утворюється стійка піна? Чому? Зробіть висновок. Запишіть рівняння хімічних реакцій у молекулярному та йонному вигляді.

Зробіть загальний висновок. Як зберегти водойми, які заболочуються внаслідок викидів мийних засобів разом із стічними водами?

**Мийна дія мила та СМЗ зумовлена наявністю у їхньому складі поверхнево-активних речовин, які мають гідрофільну (полярну) та гідрофобну (неполярну) частини. Сучасна промисловість виробляє велику кількість мил та синтетичних мийних засобів, які широко використовуються у побуті та на виробництві.**

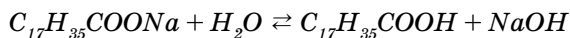
#### Перевір себе

1. Що являють собою мила?
2. Який склад найпоширеніших синтетичних мийних засобів?
3. Що зумовлює мийну дію цих засобів?
4. Які чинники слід враховувати при виборі мийного засобу?



### Поміркуй

1. Чи можна випрати білизну в морській воді за допомогою мила? Чому?
2. Чому СМЗ не втрачають своїх властивостей у твердій воді?
3. Щоб ти порадив(ла) використовувати для миття дуже жирного посуду — засіб із нейтральним середовищем чи лужним — і чому?
4. Мило піддається гідролізу гарячою водою:



Для захисту шкіри рук від подразнення під час ручного прання милом їх миють водою, до якої додають: а) кухонну сіль; б) етиловий спирт; в) питну соду; г) харчовий оцет.

5. При пранні виробів, що мають забруднення біологічного походження, наприклад плями крові, використовують засоби, що містять ферменти. Чи можна користуватись ними при пранні у дуже гарячій воді?

### Подискутуйте

1. Враховуючи хімічні властивості білків, визначте порядок миття посуду з-під молока: а) миють гарячою, а потім холодною водою; б) витирають насухо і миють гарячою водою; в) миють холодною, а потім гарячою водою.
2. Чому мило «щипає» очі?

### Практична робота

#### Видалення забруднень з поверхні тканини

*Виконавши практичну роботу, ви навчитесь видаляти забруднення, плями різного походження з поверхні різних тканин*

#### Перевірте свою готовність до виконання роботи

1. Якими засобами для видалення бруду ви користуєтесь в домашніх умовах?
2. Як поведуть себе мило і синтетичні мийні засоби у твердій воді?
3. Чи всі плями на тканинах можна видалити за допомогою мила, СМЗ? Які розчинники вам відомі з побуту та курсу органічної хімії?
4. Із побутової практики пригадайте, у якій рідині — воді, спирті, бензині тощо — жир розчиняється краще? Яким розчинником ви користуватиметесь для виведення з тканини жирних плям?
5. Яких правил техніки безпеки необхідно дотримуватися під час роботи з хімічними речовинами?

#### Завдання

Варіант 1.	На трьох зразках тканин невідомого походження плями від крові, кави та жиру тваринного походження.
Варіант 2.	На трьох зразках тканин невідомого походження плями від іржі, какао та жиру рослинного походження.

Дослідіть вид тканин, характер плям та, користуючись *табл. 9*, визначте, який реагент потрібен для видалення плям і яким способом це необхідно зробити. З дозволу вчителя практично здійсніть видалення плям. **Зразки тканин з жировими плямами необхідно визначити методом виключення.** Результати дослідів занесіть до таблиці. Зробіть висновки та підбийте підсумки роботи.

Способи видалення плям з різних тканин

№ п/п	Характер плям	Вид тканин	Реагенти для застосування	Спосіб видалення
1.	Плями від крові	Усі тканини	Холодна вода з додаванням нашатирного спирту ( $w = 0,1\%$ )	Замочити, після чого обробити в теплому мильному розчині
		Біла тканина	Нашатирний спирт ( $w = 25\%$ ) з наступною обробкою розчином гідроген пероксиду ( $w = 3\%$ )	Розчини необхідно нанести ватним тампоном на плями (без нагрівання)
		Вовняна тканина	Розчин оцтової кислоти ( $w = 30\%$ )	Вибрати на вату, нейтралізувати нашатирним спиртом і промити холодною водою
2.	Плями від фруктів, ягід, фруктових соків, червоного вина	Біла тканина	Розчин калій перманганату ( $w = 0,2\%$ )	Розчин ватним тампоном нанести на пляму, обробити розчином гідроген пероксиду ( $w = 3\%$ )
3.	Плями від трави	Усі тканини	Етанол	Протерти ватним тампоном, а потім промити водою
4.	Плями від іржі	Усі тканини	Розчин оксалатної (щавлевої) кислоти або її кислоти калієвої солі	Розчин нанести ватним тампоном на пляму і негайно змити теплою і холодною водою
5.	Плями від масляних фарб, жирів тваринного, рослинного походження	Усі тканини за винятком ацетатних	Суміш хлороформу, спирту та ефірів, взятих у рівних частинах	Вибрати на вату, після чого промити в уайт-спіриті
			Суміш бензену і хлороформу в рівних частинах	Вибрати на вату, після чого промити в уайт-спіриті
6.	Плями від кави, какао, молока, шоколаду	Усі тканини	Нашатирний спирт Гліцерин	Протерти розчином, після чого промити в холодній воді Протерти до зволоження, промити в теплій мильній воді

Таблиця 10

Результати дослідження

№ зразка	Вид тканини	Характер плями	Реагент для застосування	Спосіб видалення	Спостереження. Висновки
1.					
2.					
3.					

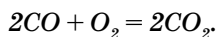
## § 23. Використання органічних речовин і захист довкілля

*Опанувавши матеріал параграфа, ви узагальните знання про шкідливий вплив на довкілля, зумовлений використанням органічних речовин, зокрема продуктів переробки вуглеводневої сировини; переконаєтесь у необхідності дбайливого ставлення до природи.*

Вивчаючи хімію у попередніх класах, ви пересвідчилися у найширшому використанні органічних речовин та створених на їхній основі продуктів на виробництві та у повсякденному житті. Однак, виробничі процеси, особливо ті, що базуються на використанні продуктів переробки вуглеводневої сировини, супроводжуються, як правило, забрудненням навколишнього середовища. Основними джерелами забруднення довкілля є транспорт, насамперед автомобільний, теплові електростанції, підприємства кольорової, нафтопереробної та хімічної промисловості, коксохімічні виробництва. Внаслідок їхньої діяльності в атмосферу, гідросферу, ґрунт щорічно потрапляють десятки мільйонів тонн речовин, шкідливих для довкілля.

**Найпоширеніші забруднювачі довкілля при використанні продуктів переробки вуглеводнів.** Використання переважної більшості продуктів на основі вуглеводнів полягає у їхньому окисненні чи згоранні. Серед продуктів згорання найнебезпечнішими для довкілля та людини є оксиди Карбону, Сульфуру, Нітрогену.

Карбон(II) оксид CO, як відомо, є одним із найотруйніших газів. Його токсичність обумовлена тим, що він міцно зв'язується з гемоглобіном крові і тому перешкоджає переносу кисню в організмі. Для знешкодження CO вихлопні гази сучасних автомобілів пропускають через горілки з каталізаторами, в яких відбувається повне згорання чадного газу з утворенням вуглекислого газу:



Основними джерелами забруднення повітря сульфур діоксидом SO<sub>2</sub> є теплові електростанції та теплоцентралі, в яких спалюється вугілля з високим вмістом Сульфуру. Значна частина SO<sub>2</sub> при горінні окиснюється до SO<sub>3</sub>, який з водою утворює сульфатну кислоту.

- Напиши рівняння реакції утворення SO<sub>3</sub> та H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> в атмосфері.

Утворені речовини наносять значну шкоду зеленим насадженням, а в людини викликають захворювання дихальних шляхів.

Оксиди Нітрогену, що утворюються при роботі бензинових двигунів, також небезпечні. Окиснюючись в атмосфері та взаємодіючи з водою, вони утворюють нітратну кислоту, яка випадає у вигляді кислотних дощів на землю, наносячи збитки природі. До того ж, зазначені оксиди разом з вуглеводнями, що попадають в атмосферу при неповному згоранні палива або його випаровуванні, за певних умов можуть утворювати смог. Останній є дуже небезпечним для людей, особливо тих, хто страждає порушеннями обміну речовин та дихальних шляхів.

Для зменшення кількості шкідливих газів, що викидаються у довкілля на підприємствах хімічної та переробної промисловості, паливної галузі, встановлюють різноманітні фільтри, газовловлювачі тощо.

Останнім часом помітно зросли небезпеки, пов'язані з аваріями нафтоносних свердловин та океанських танкерів, що перевозять нафту. Розливаючись тонким шаром на поверхні морів та океанів, нафта наносить значні екологічні збитки.

- Чому, на твій погляд, розливання нафти шкодить морській флорі та фауні?

**Технологічна діяльність людини і екологія.** За мільйони років у природі встановились рухливі, динамічні рівноваги, які найбільшою мірою відповідають нормальному функціонуванню біосфери. Природа організовується, так би мовити, за принципом безвідходного виробництва: продукти життєдіяльності одних організмів

---

мів життєво необхідні іншим. При порушенні тих чи інших рівноваг природа серією змін повертається до початкового стану. Життєздатність природних систем, таким чином, не порушується.

Однак, внаслідок технологічної діяльності людини в атмосферу, ґрунт, водне середовище викидається така велика кількість шкідливих речовин, що з їхньою утилізацією природа вже не справляється. До того ж, у навколишнє середовище потрапляє значна кількість нових, переважно органічних речовин, невідомих природі, речовин, до яких вона не пристосована. Якщо не здійснювати необхідних природоохоронних заходів, то господарська діяльність людини може призвести до загибелі біосфери.

Ефективним засобом розв'язання екологічних проблем може стати створення нешкідливих маловідходних технологічних процесів, виробництв із замкнутим циклом. Так, при використанні замкнутої водооборотної системи повністю усувається скидання стічних вод у довкілля. З допомогою низки хімічних реакцій та фізико-хімічних процесів, наприклад адсорбції, йонного обміну тощо вдається вилучити солі та шкідливі домішки із стоків, які після обробки знову повертаються у виробничий цикл. Хімічні виробництва, що працюють за принципом циклічності (безперервності), можна автоматизувати, що покращує умови праці робітників.

Для зменшення викидів шкідливих оксидів Сульфуру та Нітрогену при нафтопереробці нафтопродукти обробляють воднем при нагріванні і тиску в присутності каталізаторів. Сульфур- та нітрогеновмісні речовини при цьому розкладаються, утворюючи сірководень  $H_2S$  та аміак  $NH_3$ , які також використовуються. Сірководень, наприклад, іде на виробництво сірки та сульфатної кислоти, аміак — на виробництво нітратної кислоти і мінеральних добрив.

Така комплексна переробка нафти відповідає сучасним вимогам до технологічних процесів, є однією з ланок *безвідходних виробництв*. В перспективі треба прагнути до створення саме таких виробництв. Їх широке впровадження дозволить економічно витратити сировину і, головне, оберігати довкілля від шкідливих відходів виробництва. Нові заводи проєктують і будують переважно як безвідходні виробництва, з урахуванням нанесення мінімальної шкоди природному середовищу.

**Ноосфера — сфера розуму.** Людська цивілізація — одна із наймогутніших сил перетворення природи. На рубежі III тисячоліття стало зрозумілим, що людина не може безоглядно панувати над природою.

Людина є частиною природи, тому повинна співіснувати з нею, бути здатною, як висловлюються вчені, до коеволюції з природою. Суспільству треба навчитися такому способу поведінки, який би забезпечував подальший розвиток біосфери. Наш славетний співвітчизник академік В. І. Вернадський висунув ідею про перехід у недалекому майбутньому біосфери в *ноосферу* — сферу розуму, де виробництво і споживання стануть основою гармонійного розвитку суспільства і природи.

Останнім часом проведено кілька великих міжнародних конференцій з участю керівників більшості держав світу, на яких розглядалися проблеми сталого розвитку суспільства. В рішеннях конференцій підкреслювалось, що та модель розвитку цивілізації, яка діє сьогодні (споживацьке суспільство, неконтрольовані ринкові відносини, безупинне індустріальне зростання), може призвести, якщо її не скорегувати, до глобальної катастрофи. Потрібна зміна світогляду, усвідомлення людством необхідності корегування своїх потреб, переходу до раціонального споживання і використання природних ресурсів, суттєвого зменшення навантаження на біосферу та зниження забрудненості природного середовища.

**Широке використання органічних речовин, особливо продуктів переробки вуглеводневої сировини, призводить до забруднення довкілля шкідливими сполуками. Господарська діяльність людини порушує природні рівноваги, загрожує загибеллю**



біосфери. Для збереження природи необхідне формування екологічного світогляду, зниження техногенного навантаження на біосферу, впровадження безвідходних технологічних процесів.

#### Запиши до словника

**Екологія** — комплексна наука, що вивчає закономірності функціонування біосфери і спрямована на з'ясування умов сталого співрозвитку природи і суспільства.

**Безвідходні виробництва** — технологічні процеси, що передбачають комплексне використання сировинних і енергетичних ресурсів без втрат для навколишнього середовища.

**Ноосфера** — сфера розуму; стан біосфери, коли розумна діяльність людини є вирішальним чинником її розвитку

Жити щасливо і жити у злагоді з природою — одне й те саме.

**Л. Сенека**

У геологічній історії біосфери перед людиною відкривається величне майбутнє, якщо вона зрозуміє це і не буде використовувати свій розум і свою працю на самознищення

**Академік В. І. Вернадський.**

Люди — володарі унікального і неповторного дива Всесвіту — Землі. У них ніколи не буде іншого пристанища. Вони зобов'язані її зберегти.

**Академік Б. С. Соколов**

#### Перевір себе

1. Назви основні джерела забруднення навколишнього середовища.
2. Перелічи найпоширеніші речовини, що забруднюють атмосферу.
3. Чим небезпечний процес неповного згорання бензину в автомобільних двигунах?
4. Що таке циклічний виробничий процес, безвідходні технології? Які їхні переваги? Наведи приклади таких процесів.

#### Поміркуй

1. Азот є досить інертною сполукою, однак у верхніх шарах атмосфери він може взаємодіяти з утворенням оксидів та кислот. Що може спонукати його до окиснення в атмосфері?
2. В чому полягають екологічні проблеми Дніпра та інших річок України? Як ти гадаєш, чи можливо відновити їхні екосистеми?
3. \* Автомобільний двигун за годину витрачає 4 кг бензину. Вважаючи, що бензин складається з октану, розрахуй об'єм утвореного чадного газу, якщо його частка становить 0,01% від загального об'єму утворених газів.
4. \* Внаслідок спалювання протягом доби 2000 т вугілля на теплоелектроцентралі фільтри вловлюють 120 т сульфур (IV) оксиду. Знайди масу сульфатної кислоти, яку можна добути, якщо використати весь сульфур (IV) оксид?
5. \* При згоранні вугілля, яке містить 0,3% сірки, утворюється сульфур (IV) оксид. Ступінь очищення газів шляхом каталітичного окиснення сульфур діоксиду в сульфур триоксид становить 99%. Визнач об'єм сульфуровмісних викидів при спалюванні на теплоелектроцентралі 1000 т вугілля.
6. \* Апарат для обезфенолювання повітря на хімічному заводі (в закритому приміщенні) очищує 40000 м<sup>3</sup> повітря за годину. За добу апарат вбирає 1400 г фенолу. Яка





концентрація фенолу в повітрі після очищення, якщо до очищення вона становила 1,85 мг/м<sup>3</sup>? Чи перевищує це гранично допустиму концентрацію (ГДК) фенолу в повітрі робочих приміщень та населених пунктів (ГДК фенолу в повітрі робочих приміщень — 5 мг/м<sup>3</sup>, а в повітрі населених пунктів — 0,01 мг/м<sup>3</sup>)?

7. \* Вираженням дії якого загального закону природи є встановлення динамічних природних рівноваг? Наведи приклади таких рівноваг.

### Подискутуйте

1. Одні видання пишуть, що хімія є головним винуватцем погіршення стану довкілля, інші ж, навпаки, стверджують, що вона — головна сила у боротьбі за чистоту природи. Хто ж має рацію?
2. Запропонуйте кілька способів покращення екологічної ситуації у своєму місті, селі, районі. Визначте, чия пропозиція найкраща.

Оберіть проект: 1. Охорона водойм своєї місцевості від забруднень.

## § 24. Лікарські рослини своєї місцевості та захист свого довкілля від забруднень.

### УРОК У ДОВКІЛЛІ

*Обладнання:* довідник з лікарських рослин, пробірки, пінцет.

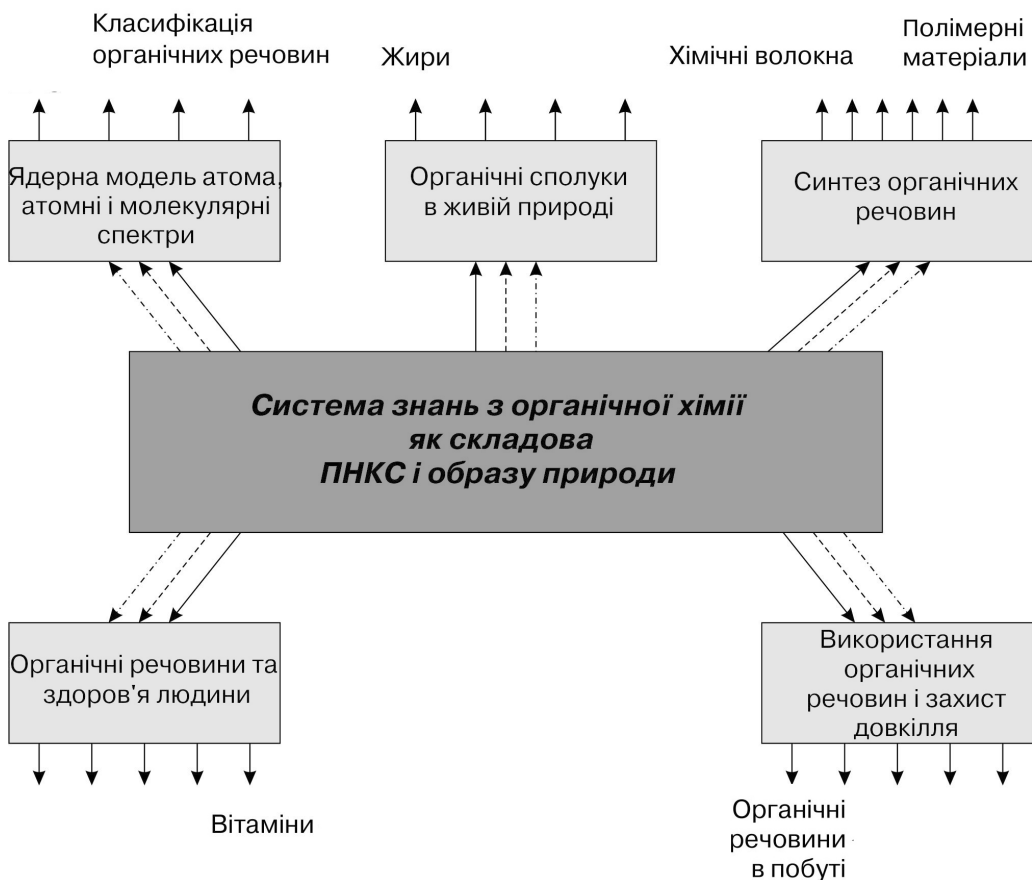
*Мета уроку:* виявити лікарські рослини своєї місцевості; забрудненість берега водойми.

1. Вийдіть на екологічну стежку або ділянку вказану вчителем.
2. Виявіть за допомогою довідника лікарські рослини своєї місцевості. З дозволу вчителя зберіть лікарські рослини.
3. Підійдіть до берега водойми. Дослідіть чи є на ньому сліди забруднення води і ґрунту.
4. Наберіть у пробірки води для виявлення у ній шкідливих домішок.
5. По народному календарю визначте передбачення стану довкілля над два три дні; на місяць.
6. Зробіть фотографії або малюнки лікарських рослин. Складіть прогноз їх збереження в довкіллі.
7. Напишіть звіт про виконану роботу у зошиті для дослідження довкілля.

### УЗАГАЛЬНЕННЯ ЗНАНЬ З ТЕМИ «ОРГАНІЧНІ СПОЛУКИ»

1. Основні положення теорії та поняття хімічної будови органічних сполук, обґрунтування їх за допомогою загальних закономірностей природи.
2. Органічні речовини в живій природі. Біополімери як основа єдності та різноманітності живих систем, її пояснення на основі збереження і перетворення енергії.
3. Синтез органічних сполук. Прояв у цих процесах зсп.
4. Органічні речовини, їх роль у збереженні здоров'я людини. Роль науково-природничої компетентності у розкритті ролі.
5. Органічні сполуки в побуті. Роль науково-природничих знань в захисті довкілля від забруднення





Мал. 3.32. Варіант СЛС хімічного модулю

### САМОПЕРЕВІРКА ЗНАТЬ З ТЕМИ

- Валентність атома Карбону в органічних сполуках:
 

а) IV;	в) II;
б) III;	г) I.
- Основу природного газу складає:
 

а) бутан;	в) ацетилен;
б) пропан;	г) метан.
- Перегонка нафти базується на:
 

а) фізичних властивостях;	в) розчинності нафти;
б) реакції розкладу;	г) хімічних властивостях.
- Перевагою синтетичних мийних засобів над милом є те, що вони:
 

а) миють у холодній воді;	в) дають більший економічний ефект.
б) миють у твердій воді;	
- Реакція полімеризації належить до типу реакцій:
 

а) приєднання;	в) розкладу;
б) заміщення;	г) обміну.

6. До біополімерів належать:
- а) крохмаль; г) естери;  
 б) білки; д) сахароза;  
 в) поліетилен; е) целюлоза.
7. На основі теорії хімічної будови можна пояснити:
- а) взаємозв'язок між органічними та неорганічними речовинами;  
 б) чому гомологи мають схожі властивості;  
 в) чому ізомери мають різні властивості;  
 г) причини різноманітності органічних речовин.
8. Теорія О. М. Бутлерова встановлює зв'язок між:
- а) добуванням і застосуванням речовини;  
 б) органічними та неорганічними речовинами;  
 в) складом, будовою і властивостями речовини;  
 г) складом і застосуванням речовини.
9. Відмінні ознаки *гомологів* (1), *ізомерів* (2):
- а) якісний склад; д) хімічні властивості;  
 б) кількісний склад; е) молярна маса;  
 в) хімічна будова; е) молекулярна формула.  
 г) фізичні властивості;
10. Встанови відповідність:
1. Капрон а) природне волокно;  
 2. Віскоза б) штучне волокно;  
 3. Бавовна в) синтетичне волокно;
11. Наведені речовини:
- $\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_3$  а) ізомери;  
 $\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CH}_2-\text{CH}_3$  б) гомологи;  
 $\text{HC}\equiv\text{C}-\text{CH}_2-\text{CH}_3$  в) ні ізомери, ні гомологи.
12. Встанови відповідність:
1. Процес фотосинтезу а)  $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ ;  
 2. Процес клітинного дихання б)  $n\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5 + n\text{H}_2\text{O} \rightarrow n\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ ;  
 3. Процес повного згорання в)  $\text{C}_4\text{H}_{10} + \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ ;  
 г)  $\text{C}_2\text{H}_2 + \text{O}_2 \rightarrow \text{CO} + \text{H}_2\text{O}$ ;  
 д)  $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + \text{O}_2$ .
13. Склади рівняння реакцій за наведеними схемами:
1.  $\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} \rightarrow \text{CaC}_2 \rightarrow \text{C}_2\text{H}_2 \rightarrow \text{C}_2\text{H}_4 \rightarrow (-\text{CH}_2-\text{CH}_2-)_n$   
 2.  $\text{C}_8\text{H}_{18} \rightarrow \text{C}_4\text{H}_{10} \rightarrow \text{C}_4\text{H}_9\text{Br}$   
 3.  $\text{C}_4\text{H}_{10} \rightarrow \text{C}_2\text{H}_4 \rightarrow (-\text{CH}_2-\text{CH}_2-)_n$   
 4.  $\text{C}_4\text{H}_{10} \rightarrow \text{C}_2\text{H}_6 \rightarrow \text{C}_2\text{H}_5\text{Br} \rightarrow \text{C}_4\text{H}_{10}$
14. \* Для спалювання природного газу об'ємом 106,11 л (н.у.), який містить 95% метану витрачається повітря об'ємом:
- а) 448 л; в) 1008 л;  
 б) 100,8 л; г) 504 л.
- Вважати, що в повітрі міститься 20% кисню за об'ємом.
15. \* Для спалювання суміші пропану і бутану об'ємом 40 л (н.у.), у якій об'ємне співвідношення газів 1:1, витрачається повітря об'ємом:
- а) 287,5 л; в) 100 л;  
 б) 200 л; г) 40 л.





## 4. БІОЛОГО-ЕКОЛОГІЧНИЙ МОДУЛЬ

### ТЕМА 1. ОРГАНІЗМОВИЙ РІВЕНЬ ОРГАНІЗАЦІЇ ЖИВОЇ ПРИРОДИ

Здатність до розмноження (самовідтворення) — характерна властивість біологічних систем. На молекулярному рівні організації життя цей процес пов'язаний з молекулами нуклеїнових кислот, з їх унікальною здатністю до самоподвоєння. На клітинному та організменому рівнях організації життя розмноження об'єднує різні за складністю процеси: від простого поділу клітин у бактерій та інших одноклітинних організмів до складних статевих процесів у рослин, тварин і грибів.

**Місце знань біолого-екологічного модуля в ПНКС та образі природи випускників. Роль ЗЗП в поясненні біолого-екологічних знань**

Розвиваючись, кожна наука не лише поглиблює свої знання про природу, але і розширює межі своїх досліджень. Тому постає необхідність у збереженні інтеграції, на основі загальних закономірностей природи, біології, екології та інших предметів природничого циклу для отримання цілісних знань про природу, їх розуміння та систематизації, для формування в свідомості учнів природничо-наукової картини світу та образу природи.

Знання біолого-екологічного модуля мають вагоме значення в ПНКС випускників, адже це система знань про природу, в основі якої лежать найбільш загальні, єдині для всіх природничих об'єктів закономірності, які пов'язані з фундаментальними ідеями біології та екології. Під час засвоєння змісту цих наук у випускників формується система біолого-екологічних знань, яка складає образ природи, в основі якого лежать загальні закономірності природи (збереження; направленості самочинних процесів до рівноважного стану; періодичності процесів у природі) і на їх основі пояснюються біологічні та екологічні процеси та явища. Розглянемо зміст цих закономірностей — до складу *закономірності збереження* входить закон збереження і перетворення енергії, який застосовується під час пояснення енергетичних процесів у клітині, обміну живих організмів енергією із середовищем життя та при поясненні понять розмноження, спадковості, обміну речовин та ін. *Закономірність спрямованості самочинних процесів до рівноважного стану* проявляється у теорії еволюції Ч. Дарвіна, яка полягає у наступному: еволюція живих організмів відбувається на основі їх спадкової мінливості під дією боротьби за існування шляхом природного добору. Зміст *закономірності періодичності* виявляється у біоритмах і таких процесах як: розмноження, обмін речовин, «хвилі життя» (коливання чисельності особин у популяції).

Образ природи, в свою чергу, сприяє формуванню образу світу випускника, що включає особистісно значиму систему знань про дійсність, яку він створив на закінчення школи.

#### § 1. Поняття розмноження та його пояснення на основі ЗЗП

Нестатеве розмноження організмів

**Розмноження** — це властивість організмів, що забезпечує неперервність і спадковість їхнього життя. Подібно до подразливості і рухливості здатність розмножуватися витікає із процесу обміну речовин, але на відміну від інших властивостей спостерігається лише у відповідний період життя організмів, що пояснюється на основі закономірності періодичності.

Розмножуючись, організми відтворюють собі подібних, що й забезпечує існування виду і в просторі, і в часі та пояснюється на основі закономірності збереження. У разі втрати цієї здатності вид приречений на вимирання. Утворення нового потомства не завжди забезпечує його розмноження, тобто збільшення в кількості. Останнє не відбувається, якщо кількість дочірніх особин дорівнює кількості батьківських, або призводить до їх зменшення.

Відомі дві основні форми розмноження організмів: нестатеве і статеве. При нестатевому розмноженні нове покоління бере початок лише від однієї батьківської особини, тоді як при статевому розмноженні — від двох батьківських (чоловічої і жіночої).

**Нестатеве розмноження** — це процес відтворення організмів з однієї або кількох нестатевих (соматичних) клітин материнської особини. Така форма розмноження властива більшості одноклітинних організмів (амебі, хламідомонаді, хлорелі тощо), а також деяким багатоклітинним (мохам, папоротям, кишковопорожнинним тваринам тощо), що є проявом закономірності збереження.

Різновидностями нестатевого розмноження організмів є простий чи множинний поділ материнської клітини (соматичної), споруутворення, вегетативне розмноження, брунькування.

Більшість одноклітинних організмів розмножується **множинним поділом клітини**, в основі якого лежить мітоз. Спочатку багаторазово ділиться ядро материнської клітини, яка врешті стає багатоядерною, а вже потім ділиться цитоплазма й утворюються дві або безліч одноядерних дочірніх клітин. Найвні в одноклітинному організмі органели рівномірно розподіляються між дочірніми клітинами. Якщо ж певна органела присутня в материнській клітині в однині, то вона потрапляє до однієї з дочірніх особин, а в іншій формується наново (наприклад, довгий джгутик у евглени зеленої).

Під час такого виду розмноження утворюються дочірні клітини, але вдвічі менші розмірами за материнську. Вони живляться, ростуть і, коли досягають розмірів материнської, починають розмножуватися, що є проявом закономірності направленості процесів. Такий тип нестатевого розмноження характерний для амеби-протея, евглени зеленої, інфузорії-туфельки, малярійного плазмодія, водоростей хлорели та хламідомонади тощо.

**Споруутворення** — це процес, у результаті якого утворюються спори (мікроскопічні одно- або багатоклітинні утворення), за допомогою яких потім організми розмножуються. Споруутворення спостерігається переважно у багатоклітинних грибів, водоростей, мохів, папоротей, плаунів, хвощів, але найвніше й у деяких одноклітинних (малярійного плазмодія, водорості хламідомонади тощо). На *мал. 4.1,1* зображено листок папороті з численними спорангіями зі спорами та проросла одна зі спор (*мал. 4.1,2*).

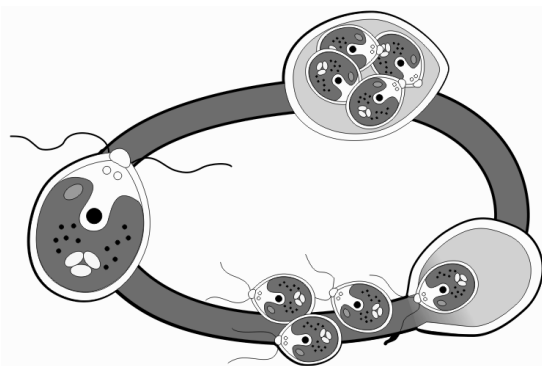


1



2

Мал. 4.1. Спори: 1 — на листку папороті; 2 — проросла спора



Мал. 4.2. Розмноження хламідомонади зооспорами

Наприклад, у рослин і грибів спори слугують не тільки для перецікування несприятливих умов існування та поширення (подібно спорам бактерій), але й для розмноження, і утворюються вони у спеціальних органах — спорангіях.

Якщо спори мають джгутики (органели руху), як у деяких водоростей (хлорели, хламідомонади), то вони називаються **зооспорами** (мал. 4.2).

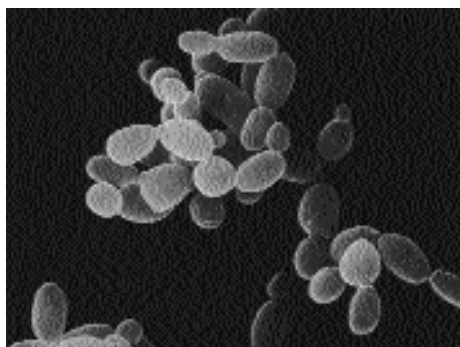
Спори, які не здатні самостійно рухатися, поширюються водою, вітром та іншими організмами. Тривалість життя зооспор — від кількох хвилин до декількох годин, тоді як нерухомі

спори можуть зберігати життєздатність протягом років, іноді — десятків років, бо вони вкриті щільною оболонкою, що є проявом закономірності збереження.

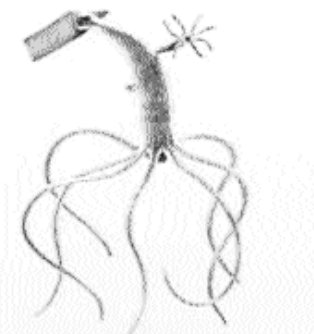
У бактерій спорування не є способом розмноження. Це приклад пристосування до виживання у несприятливих умовах.

**Брунькування**, як різновид нестатевого розмноження, властиве деяким як одноклітинним, так і багатоклітинним організмам. При брунькуванні на материнському організмі утворюється брунька — виріст із якого розвивається нова особина.

Наприклад, у одноклітинних грибів дріжджів брунькування полягає в тому, що на материнській клітині спочатку утворюється випинання, схоже на бруньку, яке поступово збільшується і перетворюється на самостійну клітину (мал. 4.3, 1). Остання легко відокремлюється і переходить до самостійного існування.



1



2

Мал. 4.3. Брунькування: 1 — у дріжджів; 2 — у гідри

У багатоклітинних організмів (наприклад, у прісноводної гідри, попелиці, актинії тощо) брунька утворюється в ектодермі внаслідок поділу проміжних клітин. Брунька росте, видовжується, на передньому її кінці з'являється ротовий отвір, оточений щупальцями. Брунькування завершується формуванням маленької гідри, яка потім відокремлюється від материнського організму (мал. 4.3, 2).

**Вегетативне розмноження** — це вид нестатевого розмноження, при якому з вегетативних органів материнського організму (або їх видозмін) утворюються нові особини (мал. 4.4).

Розрізняють природне і штучне вегетативне розмноження у рослин. У природі рослини вегетативно розмножуються відводками, **виводковими бруньками**, кореневими паростками, кореневищами, бульбами, цибулинами тощо. Розмноження рослин за до-

помогою виводкових бруньок характерне для мохів, папоротей та інших рослин, які ростуть у вологих місцях. Деякі рослини (шипшина, робінія звичайна, ожина, хрін) розмножуються кореневими **паростками**, що розвиваються з додаткових бруньок, які закладаються на корені.

Наземними повзучими пагонами вегетативно розмножуються суниця, косяниця, перстач повзучий тощо. Стелячись по землі, вони утворюють у вузлах додаткові корені та вертикальні пагони, вкриті листками. Серед **підземних пагонів**, за допомогою яких рослини розмножуються вегетативно, є кореневища, бульби, цибулини. **Кореневищами** розмножуються трав'янисті багаторічні рослини (пирій, валеріана), **бульбами** – картопля, топінамбур, цибулиною – цибуля, тюльпан, лілія, нарцис.

**Штучне вегетативне розмноження** застосовують у практиці сільського господарського виробництва і декоративного садівництва. Більшість рослин можна розмножувати **живцями**, тобто частинами кореня, стебла, листка. **Стебловими живцями** (літній пагін з листками) розмножують смородину, виноград; **листяними живцями** – бегонію королівську, фіалку узамбарську, сансевіерію; кореневими живцями – малину, сливу, айву та інші плодові рослини. **Відводками** можна розмножувати виноград, агрус, калину, смородину та інші рослини.

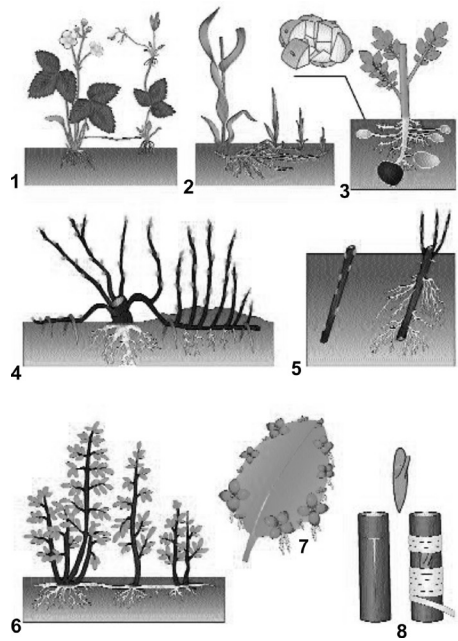
**Фрагментація** спостерігається у багатоклітинних водоростей, грибів і лишайників, плоских червів, морської зірки. Вона відбувається за допомогою відокремлення відповідних ділянок тіла (наприклад, у зелених нитчастих водоростей, цвілевих грибів) або за рахунок спеціалізованих утворів (у лишайників).

**Біологічне значення розмноження.** Нестатеве розмноження для деяких організмів є єдиним способом розмноження. Це переважно види з коротким життєвим циклом, які за рахунок нестатевого розмноження можуть за незначний період значно збільшити свою чисельність, що є проявом закономірності збереження та періодичності процесів.

Особливе значення має штучне вегетативне розмноження рослин у сільському господарстві. При його використанні кількість нащадків значно більша, ніж при статевому розмноженні. Нащадки при цьому генетично подібні до материнських організмів. Людина використовує цю властивість під час розмноження культурних рослин, підтримуючи з покоління в покоління властивості певних сортів, що є проявом закономірності збереження.

Більшість організмів можуть розмножуватися як статевим, так і нестатевим способами. Коли чинники навколишнього середовища сприятливі, зазвичай організми розмножуються нестатевим, максимально експлуатуючи ресурси навколишнього середовища. Коли джерела їжі виснажуються, екологічні умови погіршуються то організми переходять до статевої форми розмноження, що є проявом закономірності періодичності.

Нестатеве розмноження виникло раніше за статеве у еволюції. Вважається, що це був перший тип розмноження, що виник у момент отримання організмами індивідуальності. Хоча переваги статевого розмноження серед багатоклітинних організмів добре відомі, їх кількісний внесок та еволюція статевого розмноження все ще активно досліджуються.



Мал. 4.4. Вегетативне розмноження рослин:  
1 – вусами; 2 – кореневищами; 3 – бульбами;  
4 – відводками; 5 – стебловими живцями;  
6 – кореневими живцями;  
7 – виводковими бруньками; 8 – щепленням.

---

---

Розмноження є універсальною властивістю організмів, завдяки якій забезпечуються неперервність і спадковість життя, що є проявом закономірності збереження та періодичності процесів.

Нестатеве розмноження — це процес відтворення організмів з однієї або кількох нестатевих (соматичних) клітин материнської особини. Різновидностями нестатевого розмноження організмів є простий чи множинний поділ материнської клітини (соматичної), брунькування, споруутворення, вегетативне розмноження та фрагментація.

#### Перевірте себе

1. Що таке розмноження?
2. Яке розмноження називають нестатевим? Наведіть приклади організмів, які здатні до нестатевого розмноження.
3. Які є різновиди нестатевого розмноження?
4. Які типи нестатевого розмноження характерні для одноклітинних організмів? Наведіть приклади.
5. Що спільного і відмінного у брунькуванні і споруутворенні?

#### Поміркуйте

1. Поясніть, чому споруутворення у бактерій не є прикладом нестатевого розмноження.
2. У чому полягає ефективність вегетативного розмноження рослин?
3. Поясніть біологічне значення розмноження організмів та обґрунтуйте його зв'язок із ЗЗП?
4. Поясніть твердження «розмноження — основа існування виду».

#### Подискутуйте

1. Чому більшість одноклітинних організмів розмножується нестатевим способом?
2. Запропонуйте способи вегетативного розмноження смородини, суніці, фіалки, троянди.

#### Проекти (на вибір)

1. Нестатеве розмноження у спорових рослин.
2. Розмноження рослин щепленням.
3. Способи розмноження кімнатних рослин.

## § 2. Статеве розмноження організмів.

### Будова і утворення статевих клітин

**Статеве розмноження** — це форма розмноження, за якої новий організм розвивається із зиготи, що утворюється внаслідок злиття статевих клітин (чоловічої і жіночої гамет). Воно наявне у життєвому циклі більшості організмів. Хоча є серед рослин (мохи, папороті, хвоці, плауни) і тварин (гідра, медузи, коралові поліпи) види, яким характерне чергування статевого і нестатевого способів розмноження. Але більшість вищих рослин і тварин розмножується лише статевим способом, в основі якого лежить статевий процес. Під час статевого процесу відбувається не лише злиття цитоплазми статевих клітин, а й обов'язковим є злиття їхніх ядер, які мають одинарний (гаплоїдний) набір хромосом ( $n$ ). Ядро утвореної зиготи має подвійний ( $2n$ ) набір хромосом і його називають диплоїдним.

**Статевий процес** — це поєднання в одній клітині генетичного матеріалу двох різних особин (чоловічої і жіночої). Він може здійснюватися також у формах копуляції та кон'югації.



**Копуляція** — це з'єднання двох особин при статевому акті або злиття двох гамет (у найпростіших, водоростей, грибів).

**Кон'югація** — це тип статевого процесу, властивий деяким діатомовим водоростям, грибам зигоміцетам, більшості інфузорій, а також бактерій. Такі організми називають кон'югантами, що говорить про їх здатність до кон'югації. Кон'юганти не мають статевої диференціації. Під час кон'югації у бактерій дві клітини обмінюються фрагментами своїх молекул ДНК через цитоплазматичний місток, який виникає тимчасово.

*Пригадайте з біології тварин 8 класу статевий процес у інфузорії-туфельки.* Восени під час кон'югації дві особини інфузорії-туфельки зближуються тимчасово і злипаються між собою. У певних ділянках їхні цитоплазми з'єднуються. При цьому між особинами відбувається обмін генетичним матеріалом: мале гаплоїдне ядро кожної особини (мігрує, або чоловіче) по цитоплазматичному містку переходить до іншої особини і там зливається зі стаціонарним (жіночим) малим гаплоїдним ядром. Після цього особини відокремлюються одна від одної і розходяться. Таким чином відбувається обмін ядерною інформацією між особинами.

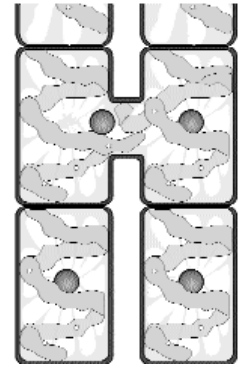
Наприклад, у водорості спірогіри в результаті зближення таломів ниток водорості відбувається злиття вмісту двох подібних клітин через тимчасовий цитоплазматичний місток, як це показано на мал. 4.5.

Біологічне значення кон'югації полягає в обміні спадковим матеріалом між особинами, періодичному оновленні та реорганізації ядерного апарату, що сприяє підвищенню спадкової мінливості і цим самим збільшує пристосувальні можливості особин до змінних умов середовища існування.

**Партеногенез.** У деяких видів тварин і рослин має місце розмноження без участі гамет. Розвиток зародка із незаплідненої яйцеклітини називають **партеногенезом**. За природного партеногенезу у деяких тварин яйце під впливом внутрішніх або зовнішніх причин починає дробитися й розвивається в нормальний ембріон без будь-якої участі сперматозоїда. Явище природного партеногенезу властиве нижчим ракоподібним, коловерткам, перетинчастокрилим (бджолам, осам) тощо. Він відомий також у птахів (індиків). Штучний партеногенез можна викликати дією високої температури, кислот, світла та інших агентів. Можливість штучного партеногенезу доведена для багатьох водних і наземних безхребетних (морські їжаки, зірки, комахи та ін.) і хребетних тварин (наприклад, земноводні).

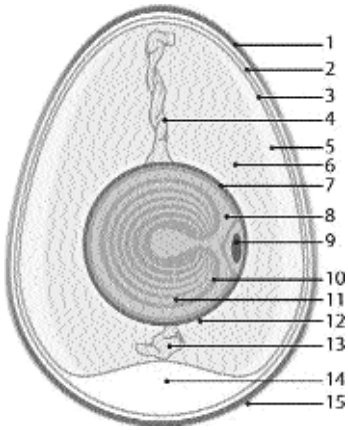
**Будова статевих клітин.** Статевому розмноженню передують поділ клітин і утворення статевих клітин — **гамет**. Жіночі статеві клітини називаються **яйцеклітинами**, чоловічі — **сперматозоїдами (сперміями)**. Вони виконують функцію передачі спадкової інформації від особин батьківського покоління нащадкам, що є проявом закономірності збереження. Порівняно з нестатевими (соматичними) клітинами вони мають гаплоїдний (одинарний) набір хромосом, що забезпечує при їхньому злитті відтворення в заплідненій яйцеклітині типового для організмів диплоїдного набору хромосом.

**Яйцеклітини** мають здебільшого округлу форму, великі розміри, порівнюючи зі сперматозоїдами, оскільки містять запас поживних речовин, необхідний для розвитку зародка, нерідко різноманітні додаткові зовнішні оболонки. Наприклад, у птахів яйцеклітина вкрита товстою білковою оболонкою, двома тоненькими підшкаралупними, твердою вапняковою шкаралупою і зовнішнім тоненьким кутикулярним шаром (мал. 4.6). Ці оболонки виконують захисну функцію, а білкова є також джерелом води для зародка, що розвивається.

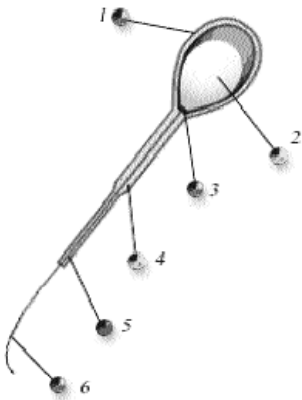


Мал. 4. 5. Кон'югація у спірогіри





Мал. 4.6. Будова яйця птаха:  
 1 — шкаралупа,  
 2, 3 — зовнішня та внутрішня  
 підшкаралупна оболонка,  
 4, 13 — канатик (халаза),  
 5, 6 — білок,  
 7, 12 — жовткова оболонка,  
 8, 10, 11 — жовток,  
 9 — зародковий диск,  
 14 — повітряна камера,  
 15 — кутикула.



Мал. 4.7. Будова сперматозоїда  
 (1 — головка; 2 — ядро;  
 3 — шийка; 4–6 — волокна хвоста)

Яйцеклітини нерухомі, бо не мають пристосувань до руху. Поява нерухомих яйцеклітин в історичному розвитку органічного світу створила передумови виникнення внутрішнього запліднення, а також надійного захисту зиготи, що особливо важливо в умовах наземного існування (наприклад, у квіткових рослин). Розміри яйцеклітини залежать від кількості запасних поживних речовин в її цитоплазмі. Наприклад, у плацентарних ссавців зародок дістає поживні речовини від материнського організму через плаценту, тому розміри яйцеклітини (без оболонки) варіюють від 50 мкм у миші полівки до 180 мкм у вівці, тоді як діаметр яйцеклітини у людини — 90 мкм. Яйцеклітини, які мають запас поживних речовин у вигляді жовтка, можуть бути значно більших розмірів. Наприклад, у акули — 50–70 мм, у страуса — 150 мм з вагою 2–3 кг.

Яйцеклітини рослин дрібні, округлої форми. У центрі яйцеклітини міститься ядро, оточене цитоплазмою. Розвиваються яйцеклітини в спеціальних органах рослин: у мохів і папоротей — в архегоніях, у квіткових рослин — у зав'язі квітки.

**Сперматозоїди** мають малі розміри (від 10 до 800 мкм), однак інколи можуть сягати 8000 мкм (у деяких ракоподібних). Малі розміри чоловічих гамет забезпечують їм здатність рухатися у дуже малій кількості води або навіть за її відсутності. Велика кількість і рухомість сперматозоїдів підвищує ефективність статевого процесу.

Більшість сперматозоїдів мають джгутик, який забезпечує поступальний рух у рідкому середовищі. Сперматозоїди зі джгутиками властиві зеленим та бурим водоростям, папоротям, плаунам, хвощам, мохам, хордовим тваринам тощо. Насінні рослини (голонасінні і всі покритонасінні) в процесі еволюції втратили джгутики в чоловічих гаметах. Безджгутикові чоловічі гамети у вищих рослин (більшості голонасінних, покритонасінних), деяких водоростей (червоних) і грибів, а також у деяких груп тварин (аскарид, ракоподібних тощо), називаються **сперміями**.

Розгляньте будову сперматозоїда на мал. 4.7. Кожний сперматозоїд має коротку головку, в якій міститься ядро. Спереду головки є гострий, твердий горбик, який формується за рахунок елементів комплексу Гольджі і забезпечує проникнення сперматозоїда в яйцеклітину. За головою розташована шийка, а за нею відділ, у якому міститься центріоля, оточена мітохондріями, які виробляють енергію для руху джгутика, розташованого на задньому кінці сперматозоїда. Хвіст сперматозоїда складається з тоненьких волокон, вкритих цитоплазматичним циліндром. Це орган руху. Загальна довжина сперматозоїда у ссавців і людини становить 50–60 мкм.

**Утворення і розвиток статевих клітин.** Розвиток статевих клітин називається **гаметогенезом**. Цей процес відбувається у статевих залозах. Сперматозоїди утворюються у сім'яниках самців, а яйцеклітини — в яєчниках самок. Організми, які мають тільки один тип статевих залоз (сім'яники або яєчники) й утворюють лише один вид статевих

клітин, називають **роздільностатевими**. Ними є дводомні квіткові рослини (верба, конопля, тополя), більшість тварин.

Особини різних статей у тварин можуть бути зовні схожими (більшість медуз, багатощетинкові черви, двостулкові молюски тощо), однак у багатьох видів вони різняться між собою. Це явище називається **статевим диморфізмом** (мал. 4.8). Пригадайте свійських птахів (курей, гусей тощо). У них самець відрізняється від самки і більшими розмірами, і яскравішим окрасом пір'я тощо.



Мал. 4.8. Статевий диморфізм у тварин

У деяких випадках жіночі і чоловічі статеві залози наявні в одному організмі. Це явище у тварин дістало назву **гермафродитизм**, а двостатеві організми — **гермафродити**. Гермафродитизм характерний для більшості безхребетних (деякі кишковопорожнинні, плоскі та малощетинкові черви, п'явки, молюски, ракоподібні тощо) і дуже рідко зустрічається серед хребетних тварин (деякі риби). Як аномальне явище гермафродитизм спостерігають і в окремих особин роздільностатевих видів (у тому числі й у людини). У таких організмів існують різноманітні механізми, які запобігають самозаплідненню. Це неодночасне дозрівання чоловічих і жіночих статевих клітин, особливості у будові статевої системи тощо.

У статевих залозах тварин розрізняють три зони: розмноження, росту, дозрівання статевих клітин. Зона розмноження розміщена на самому початку статевої залози. У ній містяться первинні статеві клітини. Вони розмножуються за допомогою мітозу, кількість їх збільшується. Потім первинні статеві клітини потрапляють у зону росту, де вони вже не діляться, а починають рости і досягають тих розмірів, які властиві статевим клітинам кожного виду тварин. Коли процес росту закінчується, статеві клітини переходять у зону дозрівання й перетворюються в яйцеклітини та сперматозоїди.

У зоні дозрівання чоловічих статевих клітин після двох послідовних поділів утворюються чотири однакові клітини, кожна з яких потім перетворюється в зрілий сперматозоїд.

У зону росту яєчника, де інтенсивно ростуть і збільшуються в розмірах жіночі статеві клітини, у цитоплазмі їх відкладається жовток у вигляді дрібних зерен. Потім майбутні яйцеклітини надходять у зону дозрівання, в якій двічі діляться, що є проявом закономірності періодичності та направленості процесів. У результаті першого поділу утворюються дві неоднакові за розміром клітини: одна велика, друга мала, яку називають напрямним тільцем. Під час другого поділу утворюються: одна велика зріла яйцеклітина і маленька клітина — друге напрямне тільце. Під час другого поділу перше напрямне тільце також ділиться. Після двох поділів утворюється чотири клітини: три дрібних і одна велика зріла яйцеклітина. Три дрібних напрямних тільця (клітини) гинуть.

У людини сперматогенез починається з настанням статевої зрілості організму, тоді як оогенез — в ембріональному стані розвитку.

**Статеве розмноження** — це форма розмноження, за якої новий організм розвивається із зиготи, що утворюється внаслідок злиття статевих клітин (гамет). В основі статевого розмноження лежить статевий процес — поєднання в одній клітині генетичного матеріалу двох різних особин (чоловічої і жіночої). Він може здійснюватися у формах копуляції та кон'югації.

---

Статевому розмноженню передують поділ клітин і утворення статевих клітин — гамет. Жіночі статеві клітини називаються *яйцеклітинами*, чоловічі — *сперматозоїдами* (*сперміями*). Вони виконують функцію передачі спадкової інформації від особин батьківського покоління нащадкам, що є проявом закономірності збереження. Розвиток статевих клітин називається *гаметогенезом*. Цей процес відбувається у статевих залозах. Сперматозоїди утворюються у сім'яниках самців, а яйцеклітини — в яєчниках самок. У деяких випадках жіночі і чоловічі статеві залози наявні в одному організмі. Це явище у тварин дістало назву *гермафродитизм*, а двостатеві організми — *гермафродити*.

#### Перевірте себе

1. Що таке статеве розмноження? Поясніть цей процес на основі ЗЗП.
2. Які вам відомі форми статевого процесу? Наведіть їх приклади у рослин і тварин.
3. Як називаються чоловічі та жіночі статеві клітини?
4. Які стадії розвитку проходять статеві клітини?
5. Що таке статевий диморфізм? Наведіть приклади у тварин.

#### Поміркуйте

1. Чим будова яйцеклітини відрізняється від будови сперматозоїда?
2. Чому яйцеклітини є нерухомими, а сперматозоїди здатні до руху?
3. Що це їм дає?
4. Чому гермафродити не здатні до самозапліднення?

#### Подискутуйте

1. Чому при гаметогенезі утворюється одна яйцеклітина, а сперматозоїдів — чотири?

#### Проекти

1. Особливості статевого розмноження у рослин і тварин.
2. Партеногенез у комах.
3. Кон'югація у рослин і тварин.

### Будова статевих клітин

#### Лабораторна робота № 1

*Мета:* ознайомитися з будовою статевих клітин (на прикладі ссавців).

*Обладнання:* мікроскоп, готові мікропрепарати «сперматозоїди морської свинки», «яєчник кішки», таблиці, що ілюструють будову сперматозоїда і яйцеклітини.

#### Хід роботи

1. Підготуйте мікроскоп до роботи.
2. Розгляньте мікропрепарат сперматозоїдів морської свинки при малому збільшенні мікроскопа. Розгляньте дрібні ниткоподібні клітини (сперматозоїди). Розгляньте їх при великому збільшенні мікроскопа.
3. Знайдіть на мікропрепараті у сперматозоїда голівку, шийку, хвостик. Порівняйте побачене з малюнком на таблиці.
4. Замалюйте один сперматозоїд і позначте на малюнку голівку, шийку, хвостик.
5. Розгляньте мікропрепарат яєчника кішки при малому збільшенні мікроскопа. Знайдіть на препараті дозрілі великі круглі яйцеклітини, оточені оболонкою з дрібніших клітин.
6. Замалюйте дозріваючу яйцеклітину й відповідно позначте на малюнку ядро, цитоплазму, оболонки яйцеклітини.
7. Зробіть висновок про будову статевих клітин.

## Способи розмноження рослин

### УРОК У ДОВКІЛЛІ

**Мета:** ознайомитися із способами розмноження рослин у природі, оранжереї чи теплиці, провести спостереження за пристосуванням рослин до розмноження.

**Обладнання:** фотоапарати, блокноти для записів, сантиметрові стрічки.

Хід роботи

1. Охарактеризуйте стан довкілля, в якому Ви перебуваєте. В якому стані перебувають рослини довкола? Назвіть відомі вам види рослин.
2. Відшукайте рослини, які здатні до вегетативного розмноження у природі. Назвіть ці рослини та можливі способи їх вегетативного розмноження. Спробуйте пояснити їх особливості.
3. Ознайомтеся з штучним вегетативним розмноженням рослин у теплиці чи оранжереї. Запишіть види рослин, які людина розмножує вегетативно. Якими способами можна розмножувати кімнатні рослини?
4. Розгляньте будову квітки у квітучих рослин. Поясніть різноманітність квіток у рослин.
5. Розгляньте листки папоротей у оранжереї. Знайдіть на них спорангії та спори. Який життєвий цикл у папоротей?
6. Сфотографуйте приклади нестатевого розмноження у рослин.

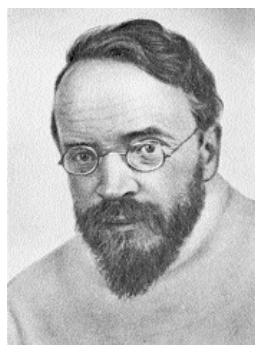
### § 3. Генетика.

#### Методи генетичних досліджень, їх пояснення на основі ЗЗП

**Генетика** — наука про закономірності спадковості та мінливості організмів. Це відносно молода біологічна наука, назву якій запропонував англійський учений У. Бетсон у 1906 році. Вона бере початок з 1900 року. Саме в цей рік три ботаніки (голландець де Фріз (*мал. 4.9,1*), німець К. Корренс (*мал. 4.9,2*) та австрієць Е. Чермак (*мал. 4.9,3*)), проводячи досліди по гібридизації рослин звернулися до давно забутої праці чеського дослідника Грегора Менделя «Досліди над рослинними гібридами» (1865) і визнали універсальний характер законів спадковості, встановлених Г. Менделем (*мал. 4.9,4*).



1



2



3



4

Мал. 4.9. Де Фріз (1), К. Корренс (2), Е. Чермак (3), Грегор Мендель (4)

Новий етап у розвитку генетики пов'язаний з ім'ям видатного американського генетика Т. Х. Моргана та його учнів. Підсумком їхніх досліджень стало створення хромосомної теорії спадковості, яка вплинула на подальший розвиток не лише генетики, але й біології у цілому.

---

**Основні генетичні поняття та символи.** Предметом генетичних досліджень є явища спадковості й мінливості організмів.

**Спадковість** — це властивість живих організмів передавати свої ознаки й особливості онтогенезу потомкам, забезпечуючи спадкоємність поколінь організмів, що є проявом закономірності збереження та направленості процесів.

**Мінливість** — це здатність живих організмів набувати нових ознак та їхніх станів у процесі індивідуального розвитку.

Спадковість і мінливість є протилежними властивостями живих організмів. Спадковість зберігає стабільність біологічних видів (нащадки схожі на своїх батьків), тоді як мінливість забезпечує появу в організмів нових ознак та їхніх станів. Завдяки мінливості відбуваються видоутворення та історичний розвиток біосфери в цілому, що є проявом закономірності збереження та направленості процесів.

Елементарною одиницею спадковості є ген. **Ген** — це ділянка молекули ДНК, яка визначає спадкові ознаки організмів. Гени, які несуть спадкову інформацію про певні ознаки (наприклад, розміри організмів, колір волосся, очей, форму плодів у рослин), можуть перебувати у різних станах (алелях).

**Алелі гена** — це гени, що перебувають у різних станах, але займають одне й те саме місце в хромосомах однієї пари (гомологічних хромосомах) та визначають різні стани певної ознаки (наприклад, високий чи низький зріст, біляве чи чорне волосся, блакитні чи карі очі, овальна чи куляста форма плоду тощо).

Алелі гена, або алельні гени, можуть бути домінантними чи рецесивними. Алель, який у присутності іншого алеля завжди проявляється у формі кодованого ним стану ознаки, називається **домінантним**, а той що не проявляється у присутності домінантного алеля — **рецесивним**.

Рецесивний алель може проявитися лише в гомозиготному стані. Гомозиготним станом алелей гена є стан, коли обидва алелі в парі рецесивні або домінантні. Якщо у парі алелей один домінантний, а інший — рецесивний, то такий стан алелей називається гетерозиготним.

Явище пригнічення прояву однієї алелі іншою називається **домінуванням**. Наприклад, у помідорів алель, що зумовлює червоне забарвлення плодів, домінує над алеллю жовтого; у людини алель, що визначає карий колір очей, домінує над алеллю блакитного.

**Генотип** — це сукупність генетичної інформації, закодованої в генах клітини організму. Унаслідок взаємодії генотипу з чинниками довкілля формується **фенотип** — сукупність усіх ознак і властивостей організму, що є проявом закономірності збереження та направленості процесів.

У генетиці існують свої позначення і символи. Так батьківські організми, що беруть для схрещування позначають — Р, серед яких жіночу стать із символом Х, а чоловічу — Y. Схрещування організмів позначають значком множення (X). Порядковий номер гібридного покоління (F) відповідає цифровому індексу поряд із позначкою. Наприклад, перше покоління позначають F<sub>1</sub>, друге — F<sub>2</sub>.

**Геном** — сукупність генів гаплоїдного набору хромосом організмів певного виду.

**Методи генетичних досліджень.** При проведенні генетичних досліджень застосовують відповідні методи, вибір яких залежить від мети експерименту. Серед останніх можуть бути: вивчення генів або закономірностей зберігання і передачі нащадкам спадкової інформації, в основі яких лежать загальні закономірності природи: збереження, періодичності та направленості процесів; дослідження залежності проявів спадкової інформації у фенотипі від певних умов довкілля; встановлення причин змін спадкової інформації та механізмів їх виникнення; вивчення генетичних процесів, які відбуваються в популяціях організмів.

У вирішенні теоретичних і практичних генетичних проблем залежно від рівня організації живого (молекулярний, клітинний, організменний, популяційно-видовий)

---

учені застосовують відповідні методи досліджень. Основними і найбільш поширеними методами генетичних досліджень є *гібридологічний, генеалогічний, популяційно-статистичний, цитогенетичний, біохімічний, близнюковий і методи генної інженерії*.

**Гібридологічний метод** використовують селекціонери, його ж застосовував ще Грегор Мендель. Він полягає в схрещуванні (гібридизації) організмів, які відрізняються за певними станами однієї чи кількох спадкових ознак. Нащадків, одержаних від такого схрещування, називають гібридами. Гібридизація лежить в основі гібридологічного аналізу — дослідження характеру успадкування станів ознак за допомогою послідовних схрещувань, що є проявом закономірності збереження та направленості процесів.

**Генеалогічний метод** полягає у вивченні родоводів організмів. Це дає змогу простежити характер успадкування різних станів певних ознак у ряді поколінь. Він широко застосовується в медичній генетиці, селекції тощо. За його допомогою встановлюють генотип особин і вираховують ймовірність прояву того чи іншого стану ознаки у майбутніх нащадків, що пояснюється закономірністю періодичності.

Складаючи родоводи можна простежити успадкування такого захворювання в людини, як гемофілія (незсідання крові).

**Популяційно-статистичний метод** дає можливість вивчати частоту зустрічей алелей у популяціях організмів, а також генетичну структуру популяцій. Крім генетики популяцій, його застосовують у медичній генетиці для вивчення поширення певних алелей серед людей (тих, які визначають ті чи інші спадкові захворювання).

Наприклад, за допомогою цього методу було виявлено, що алель, яка зумовлює дальтонізм у людини (порушення сприйняття кольорів), трапляється у 13% жінок (з них хвороба проявляється лише у 0,5%) та у 7% чоловіків (хворі всі).

**Цитогенетичний метод** ґрунтується на дослідженні особливостей хромосомного набору (каріотипу) організмів. Вивчення каріотипу дає змогу виявляти мутації, пов'язані зі зміною кількості та структури хромосом. Каріотип досліджують у клітинах на стадії метафази, бо саме в цей період клітинного циклу структура хромосом виражена найчіткіше.

Саме за допомогою цього методу можна виявити зайву хромосому у диплоїдному наборі хромосом. Наприклад, коли у майбутньої мами виявиться одна зайва хромосома із 21-ї пари (47 замість 46), то це призведе до розвитку у її майбутньої дитини тяжкої хвороби Дауна.

**Біохімічні методи** використовують для діагностики спадкових захворювань, пов'язаних із порушенням обміну речовин. За їхньою допомогою виявляють білки, а також проміжні продукти обміну, невластиві даному організмові, що свідчить про наявність змінених (мутантних) генів. Відомо понад 500 спадкових захворювань людини, зумовлених такими генами (наприклад, цукровий діабет).

**Близнюковий метод** полягає у вивченні однояйцевих близнюків (організмів, які розвиваються з однієї зиготи). Однояйцеві близнюки завжди однієї статі, бо мають однакові генотипи. Досліджуючи такі організми, можна з'ясувати роль чинників довкілля у формуванні фенотипу особин: різний характер їхнього впливу зумовлює розбіжності у прояві тих чи інших станів певних ознак.

Окрему групу становлять **методи генетичної інженерії**, за допомогою яких учені виокремлюють із організмів окремі гени або синтезують їх штучно. Перебудовуючи певні гени, вчені вводять їх у геном іншої клітини або організму. Крім того, вчені можуть сполучати гени різних видів в одній клітині, тобто поєднувати в одній особині спадкові ознаки, притаманні цим видам, що є проявом закономірності збереження.

Предметом генетичних досліджень є явища спадковості й мінливості організмів. **Спадковість** — це властивість живих організмів передавати свої ознаки й особливості онтогенезу потомкам забезпечуючи спадкоємність поколінь організмів, що є проявом закономірності збереження та направленості процесів.

---

---

**Мінливість** — здатність живих організмів набувати нових ознак та їхніх станів у процесі індивідуального розвитку. У вирішенні теоретичних і практичних генетичних проблем залежно від рівня організації живого застосовують методи дослідження: гібридологічний, генеалогічний, популяційно-статистичний, цитогенетичний, біохімічні та близнюковий, методи генної інженерії.

#### Перевірте себе

1. Що є об'єктом вивчення генетики?
2. Хто з вчених є основоположниками генетики?
3. Назвіть основні генетичні поняття.
4. Що таке ген? Яка роль генів у житті особин певного виду?
5. Назвіть методи генетичних досліджень та поясніть їх суть застосування.

#### Поміркуйте

1. Які методи застосовують у генетичних дослідженнях людини?
2. Чим спадковість пов'язана з мінливістю?
3. З якими законами природи та ЗЗП взаємопов'язані закономірності спадковості та мінливості. Обґрунтуйте важливість цих знань для людини.

#### Подискутуйте

1. Яке місце генетики серед біологічних наук?
2. Яким чином генетика пов'язана з анатомією, біохімією, фізіологією тощо.

#### Проекти

1. Історія розвитку генетики.
2. Вчені-генетики, їх основні досягнення.
3. Гібридологічний метод генетичних досліджень.
4. Сучасні методи генетичних досліджень.

### § 4. Перший і другий закони спадковості Г. Менделя, їх цитологічні основи та статистичний характер

**Моногібридне схрещування** — схрещування форм організмів, при якому простежується успадкування за однією парою алелей. При цьому батьківські форми відрізняються однією протилежною ознакою.

Г. Мендель проводив досліди на горосі, вибравши ознаки, які не залежать від середовища і є альтернативними. Він брав для схрещування сорти гороху, які мали жовте і зелене насіння, або гладеньке і зморшкувате тощо.

**Перший закон спадковості Г. Менделя.** Вивчаючи результати схрещування рослин з альтернативними ознаками (наприклад, насіння: жовте — зелене, гладеньке — зморшкувате, квітки: білі — пурпурові (червоні), Г. Мендель виявив, що гібриди першого покоління ( $F_1$ ), одержані за допомогою штучного запилення, не є проміжними між двома батьківськими формами, а в більшості випадків схожі на одну з них. Наприклад, при схрещуванні рослин гороху з жовтим і зеленим насінням — потомство першого покоління мало жовте насіння; з гладеньким насінням та зморшкуватим — потомство першого покоління мало гладеньке насіння.

Якщо материнська рослина мала жовте насіння у гороху, а батьківська — зелене, то насіння всіх гібридних рослин першого покоління виявляються жовтими, зелене забарвлення не проявляється.



Явище переважання у гібрида першого покоління ознак одного з батьків Г. Мендель назвав *домінуванням*. Ознака, яка проявляється у гібрида і пригнічує розвиток іншої альтернативної ознаки, була названа *домінантною*, пригнічена — *рецесивною*.

Виявлена закономірність отримала назву *першого закону Менделя*, або *закону однотипності гібридів першого покоління*.

«Задатки» ознак (за сучасною термінологією — гени) Г. Мендель запропонував позначати літерами латинського алфавіту. Алелі, які належать до однієї пари станів ознаки, позначають однією і тією ж літерою, але домінантний алель — великою, а рецесивний — маленькою. Алель жовтого забарвлення насіння слід позначити, наприклад, *A*, алель зеленого кольору насіння — *a*, алель гладенького насіння — *B*, алель зморшкуватого насіння — *b*.

Щоб простежити цитологічний характер результатів такого схрещування, згадаймо, що кожна клітина організму має диплоїдний набір хромосом. Всі хромосоми парні, алелі ж гена містяться в гомологічних хромосомах. Отже, в зиготі завжди є два алелі і генотипову формулу за будь-якою ознакою слід записувати двома літерами. Наприклад, особину гомозиготну за домінантним алелем слід записувати *AA*, рецесивним — *aa*, гетерозиготну — *Aa*. Досліди показали, що рецесивний алель проявляє себе лише у гомозиготному стані, а домінантний — як у гомозиготному (*AA*), так і в гетерозиготному стані (*Aa*). Гени розташовані в хромосомах. Отже, внаслідок мейозу гомологічні хромосоми розходяться в різні гамети. Але оскільки у гомозиготи обидва алелі однакові, всі гамети несуть один і той самий алель. Гомозиготна особина дає лише один тип гамет. Досліди зі схрещування слід записувати у вигляді схеми та решітки Пеннета:

♀	♂	A	A
a		Aa	Aa
a		Aa	Aa

Запис схрещування гомозиготних батьківських пар у вигляді решітки Пеннета наочно демонструє закономірний характер одноманітності гібридів першого покоління. Для прикладу розгляньте схему моногібридного схрещування (мал. 4.10).



Мал. 4.10. Схема моногібридного схрещування закону однотипності гібридів першого покоління

Отже, перший закон Менделя, або закон одноманітності гібридів першого покоління (домінування), має таке формулювання: *при схрещуванні гомозиготних особин, які відрізняються одна від одної за однією парою альтернативних станів ознаки, усе потомство у першому поколінні одноманітне як за фенотипом, так і за генотипом.*

**Другий закон спадковості Г. Менделя.** Від гібридів першого покоління ( $F_1$ ) шляхом самозайлення Г. Мендель одержав потомство другого покоління ( $F_2$ ) і виявив, що воно не одноманітне: частина з нього несе ознаку тієї батьківської рослини, яка не проявилася у гібридів першого покоління. Отже, ознака, відсутня в поколінні  $F_1$ , з'явилася в поколінні  $F_2$ . Г. Мендель зробив висновок, що ця ознака була присутня в поколінні  $F_1$  у прихованому вигляді і назвав її рецесивною. Наприклад, при схрещуванні гороху з жовтим і зеленим насінням рецесивною ознакою буде зелене насіння гороху.

Г. Мендель здійснив цілу серію подібних дослідів із різними парами альтернативних ознак і кожного разу ретельно підраховував співвідношення рослин із домінантними та рецесивними ознаками. У всіх випадках аналіз показав, що відношення кількості рослин із домінантною ознакою до кількості рослин із рецесивною у поколінні  $F_2$  складало приблизно 3:1.

У третьому поколінні ( $F_3$ ), одержаному також шляхом самоzapилення рослин покоління  $F_2$ , виявилось, що ті рослини з другого покоління, які несли рецесивну ознаку, дали потомство з цієї ознакою. Частина рослин  $F_2$  з домінантною ознакою дала потомство з цієї ж ознакою, а частина — потомство з розщепленням ознаки подібно до гібридів  $F_2$ : 3 домінантних до 1 рецесивної.

Розгляньте схему моногібридного схрещування гороху посівного з утворенням нащадків покоління  $F_2$  і  $F_3$  (мал. 4.11).

За фенотипом особини AA і Aa не відрізняються, тому розщеплення виходить у співвідношенні 3:1. За генотипом особини розподіляються у співвідношенні 1AA:2Aa:1aa.

Узагальнюючи фактичний матеріал, Мендель дійшов висновку, що у другому поколінні 75% особин мають домінантний стан ознаки, а 25% — рецесивний (розщеплення 3:1). Ця закономірність отримала назву *другого закону Менделя*, або *закону розщеплення*. Він формулюється так: *при схрещуванні двох гібридів першого покоління, які аналізуються за однією альтернативною парою станів ознаки, у потомстві спостерігається розщеплення за фенотипом у співвідношенні 3:1 і за генотипом у співвідношенні 1:2:1*.

Цитологічне підтвердження цьому закону таке. Відомо, що соматичні клітини, як правило, мають подвійний набір хромосом, тобто кожна гомологічна хромосома має собі пару. У хромосомах знаходяться гени. Домінантну ознаку позначають великою латинською літерою, рецесивну — відповідною малою. До кожної статевої клітини потрапляє лише один алельний ген із кожної пари. Гомозиготний організм утворює один сорт гамет, гетерозиготний — кілька. При самоzapиленні або перезапильненні двох гетерозиготних рослин можливі чотири сполучення генів у зиготах.

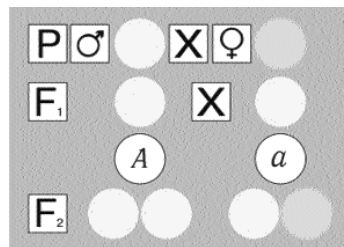
Для визначення класів нащадків зручно користуватися решіткою Р. Пеннета. Для цього по горизонталі записуємо гамети однієї особини (батьківської), по вертикалі — другої (материнської).

♀	♂	A	a
	A	AA	Aa
	a	Aa	aa

Рослини (1AA і 2Aa) будуть мати домінантну ознаку, а рослини (aa) — рецесивну. Розщеплення 1AA: 2Aa: 1aa — це і є розщеплення за генотипом, а розщеплення — 3 жовтих: 1 зелене — за фенотипом. Таким є цитологічний механізм розщеплення.

### Перевірте себе

1. Охарактеризуйте моногібридне схрещування.
2. Як формулюється перший закон Г. Менделя?



Мал. 4.11. Схема моногібридного схрещування гороху посівного (другий закон Менделя)

3. Які співвідношення утворюються в генотипі і фенотипі у другому поколінні при моногібридному схрещуванні?
4. Які цитологічні основи першого та другого законів Менделя?

#### Поміркуйте

1. Чому особини, які мають домінантні стани ознаки, можуть мати різний генотип, а рецесивні однотипні за генотипом?
2. Чому другий закон Менделя називають законом розщеплення?

#### Проекти

1. Історія досліджень Менделя.
2. Сучасні використання моногібридного схрещування.
3. Значення досліджень Менделя в генетиці.

#### Для допитливих

##### *Про дослідження Г. Менделя*

Довгий час матеріальний носій спадковості сприймався як однорідна за складом речовина. У людини та тварин речовину спадковості пов'язували з кров'ю. Вважалося, що спадкова речовина батьків змішується у дитини подібно двом взаєморозчинним рідинам. Відповідно до цього гібридне потомство, одержане в результаті з'єднання спадкового матеріалу організмів, що розрізняються за рядом ознак, повинно мати проміжні значення цих ознак. Звідси відомі вирази — «напівкровний», «чистокровний», які збереглися до наших днів.

Проте в кінці XIX століття Грегор Мендель спостерігав у гібридів таку мінливість ознак, яку не можна було пояснити з позиції вищезгаданого уявлення. Він першим показав, що спадкові чинники не змішуються, а передаються з покоління в покоління у вигляді незмінних окремих одиниць. Ці спадкові одиниці передаються через чоловічі та жіночі статеві клітини — гамети. У кожній особини спадкові одиниці перебувають у вигляді пар, тоді як у гаметах наявна лише одна одиниця з кожної пари. Ці одиниці спадковості Г. Мендель назвав «елементами», а В. Йогансен дав їм назву «гени». У 1912 році американський генетик Т. Г. Морган довів, що гени розташовані в хромосомах.

Відкриття Г. Менделя не було оцінено за його життя внаслідок недостатнього рівня тодішньої науки. Лише на межі XIX та XX століть його закони були вдруге відкриті трьома біологами, незалежно один від одного, — Г. де Фрізом, К. Коренсом та Е Чермаком, що започаткувало розвиток нової біологічної дисципліни — генетики.

### § 5. Закон незалежного успадкування ознак, його цитологічні основи та статистичний характер

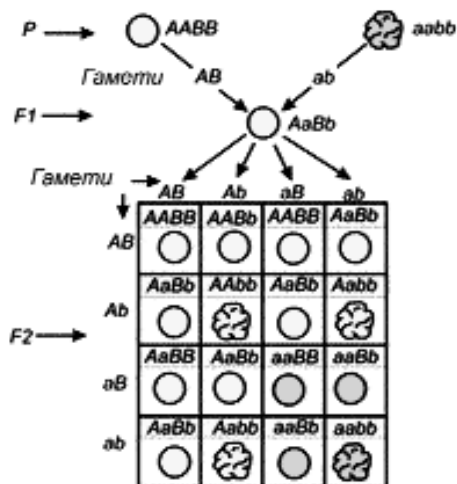
**Дигібридне схрещування.** Після виявлення закономірностей розщеплення за однією парою альтернативних ознак Г. Мендель перейшов до вивчення успадкування двох пар таких ознак.

Схрещування особин, що розрізняються за двома парами альтернативних ознак (наприклад, насіння гладеньке жовте та зморшкувате зелене), називається *дигібридним* схрещуванням.

При полігібридному схрещуванні особини відрізняються між собою декількома ознаками. Дигібридне схрещування є одним із різновидів полігібридного схрещування.

**Закон незалежного успадкування ознак, його цитологічні основи та статистичний характер.** У дослідах Г. Менделя одна батьківська рослина несла домінантні

ознаки (гладеньке жовте насіння), а друга — рецесивні (зморшкувате зелене насіння). Як і очікувалося, усі гібридні рослини першого покоління ( $F_1$ ) мали домінантні ознаки — гладеньке жовте насіння, як це показано на схемі (мал. 4.12).



Мал. 4.12. Схема (решітка Пеннета) дигібридного схрещування гороху посівного

При самоzapиленні батьківських форм рослин з'явилися не тільки два батьківські типи, але і рослини з комбінаціями насінин: круглих зелених і зморшкуватих жовтих. Друге ж покоління ( $F_2$ ) складалося з рослин, які мали різне поєднання ознак за таким співвідношенням: 9 частин рослин з гладеньким жовтим насінням, 3 частини із зморшкуватим жовтим насінням, 3 частини з гладеньким зеленим насінням, 1 частина із зморшкуватим зеленим насінням, тобто 9: 3: 3: 1 (мал. 4.12).

В експерименті при самоzapиленні 15 рослин Мендель одержав 556 насінин. Із них 315 були круглими і жовтими, 101 — зморшкуватими жовтими, 108 — круглими зеленими і 35 — зморшкуватими зеленими. Шляхом самоzapилення Мендель визначив генотип усіх 4 класів насіння. Найбільший за чисельністю клас, який проявив обидві домінантні ознаки, складається із 4 класів:

AABB, AaBb, AABb, AaBB; найменший був представлений гомозиготами за обома рецесивними ознаками — aabb; рослини, які мали насіння з одною з домінантних батьківських ознак, були представлені двома генотипами кожний: AAbb і Aabb, aaBB і aaBb. Як видно з наведеного кількісного співвідношення вказаних 4 типів рослин, у досліді Менделя воно наближалося до 9: 3: 3: 1. Це знову легко прослідкувати, скориставшись решіткою Пеннета.

♀ \ ♂	AB	Ab	aB	ab
AB	AABB	AABb	AaBB	AaBb
Ab	AABb	AAbb	AaBb	Aabb
aB	AaBB	AaBb	aaBB	aaBb
ab	AaBb	Aabb	aaBb	aabb

Отже, у другому поколінні гібридів з'явилось два нові поєднання ознак насіння: зморшкувате жовте та гладеньке зелене. На підставі цього Г. Мендель зробив висновок, що спадкові чинники батьківських рослин, які об'єдналися в поколінні  $F_1$ , у наступних поколіннях розділяються і поведуться незалежно — кожна ознака з однієї пари може поєднуватися з будь-якою ознакою з іншої пари. Це відкриття Г. Менделя дістало назву *третього закону Менделя, або закону незалежного розподілу ознак*.

Всі 16 можливих фенотипів повинні утворитися в однаковій кількості. Виявити 16 генотипів за умови повного домінування однієї із алелей неможливо. За фенотипом 16 генотипів розподіляються на 4 групи. Так, 4 генотипи AABB, AaBB, AaBb, AABb, в яких хоча б одна алель кожної ознаки домінантна, дадуть однакові фенотипи — насіння буде круглим жовтим; у рослин генотипу aabb — насіння зморшкувате зелене. Якщо ж при-

сутня алель домінуюча тільки за однією ознакою, то насіння буде круглим і зеленим або зморшкуватим і жовтим. Як було встановлено експериментально, 556 рослин дійсно складаються із 4 фенотипів. Число ж різних генотипів в цьому випадку дорівнює 9.

Третій закон Менделя має таке формулювання: *При схрещуванні гомозиготних особин, які відрізняються парами альтернативних виявів двох (або більше) ознак, у другому поколінні ( $F_2$ ) спостерігається незалежне успадкування і комбінування ознак, якщо гени, що їх визначають, розташовані у різних гомологічних хромосомах.*

**Гіпотеза чистоти гамет.** Поява серед гібридів другого покоління особин з рецесивним станом ознак дозволила Г Менделю зробити висновок про те, що «задатки» (гени), які визначають рецесивний стан ознаки, в гетерозиготному організмі не знижують, а лише пригнічуються. Оскільки передавання станів ознаки до потомків здійснюється через гамети, то була сформульована гіпотеза чистоти гамет.

Пізніше ця гіпотеза отримала цитологічне обґрунтування. Ми знаємо, що у соматичних клітинах диплоїдний набір хромосом. В однакових місцях (локусах) гомологічних хромосом містяться алелі гена. Якщо це гетерозиготна особина, то в одній із гомологічних хромосом розташований домінуючий алель, у другій — рецесивний. При утворенні статевих клітин відбувається мейоз і в кожну з гамет потрапляє гаплоїдний набір хромосом. У ньому, як відомо, всі хромосоми непарні, і, природно, в гаметі може бути або домінуючий, або рецесивний алель. Гамети залишаються «чистими» лише з якимось одним алелем, носієм одного із альтернативних станів ознаки.

**Правило чистоти гамет**, встановлене Менделем, вказує на дискретність гена, не змішуваність алелів один з одним та з іншими генами. При моногібридному схрещуванні у разі домінування у гетерозиготних гібридів (Aa) першого покоління виявляється тільки домінуючий алель (A); рецесивний же (a) не втрачається і не змішується з домінуючим. У другому поколінні як рецесивний, так і домінуючий алелі можуть виявлятися у своєму «чистому» вигляді, тобто в гомозиготному стані. При цьому спадкові чинники не тільки не змішуються, а й не зазнають змін після спільного перебування в гібридному організмі. В результаті гамети, утворювані такою гетерозиготою, є «чистими» у тому значенні, що гамета A «чиста» і не містить нічого від алеля a, а гамета a «чиста» від A.

Цитологічні основи «чистоти гамет» (дискретності алелів) полягають у їх локалізації в різних хромосомах кожної гомологічної пари, а дискретності генів — у їх локалізації у різних локусах хромосом.

**Схрещування особин, що розрізняються за двома парами альтернативних ознак, називається дигібридним схрещуванням.** При схрещуванні гомозиготних особин, які відрізняються парами альтернативних виявів двох (або більше) ознак, у другому поколінні ( $F_2$ ) спостерігається незалежне успадкування і комбінування ознак, якщо гени, що їх визначають, розташовані у різних гомологічних хромосомах. Цей закон одержав назву третього закону Менделя, або закону незалежного успадкування ознак.

### Перевірте себе

1. Яке схрещування називають дигібридним?
2. Яку назву має третій закон Г. Менделя? Сформулюйте його.
3. Які цитологічні основи третього закону Менделя?
4. Поясніть гіпотезу чистоти гамет.
5. Скільки утвориться генотипів і фенотипів у другому поколінні при дигібридному поколінні?

### Поміркуйте

1. Чим моногібридне схрещування відрізняється від дигібридного?
2. Чому Г. Мендель не пояснив цитологічні основи законів спадковості?

## § 6. Хромосомна теорія спадковості. Зчеплене успадкування.

Хромосоми відіграють значну біологічну роль у передачі спадкових ознак організмів. Відомо, що хромосоми однієї гомологічної пари подібні між собою, але це характерно не для всіх пар хромосом. При порівнянні хромосомних наборів із соматичних клітин жіночої і чоловічої особин в одній парі хромосом виявлені відмінності, хоч у одній із статей і ці хромосоми однакові і їх називають *X* (ікс)-хромосомами. У другій статі — вона названа *Y* (ігрек)-хромосомою. Цю пару прийнято називати **статевими хромосомами**, а всі пари хромосом, ідентичні у чоловічої і жіночої особин, — **аутосомами**. Статеві (*X* і *Y*) хромосоми відрізняються не лише за морфологією, а і за інформацією, яка міститься в них. Сполучення статевих хромосом у зиготі визначає стать майбутнього організму. Стать із однаковими статевими хромосомами (*XX*) називають **гомогаметною**, з різними (*XY*) — **гетерогаметною**.

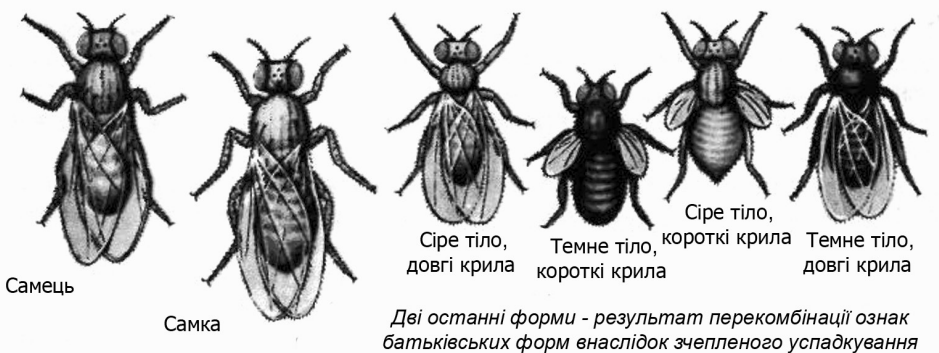
**Зчеплене успадкування.** Носіями спадковості є і аутосоми. Оскільки генів значно більше, ніж хромосом, то природно, що кожна хромосома несе велику кількість генів, які успадковуються разом. Гени, розташовані в одній хромосомі, називаються **групою зчеплення**. У кожного виду організмів кількість груп зчеплення дорівнює кількості пар хромосом, тобто у дрозофіли їх 4, у гороху — 7, у кукурудзи — 10 тощо.

На початку двадцятого сторіччя американський зоолог Томас Хант Морган (1866–1945) намагався перевірити, як діє закон Менделя незалежного успадкування ознак у тварин. На основі досліджень мутацій у дрозофіли, проведених разом із Г. Дж. Меллером, А. Стертевантом і К. Бріджесом, обґрунтував уявлення про матеріальні носії спадковості. За сформульовану на основі цих досліджень **хромосомну теорію спадковості** Морган був нагороджений Нобелівською премією у 1933 році.

Дослідження проводилися на плодовій мушці дрозофілі. Переваги обраного дослідницького матеріалу: невелика кількість хромосом (4 пари), легко утримувати; значна плодючість; швидка зміна поколінь (кожні півтора-два тижні).

Встановлений Менделем третій закон незалежного успадкування і комбінування ознак справедливий тільки тоді, коли гени, які визначають ці ознаки, знаходяться у різних хромосомах (належать до різних груп зчеплення).

Якщо два гени різних алельних пар розташовані у різних хромосомах, то у дигетерозиготи (як вже відзначалося) відбувається чергування чотирьох типів гамет: 25% гамет *AB*, 25% *Ab*, 25% *aB*, 25% *ab*, тобто при аналізуючому схрещуванні має бути чотири типи потомків: сірі довгокрилі, сірі короткокрилі, чорні короткокрилі, чорні довгокрилі у співвідношенні 1:1:1:1 (мал. 4.13).



Мал. 4.13. Спадкові форми мухи дрозофіли

Але взяті для прикладу гени знаходяться в одній групі зчеплення. Обидва домінуючі алелі розташовані в одній із гомологічних хромосом, а рецесивні — у другій гомоло-

гічній хромосомі, тому гени  $A$  і  $B$  не можуть комбінуватися незалежно один від одного. При абсолютному зчепленні обох генів необхідно чекати лише два типи гамет — 50%  $AB$  і 50%  $ab$  і появу у другому поколінні лише двох типів потомків: сірих довгокрилих і чорних короткокрилих. Так і виходить при схрещуванні гібридного самця з гомозиготною рецесивною самкою. Пояснюється це тим, що у самця дрозофіли перехресту хромосом не спостерігається. Проте якщо схрещується гібридна самка з гомозиготним рецесивним самцем, то з'являються всі чотири типи мух, але з новим співвідношенням ознак, тобто чорних короткокрилих ( $aaB$ ) і чорних довгокрилих ( $aA$   $bb$ ) буде значно менше, ніж сірих довгокрилих ( $A$   $B$ ) і чорних короткокрилих ( $aabb$ ). Нові поєднання ознак виникли лише там, де при утворенні гамет відбувся перехрест.

Отже, зчеплення генів порушується завдяки перехресту гомологічних хромосом. Явище перехресту має велике значення для еволюції органічного світу і селекції. Завдяки перехресту хромосом можуть виникати нові комбінації генів (і кодованих ними ознак), розташованих не тільки у різних хромосомах, а і тих, які належать до однієї групи зчеплення. Зчеплення генів, розташованих в одній хромосомі, і перехрест хромосом були відкриті генетиком Т. Морганом.

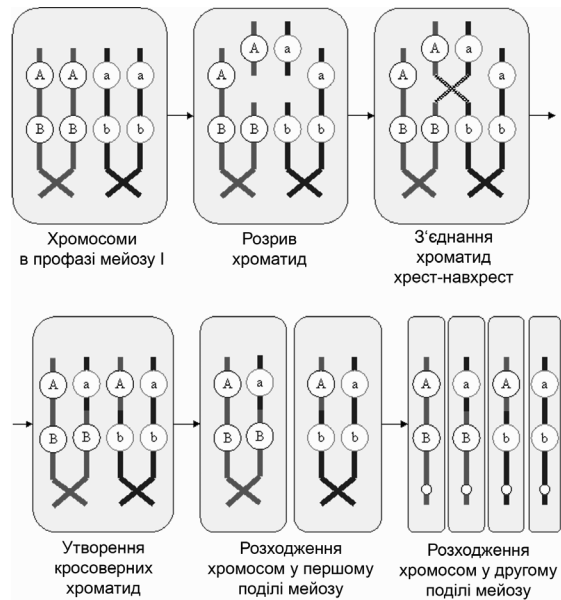
На сьогодні вивчені групи зчеплення для багатьох видів організмів: дрозофіл, мишей, кукурудзи, томатів. Відомі групи зчеплення для всіх хромосом людини.

**Кросинговер.** Проте виявилось, що гени, які містяться в одній хромосомі, зчеплені не абсолютно. Під час мейозу гомологічні хромосоми близько підходять одна до одної, переплітаються, відбувається перехрест і вони обмінюються ділянками (мал. 4.14). Це явище дістало назву *кросинговер*, або *перехрест хромосом*.

Обмін ділянками може відбуватися у будь-якому місці. Чим далі один від одного розташовані гени в одній хромосомі, тим частіше між ними може відбуватися перехрест і обмін ділянками. У дрозофіли гени довжини крил (нормальні  $A$  і короткі  $a$ ) і забарвлення тіла (сіре  $B$  і чорне  $b$ ) розташовані в одній парі гомологічних хромосом, тобто належать до однієї групи зчеплення, хромосом. Якщо схрестити гомозиготних мух за рецесивними ( $aabb$ ) і домінантними ( $AABB$ ) ознаками, то в першому поколінні все потомство буде гетерозиготним ( $AaBb$ ). Для з'ясування, які ж гамети утворює особина першого покоління, необхідно провести аналізуюче схрещування — схрестити гібридну особину першого покоління з гомозиготною за рецесивними ознаками особиною, тобто чорною короткокрилою.

Кросинговер може відбуватися в будь-якій ділянці хромосом, навіть у декількох ділянках. Чим далі розташовані ділянки, тим більша ймовірність кросинговеру. Кросинговер є обов'язковим процесом і відбувається в кожній парі гомологічних хромосом. Під час такого обміну відбувається рекомбінація генів, зростає різноманіття гамет із різним поєднанням генів.

Усі гамети, що мають хромосому, змінену завдяки кросинговеру, називаються *кросоверними*. Потомство, в утворенні якого брали участь кросоверні гамети, — *кросовери*.



Мал. 4.14. Кросинговер

Гамети, що несуть хромосоми, у яких не відбулися зміни, називають *некрсоверними*. Потомство, що утворилося з таких гамет, *некрсовери*. Відсоток кросоверів до загальної кількості організмів у потомстві називається *частотою кросинговеру*. Частота кросинговеру залежить не лише від відстані між генами. Для ряду локусів виявлено, що частота кросинговеру в мейозі збільшується з віком.

Кросинговер характерний для більшості рослин і тварин за винятком самки туючого шовкопряда і самця мушки дрозофіли.

У досліді Морганна аналізуюче схрещування дало інші результати. У дрозофіли гени, що контролюють забарвлення тіла (сіре — чорне) і довжину крил (довгі — короткі зачаткові) локалізовані в одній хромосомі. Сіре тіло й довгі крила домінують. При схрещуванні гомозиготної за рецесивними ознаками самки з дигетерозиготним самцем відбувається розщеплення 1:1 за фенотипом.

Гени, що локалізовані в одній хромосомі, передаються завжди разом — таке зчеплення називається *повним*. Дигетерозиготна особина в цьому випадку утворює замість чотирьох типів гамет — лише два. У самця неможливий процес кон'югації і кросинговер, унаслідок чого не утворюються кросоверні гамети. Це можливо пояснити відсутністю в самців мушок дрозофіл особливого білкового комплексу, необхідного для забезпечення процесу кон'югації гомологічних хромосом.

**Основні положення хромосомної теорії спадковості** сформульовані Т. Морганом. В основі їх лежить поведінка хромосом під час мейозу, від якого залежить якість сформованих гамет. Нижче наведено основні положення хромосомної теорії спадковості:

Одиницею спадкової інформації є ген, локалізований у хромосомі.

Гени у хромосомах розташовуються лінійно, утворюючи групу зчеплення. Гени, розташовані в одній хромосомі, успадковуються разом, зчеплено.

Між гомологічними хромосомами можуть відбуватися перехрест і обмін генами. Зчеплення генів може порушуватися у процесі мейозу в результаті кросинговеру.

У процесі мейозу гомологічні хромосоми, а отже, і аельні гени, потрапляють у різні гамети. Гамети завжди гаплоїдні.

Негомологічні хромосоми, а отже, і неалельні гени розходяться довільно, незалежно один від одного й утворюють різні комбінації в гаметах, число яких визначається за формулою  $2^n$ , де  $n$  — кількість пар гомологічних хромосом.

**Гени, розташовані в одній хромосомі, називаються групою зчеплення.** Зчеплення між генами порушується у результаті кросинговеру (перехресту хромосом). Частота кросинговеру для кожної пари зчеплених генів відносно стала та пропорційна відстані між ними.

### Перевірте себе

1. Де в клітині локалізовані гени?
2. Яке успадкування називають зчепленим?
3. Що таке група зчеплення?
4. Що таке кросинговер?
5. Які основні положення хромосомної теорії спадковості?

### Поміркуйте

1. Чому дрозофіла виявилася вдалим об'єктом для генетичних досліджень?
2. Як хромосомна теорія спадковості вплинула на розвиток генетики та біології в цілому?

### Проекти

1. Хромосомна теорія спадковості, її становлення.
2. Прояв зчепленого успадкування у людини.



## Розв'язування типових задач з генетики (моно- і дигібридне схрещування)

### Практична робота № 1

**Мета:** ознайомитися з прикладами розв'язування задач з генетики на моно- і дигібридне схрещування. Навчитися прогнозувати прояви фізіологічних і патологічних ознак у потомстві.

**Обладнання:** таблиці з генетики, підручники.

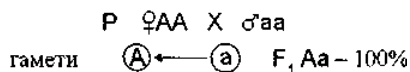
*Хід роботи:*

1. Розгляньте таблиці на моногібридне схрещування.
2. Ознайомтеся з типами задач на моногібридне схрещування: 1) за генотипами батьків треба визначити фенотипи нащадків  $F_1$  і  $F_2$ ; 2) за фенотипами нащадків треба визначити генотипи батьків.

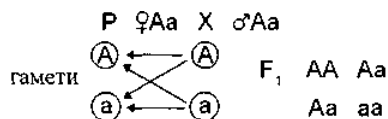
Задачі першого типу, в яких за генотипами батьків визначають фенотипи нащадків, розв'язують на основі менделівських законів одноманітності ознак першого покоління, розщеплення ознак у другому поколінні у співвідношенні 3:1 (для моногібридного схрещування) та у співвідношенні 1:1 при аналізуючому схрещуванні.

Задачі другого типу, в яких за фенотипом нащадків треба встановити фенотипи батьків, розв'язують також на основі законів розщеплення і положень, що впливають на них:

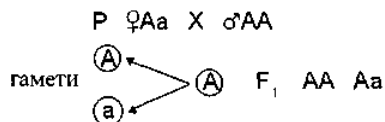
1) Від схрещування гомозиготного за домінантними генами організму з гомозиготними за рецесивними генами утворюється одноманітне гібридне покоління; при повному домінуванні воно має домінантну ознаку:



2) Схрещування гетерозиготного організму з гетерозиготним дає розщеплення ознаки у відношенні 3:1 (за генотипом розщеплення 1:2:1).



3) Від схрещування гетерозиготного організму з гомозиготним організмом (поворотне схрещування) утворюється фенотипно одноманітне покоління (за генотипом розщепленням 1:1).



4) Схрещування гетерозиготного організму з гомозиготним рецесивним (аналізуюче схрещування) дає розщеплення ознаки у співвідношенні 1:1 за фенотипом і генотипом.

3. Розв'яжіть типову задачу, умови якої: У помідорів червоне забарвлення плодів домінує над жовтим. Якими будуть гібриди  $F_1$ ,  $F_2$ , якщо схрестити гомозиготні червоні помідори з гомозиготними жовтими?

Щоб скласти схему схрещування, треба ознаку забарвлення плодів позначити якоюсь літерою латинського алфавіту (домінантний ген прийнято позначати великою літерою, а рецесивний — тією самою малою).

- A — ген червоного забарвлення плодів
- a — ген жовтого забарвлення плодів
- AA — червоні плоди
- Aa — червоні плоди
- aa — жовті плоди

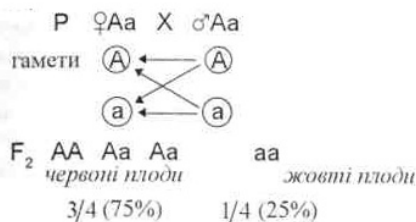
Перед тим як визначати  $F_1$  необхідно розписати гамети батьків:

- $P \quad \text{♂ AA} \times \text{♀ aa}$
- $F_1: Aa$  — червоні плоди — 100%
- гамети A, A, a, a

Обидві гомозиготні батьківські форми утворюють однотипні гамети. При ймовірній зустрічі кожної жіночої гамети з чоловічою утворюються однакові зиготи, тобто перше покоління одноманітне (Aa). Усі рослини F<sub>1</sub> мають червоні плоди, тому що несуть домінуючий ген А. Для визначення фенотипів гібридів другого покоління необхідно знати гамети гібридних рослин першого покоління. Гібридні рослини (Aa) продукують гамети двох типів — А і а. При довільній зустрічі чоловічих і жіночих гамет утворюються різні зиготи, а отже, і різні фенотипні класи у нащадків (див. схему):



Три частини рослин у F<sub>1</sub> (AA, Aa, Aa) мають червоні плоди, бо мають домінуючий ген А, а в одній частині рослин (aa) плоди жовті, що зумовлено рецесивним геном (а). Загальна схема розв'язання цієї задачі така:



**Відповідь.** Усі гібриди F<sub>1</sub> будуть мати червоні плоди. Серед гібридів F<sub>2</sub> – 75% рослин помідорів мають червоні плоди, 25% — жовті.

#### 4. Розгляньте розв'язок задачі на дигібридне схрещування.

У великої рогатої худоби (ВРХ) ген комолості (безрогості) домінує над рогатістю, а чала масть формується як проміжна ознака при схрещуванні червоних і білих тварин. Визначте можливі співвідношення розщеплення за фенотипом і генотипом серед потомства, якщо обоє батьків були дигетерозиготами за обома ознаками.

**Розв'язання:** Гени першої пари алельних ознак (наявність чи відсутність рогів) позначаємо символами А і а, а гени другої пари алельних ознак (забарвлення шерсті) — символами В і в. Вказуємо можливі варіанти генотипів за кожною парою ознак (окремо), пам'ятаючи, що забарвлення шерсті в гетерозиготі має проміжний характер вияву ознаки.

Дано:

- А — ген комолості (безрогості)
- а — ген рогатості
- В — ген червоної масті
- в — ген білої масті
- AA — комолі (безрогі) тварини
- Aa — комолі (безрогі) тварини
- BB — червоні тварини
- Bb — чалі тварини
- bb — білі тварини

З умови задачі відомо, що обоє батьків є дигетерозиготними за обома ознаками. Складаємо схему схрещування батьків, визначаємо їхні типи гамет, використовуємо решітку Пеннета для визначення можливих фенотипів і генотипів потомства від даного схрещування.

F<sub>2</sub> використовуємо решітку Пеннета.

	АВ	Ав	аВ	ав
АВ	ААВВ <i>безрогі червоні телята</i>	АаВВ <i>безрогі чалі телята</i>	АаВВ <i>безрогі червоні телята</i>	АаВв <i>безрогі чалі телята</i>
Ав	ААВв <i>безрогі чалі телята</i>	Аавв <i>безрогі білі телята</i>	АаВв <i>безрогі чалі телята</i>	Аавв <i>безрогі білі телята</i>
аВ	АаВВ <i>безрогі червоні телята</i>	АаВв <i>безрогі чалі телята</i>	ааВВ <i>рогаті червоні телята</i>	ааВв <i>рогаті чалі телята</i>
ав	АаВв <i>безрогі чалі телята</i>	Аавв <i>безрогі білі телята</i>	ааВв <i>рогаті чалі телята</i>	Аавв <i>рогаті білі телята</i>

Безрогі червоні телята —  $3/16 = 18,75\%$  Безрогі чалі телята —  $6/16 = 37,5\%$  Безрогі білі телята —  $3/16 = 18,75\%$  Рогаті червоні телята —  $1/16 = 6,25\%$  Рогаті чалі телята —  $2/16 = 12,5\%$  Рогаті білі телята —  $1/16 = 6,25\%$

Розщеплення за генотипом серед потомства у співвідношенні: 1ААВВ: 2ААВв: 2АаВВ: 4АаВв: 1ААаа: 2Аавв: 1ааВВ: 2ааВв: 1аавв Відповідь. За фенотипом серед потомства ймовірність появи теляти становить:

- безрогого червоного — 18,75%
- безрогого чалого — 37,5%
- безрогого білого — 18,75%
- рогатого червоного — 6,25%
- рогатого чалого — 12,5%
- рогатого білого — 6,25%.

За генотипом серед потомства можна очікувати розщеплення у співвідношенні: 1ААВВ: 2ААВв: 2АаВВ: 4АаВв: 1ААаа: 2Аавв: 1ааВВ: 2ааВв: 1аавв.

## § 7. Мінливість та її види.

### Комбінативна та мутаційна мінливості

**Мінливість** — це різноманітність властивостей і ознак живих організмів і вірусів. Термін «мінливість» означає також властивість організмів набувати нових морфологічних або біохімічних ознак чи втрачати колишні. Якщо мінливість виникає в природних умовах, її називають *природною*, або спонтанною; якщо під час експерименту — *штучною*, або індукованою.

Джерелами мінливості можуть бути комбінації та рекомбінації генетичного матеріалу, зміни структури гена або хромосоми, вплив умов навколишнього середовища.

Залежно від природи походження виділяють дві форми мінливості: *фенотипну*, або неспадкову і *генотипну*, або спадкову.



1



2

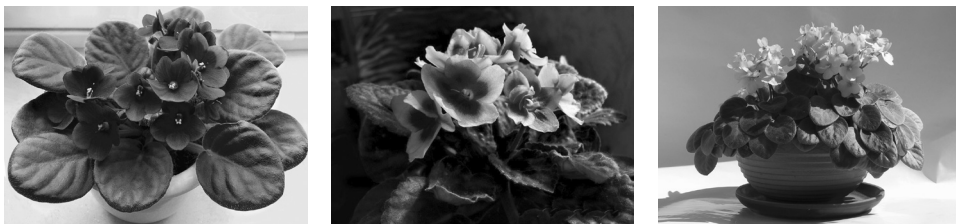
Мал. 4. 15. Онтогенетична мінливість (зміна забарвлення у тварин): 1 — козуля; 2 — пінгвін

При *фенотипній* мінливості різноманітність особин виникає без зміни генотипу і не зберігається при статевому розмноженні, якщо відсутні умови, у яких вона виникла. Одним із видів такої мінливості є вікова, або онтогенетична мінливість. Вона

виявляється у зміні всього комплексу морфологічних та біохімічних ознак організму впродовж його індивідуального розвитку (мал. 4. 15).

Інший вид фенотипної мінливості — модифікаційна. Вона виникає у генотипно однорідних особин, які перебувають у різних умовах середовища, і виявляється в якісних і кількісних відхиленнях від вихідної форми.

**Генотипна** мінливість пов'язана зі зміною генотипу і тому зберігається в поколіннях і передається від батьків до нащадків (мал. 4. 16). Генотипну (або спадкову) мінливість прийнято поділяти на комбінативну і мутаційну.



Мал. 4.16. Генотипна мінливість у синполії

**Комбінативна мінливість** пов'язана з отриманням нових комбінацій генів у генотипі. Такий тип мінливості обумовлений поєднанням окремих генів і хромосом, нова комбінація яких при розмноженні приводить до зміни певних ознак і властивостей організму.

Комбінативна мінливість зумовлена перегрупуванням генів у процесі злиття гамет і утворення зиготи, тобто при статевому процесі. Подібність між комбінативною і мутаційною мінливістю полягає в тому, що в обох випадках потомство одержуватиме набір генів кожного з батьків. При комбінативній мінливості в результаті злиття батьківських гамет виникають нові комбінації генів, проте самі гени і хромосоми залишаються незмінними.

Досягається вона в результаті: незалежного розходження хромосом при мейозі; випадкового сполучення їх при заплідненні; обміну генами в гомологічних хромосомах при їх перехресті. Самі по собі гени при цьому не змінюються, проте нові їхні сполучення призводять до появи організмів із новими фенотипами.

**Комбінативна мінливість** — джерело нескінченно великої спадкової різноманітності, що може спостерігатися у представників будь-якої систематичної групи живих організмів. У основі виникнення різних комбінацій генів у генотипах організмів лежить статеве розмноження, унаслідок якого виникає величезна різноманітність форм організмів.

Із аналізу розщеплювання, незалежного комбінування генів, а також їх взаємодії видно, що в результаті цих процесів можуть виникати нові спадкові ознаки, що відіграють роль в еволюційному процесі, як механізм, що забезпечує поєднання найбільш пристосувальних ознак і властивостей для виживання організмів.

Ще Чарльз Дарвін встановив, що багато сортів культурних рослин і порід свійських тварин утворилися завдяки гібридизації предків. Він надавав великого значення комбінативній мінливості, оскільки їй, поряд із добором, належить важлива роль в отриманні нових форм як у природі, так і в господарстві людини.

Комбінативна мінливість надає можливості отримання нових комбінацій спадкової інформації при статевому розмноженні. Саме тому статеве розмноження отримало таке поширення в природі.

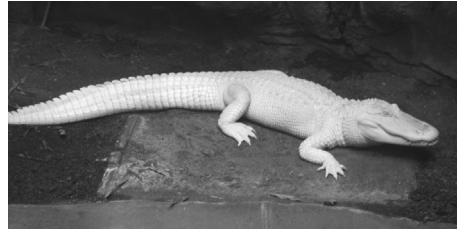
Комбінативна мінливість широко поширена у природі. Наприклад, мікроорганізмам, які розмножуються нестатевим способом, характерні своєрідні механізми (трансформація і трансдукція), які приводять до появи комбінативної мінливості.

Використовується комбінативна мінливість в селекційній практиці. До комбінативної мінливості належить явище гетерозису. Гетерозис (від грець. — видозміни, перетворення) — це збільшення сили росту гібридів першого покоління, які за життєвою силою і продуктивністю значно перевищують вихідні батьківські форми. Проявляється він у формі підвищеної життєздатності, збільшенні зросту тощо. Все це свідчить про велике значення комбінативної мінливості для еволюції, видоутворення. Проте виникнення видів у результаті тільки гібридизації — явище рідкісне.

**Мутаційна мінливість** є різновидом спадкової мінливості, за якої зміни ознак живих істот пов'язані зі змінами генотипу і передаються від покоління до покоління. Іноді ці зміни добре помітні фенотипово, наприклад, відсутність пігментів у шкірі та волоссі (альбінізм) (мал. 4. 17).



1



2

Мал. 4. 17. Альбінізм у тварин: 1 — пінгвін; 2 — крокодил.

Передача генетичного матеріалу від батьків до нащадків повинна відбуватися дуже точно, інакше види не зможуть зберегтися. Проте іноді відбуваються кількісні або якісні зміни в ДНК, і дочірні клітини одержують спотворений порівняно з батьківським набір генів. Такі помилки в спадковому матеріалі передаються наступному поколінню і називаються **мутаціями** (лат. *mutatio* — зміна), що є проявом закономірності збереження та направленості процесів. А мінливість при цьому називають **мутаційною**. Організм, що одержав в результаті мутації нові властивості, називають **мутантом**.

Мутації відомі у тварин, рослин, грибів, бактерій і вірусів. Із мутаційною мінливістю пов'язана еволюція — процес утворення нових видів, сортів і порід.

**Мінливість** — це різноманітність властивостей і ознак живих організмів і вірусів. Розрізняють фенотипну, або неспадкову, і генотипну, або спадкову форми мінливості. Генотипну мінливість прийнято поділяти на комбінативну і мутаційну. Комбінативна мінливість надає можливості отримання нових комбінацій спадкової інформації при статевому розмноженні. При мутаційній мінливості виникають зміни ознак живих істот, які пов'язані зі змінами генотипу і передаються від покоління до покоління.

### Перевірте себе

1. Що таке мінливість?
2. Які форми мінливості Вам відомі? Наведіть приклади.
3. За яких умов виникає комбінативна мінливість?
4. Охарактеризуйте та поясніть на основі ЗЗП комбінативну мінливість.
5. Яка мінливість називається мутаційною? Поясніть її прояв на основі ЗЗП.
6. Яке значення комбінативної та мутаційної мінливості у еволюції, видоутворенні?

### Поміркуйте

1. Чим мінливість відрізняється від спадковості?
2. Наведіть приклади комбінативної мінливості, які витікають із закономірностей успадкування ознак, виявлених Г. Менделем.

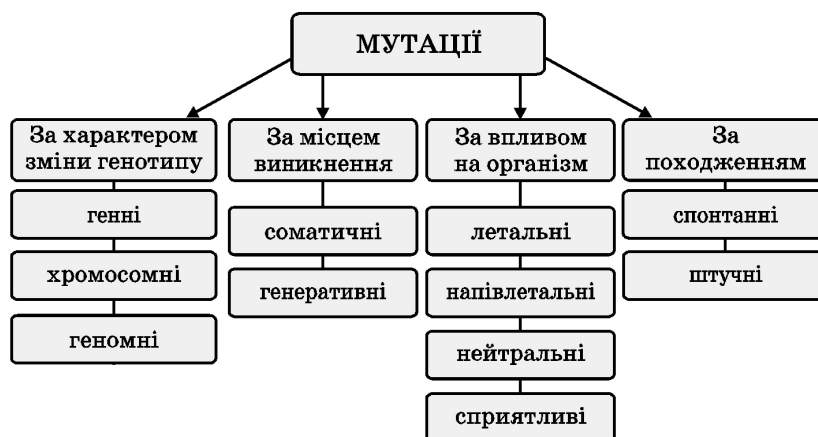
1. Комбінативна мінливість у рослин.
2. Комбінативна мінливість у тварин.
3. Мутаційна мінливість та її наслідки.

## § 8. Мутації та мутагени

**Мутації** виникають раптово, а зміни, спричинені мутаціями, стійкі й можуть успадковуватися. Вони можуть бути шкідливими, нейтральними або корисними для організмів (надзвичайно рідко).

Одні й ті самі мутації можуть виникати неодноразово. На відміну від модифікацій, мутації неспрямовані: один і той самий чинник, що спричиняє мутацію і діє з однаковою силою на ідентичні в генетичному відношенні організми (наприклад, на однояйцевих близнюків), може спричиняти різні типи мутацій.

Мутації відбуваються під впливом як зовнішніх, так і внутрішніх чинників. Розрізняють мутації за характером змін генотипу, за місцем виникнення, за походженням та за впливом на організм (мал. 4. 18).



Мал. 4. 18. Схема «Типи мутацій»

Так розрізняють **генеративні** — виникають у гаметах і **соматичні мутації** — виникають у соматичних клітинах. Останні передаються наступним поколінням тільки при вегетативному розмноженні. Наприклад, на кущі чорної смородини може з'явитися гілка з білими ягодами. Із соматичної мутації на яблуні Антонівці звичайній І. В. Мічурин вивів новий сорт — Антонівку півторафунтову.

**Хромосомні мутації** є змінами частин хромосом або цілих хромосом. Такі мутації можуть відбуватися в результаті **делеції** — втрати частини хромосоми, **дуплікації** — подвоєння якої-небудь ділянки хромосоми, **дефішенсі** — втрати кінцевої ділянки хромосоми, **інверсії** — повороту ділянки хромосоми на 180°, **транслокації** — відриву частини хромосоми і переміщення її в нове положення, наприклад, приєднання до іншої, негомологічної, хромосоми.

Структурні хромосомні мутації, як правило, шкідливі для організму. Наприклад, спадкове захворювання у людини синдром «котячого крику» (названий так за характером звуків, що їх видають хворі немовлята) зумовлене гетерозиготністю у 5-ій хромосомі. Цей синдром супроводжується розумовою відсталістю. Дітки із таким синдромом рано помирають.

**Генні мутації** — результат зміни нуклеотидної послідовності молекули ДНК у певній ділянці хромосоми. Існують різні типи генних мутацій, пов'язаних із додаванням, випаданням або перестановкою нуклеотидів у гені.

Ефекти генних мутацій надзвичайно різноманітні. Велика частина дрібних генних мутацій фенотипно не виявляється (оскільки вони рецесивні), однак відомий ряд випадків, коли зміна лише однієї основи у певному гені сильно впливає на фенотип. Одним із прикладів цього є серпоподібна клітинна анемія — захворювання, що спричинюється у людини заміною основи в одному з генів, відповідальних за синтез гемоглобіну. Це призводить до того, що у венозній крові еритроцити з таким гемоглобіном деформуються (із округлих стають серпоподібними) і швидко руйнуються. При цьому розвивається гостра анемія і зменшується кількість кисню, що переноситься кров'ю.

Генні мутації виникають під впливом ультрафіолетового проміння, іонізуючого випромінювання, хімічних мутагенів та інших чинників. Особливо негативно впливає фон іонізуючої радіації нашої планети. Незавжди уявити, яку небезпеку становлять не тільки для населення України, Білорусі та Росії, а й для всього людства такі події, як аварія на Чорнобильській АЕС. На мал. 4. 19 показано наслідки генних мутацій у тварин, спричинені радіаційним фоном Чорнобильської АЕС.



Мал. 4. 19. Генні мутації у тварин, постраждалих від аварії на ЧАЕС

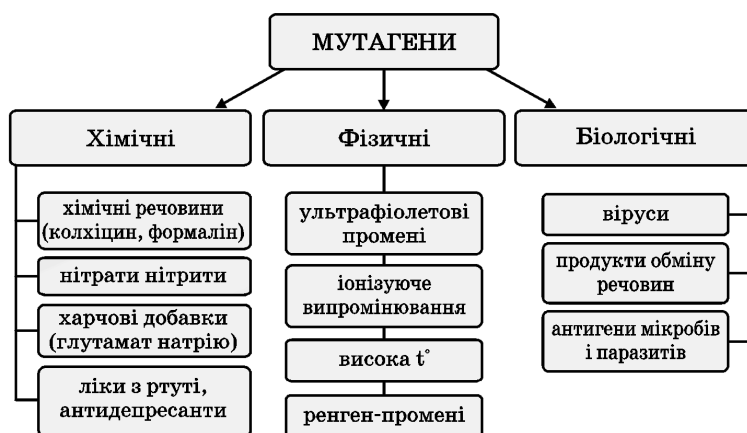
Організми із відхиленнями від нормального числа хромосом називаються **хромосомними мутантами**. Поліплоїдія і анеуплоїдія є результатом змін числа хромосом, тому належать до геномних мутацій, тобто змін числа хромосом, які кратні або некрратні гаплоїдному набору.

**Поліплоїдія** — це кратне збільшення гаплоїдного набору хромосом. Клітини з різним числом гаплоїдних наборів хромосом називають триплоїдними ( $3n$ ), тетраплоїдними ( $4n$ ), гексаплоїдними ( $6n$ ), октаплоїдними ( $8n$ ) тощо.

Поліплоїдія призводить до зміни ознак організму, тому є важливим джерелом мінливості в процесах еволюції та селекції, особливо у рослин. Близько третини видів рослин, що існують на нашій планеті, є поліплоїдами, а у різко континентальних умовах високогірного Паміру спостерігається до 85% поліплоїдів. Майже всі культурні рослини теж поліплоїди. У них, на відміну від їх диких родичів, більші квітки, плоди і насіння, у запасуючих органах (стебло, бульби) накопичується більше поживних речовин. Поліплоїди легше пристосовуються до несприятливих умов життя, легше переносять низькі температури та посуху. Саме тому вони дуже поширені у північних і високогірних районах.

**Мутагени.** Тривалий час причини мутацій залишалися нез'ясованими. Лише 1927 року американський генетик Герман Джозеф Меллер (1890–1967) разом із Т. Х. Морганом змогли довести, що мутації можна викликати штучно, за що у 1964 році були удостоєні Нобелівської премії. Опромінюючи рентгенівськими променями дрозофіл — спостерігали у них різноманітні мутації.

Чинники, які здатні спричиняти мутації, називають **мутагенними**. Розгляньте схему на мал. 4.20. До мутагенних належать: фізичні (ультрафіолетові промені, іонізуючі випромінювання (рентгенівські в тому числі) підвищена температура повітря тощо), хімічні (різні хімічні сполуки) та біологічні чинники (віруси тощо).



Мал. 4.20. Схема чинників, що спричиняють мутації (мутагенів)

Ультрафіолетові промені, як і рентгенівські, в опромінених клітинах призводять до змін, які, у свою чергу, є причиною мутацій, як правило, генних, і рідше — хромосомних. У лабораторних умовах радіаційний мутагенез отримують під дією рентгенівських променів. Часто використовуються гамма-промені, джерелом яких звичайно є радіоактивний кобальт. Підвищена температура може збільшити частоту генних, а зростання її до верхньої межі витривалості організмів, і хромосомних мутацій.

Експериментально показано, що з хімічних речовин мутагенною дією характеризуються формалін, етиленімін, іприт і сотні інших хімічних сполук. Значний внесок у вивчення хімічних мутагенів зробила українська школа генетиків, очолювана академіком С. М. Гершензоном (мал. 4.21).

Нині відомо багато хімічних мутагенів. Наприклад, алкалоїд колхіцин руйнує веретено поділу, що призводить до подвоєння числа хромосомних наборів у клітині. Газ іприт, який використовують як хімічну зброю, підвищує частоту мутацій у піддослідних мишей в 90 разів. Хімічні мутагени здатні спричиняти мутації всіх типів клітин.

До біологічних мутагенів належать віруси. У клітинах, уражених вірусами, мутації спостерігають значно частіше, ніж у здорових. Віруси можуть вводити певну кількість власної генетичної інформації в генотип клітини-хазяїна. Вважають, що ці процеси відігравали важливу роль в еволюції прокариотів, оскільки віруси таким чином переносять генетичну інформацію між клітинами різних видів хазяїв.

Мутагени широко використовуються в селекційній практиці, оскільки дають широкий спектр мутацій — матеріалу для штучного добору.

Різні види живих організмів і навіть різні особини одного виду, неоднаково чутливі до дії мутагенів. Так, дорослі особини деяких груп членистоногих (наприклад, скорпіонів, багатоніжок-ківсяків) здатні витримувати дози радіації до 100000 рад (1 рад = 1,07 рентгена). А для того щоб убити клітини деяких бактерій, необхідна доза близько 1000 000 рад. Для людини смертельною вважають дозу 700 рад. При цьому, на ранніх етапах розвитку чутливість організму до мутагенних чинників вища, ніж у дорослих особин. Так, доза в 200 рад здатна вбивати зародки комарів, тоді як дорослі комахи зберігають життєздатність при дозах понад 10000 рад.

**Біологічні антимутаційні механізми.** Живі організми здатні певним чином захищати свої гени від мутацій. Наприклад, більшість амінокислот закодована не одним,



Мал. 4.21. Сергій Михайлович Гершензон (1906–1998)



---

---

а кількома триплетами; багато генів у генотипі повторюють один одного. Змінені внаслідок мутацій ділянки молекули ДНК можуть видалятися за допомогою ферментів. При цьому утворюються два розриви, змінена ділянка видаляється, а на її місце вбудовується інша з притаманною цій частині молекули послідовністю нуклеотидів.

**Значення мутацій у природі та житті людини.** Мутації є основним джерелом спадкової мінливості — одним із факторів еволюції. Завдяки мутаціям з'являються нові алелі. Їх називають мутантними.

Спостереження показали, що багато мутацій шкідливі для організму. Вони знижують їхню пристосованість до умов існування. Мутації, які негативно впливають на життєдіяльність, називають *напівлетальними*. Мутації, які не сумісні з життям, називають *летальними*.

Проте частина мутацій виявляється корисною. Такі мутації створюють матеріал для еволюції, а також для селекції цінних порід свійських тварин і культурних рослин. Саме такі мутації в сполученні з добром лежать в основі еволюції і селекції.

Мутації широко застосовують у селекції рослин і мікроорганізмів, оскільки вони дають змогу збільшити різноманітність вихідного матеріалу і тим самим підвищити ефективність селекційної роботи. Використовують мутації і для розроблення генетичних методів боротьби з шкідниками сільського і лісового господарств, кровосисними комахами.

У лабораторних умовах на самців шкідливого для людини виду комах діють мутагенними факторами (наприклад, рентгеновськими променями), які впливають на статеві клітини. Внаслідок цього такі самці стають нездатними до запліднення, їх випускають у природу, де вони паруються з самками. Відкладені цими самками яйця — нежиттєздатні. Так, не забруднюючи довкілля отрутохімікатами, можна достатньо ефективно знижувати чисельність шкідливих і кровосисних видів.

**Мутації виникають при кількісних або якісних змінах в ДНК, при яких дочірні клітини одержують спотворений порівняно з батьківським набір генів. Організм, що одержав в результаті мутації нові властивості, називають мутантом. Розрізняють мутації: генеративні, соматичні, генні, хромосомні. Чинники, які здатні спричинити мутації, називають мутагенними. За походженням мутагенні фактори бувають фізичними, хімічними та біологічними.**

### Перевірте себе

1. Що таке мутації? Як вони виникають?
2. Хто такі мутанти?
3. Які існують різновидності мутацій?
4. Що таке мутагени? Наведіть приклади мутагенів.

### Поміркуйте

1. Чому мутації не є бажаними для організмів?
2. Як мутації впливають на фенотип?
3. Чим мутації корисні для видів? Чи таке взагалі можливе?

### Подискутайте

1. Чому віруси належать до мутагенів?

### Проекти

1. Життєвий та творчий шлях С. Гершензона.
2. Мутації та мутагени.
3. Наслідки мутацій, викликані аварією на Чорнобильській АЕС.



## Видатні біологи

Гершензон Сергій Михайлович (1906–1998) — український генетик, академік Національної академії наук України (1976), Герой Соціалістичної Праці (1990). До Києва Сергій Михайлович прибув ще в 1937 році на письмове прохання легендарного вітчизняного еволюціоніста Івана Шмальгаузена, який вирішив передати свою лабораторію генетики молодому перспективному випускникові МДУ, кандидату біологічних наук Сергію Гершензону. У 1937–1941 рр. і 1944–1948 рр. він завідував кафедрою генетики і дарвінізму Київського університету.

Науковими дослідженнями С. Гершензона були: хімічний мутагенез, дослідження «стрибаючих генів» тощо. Набагато раніше за американця Хейнца Френкель-Конрата він зібрав із білків і нуклеїнових кислот живий вірус, хоча рівень технічного забезпечення української біології відставав на той момент від заокеанського на багато років.

У 1972 році в Нобелівський комітет приходить заявка на аналогічне гершензонівському відкриття від американців Говарда Теміна і Девіда Балтімора, які і отримують в 1975 році нобелівську премію. Девід Балтімор у листі Сергію Гершензону щиро вибачився перед ним, оскільки не був знайомий із його більш ранніми роботами.

## § 9. Модифікаційна мінливість.

**Модифікаційна мінливість** — це зміни ознак організмів (фенотипу), викликані чинниками середовища існування і не пов'язані зі змінами генотипу. Такий тип мінливості не передається з покоління до покоління. Модифікації спостерігаються тільки впродовж життя організму.

Порівнюючи дві рослини або двох тварин, що належать до одного виду, не важко помітити, що вони відрізняються одна від одної: за забарвленням, розмірами тіла тощо. Наприклад, рослини водяного жовтецю мають різну форму листків залежно від того, знаходяться вони на повітрі (*мал. 4.22,1*) чи під водою (*мал. 4.22,2*). У всіх водяних жовтеців у воді розвиваються тонкі листки, а на повітрі — розсічені. Всі рослини білокачанної капусти при вирощуванні в жаркому кліматі не утворюють качанів. Це і є прикладом модифікаційної мінливості.



1



2

Мал. 4.22. Модифікаційна мінливість у водяного жовтецю:

1 — листки рослини знаходяться на повітрі; 2 — листки — під водою

Модифікаційна мінливість тієї чи іншої ознаки може бути дуже значною, але вона завжди контролюється генотипом організму. Наприклад, посиленням годуванням і хорошим доглядом можна збільшити надой молока у корови до 9–10 л за надій проте ніякими зусиллями цей показник не можна збільшити до 50 л.

Успадковується не сама ознака, а здатність організму (що визначається його генотипом) виявляти її більшою чи меншою мірою залежно від умов існування.

Розгляньте таблицю «Порівняльна характеристика форм мінливості», зверніть увагу на особливості модифікаційної мінливості:

Властивості	Модифікаційна мінливість	Мутаційна мінливість
Об'єкт дослідження	Фенотип в межах норми реакції	Генотип
Причини виникнення	Зміни умов середовища існування	Рекомбінація генів внаслідок злиття гамет, кросинговер, мутації
Успадкування ознак	Не успадковується	Успадковується
Значення для особин	Підвищує життєздатність, пристосування до умов навколишнього середовища	Корисні зміни призводять до виживання, шкідливі — до загибелі організму
Значення для виду	Сприяє виживанню	Призводить до появи нових популяцій, видів у результаті дивергенції
Значення в еволюції	Адаптація організмів до умов навколишнього середовища	Матеріал для штучного відбору
Форма мінливості	Групова	Індивідуальна
Закономірності	Статистична закономірність варіаційних рядів	Закон гомологічних рядів спадкової мінливості

**Статистичні закономірності модифікаційної мінливості.** Впродовж усього життя, від моменту запліднення до самої смерті, організми зазнають впливу різноманітних умов середовища існування. Не можна уявити собі двох рослин одного виду, що ростуть, наприклад, на луці чи в лісі, умови життя яких були б цілком однакові. Оскільки ці умови ніколи не бувають абсолютно однаковими, фенотипи різних особин також не зовсім тотожні.

Наприклад, серед насіння пшениці, висіяного в полі, не можна знайти двох насінин, які б розвивалися в абсолютно однакових умовах. Глибина загортання в ґрунт, фізичні властивості ґрунту, взаємодія і конкуренція із сусідніми рослинами, зволоження, освітленість тощо — все це варіює в різних напрямках і позначається на розвитку фенотипу. Більшість рослин зазнає впливів різного характеру. Одні сприяють розвитку ознаки, інші затримують його.

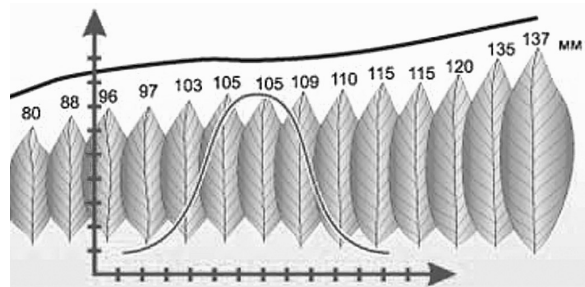
Чим більше стандартизовані умови розвитку, тим менше виявлена модифікаційна мінливість, тим коротший варіаційний ряд. Чим різноманітніші умови середовища, тим ширша модифікаційна мінливість. Розмах варіацій залежить і від генотипу.

Між особинами одного виду існують відмінності, оскільки умови навколишнього середовища впливають на них. Якщо розташувати особини в порядку збільшення або зменшення вираженості будь-якої ознаки (збільшення розмірів насіння або розмірів листків одного й того ж дерева), то вийде ряд мінливості даної ознаки, який називають *варіаційним рядом* (мал.4.23).

Графічний вираз мінливості ознаки називається *варіаційною кривою*. Середню величину вираженості ознаки визначають за формулою

$$M = \frac{\sum (V \cdot P)}{n},$$

де  $M$  — середня величина;  $V$  — варіанта;  $P$  — частота трапляння варіанта;  $n$  — загальна кількість варіанта варіаційного ряду.

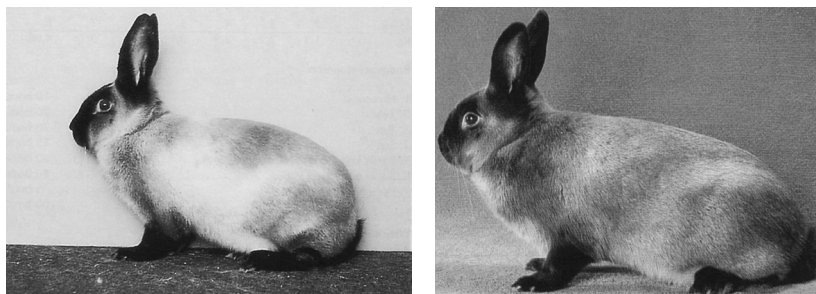


Мал. 4.23. Варіаційний ряд листків лавра

У популяції найчастіше трапляються особини з середньою вираженістю ознаки. Це пояснюється тим, що чинники навколишнього середовища діють на організми різноспрямовано: одні з них більше, а інші — менш сприятливі для розвитку організму. Відхилення від норми спостерігаються в тому випадку, якщо всі чинники середовища сприятливо або несприятливо впливають на особину.

Різні ознаки організму неоднаково реагують на зміну умов середовища існування. Одні з них надзвичайно пластичні й мінливі, інші меншою мірою можуть змінюватись під впливом умов середовища. Наприклад, у рогатої худоби надої молока залежить від годівлі й догляду. Їх можна значно підвищити, добираючи корми належної якості в потрібній кількості. Меншою мірою, ніж кількість молока, від умов годівлі й утримання залежить вміст жиру в молоці. Значно сталішою ознакою є масть корови. У найрізноманітніших умовах вона майже не змінюється. Проте забарвлення шерсті тварини теж залежить від умов середовища існування.

У деяких ссавців на забарвлення шерсті впливає температура навколишнього середовища. Наприклад, порода горностаєвих кролів характеризується тим, що в звичайних умовах більша частина шерсті кроля біла, чорна шерсть розвивається лише на вухах, лапах і хвості (мал. 4. 24,1). Якщо оголити шерсть на спині, то при температурах навколишнього середовища значно вище нуля знову виросте біла шерсть. Але, якщо кроля тримати при низькій температурі (близько 0°), то замість білої виросте чорна шерсть (мал. 4. 24,2).



1

2

Мал. 4. 24. Модифікаційна мінливість у кроля: 1 — біла шерсть; 2 — чорна шерсть

Можна сказати, що спадковою в цьому прикладі є здатність розвивати білу шерсть на спині при високих температурах і чорну — при низьких.

**Норма реакції.** Межі модифікаційної мінливості для різних ознак і в різних умовах можуть дуже відрізнятись. Межі модифікаційної мінливості ознаки називають її нормою реакції. Наприклад, молочність і жирність молока корови мають дуже широку норму реакції, тоді як забарвлення шерсті — значно вужчу.

Межі модифікаційної мінливості, контрольовані генотипом організму, називають **нормою реакції**. Одні ознаки (наприклад, молочність худоби) — мають широку норму реакції, інші (наприклад, колір шерсті) — вузьку.

Широка норма реакції (широка пристосованість) у природних умовах може мати важливе значення для збереження і поширення виду. Проте відхилення, зумовлені зовнішніми умовами не змінюють генотипу, вони знаходяться у межах норми його реакції.

**Модифікаційна мінливість** — це зміни ознак організмів (фенотипу), викликані чинниками середовища існування і не пов'язані зі змінами генотипу. Межі модифікаційної мінливості, контрольовані генотипом організму, називають нормою реакції. Між особинами одного виду існують відмінності, оскільки умови навколишнього середовища впливають на них. Графічний вираз мінливості ознаки називається варіаційною кривою. Чим різноманітніші умови середовища, тим ширша модифікаційна мінливість.

### Перевір себе

1. Яку мінливість називають модифікаційною? Наведіть приклад.
2. Назвіть і охарактеризуйте властивості модифікаційної мінливості.
3. Що таке норма реакції?
4. Які статистичні закономірності модифікаційної мінливості?
5. Яке значення модифікаційної мінливості в процесі еволюції?

### Поміркуй

1. Поясніть той факт, що на полі, засіяному пшеницею, рослини з однаковим генотипом відрізняються одна від одної за висотою стебла, величиною колосків, зерен?
2. За гарного догляду від корів однієї породи надають до 4000 л молока за рік, за поганого — 2000 л. Інша порода корів за гарного догляду дає 3000 л молока, за поганого — 1000 л. Яка норма реакції генотипів корів кожної породи? Чи можна прогнозувати, які будуть надої від корів цих порід у наступних поколіннях? Поясніть, чому.
3. Які з перелічених захворювань людини є прикладом модифікаційної мінливості: а) цинга; б) альбінізм; в) ангіна; г) дальтонізм; д) рахіт.

### Подискутуй

1. Чим модифікаційна мінливість відрізняється від мутаційної?

### Проекти

1. Комбінативна мінливість у рослин.
2. Комбінативна мінливість у тварин.

## Вивчення мінливості у рослин.

### Побудова варіаційного ряду і варіаційної кривої

#### Лабораторна робота № 2

*Мета:* ознайомитися з характером модифікаційної мінливості та навчитися будувати варіаційний ряд і графік мінливості досліджуваної ознаки.

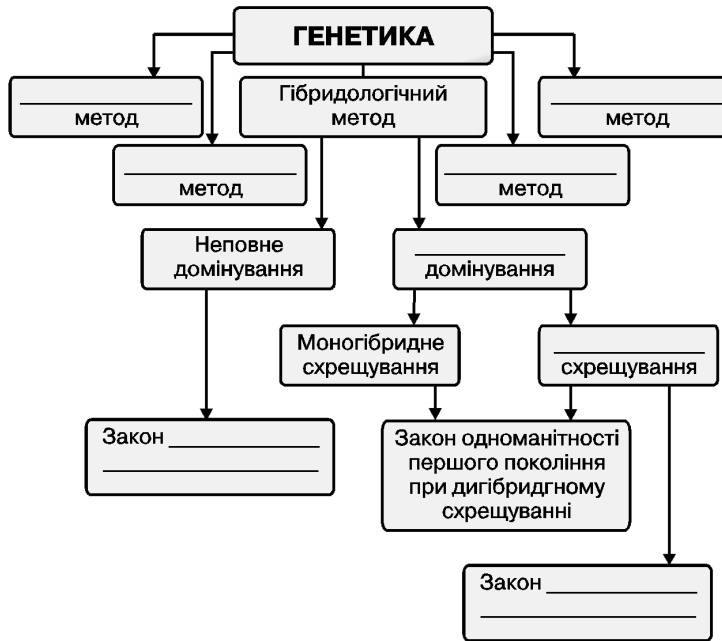
*Обладнання:* гербарні зразки різних видів рослин (пшениця, ячмінь, або будь-які інші); насіння квасолі, бобів, бульби картоплі; листки лавра благородного, клена тощо (по 10 екземплярів одного виду на парту); лінійка.

#### Хід роботи

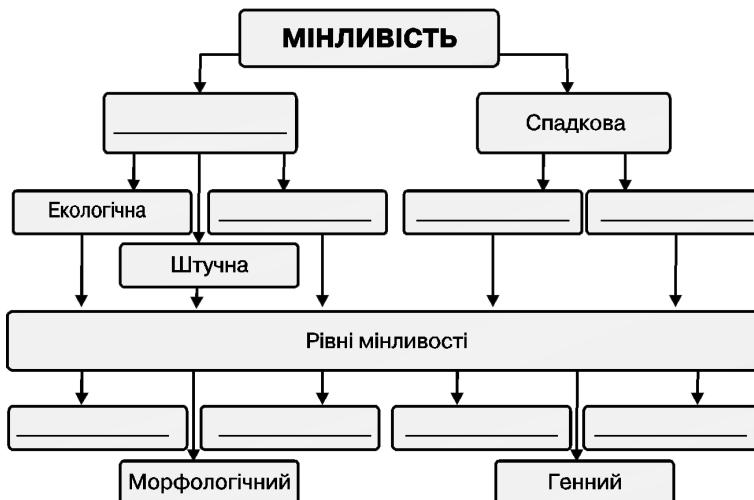
1. Розгляньте кілька екземплярів рослин пшениці (жита, ячменю тощо). Опишіть фенотип кожної рослини (особливості будови кореневої системи, листків, колосків). Виявіть ознаки, що виникли внаслідок модифікаційної мінливості й зумовлені генотипом.
2. Візьміть дві-три рослини одного виду (із запропонованих учителем) і порівняйте їх між собою. Відмітьте ознаки схожості в їхній будові. Поясніть причини схожості особин одного виду. Виявіть у рослин, які досліджуєте, ознаки відмінності.
3. Візьміть для дослідження 5–10 бульб картоплі. Порахуйте кількість вічок на кожній картоплині й одержані дані занесіть до таблиці. У верхній ряд впишіть цифри, що відповідають кількості вічок від найменшої до найбільшої. У нижній ряд запишіть частоту зустрічальності ознаки. Після цього зведіть дані, одержані всіма групами в класі, в одну таблицю. Визначте, які ознаки трапляються часто, а які рідко.

Кількість вічок на одній бульбі	
Кількість бульб (усього 10)	

1. Яку закономірність модифікаційної мінливості ви встановили?
2. За даними таблиці побудуйте варіаційну криву модифікаційної мінливості. На осі абсцис відкладіть варіанти ознаки від найменшого до найбільшого. На осі ординат — частоту трапляння ознаки. Порівняйте краї та центр варіаційної кривої й зробіть висновок про те, яка мінливість кількості вічок у бульбах картоплі трапляється частіше, а яка — рідше.
3. Зробіть висновок.



Мал. 4.25. Структурно-логічна схема «Закономірності спадковості»



Мал. 4.26. Структурно-логічна схема «Закономірності мінливості»

## § 10. Поняття про ген.

### Основні закономірності функціонування генів у про- і еукаріотів

Молекулярною основою спадковості є ДНК. **Ген** — ділянка молекули ДНК, що містить генетичну інформацію, яку успадковують організми. У переважній більшості випадків ДНК присутні у формі подвійних основ, з нуклеотидами на кожній основі, що комплементарно доповнюють одна одну.

**Закономірності функціонування генів у прокаріотів.** Прокаріотичні клітини з'явилися на Землі близько 3,5 млрд. років тому внаслідок спонтанної агрегації органічних молекул та тривалої еволюції. Вирішальним етапом була поява ферментативних (каталітичних) молекулярних механізмів. Перші клітини використовували каталітичні властивості РНК і білків, а як речовину спадковості містили тільки РНК. У процесі ускладнення структури і функцій клітин та на громадження додаткових каталітичних білків молекула РНК була замінена дволанцюговою ДНК, яка зберігала генетичну інформацію.

Основна особливість будови прокаріотичної клітини (*мал. 4.27*) — відсутність ядра, обмеженого оболонкою, ядерця і безлічі хромосом. Спадкова інформація міститься лише в одній хромосомі.

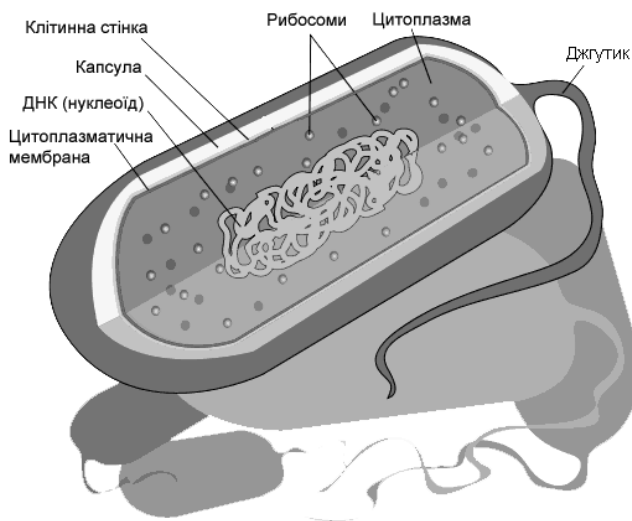
Ця хромосома складається з однієї молекули ДНК і має форму кільця, зануреного в цитоплазму. Передача спадкової інформації та реалізація генетичної інформації у прокаріот відбувається через молекулу ДНК, що міститься безпосередньо у цитоплазмі. Саме ця ознака є вирішальною при поділі клітин на прокаріоти (доядерні) і еукаріоти (ядерні). Місце включення ДНК в цитоплазму називають *нуклеїдом*.

**Закономірності функціонування генів у еукаріотів.** На відміну від прокаріотів основна частина генома еукаріотів знаходиться в ядрі, а значно менша частина — в мітохондріях, хлоропластах і інших пластидах.

Особливе значення у функціонуванні генів у еукаріотів пов'язана з наявністю ядра. Воно виконує дві групи загальних функцій: одну, зв'язану зі зберіганням генетичної інформації, другу — з її реалізацією, тобто із забезпеченням синтезу білка.

У першу групу входять процеси, зв'язані з підтримкою спадкової інформації у вигляді незмінної структури ДНК. Завдяки наявності ферментів можуть ліквідуватися спонтанні пошкодження молекул ДНК, і таким чином зберігається практично незмінною будова молекул ДНК в ряді поколінь клітин і організмів. В ядрі відбувається відтворення, реплікація молекул ДНК, що дає можливість при поділі обом клітинам отримувати однакову за кількістю і якістю генетичну інформацію. В ядрах здійснюються процеси рекомбінації генетичного матеріалу при кросинговері під час мейозу, а також у процесі запліднення.

Друга група клітинних процесів, які реалізуються активністю ядра, пов'язана безпосередньо з синтезом білка. Це в першу чергу транскрипція на молекулах ДНК



Мал. 4.27. Прокаріотична клітина

різних форм РНК: іРНК, рРНК і тРНК, а також утворення субодиниць рибосом шляхом комплексування синтезованих в ядрі рРНК з рибосомними білками, які синтезуються в цитоплазмі і переносяться в ядро.

Так само, як і у прокаріот, інформаційною макромолекулою генома еукаріотів є ДНК, яка нерівномірно розподілена по декількох хромосомах у вигляді комплексів із численними білками. ДНК-білкові комплекси еукаріот отримали назву хроматина.

Сукупність зовнішніх ознак хромосомного набору еукаріот отримала назву каріотипа. Ці ознаки використовуються в систематиці.

Вміст ДНК у еукаріотів із розрахунку на одну клітину в середньому на два-три порядки вище, ніж у прокаріотів, і у різних видів тварин змінюється від 168 пг (амфібії) до 1 пг (деякі види риби). У людини наявні близько 6 пг ДНК на диплоїдний геном. Підвищений вміст ДНК в геномі еукаріотів не можна пояснити одним лише збільшенням потреби цих організмів в додатковій генетичній інформації у зв'язку з ускладненням організації, оскільки значна частина їх ДНК генома, як правило, представлена некодуючими послідовностями нуклеотидів. Розмір генома організмів, що знаходяться на нижчих ступенях еволюційного розвитку, часто перевищує розміри геномів більш високоорганізованих тварин і рослин.

Еволюційне виникнення мозаїчної структури генів еукаріотів, так само як і консервативний характер спадковості розмірів і взаємного розташування інтронів, в генах не знаходить вичерпного пояснення через відсутність чинника впливу природного відбору, що впливає на послідовність нуклеотидів без чітких біологічних функцій.

ДНК еукаріотичної клітини зосереджена в ядрі, яке займає близько 10% об'єму клітини.

Кожна молекула ДНК упакована в окрему хромосому а вся генетична інформація, що зберігається в хромосомах одного організму, складає його геном. Слід зазначити, що хромосоми в клітині міняють свою структуру і активність відповідно до стадії клітинного циклу: у мітозі вони більш конденсують і транскрипція інактивована; у інтерфазі навпаки, вони активні відносно синтезу РНК і менш конденсують.

Хромосома еукаріот містить одну двохнитчасту молекулу ДНК, що має складноорганізовану спіральну структуру. Кожна хромосома складається з хроматина — складного комплексу з ДНК білків і деяких інших компонентів (зокрема РНК). Хроматин неоднорідний, і деякі типи такої неоднорідності видно під мікроскопом. Тонка структура хроматина в інтерфазному ядрі, визначається характером укладання ДНК і її взаємодії з білками, відіграє важливу роль в регуляції транскрипції генів і реплікації ДНК і, можливо клітинної диференціації. Послідовності нуклеотидів ДНК, яка утворює гени і служить матрицею для синтезу мРНК, розподілені по всій довжині хромосом (окремі гени, зрозуміло, дуже малі, щоб їх можна було бачити під мікроскопом). До кінця ХХ сторіччя близько для 6000 генів було встановлено, на

Середній розмір гаплоїдного геному у деяких груп організмів

Групи організмів	Середній розмір генома, нукл.
Віруси	$1,0 \cdot 10^4$
Бактерії	$2,0 \cdot 10^6$
Гриби	$4,7 \cdot 10^7$
Комахи	$2,3 \cdot 10^9$
Молюски	$1,6 \cdot 10^9$
Кісткові риби	$1,4 \cdot 10^9$
Амфібії безхвості	$2,7 \cdot 10^9$
Амфібії хвостаті	$3,6 \cdot 10^{10}$
Рептилії	$1,5 \cdot 10^9$
Птахи	$1,2 \cdot 10^9$
Ссавці	$2,6 \cdot 10^9$
людина	$3,0 \cdot 10^9$
Рослини голонасінні	$1,6 \cdot 10^{10}$
Рослини покритонасінні	$2,7 \cdot 10^{10}$
лілія (Lilium)	$1,8 \cdot 10^{11}$



якій хромосомі і в якій ділянці хромосоми вони знаходяться і який характер їх зчеплення (тобто положення один щодо одного).

Молекулярною основою спадковості є ДНК. Ген — ділянка молекули ДНК, що містить генетичну інформацію, яку успадковують організми. Спадкова інформація у прокаріотів міститься лише в одній хромосомі, яка складається з однієї молекули ДНК і має форму кільця, зануреного в цитоплазму. Передача спадкової інформації та реалізація генетичної інформації у прокаріотів відбувається через молекулу ДНК, що міститься безпосередньо у цитоплазмі. Основна частина генома еукаріотів знаходиться в ядрі. Так само, як і у прокаріот, інформаційною макромолекулою генома еукаріотів є ДНК, яка нерівномірно розподілена по декількох хромосомах у вигляді комплексів із численними білками.

### Перевірте себе

1. Що таке ген? Де він знаходиться у клітинах прокаріотів і еукаріотів?
2. Які особливості геному прокаріотів?
3. Які особливості геному еукаріотів?

### Поміркуйте

1. Порівняйте особливості функціонування генів у прокаріотів і еукаріотів.

### Проекти

1. Закономірності функціонування генів у прокаріотів.
2. Закономірності функціонування генів у еукаріотів.

## § 11. Генетика людини.

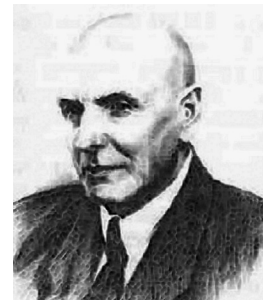
### Роль генотипу і середовища у Формуванні фенотипу

**Особливості генетики людини.** Генетика людини вивчає явища спадковості і мінливості у популяціях людей, особливості успадкування нормальних і патологічних ознак, залежність захворювання від генетичної схильності і факторів середовища. Від генетики людини бере початок медична генетика, завданням якої є виявлення і профілактика спадкових хвороб у людини.

Одним із основоположників медичної генетики є видатний радянський невропатолог С. М. Давиденков (мал. 4. 28), який розпочав свою плідну роботу на Україні. Він вперше застосував ідеї генетики у клініці, дав аналіз ряду спадкових хвороб, частина з яких була ним описана вперше.

Дослідження генетики людини пов'язане з великими труднощами, викликаними неможливістю експериментального схрещування, повільною зміною поколінь, незначною кількістю потомків у кожній сім'ї. Крім того, на відміну від класичних об'єктів, що вивчаються у загальній генетиці, у людини складний каріотип, велика кількість груп зчеплення. Проте, не зважаючи на всі ці труднощі, генетика людини успішно розвивається.

**Генетика статі.** У людини встановлені всі 24 теоретично можливі групи зчеплення генів: із них 22 локалізовані у аутосомах, у кожній із яких міститься по кілька сот генів. Більше 100 генів локалізовано у статевих хромосомах. У людини X- і Y-хромосоми мають гомологічну ділянку, в якій відбувається їх синапсис і можливий кросинговер. Всі гени, які локалізовані у статевих хромосомах людини, можна поділити на три групи залежно від того, у яких ділянках статевих хромосом вони знаходяться.



Мал. 4. 28.  
С. М. Давиденков  
(1880–1961)

Перша група охоплює гени, які локалізовані у тій частині Х-хромосоми, що не має гомологічної ділянки у Y-хромосомі. Вони повністю зчеплені зі статтю, передаються виключно через Х-хромосому. До їх числа належать рецесивні гени гемофілії, дальтонізму, атрофії зорового нерва тощо. Домінантні гени із цієї ділянки однаково проявляються в осіб обох статей, рецесивні — у жінок тільки у гомозиготному, а у чоловіків — і гетерозиготному стані.

Другу групу складає невелика кількість генів, які розташовані у непарній ділянці Y-хромосоми. Вони можуть зустрічатися тільки у осіб чоловічої статі і передаються від батька до сина. До них належать: волосатість вух, іхтіоз (шкіра у вигляді луски риби), перетинки між пальцями на ногах.

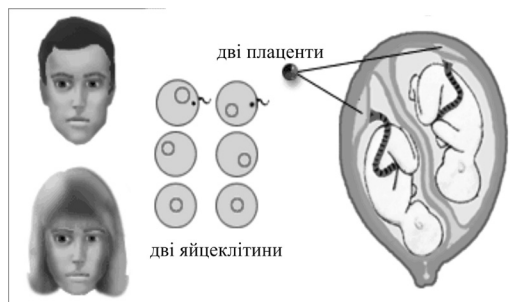
Третя група — гени, які розташовані у парному сегменті статевих хромосом, тобто гомологічному для Х- і Y-хромосом. їх називають неповно або частково зчепленими зі статтю. Вони можуть передаватися як з Х-, так і з Y-хромосою і переходити з однієї до іншої у результаті кросинговера.

**Методи вивчення спадковості у людини.** При вивченні генетики людини найчастіше використовуються такі методи: генеалогічний, близнюковий, дерматогліфичний, біохімічний, цитогенетичний тощо.

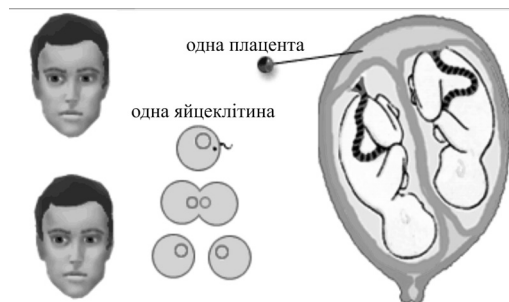
**Генеалогічний метод** ґрунтується на простеженні якої-небудь ознаки у ряді поколінь із вказівкою родинних зв'язків між членами родоуду. Генеалогія, у широкому розумінні слова — родовід людини. Суть його полягає у тому, щоб з'ясувати родинні зв'язки і прослідкувати наявність нормальної або патологічної ознаки серед близьких і далеких родичів у даній сім'ї.

**Близнюковий метод** полягає у вивченні розвитку ознак близнюків. Відомо, що в людини близнюки бувають двох категорій. В одних випадках запліднюється не одна яйцеклітина, а дві, рідко три і навіть чотири. При цьому розвиваються різнояйцеві близнюки і народжуються діти однієї або різних статей, схожі одне на одного, як брати і сестри (мал. 4.29).

Але іноді одна яйцеклітина дає початок двом (в окремих випадках трьом, чотирьом і навіть п'яти) ембріонам. Тоді народжуються однояйцеві близнюки, які завжди належать до однієї статі і дивовижно схожі між собою (мал. 4.30).



Мал. 4.29. Різнояйцеві близнюки



Мал. 4.30. Близнюки однояйцеві

Це зрозуміло, оскільки вони мають однаковий генотип, а відмінності між ними зумовлені лише впливом умов середовища. Вивчення однояйцевих близнюків протягом усього їхнього життя, особливо коли вони живуть у різних умовах, дає багато цінних відомостей про роль середовища в розвитку тілесних і психічних властивостей людини.

**Цитогенетичний метод** набув великого значення в останні роки. Саме цей метод дав багато цінного матеріалу для з'ясування причин спадкових хвороб людини. З генетичного погляду, спадкові хвороби людини — це мутації, більшість яких рецесивні. Вони виникають у статевих клітинах і поширюються в людському суспільстві,

не виявляючись фенотипно доти, поки два однакових рецесивних алельних гени не виявляться в результаті запліднення в одній зиготі.

Є група хромосомних мутацій, які виявляються у видимих змінах кількості або структури хромосом. Такі мутації в людини й виявляють цитогенетичним методом. До недавнього часу вивчення хромосом людини становило великі труднощі, бо їх у людини багато і вони невеликі.

**Біохімічний метод.** Багато патологічних станів людини спричиняється порушенням нормального ходу обміну речовин, що встановлюється відповідними біохімічними методами. Таких спадково обумовлених відхилень від нормального ходу обміну відомо кілька десятків. Яскравий приклад — цукрова хвороба, або діабет. Ця хвороба спричиняється порушенням нормальної діяльності підшлункової залози, яка не виділяє в кров потрібної кількості гормону інсуліну. Внаслідок цього збільшується вміст цукру в крові й відбувається ряд глибоких порушень обміну речовин людського організму.

**Значення генетики людини.** Академік І. П. Павлов (*мал. 4.31*), визнаючи важливе значення генетики для фізіології і медицини, писав: «Наші лікарі повинні як азбуку знати закони спадковості. Втілення у життя наукової істини про закони спадковості допоможе позбавити людство від багатьох скорбот і горя».

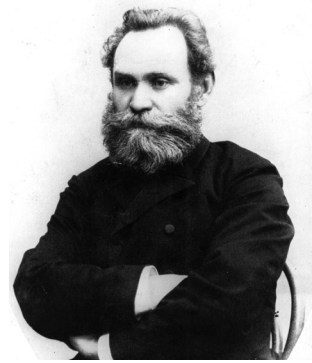
Дедалі більшого значення набуває генетика для медицини. Багато відхилень від норми і хвороб людини зумовлені генотипно. Це особливо виразно вдається встановити у випадках, коли в людини відбуваються зміни кількості хромосом. Відомі випадки, коли в хромосомному наборі людини є одна зайва хромосома і в диплоїдному наборі їх буде 47. Це порушення обумовлює тяжкі наслідки. Розвивається хвороба, яка називається хворобою Дауна. Вона виявляється в тому, що хворий має непропорційно маленьку голову, вузькі очні щілини, плоске лице і різко виражену розумову відсталість.

Походження таких хромосомних порушень пов'язане з випадковими відхиленнями в процесі мейозу. Коли цей процес відбувається нормально, гомологічні хромосоми розходяться до різних клітин і диплоїдний хромосомний набір стає гаплоїдним. Якщо під час мейозу обидві гомологічні хромосоми однієї з пар відійдуть до одного полюса, замість того щоб розподілитися між двома клітинами, то утвориться гамета з однією зайвою хромосомою.

Крім хвороби Дауна, вивчено ще понад 100 порушень у структурі хромосомного набору людини, які супроводжуються відхиленнями від нормального розвитку і тяжкими хворобами. Спадкові хвороби визначаються особливостями генотипу. Це не означає, що медицина не може боротися з ними. Якщо в ранньому віці виявлено відхилення в хромосомному апараті, то можливе лікування, яке частково або повністю усуває тяжкі симптоми хвороби.

На розвиток і реалізацію генотипу людини надзвичайно шкідливо впливає алкоголь (збільшується кількість шкідливих мутацій). Особливо він згубний для молодого організму, який ще росте. Алкоголь позначається на всіх сторонах розвитку, як на фізичних, так і на психічних. Дуже часто внаслідок його вживання руйнуються печінка, нирки, розвиваються серцево-судинні хвороби. Згубно діє алкоголь на нервову систему й відповідно на психіку, тому в більшості випадках у людей, які зловживають алкоголем народжуються розумово відсталі діти, психічно й фізично неповноцінні.

Генетика людини вивчає явища спадковості і мінливості у популяціях людей, особливості успадкування нормальних і патологічних ознак, залежність захворювання від генетичної схильності і факторів середовища. Всі гени, які локалізовані у статевих хромосомах людини, можна поділити на три групи залежно від того, у яких ділянках



Мал. 4.31. Академік  
І. П. Павлов (1849–1936)

статевих хромосом вони знаходяться. При вивченні генетики людини найчастіше використовуються такі методи: генеалогічний, близнюковий, дерматогліфичний, біохімічний, цитогенетичний тощо.

#### Перевірте себе

1. Що вивчає генетика людини? Які її завдання?
2. Хто є основоположником генетики людини?
3. Які виділяють групи генів, що локалізовані у статевих хромосомах?
4. Які методи застосовують у дослідженні спадковості людини?

#### Поміркуйте

1. Яка роль генетики людини у збереженні людини від хвороб?

#### Подискуйте:

2. Чим генетика статі людини відрізняється від решти тварин?

#### Проекти

1. Історія розвитку генетики людини.
2. Родоводи людини, їх застосування.
3. Значення генетики людини.

#### Видатні біологи

С. М. Давиденков народився в Ризі в родині педагогів, закінчив медичний факультет Московського університету в 1904 р. Ним організована лабораторія медичної генетики. С. М. Давиденков — видатний невропатолог і генетик. В галузі медичної генетики вивчав спадкові хвороби нервової системи, розробляв основи медико-генетичних консультацій тощо. Великою заслугою С. М. Давиденкова є розроблення методів медико-генетичного консультування і його практичне застосування.

## § 12. Химерні та трансгенні організми

**Химерні організми**, або химери — це організми або їх частини, що складаються з генетично різнорідних ділянок тканин або клітин. Якщо їх отримують шляхом щеплення або тканинної трансплантації, то називають штучними. Химерні організми можуть виникати внаслідок мутацій, порушення процесу мітозу, розщеплення плазмид тощо. Тоді химери мають природне походження.



Мал. 4.32. Щеплення рослин

У 1981 р. Т. Ф. Стeward і Б. Мінтс отримали мишу з клітин, частина яких походила із стовбурових клітин. Ізольовані стовбурові клітини ін'єкували в бластоцисти білих мишей, а потім переносили в матку іншої миші, яка народила живих мишенят-химер.

Серед рослин-химерів більшість отримані методом щеплення (мал. 4.32).

Це дозволяє вивчати взаємодію геномів різних біологічних видів на цілісних організмах. У химерних рослин клітини і тканини підщепи та прищепи можуть чергуватися або змішуватися, але вони не зливаються, зберігаючи відносну автономність і чіткі морфологічні відмінності. Таким чином можуть виникати нові форми рослин, схожі на дійсні гібриди, оскільки їх ознаки бувають проміж-

ними в порівнянні з ознаками прищепленого. Якщо б це були справжні гібриди, то проміжний характер ознак зберігся б у потомстві, отриманому з насіння. Цього не відбувається, тому що генеративні органи зазвичай утворюються за рахунок тканин одного з компонентів щеплення. Насіннєве потомство буде відповідати тій рослині, з тканини якої розвинулися статеві клітини. Прищепні гібриди можна розмножувати лише вегетативним шляхом. При щепленнях, коли різні соматичні тканини перебувають у тісному контакті, можливі різні цитоплазматичні зміни, які можуть успадковуватися при насіннєвому розмноженні за типом тривалих модифікацій.

Методи ментора та вегетативного зближення, застосовувані І. В. Мічуріним та іншими дослідниками, дозволяють змінити ступінь вираженості ознак у прищепи, а в деяких випадках полегшити віддалену гібридизацію. При цьому мають справу з тимчасовими модифікаціями, а не з спадковими змінами.

Трансплантація тканин із метою отримання химерних тварин дозволяє вивчати генетичні закономірності сумісності тканин при пересаджуванні. На сьогодні розроблений метод отримання химерних тварин, наприклад, алофенних мишей. Суть його полягає в тому, що конструюється бластула, яка складається з генетично різних бластомерів і потім імплантується в матку гормонально підготовленої миші. Таким чином, у химерних тварин було встановлено, що гени можна умовно розділити на два типи: автономної та неавтономної дії. До перших належать такі гени, домінуючі алелі яких не пригнічують прояв рецесивних алелей цього ж гена, що знаходяться в сусідніх клітинах в гомозиготному стані. З іншого боку, продукти активності домінуючих генів неавтономного дії, проникаючи в сусідні клітини, визначають їх фенотип.

Навіщо ж потрібні химери? Перш за все, для точного картування генів — визначення їх положення в носіях спадкової інформації (хромосомах). Вкрай важлива така інформація для генетиків-онкологів, які вивчають причини виникнення і механізм розвитку ракових хвороб. Учених цікавить, які зміни генного набору викликають злоякісне переродження клітини, щоб знайти ліки проти цього.

**Трансгенний організм** — це такий організм, у якому генетичний матеріал змінений за допомогою штучних прийомів перенесення генів, які не відбуваються у природних умовах.

За допомогою методів генної інженерії в рослину вводять чужорідний ген, у результаті чого вона набуває нових властивостей. На сьогоднішній день уже більше 60 видів рослин — кукурудза, картопля, соя, помідори, пшениця, морква, баклажани, салат, горох, перець та інші — змінені в такий спосіб. Такі технології застосовуються для того, щоб підвищити врожайність культури. Організми, отримані при цьому, називають генетично модифікованими. Модифіковані овочі та фрукти стійкі до гербіцидів, комах-шкідників та хвороб.

Трансгенні організми отримують:

- рекомбінантними методами, які передбачають формування нових комбінацій генетичного матеріалу шляхом внесення молекул нуклеїнової кислоти у будь-який вірус, бактеріальний плазмід або іншу векторну систему та їх включення до організму господаря, в якому вони зазвичай не зустрічаються, однак здатні на тривале розмноження;
- методами, які передбачають безпосереднє введення в організм спадкового матеріалу, підготовленого ззовні організму, включаючи мікроін'єкції та мікроінкапсуляції;
- злиття клітин (у тому числі злиття протоплазми) методами гібридизації, коли живі клітини з новими комбінаціями генетичного матеріалу формуються шляхом злиття двох або більше клітин у спосіб, який не реалізується за природних обставин).

Підбирається і свідомо вводиться у рослину ген із відомими властивостями. Окремий ген може сприяти збагаченню, наприклад, рису картопином, злаків і бобових —

поліненасиченими жирними кислотами, картоплю — зробити стійкою до фітофтори і вірусних захворювань, колорадського жука, збагатити крохмалем; полуниця може зберігатись протягом 30 діб; крохмаль — отримати із заданими фізико-хімічними властивостями; злаки — із збалансованим спектром амінокислот та ін.

Як трансформується один ген у поліпшений сорт рослин, показано на мал. 4.33.



Мал. 4.33. Трансформація гену у рослину

Крім трансформації генів інших рослин, можуть бути гени бактерій, тварин і, навіть, людини.

Проведено також трансформації гену рослин у ген тварин, у геном лосося — ген форелі, у картоплю, томати, кукурудзу, рис, технічні культури — гени вірусів, метеликів, скорпіонів, теплокровних тварин та ін. Наприклад, у Японії у геном свині вводили ген шпинату, який сприяє утворенню ферменту, що перетворює насичені жирні кислоти у ненасичену біологічно активну лінолеву кислоту (кількість цієї кислоти збільшується на 20%).

Із метою збільшення вмісту протеїну у сої гени бразильського горіха схрестили з генами скорпіона, щоб вона виробила імунітет проти комах-шкідників і була більшої маси. Людські гени трансплантували у м'ясо свиней. Воно стало більш щільним і набуло солодкуватого присмаку. У геном лосося увели ген росту форелі (США). Риба виросла вагою до 250 кг.

У Гавайському університеті в заморожені сперматозоїди миші трансплантували гени глибоководної медузи. Миші набули зеленкуватого окрасу і світилися під ультрафіолетовим опроміненням. Зроблено «схрещення» генів риби і помідора з метою отримання морозостійких помідорів. У Голландії виведено томати з підвищеним вмістом флавононів — речовин, які, як вважають, гальмують процес старіння організму, захищають його від інфаркту міокарда та, ймовірно, від раку. До початку XXI століття було виведено у парниках багатьох концернів більше 500 різних сортів трансгенних рослин.

Прихильники трансгенної інженерії вважають, що сучасні її технології відкривають великі перспективи, тому що рослини стають стійкішими до захворювань, шкідників, перепадів температур, пестицидів тощо.

Визначено завдання генної інженерії рослин. Сьогодні структура промислового вирощування рослин у світі за стійкістю така: частка стійких до гербіцидів складає 74%, до шкідників — 17%, до вірусів, бактерій і грибів — менше 1%.

Чисельною групою є трансгенні рослини, стійкі до комах і шкідників. На створення картоплі, стійкої до колорадського жука, було витрачено 100 млн. доларів і знадобилось 16 років.

Створення трансгенних форм, стійких до комах-шкідників, які називають Ві-рослинами, має, крім комерційного значення і перспектив, також екологічний ефект. Відомо, що під час обробки рослин тільки 5–10% інсектицидів потрапляють на їх поверхню і діють ефективно, а 90–95% — в навколишнє середовище. Вони потрапляють у воду, фунти і, насамкінець, у їстівні продукти рослинництва; крім цього, знищують корисних комах. Отже, створення рослин, стійких до комах-шкідників, призведе до значного зменшення обсягів використання інсектицидів,

відновлення популяції корисних комах і позитивно позначиться на флорі, фауні і біосфері в цілому.

Найменшою є група рослин, стійких до бактеріального, вірусного і грибового захворювань. Цим можна пояснити активну зацікавленість у створенні трансгенних рослин, стійких до вірусів, шляхом введення генів, які подібні до РНК вірусу, що блокує активний розвиток його у клітинах господаря. Наприклад, створено трансгенні форми огірків, кавунів, цукіні, картоплі, які проходять польові випробування; трансгенну картоплю, стійку до фітофторозу і фузаріозу; трансгенні томати, ріпак, морква, яблука, груші з геном дефензину редьки. Створюються трансгенні рослини, стійкі до холоду. Отримано рослини, які витримують протягом 2-х діб мінусові температури, згубні для звичайних рослин. Виведено морозостійкі томати схрещенням звичайного томата з американською плескатою рибою.

Створюються трансгенні овочі і фрукти, які мають гени, що кодують синтез вакцин проти різних захворювань. Якщо людина буде споживати трансгенні сирі овочі і фрукти, то в її організм будуть надходити відповідні вакцини. У картоплю був трансплантований ген нетоксичної субодиниці ентеротоксина холери. У миші, яку годували такою сирою картоплею, утворювались антитіла холери. Припускають, що такі овочі і фрукти можуть стати ефективним засобом захисту людей від певних захворювань і забезпечать безпеку харчування населення.

Сьогодні трансформовано близько 140 видів різних рослин. У США проводиться більше 300 досліджень із вирощування кукурудзи, картоплі, томатів, рису та інших рослин, в які вводили людські гени, що здатні боротися з певними захворюваннями: гепатитом, холерою, раком, СНІДом, хворобою Альцгеймера та ін.

Прибічники трансгенних рослин вважають, що їх виробництво і використання має великі переваги і перспективи. По-перше, трансгенна продукція високоврожайна, тому можуть збільшуватися ресурси продовольства для населення. По-друге, під час вирощування трансгенних культур можна значно зменшити кількість пестицидів, що зараз використовуються у сільському господарстві, і, одночасно, захистити людський організм від їх шкідливої дії і довкілля від забруднення.

До трансгенних рослин третього покоління належать такі, з яких виготовляють багато медичних препаратів. Такі рослини називають «біофабриками». До них належать, зокрема, антикоагулянти, фактори крові, фактори, що стимулюють імунну систему, еритропоетин (стимулює утворення еритроцитів), ростові фактори, гормон росту людини (для лікування карликовості), людський інсулін, інтерферон (пригнічує віруси, лікує деякі форми раку), лейкосини (активують і стимулюють роботу різних типів лейкоцитів), моноклональні антитіла (для діагностики, а також для адресної доставки ліків, токсинів, ізотопів до ракових пухлин), супероксид дисмутаза (для відновлення кровотоку під час хірургічних операцій), вакцини (проти гепатиту В).

Химерні організми, або химери — це організми або їх частини, що складаються з генетично різнорідних ділянок тканин або клітин. Серед рослин-химерів більшість отримані методом щеплення. Трансплантація тканин із метою отримання химерних тварин дозволяє вивчати генетичні закономірності сумісності тканин при пересадці. Трансгенний організм — це такий організм, у якому генетичний матеріал змінений за допомогою штучних прийомів переносу генів, які не відбуваються у природних умовах. Крім трансформації генів інших рослин, можуть бути гени бактерій, тварин і, навіть, людини.

### Перевірте себе

1. Які організми називають химерними?
2. Яким чином отримують химерні організми рослин і тварин?
3. Навіщо потрібні химери?



4. Які організми називають трансгенними?
5. Яким чином отримують трансгенні організми?
6. Назвіть трансгенні рослини та продукти, виготовлені з них.

#### Поміркуйте

1. Чим химерні організми відрізняються від трансгенних?
2. Поясніть необхідність людства у химерних організмах.
3. Які переваги дає використання трансгенних рослин?

#### Подискутуйте

1. Яке значення химерних та трансгенних організмів у житті людства?

#### Проекти

1. Екологічні технології вирощування сільськогосподарської продукції — альтернатива створення трансгенних культур.
2. Методи виявлення генетично модифікованих організмів та їх похідних.
3. Генетично модифіковані організми.
4. Ставлення до трансгенних харчових продуктів у світі і в Україні як потенційно небезпечних.

### § 13. Генетичні основи селекції організмів

**Селекція** — це наука про теоретичні основи та методи створення штучних популяцій організмів із корисними для людини ознаками. За М. І. Вавиловим селекція є еволюцією «керованою людиною». Базується селекція на практичній діяльності людини, спрямованій на отримання нових і вдосконалення вже існуючих сортів рослин, порід тварин і штамів мікроорганізмів.

**Селекція** — це штучний добір, кінцевою метою якого є отримання певної кількості організмів з наперед заданими якостями. Тоді як внаслідок природного добору у природі з'являються форми життя, найбільш пристосовані до умов навколишнього середовища.

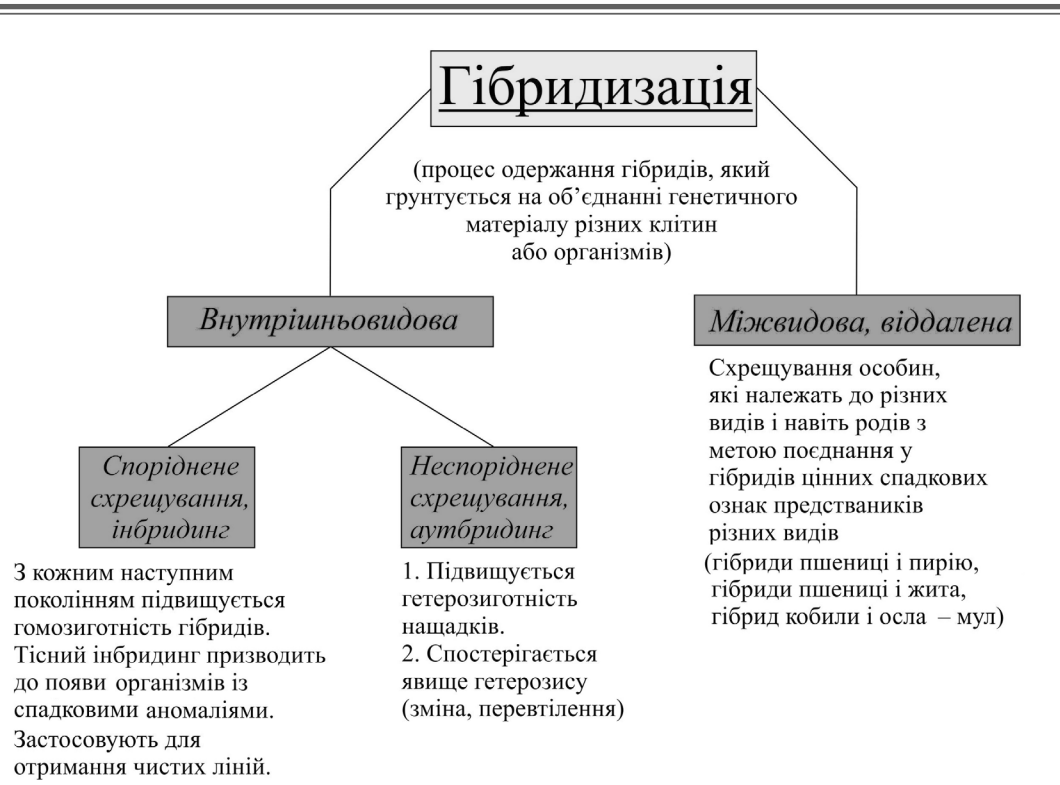
Завданнями сучасної селекції є: підвищення продуктивності існуючих, а також виведення нових, продуктивніших, сортів культурних рослин, порід свійських тварин, штамів мікроорганізмів, пристосованих до умов сучасного автоматизованого сільського господарства; створення сортів рослин, придатних для механізованої обробки і збору, з необхідними технологічними якостями (при перевезенні, зберіганні і переробці); створення сортів рослин пластичних по відношенню до умов середовища; створення порід тварин, придатних для утримування на тваринницьких комплексах, для машинного доїння; створення порід і сортів, стійких проти захворювань; одомашнення диких тварин.

**Методи селекційної роботи.** Основними методами селекційної роботи є: штучний добір (несвідомий добір; плановий, методичний (масовий та індивідуальний), гібридизація.

**Гібридизація** — це процес одержання гібридів, який ґрунтується на об'єднанні генетичного матеріалу різних клітин або організмів. Розгляньте схему на мал. 4.34, де показано, що гібридизація може бути міжвидовою (віддаленою), чи внутрішньовидовою.

Під час внутрішньовидової гібридизації використовуються методи неспорідненого (аутбридинг) і спорідненого (імбридинг) схрещування. Тісний імбридинг призводить до появи організмів із спадковими аномаліями. Застосовують його для отримання чистих ліній. Аутбридинг підвищує гетерозиготність нащадків.



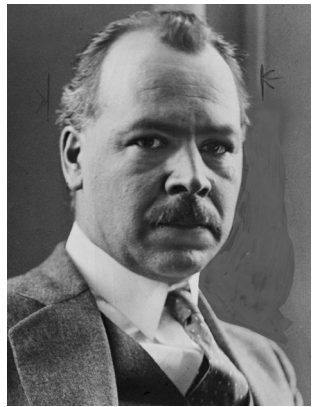


Мал. 4.34. Схема гібридизації

Під час внутрішньовидової гібридизації використовуються методи неспорідненого (аутбридинг) і спорідненого (імбридинг) схрещування. Тісний інбридинг призводить до появи організмів із спадковими аномаліями. Застосовують його для отримання чистих ліній. Аутбридинг підвищує гетерозиготність нащадків.

Сучасними генетико-селекційними методами є: віддалена внутрішньовидова гібридизація, експериментальний мутагенез, поліплоїдія, клітинна і генна інженерія.

**Особливості селекції рослин.** Селекцією рослин займався М. І. Вавилов (мал. 4.35). Він досліджував центри походження і різноманітність культурних рослин.



Мал. 4.35. Микола Іванович Вавилов

**Микола Іванович Вавилов** (13 (25) листопада 1887 — 26 січня 1943) — радянський вчений-генетик, ботанік, академік АН СРСР і АН УРСР. Присвятив своє життя вивченню і удосконаленню пшениці, зернових та інших хлібних культур. У 1933–1940 очолював Інститут генетики АН СРСР (організований на базі Генетичної лабораторії). У 1940 арештований за доносом. Помер у 1943 р. у в'язниці від запалення легенів.

Численні експедиції у 20–30-х роках ХХ сторіччя дали змогу встановити, що для різних видів культурних рослин є свої центри різноманіття, де виявлено найбільшу кількість їхніх сортів і форм. Центри різноманіття є водночас і районами їхнього походження. М. І. Вавилов виділив 7 основних центрів: південноазіатський тропічний, східноазіатський, південно-західноазіатський, середземноморський, центрально-американський, південноамериканський, абіссинський.

Методами селекції рослин є міжлінійна гібридизація, поліплоїдія, віддалена гібридизація, індукований мутагенез.

Міжлінійна гібридизація — схрещування, яке проводиться між кількома створеними чистими (інбредними) лініями. Вона спричинює створення високопродуктивних рослин і тварин.

Поліплоїдія — це тип мутацій, пов'язаних із кратним збільшенням кількості хромосом. Це явище пов'язане з порушенням процесів мітозу або мейозу.

Віддалена гібридизація — це схрещування особин, що належать до різних видів або родів. Наприклад, відомі гібриди редьки й капусти, пшениці й пирію, тритікале (гібрид пшениці і жита).

Індукований мутагенез викликаний спеціальними направленими діями, які підвищують мутаційний процес. Це хімічні сполуки, різні види іонізованої радіації.

Розгляньте таблицю і ознайомтеся з відомими селекціонерами України.

Таблиця «Вчені-селекціонери рослин України»

Селекціонер	Внесок в селекцію	Результати праці / сорти
М.В. Дидин	Віддалена гібридизація культурних і декоративних рослин	Пшенично-пирійний, пшенично-елі-мусний, житньо-пирійний гібриди.
Л.П. Лук'яненко	Виведення сортів озимих пшениць	Безоста, Аврора, Кавказ.
В.М. Ремесло	Виведення сортів озимих пшениць	Миронівська-264, Миронівська-ювілейна, Миронівська-807, Іллічівка, Миронівська ярова
Ф.Г. Кириченко	Виведення сортів озимих м'яких і твердих пшениць	Одеська-3, — 26, — 12, — 16, Степова, Мічурінка, Одеська Ювілейна
В.Є Писаров	Виведення високоврожайних сортів пшениці (метод клітинної інженерії)	Киянка
І.М. Хаждінов	Селекція кукурудзи (явище цитоплазматичної чоловічої стерильності)	20 високоврожайних сортів кукурудзи
Т.Є. Тарасенко, І.Д. Прохожай	Селекція ярового ячменю	Донецький-4, — 6
Н. А. Лебедев	Селекція картоплі	
В. С. Пустовойт	Селекція соняшника	
М. П. Дубінін А. Н. Лужков В. О. Панін	Селекція буряків	

**Особливості селекції тварин.** Характерними рисами селекції тварин є застосування лише статевого розмноження, утворення малочисельного потомства, висока вартість окремої особини.

У селекції тварин застосовують методи: споріднене схрещування, неспоріднене схрещування, віддалена гібридизація, гетерозис.

Споріднене схрещування застосовують для переведення генів породи у гомозиготний стан. Наприклад, схрещування брата і сестри. Воно сприяє поліпшенню породи, послаблює вплив близькоспорідненого схрещування.

Неспоріднене схрещування підтримує властивості або поліпшує їх у ряді наступних поколінь гібридів міжособової породи або при ретельному доборі.

Віддалена гібридизація створює нові продуктивні форми. Це схрещування особин, що належать до різних видів або навіть родів. Наприклад, виведення мула (гібрид кобили з ослом) (мал. 4.36).

**Гетерозис** — явище, що спостерігається при неспорідненому схрещуванні. Перше покоління гібридів має підвищену життєздатність. Часто спостерігається підвищена активність деяких ферментів, розширення їх набору.

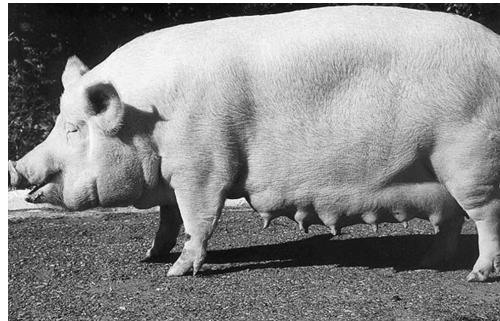
Сучасна селекція тварин працює над оцінкою тварин в змінних умовах годування і утримування (приріст за добу ВРХ: 900–1000 г; свиней: 500–600 г живої маси); зміцненням кормової бази; використанням для схрещування кращих порід світу (банк генів — годштинська, айтирська, англєрська породи ВРХ); збереженням цінних вітчизняних порід; створенням генофондних господарств; одомашненням диких тварин.

Результатами селекційної роботи є одомашнення деяких співочих птахів, ставкових риб (короп, товстолоб, амур), фазанів, качок. У наш час добре розвинене хутрове звіроводство. Наприклад, у Росії розводять лосів; в Україні — антилоп, зебр, страусів (Асканія-Нова); в США, Канаді — мускусного бика; в Африці — бегемота; в Південній Америці — лангустів; в Японії — перепілок.

Так в Україні (м. Полтава) виведена високопродуктивна порода свиней — біла степова українська свиня (мал. 4.37. У Казахстані селекціонерами Я. Я. Лусісом та Н. С. Бутаріним створена порода тонкорунних овець (архаромеринос).



Мал. 4.36. Мул — гібрид кобили і осла



Мал. 4.37. Біла степова українська свиня

**Особливості селекції мікроорганізмів.** Особливостями мікроорганізмів, які враховують під час їхньої селекції є те, що у них відсутній статевий процес і тому щодо них неприйнятний метод гібридизації; для збільшення різноманітності вихідного матеріалу застосовують штучний мутагенез; у деяких випадках проводять штучне схрещування різних штамів за допомогою вірусів-бактеріофагів, які переносять спадкову інформацію. У селекції мікроорганізмів широко застосовують методи генетичної та клітинної інженерії.

Основні напрями селекції мікроорганізмів і грибів є хлібопекарництво, виноробство, пивоваріння, виробництво спирту, молочна промисловість, кондитерська промисловість, синтез кормового білка, добування цінних металів із руд, переробка промислових відходів; стимуляторів росту, біологічних засобів захисту рослин від шкідників і хвороб, виробництво антибіотиків, вітамінів, гормонів (інсулін, інтерферон, соматотропін), амінокислот, білків тощо.

**Селекція** — це наука про теоретичні основи та методи створення штучних популяцій організмів із корисними для людини ознаками. Основними методами селекційної роботи є: штучний добір (несвідомий добір; плановий, методичний (масовий та індивідуальний), гібридизація. Основними напрямками селекційної роботи є виведення нових сортів рослин і порід тварин, хлібопекарництво, виноробство, пивоваріння, виробництво спирту, молочна промисловість, кондитерська промисловість тощо.

---

---

### Перевірте себе

1. Що вивчає селекція?
2. Які існують методи селекційної роботи?
3. Назвіть вчених-селекціонерів рослин та зазначте їх напрям досліджень.
4. Які відомі методи селекції тварин?
5. Які досягнення світової селекції?

### Поміркуйте

1. Яке місце займає селекція серед решти біологічних наук?
2. Які досягнення селекції рослин (тварин, мікроорганізмів) в Україні?

### Подискутуйте

1. Чи поєднані між собою селекція і генетика?

### Проекти

1. Районовані сорти зернових, їх селекція.
2. Селекція тварин.
3. Досягнення та перспективи селекції мікроорганізмів.

## § 14. Основні напрямки сучасної біотехнології

**Біотехнологія** — це напрям сучасної науки і техніки, головним завданням якого є використання біологічних процесів і об'єктів для виробництва економічно важливих речовин і створення високопродуктивних сортів рослин, порід тварин і штамів мікроорганізмів. Слово «біотехнологія» утворене поєднанням слів «біологія» + «технологія».

Сучасна біотехнологія ґрунтується на основних досягненнях біохімії, мікробіології, генетики, молекулярної біології, клітинної біології, екології та інших біологічних і технічних наук.

Основними напрямками біотехнології є: промислова мікробіологія, біотехнологія виробництва ферментів та фармацевтичних препаратів, біотехнологія переробки відходів та вторинних продуктів, біотехнологія збагачення руд, біотехнологія виробництва етанолу (метанолу) та біогазу, технологія рекомбінантних ДНК, одержання гібридів та клональна біотехнологія.

У біотехнології, як комплексній науці, виділяють три великі розділи: біотехнологія рослин, біотехнологія тварин і біотехнологія мікроорганізмів.

Так, завдяки стрімкому прогресу вірусології (у дослідженнях бактеріофагів), бактеріології (поглибленому вивченню фізіології, генетики і молекулярної біології кишкової палички, а також вивченню плазмід), молекулярної генетики (встановлення генетичного коду) були накопичені знання і розроблені методи генної інженерії.

**Генетична інженерія** — система експериментальних засобів, які дають змогу сконструювати лабораторним шляхом штучні генетичні структури у вигляді, так званих, рекомбінантних молекул ДНК. Суть генетичної інженерії полягає в переміщенні окремих генів із одного організму (клітини) в інший, що призводить до різних фенотипових змін організмів (клітин).

Досягненнями генетичної інженерії є те, що вчені можуть в умовах *in vitro* розрізати молекули ДНК у потрібному місці, ізолювати і очистити окремі її фрагменти, синтезувати їх з чотирьох дезоксирибонуклеотидів, можуть зшивати такі фрагменти. Техніка рекомбінантних ДНК, що лежить в основі генетичної інженерії, має велике значення не тільки для практики, але й значно розширює можливості пізнання фундаментальних основ організації й функціонування геномів.

В Україні дослідження в галузі генної інженерії розпочато з деяким запізненням, порівняно із західними країнами. Все ж на даний час одержано клони гібридних клітин, що виробляють моноклональні антитіла, які використовуються у діагностиці лейкозів і лімфозів, планується одержати нові моноклональні антитіла для діагностики алергічних, інфекційних, злоякісних захворювань. Розширюються роботи з клітинної біології та клітинної інженерії рослин. На високому рівні ведуться роботи з соматичної (нестатевої) гібридизації шляхом злиття ізольованих протопластів. Розроблено технологію генетичної трансформації шляхом мікроін'єкції ДНК у культивовані клітини і зародки.

На сьогоднішній день генетична інженерія сільськогосподарських рослин розвивається переважно в руслі класичної селекції. Основні зусилля вчених зосереджені на захисті рослин від несприятливих (біотичних та абіотичних) факторів, покращенні якості та зменшенні втрат при зберіганні продукції рослинництва. Зокрема, це підвищення стійкості проти хвороб, шкідників, заморозків, солонцюватості ґрунту тощо, видалення небажаних компонентів із рослинних олій, зміна властивостей білку і крохмалю в пшеничному борошні, покращення лежкості та смакових якостей овочів та ін. Порівняно з традиційною селекцією, основними інструментами якої є схрещування і відбір, генна інженерія дає можливість використання принципово нових генів, які визначають агрономічно важливі ознаки, і нових молекулярно-генетичних методів моніторингу трансгенів (молекулярні маркери генів), що в багато разів прискорюють процес створення трансгенних рослин. Селекціонерів приваблює можливість цілеспрямованого генетичного «ремонт» рослин. Важливим напрямом є створення генетично модифікованих рослин (ГМР) з ознакою чоловічої стерильності. Крім того, завдяки генетичній модифікації рослини можуть виконувати не властиву їм раніше функцію. Прикладом є коренеплоди цукрових буряків, які накопичують замість сахарози низькомолекулярні фруктами, банани, які використовують як їстівну вакцину. Завдяки введенню генів бактерій вищі рослини набувають властивостей руйнувати чужорідні органічні сполуки (ксенобіотики), що забруднюють оточуюче середовище. Вирощування ГМР, стійких до широкого спектру хвороб та комах-шкідників, може суттєво знизити, а в подальшому звести до мінімуму пестицидне навантаження на оточуюче середовище.

**Клітинна інженерія** — це самостійна галузь біологічних та медичних наук, завданням якої є створення нових, не існуючих раніше в природі клітин із заданими властивостями. До недавнього часу клітинну інженерію вважали галуззю генетичної інженерії, однак, за останнє десятиліття, враховуючи наявність власних методів, конкретних цілей та завдань, вона виділилась як самостійна галузь біологічних та медичних наук.

Досягненнями клітинної інженерії є отримання довгоживучих гібридних клітин, у тому числі, клонів, що розмножуються; встановлення правила комплементации генів у гібридних соматичних клітинах; формулювання поняття про гени «розкоші» і гени «необхідності» та встановлення правила пригнічення функцій генів «розкоші» у гібридах; встановлення факту вибіркової втрати хромосом (сегрегації) у міжвидових гібридах та розробка підходів координування даного процесу; реконструкція клітин, створення реконструйованих клітин (гібридів та каріогібридів); отримання фактів про позитивний та негативний контроль проліферації гібридних клітин; отримання гібридних клітин між віддаленими організмами різних видів, класів та царств (наприклад, гібридів клітин рослин і тварин; гібридів тварин та дріжджів).

Першим практичним застосуванням досягнень клітинної інженерії стала розробка гібридомної технології та отримання з її допомогою моноклональних антитіл. Другим практичним застосуванням досягнень клітинної інженерії є доказ можливості направленої генетичної трансформації соматичних та статевих клітин тварин і рослин та отримання таким шляхом клітин-продуцентів заданих білкових продуктів.



---

**Біотехнологія рослин.** Біотехнологія, застосовуючи традиційні знання фізіології рослин і сучасну технологію, може зробити вагомий внесок для того, щоб: збільшити виробництво, поживні якості і строки зберігання продуктів харчування і фуражу; підвищити стійкість сільськогосподарських культур до хвороб і шкідників із метою зниження потреби у хімічних пестицидах; розробити безпечні та ефективні методи біологічної боротьби з комахами-переносниками хвороб, особливо стійких до пестицидів; підвищити родючість ґрунту та ступінь засвоєння рослинами поживних речовин; використовувати фототрофні керовані біосинтези для виробництва ліків, продуктів харчування і сировини, впроваджувати нові нетрадиційні культури; використовувати більш дешеві та ефективніші способи очищення стічних вод та обеззараження шкідливих відходів виробництва; забезпечити відновлювальними джерелами енергії та сировини на основі розкриття фізико-хімічних механізмів фотосинтезу, використання органічних відходів та біомаси.

**Перспективи та проблеми біотехнології.** Перед біотехнологією, як важливою галуззю біологічної науки, відкриваються значні перспективи як у теоретичному, так і в практичному, аспектах. З'являються нові напрями біологічного дослідження, які виявляють і вивчають технологічні ознаки живого і можливість їх трансформації в біотехнічні системи. Актуальним і перспективним є застосування біотехнології для вирішення проблем охорони навколишнього середовища таких як: використання біотехнології для освоєння мінеральних ресурсів; заміна хімічних технологій, що не підлягають циркуляції, на біотехнології; інтенсифікація використання біодобрив; утилізація біомаси та різних видів органічних відходів; видалення та знешкодження забруднюючих речовин; ефективна очистка стічних вод; отримання стійких до стресових чинників рослин для відтворення та відновлення земель і лісів; збереження біологічної різноманітності.

Однак, поряд із перспективами, існують і проблеми щодо наслідків практичного застосування досягнень біотехнології. До таких проблем належать експерименти, пов'язані із заплідненням у пробірці (*in vitro*) яйцеклітин і отримання дітей «із пробірки». Ще однією соціально-етичною проблемою є визначення соціально-генетичного статусу людей. Йдеться про введення в практику генетичного дослідження людей, створення їх нуклеотидних карт, прагнення використати молекулярно-генетичні карти для визначення професійної орієнтації та зайнятості людей. У зв'язку з можливістю оприлюднення результатів генетично обслідування у суспільстві може виникнути проблема захисту людей із несприятливими генотипами у відношенні вибору ними професії, прийняття на роботу, навчання тощо. Складною і важливою етичною проблемою біотехнології є проведення експериментів, спрямованих на створення за допомогою генетичної інженерії нових видів біологічної (бактеріологічної) зброї. Бактеріологічною зброєю можуть бути культури збудників особливо небезпечних хвороб (чуми, холери, туляремії, бруцельозу тощо). Методологія генної інженерії дозволяє створювати резистентні до всіх сучасних лікарських речовин штами бактерій і віруси, які важко діагностувати. Ці штами характеризуються підвищеною вірулентністю, здатністю довго перебувати у навколишньому середовищі у незміненому вигляді; легко пристосовуються до умов внутрішнього середовища організму людини й тварин і викликати захворювання з невідомою клінічною картиною. З використанням методів біотехнології на основі токсинів можливим є створення супертоксинів, що здатні до масового знищення живих організмів. Саме тому нові різновидності мікроорганізмів, створені з використанням методів біотехнології, до їх впровадження в практику повинні бути ретельно апробовані і оцінені з точки зору їх впливу на здоров'я людей і збереження генетичної різноманітності та екологічного балансу у біосфері. Важливе значення набуває розширення і зміцнення міжнародного співробітництва щодо оцінки і регулювання ризику використання біологічних об'єктів,

---

---

які в умовах відсутності необхідного контролю за їх функціонуванням, можуть впливати на живі системи і людину як біологічна зброя. Тому надзвичайно важливими є наукові експертизи, прогнози використання біотехнічних систем.

**Біотехнологія** — це напрям сучасної науки і техніки, головним завданням якого є використання біологічних процесів і об'єктів для виробництва економічно важливих речовин і створення високопродуктивних сортів рослин, порід тварин і штамів мікроорганізмів. **Генетична інженерія** — система експериментальних засобів, які дають змогу сконструювати лабораторним шляхом штучні генетичні структури у вигляді так званих рекомбінантних молекул ДНК. **Клітинна інженерія** — це самостійна галузь біологічних та медичних наук, завданням якої є створення нових, не існуючих раніше в природі клітин із заданими властивостями.

### Перевірте себе

1. Що таке біотехнологія?
2. Які досягнення біотехнології?
3. Що таке генетична інженерія?
4. Які досягнення та перспективи генетичної інженерії?
5. Що таке клітинна інженерія? Які її досягнення?
6. Які перспективи розвитку біотехнології?

### Поміркуйте

1. Що нового внесла біотехнологія у розвиток біології?
2. Чим генетична інженерія відрізняється від клітинної інженерії?

### Проекти

1. Виникнення і розвиток біотехнології.
2. Основні напрями досліджень біотехнології.
3. Генна інженерія та трансгенні організми.
4. Клітинна інженерія, її досягнення.

## § 15. Запліднення. Періоди онтогенезу у багатоклітинних організмів:

### Ембріогенез і постембріональний розвиток. Пояснення їх на основі ЗЗП

**Запліднення** — це процес злиття чоловічої і жіночої статевих клітин рослинних і тваринних організмів. Запліднення лежить в основі статевого розмноження.

Розрізняють зовнішнє і внутрішнє запліднення. При зовнішньому заплідненні злиття гамет відбувається поза тілом самки, тоді як при внутрішньому заплідненні — гамети зливаються в тілі самки. Запліднену яйцеклітину називають *зиготою*.

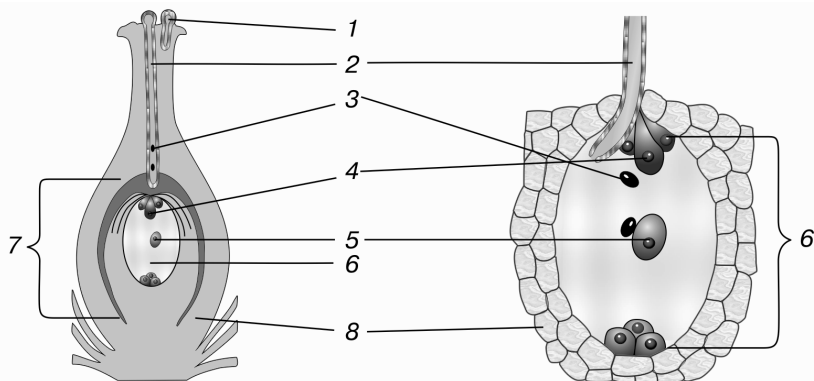
Зовнішнє запліднення спостерігається у багатьох безхребетних тварин, риб, безхвостих земноводних, які відкладають статеві продукти (ікру) в навколишнє середовище. Запліднення у цих тварин, а також розвиток зиготи залежать від умов середовища.

У тварин із внутрішнім заплідненням (переважно у наземних тварин) є спеціальні придаткові статеві органи для перенесення сперми з тіла самців у тіло самок. Цей процес потребує узгодження дій самця і самки, і тому у тварин виробилися складні форми поведінки (статеві інстинкти), які забезпечують цю узгодженість.

Запліднення у рослин (покритонасінних) відбувається після запилення. Розгляньте на *мал. 4.38* запліднення у рослин. Пилкова трубка пилку за короткий час проходить крізь пухку тканину стовпчика маточки квітки і через мікропіле проникає до зародкового мішка. Ріст пилкової трубки активізує вегетативна клітина, розміщена в прикінцевій частині. За вегетативною клітиною в пилкову трубку пе-

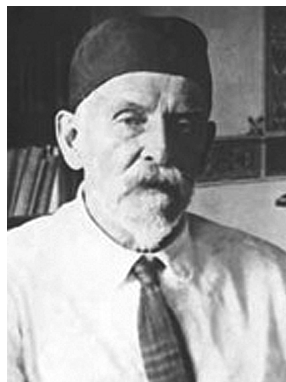


реходить генеративна клітина, з якої в результаті мітотичного поділу утворюються два спермії. В окремих випадках спермії можуть утворюватися ще в пиляку. В місці контакту пилкової трубки із зародковим мішком стінки останнього ослизнюються, і пилкова трубка проходить усередину. Досягнувши яйцеклітини, пилкова трубка розривається і з неї виходять два спермії, а вегетативна клітина трубки руйнується. Один із сперміїв зливається з ядром яйцеклітини, утворюючи зиготу, а другий — із вторинним (диплоїдним) ядром центральної клітини, яка дає початок ендосперму.



Мал. 4.38. Схема подвійного запліднення у квіткових рослин: 1 — пилкові зерна; 2 — пилкова трубка; 3 — спермії; 4 — яйцеклітина; 5 — центральна клітина; 6 — зародковий мішок; 7 — насінний зачаток; 8 — покрив насінного зачатка.

У зародковий мішок може проникати декілька пилкових трубок. Однак спермії цих трубок не беруть участі в заплідненні і дегенерують. Коли у зав'язі є декілька насінних зачатків, то в кожному з них відбувається описаний вище процес.



Мал. 4.39. Сергій Гаврилович Навашин (1857–1930)

Таким чином у зародковому мішку відбувається подвійне запліднення. Його відкрив професор Київського університету Святого Володимира (тепер імені Тараса Шевченка) С. Г. Навашин (мал. 4.39) у 1898 році.

Значення подвійного запліднення полягає в тому, що і зигота, і первинна клітина ендосперму, маючи подвійну спадковість, набувають більшої життєздатності і пристосованості до умов існування. Звідси стає зрозумілою роль численних пристосувань у морфології та фізіології квітки, спрямованих на забезпечення перехресного запилення, що є проявом закономірності збереження.

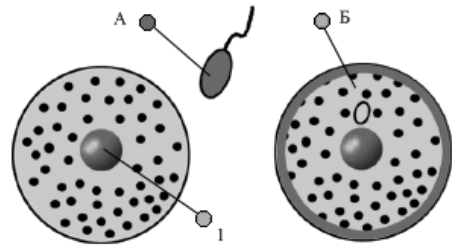
Для процесу запліднення водоростей та вищих спорових рослин (мохів, папоротей, хвощів, плаунів) потрібна волога, в якій пересуваються рухомі сперматозоїди. Статеве розмноження голонасінних і покритонасінних рослин не залежить від вологості середовища існування. У них заплідненню передують також запилення, яке відбувається тільки за допомогою вітру.

**Запліднення у ссавців.** Запліднення у різних тварин здійснюється по-різному. На прикладі жаби розглянемо, як відбувається запліднення у тварин. Незапліднена ікринка покрита декількома захисними оболонками, що оберігають її від зовнішніх дій. Сперматозоїди активно пересуваються у воді і при зустрічі з яйцеклітиною проникають всередину неї.

У ссавців проникання сперматозоїда в яйцеклітину супроводжується розчиненням її оболонки за допомогою різних ферментів, які виділяє сперматозоїд (мал. 4.40).



У багатьох комах яйцеклітини мають щільну оболонку, і сперматозоїд проникає через невеликі отвори в ній. У деяких водних організмів на поверхні яйцеклітини, на місці контакту із сперматозоїдом, утворюється невеликий сприймаючий горбик, який потім втягується всередину разом із сперматозоїдом. Звичайно в цитоплазму яйцеклітини проникає лише головка сперматозоїда з мітохондрією і центріолею, а хвіст залишається зовні. Оболонка головки розчиняється, ядро набрякає до розмірів ядра яйцеклітини. Потім ядра зближуються і зливаються. Іноді в яйцеклітину одночасно проникає кілька сперматозоїдів, проте ядро яйцеклітини зливається з ядром одного з них, а інші розсмоктуються. В зиготі всі хромосоми стають парними: в кожній парі гомологічних хромосом одна хромосома належить яйцеклітині, друга — сперматозоїду. Це явище має велике значення для еволюції. Організм, що розвивається із зиготи, характеризується більшими можливостями пристосувань до змінних умов середовища існування, що є проявом закономірності збереження та направленості процесів.



Мал. 4.40. Процес запліднення (А — сперматозоїд; Б — зигота; 1 — яйцеклітина).

**Штучне запліднення** здійснюють у лабораторних умовах або штучно в природі. Запліднення у ссавців відбувається тоді, коли отримана від самця сперма використовується для вприскування у піхву або в матку самиці. В останньому випадку попередньо необхідно відділити сперматозоїди від рідини, в якій вони знаходяться.

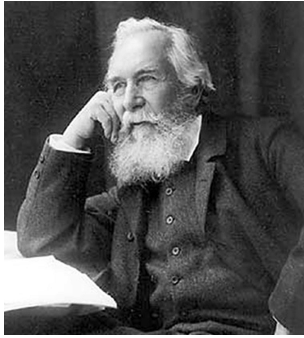
У випадку безплідності в людей також може використовуватись пересадка одразу і яйцеклітини і сперматозоїдів прямо до фаллопієвих труб, де запліднення проходить природнім шляхом, що є закономірністю направленості процесів.

Штучне запліднення може відбуватись і за межами тіла, «в пробірці». Яйцеклітини хірургічним шляхом видаляються з жіночого репродуктивного тракту і запліднюються сперматозоїдами. На другий день (4-клітинна стадія) ембріон повертають до фаллопієвої труби або матки, де його розвиток продовжується. Ссавці, зачаті «в пробірці», почали народжуватись з 1950 років, а перша людська дитина народилась у результаті такого запліднення в 1978 р. з тих пір — це звичайний спосіб боротьби з безпліддям. Якщо сперматозоїди занадто слабкі, щоб проникнути до яйцеклітини, або їх вміст у спермі дуже малий, то може бути проведена операція по вживленню окремо взятого сперматозоїда прямо всередину яйцеклітини. І яйцеклітини, і сперматозоїди можуть бути заморожені для подальшого використання під час штучного запліднення.

**Біологічне значення запліднення** полягає у збільшенні спадкового різноманіття, оскільки нащадки поєднують у собі ознаки як материнського, так і батьківського організмів. При утворенні статевих клітин у процесі мейозу виникають гамети із різним сполученням хромосом, тому нові організми можуть поєднувати в собі ознаки обох батьків у різноманітних сполученнях. Унаслідок цього відбувається збільшення спадкового різноманіття організмів.

Унаслідок злиття статевих клітин із різною спадковістю при статевому розмноженні утворюється більш життєздатне потомство, ніж при нестатевому розмноженні. При заплідненні відбувається відновлення хромосомного набору, притаманного даному виду.

**Онтогенез** — індивідуальний розвиток організму з моменту утворення зиготи до природної смерті. Термін «онтогенез» вперше був введений німецьким біологом Ернстом Геккелем (мал. 4.41) в 1866 році. Під час онтогенезу відбувається процес реалізації генетичної інформації, отриманої від батьків.



Мал. 4.41. Ернст Геккель

У багатоклітинних тварин в онтогенезі прийнято розрізняти фази ембріонального (під покривом яйцевих оболонок) і постембріонального (за межами яйця) розвитку, а у живонароджених тварин пренатальний (до народження) і постнатальний (після народження) онтогенез.

У багатоклітинних рослин до ембріонального розвитку належать процеси, які відбуваються в зародковому мішку насінневих рослин.

Онтогенез поділяють на періоди: ембріональний, постембріональний, статевої зрілості й старіння. Ембріональний (зародковий) період охоплює проміжок часу від утворення зиготи до народження або виходу з яєчних оболонок. Постембріональний (післязародковий) — від виходу з яєчних оболонок або від народження до набуття організмом здатності

до розмноження. Період статевої зрілості характеризує здатність організму до розмноження, а період старіння — втратою здатності до розмноження і закінчується смертю.

**Ембріональний, або зародковий, період онтогенезу** починається з моменту запліднення і триває до виходу зародка з яєчних оболонок. У більшості хребтних онтогенез включає три основні етапи (фази): дроблення, гастрюляцію і первинний органогенез (мал. 4.42).

**Дроблення** — ряд послідовних мітотичних ділень заплідненого яйця. Дроблення наявне в онтогенезі всіх багатоклітинних тварин і призводить до утворення зародка, який називають бластулою (зародок одношаровий). При цьому маса зародка і його об'єм не змінюються і залишаються такими ж, як у зиготи, а яйце ділиться на дрібні клітини — бластомери. Після кожного ділення клітини зародка стають все менших розмірів. У них ядро залишається тих же розмірів, а об'єм цитоплазми зменшується. Процес протікає до тих пір, поки ці показники не досягнуть значень, характерних для соматичних клітин.

Тип дроблення залежить від кількості жовтка і його розташування в яйці. Якщо жовтка мало і він рівномірно розподілений в цитоплазмі (у плоских червів, ссавців), то дроблення протікає за типом повного рівномірного. При цьому бластомери однакові за розмірами, а яйце все дробиться. Якщо жовток розподілений нерівномірно (у амфібій), то дроблення протікає за типом повного нерівномірного. Бластомери при цьому утворюються різної величини.

Під час **гастрюляції** з одношарового зародка (бластули) багатоклітинних тварин утворюється двошаровий (гаструла) (мал. 4.42).

Механізмами гастрюляції є: інвагінація (вгинання частини стінки бластули всередину зародка) або імміграція (вселення окремих клітин із поверхні зародка до бластули). Під час гастрюляції клітини зародка практично не діляться і не ростуть. Відбувається активне пересування клітинних мас (морфогенетичні рухи). В результаті гастрюляції формуються зародкові листки (пласти кліток). Гастрюляція призводить до утворення зародка, який має назву гаструлою.

**Первинний органогенез** — це утворення комплексу осьових органів. У різних груп тварин цей процес характеризується своїми особливостями. Наприклад, у хордових на цьому етапі відбувається закладка нервової трубки, хорди і кишкової трубки.

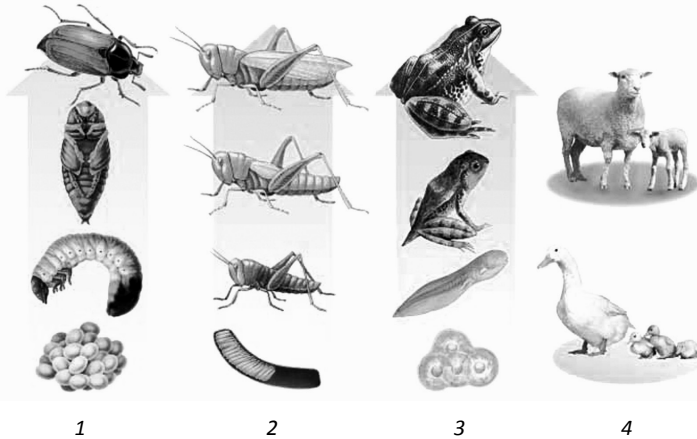


Мал. 4.42. Основні етапи онтогенезу хребтних тварин

У ході подальшого розвитку формування зародка здійснюється за рахунок процесів зростання, диференціювання і морфогенезу. Зростання забезпечує накопичення клітинної маси зародка. В ході процесу диференціювання виникають різні спеціалізовані клітини, що утворюють різні тканини і органи. Процес морфогенезу забезпечує набуття зародком специфічної форми.

**Постембріональний розвиток** — це період індивідуального розвитку організму від народження й до смерті організму. Він буває прямим і непрямим.

При прямому розвитку організм, що тільки-но народився, ідентичний за будовою дорослому організму, але має менші розміри і не володіє статевою зрілістю (мал. 4.43, 2, 4). Подальший розвиток пов'язаний із збільшенням розмірів і набуттям статевої зрілості. Наприклад, розвиток рептилій, птахів, ссавців.



Мал. 4.43. Прямий і непрямий розвиток у тварин

Непрямий розвиток, або розвиток із метаморфозами обумовлює появу організмів, які за будовою і зовнішнім виглядом відрізняються від дорослого організму. Такий організм називають личинкою. Вона відрізняється від дорослого організму зовнішньою та внутрішньою будовою, характером живлення, рухом. Із часом личинка перетворюється у дорослий організм (імаго).

Непрямий розвиток відбувається в кілька послідовних етапів (фаз), на кожному з яких тварина характеризується певними особливостями будови та життєвих функцій. Наприклад, у процесі розвитку комах із неповним перетворенням (клопи, бабки, таргани, прямокрилі, воші) виділяють фази: яйця, личинки та дорослої комахи, а при розвитку з повним перетворенням (метелики, жуки, перетинчастокрилі, блохи тощо) — яйця, личинки, лялечки та дорослої комахи (мал. 4.43, 1, 3).

Непрямий тип розвитку надає організмові значні переваги. Звичайно личинка є стадією розвитку, спеціально пристосованою для активного живлення й росту (комахи, земноводні тощо). Як правило, при непрямому постембріональному розвитку личинки й дорослі особини одного виду живуть у різних умовах і завдяки цьому не конкурують одні з іншими за місця існування та їжу. Завдяки цьому вид може мати велику кількість особин. Так, у метеликів гусінь живиться листками рослин, тоді як дорослі метелики — нектаром квітів. У хруща личинки живуть у ґрунті і живляться перегноем та корінням рослин, а дорослі особини — листям. У жаби пугілки живляться водоростями, одноклітинними, іншими безхребетними, а дорослі жаби — комахами, їх личинками, павукоподібними, іноді — мальками риб. При цьому особливе значення має фаза лялечки, на якій відбувається докорінна перебудова організму: за участю лізосом перетравлюється більшість внутрішніх органів

личинки (травна, м'язова, видільна системи тощо), а з особливих зародкових клітин формуються тканини та органи дорослої комахи.

Непрямий тип розвитку забезпечує важливі біологічні функції, які сприяють існуванню виду.

**Живильна функція** полягає в тому, що на певній фазі розвитку тварина отримує найбільше поживних речовин, потрібних для завершення розвитку. У комах цю функцію здійснює личинка. Наприклад, гусінь метеликів за час свого розвитку може збільшувати масу тіла в 10000 разів і більше. Дорослі комахи не ростуть і живляться тільки для підтримання обміну речовин чи розвитку статевих продуктів, а деякі не живляться взагалі, використовуючи запаси поживних речовин, накопичені личинкою (наприклад, одноденки, шовковичний шовкопряд, оводи).

**Раціональне використання ресурсів.** Різні фази розвитку нерідко розділені просторово, як за способом, так і об'єктами живлення. Так удається уникнути надмірного зростання густоти популяції, що могло б призвести до виснаження ресурсів, необхідних для існування виду. Це явище спостерігають у комах, які розвиваються з повним перетворенням, прохідних риб, паразитичних організмів, цикл розвитку яких пов'язаний зі зміною хазяїв, земноводних тощо.

**Функція розселення.** Личинки багатьох тварин, які ведуть малорухомий чи прикріплений спосіб життя (губки, коралові поліпи, двостулкові моллюски, ланцетники, вусоніг ракоподібні тощо), здатні активно чи пасивно (за допомогою течій, вітру, інших організмів) розселятися, забезпечуючи поширення виду.

**Забезпечення зараження хазяїв.** Личинки паразитичних видів потрапляють різними шляхами в організм хазяїна. Так, з їжею в організм людини потрапляють личинки котячого сисуна, цїп'яків, стьожака широкого, трихінели; з водою — печінокового сисуна; через шкіру — анкілостоми тощо. В організмі хазяїна вони мігрують до відповідних тканин чи органів, де завершується їхній розвиток.

Запліднення — це процес злиття чоловічої і жіночої статевих клітин рослинних і тваринних організмів. Розрізняють зовнішнє і внутрішнє запліднення. Запліднення в рослин (покритонасінних) відбувається після запилення. Штучне запліднення здійснюють у лабораторних умовах або штучно в природі.

Онтогенез — індивідуальний розвиток організму з моменту утворення зиготи до природної смерті. В онтогенезі виділяють такі періоди: ембріональний, постембріональний, статевої зрілості і старіння. Ембріональний (зародковий) період охоплює проміжок часу від утворення зиготи до народження або виходу з яєчних оболонок, постембріональний (післязародковий) — від виходу з яєчних оболонок або від народження до набуття організмом здатності до розмноження. Період статевої зрілості характеризує здатність організму до розмноження, а період старіння — втратою здатності до розмноження і закінчується смертю.

### Перевірте себе

1. Що таке запліднення?
2. Наведіть приклади зовнішнього та внутрішнього запліднення у тварин.
3. Поясніть процес подвійного запліднення у рослин. Хто його відкрив?
4. Яке біологічне значення запліднення?
5. Що таке онтогенез?
6. Які виділяють етапи онтогенезу?
7. Що таке бластула та які її особливості утворення?
8. Яким чином може утворюватися гастрולה?
9. Що відбувається з ембріоном при органогенезі?
10. Який період охоплює постембріональний розвиток?

### Поміркуйте

1. Чим запліднення у квіткових рослин відрізняється від запліднення у вищих спорових рослин?
2. Які переваги природного запліднення над штучним?
3. З якою метою застосовують штучне запліднення?
4. Чим бластула відрізняється від гастрюли?
5. Порівняйте прямий і непрямий тип розвитку в організмів на прикладі вибраних вами тварин.
6. Який тип розвитку тварин є найбільш пристосованим? (ваша точка зору)

### Подискутуйте

1. Чому більшість паразитичних тварин мають непрямий тип розвитку? Чи це надає якусь користь тварині?

### Проекти

1. Штучне запліднення, його виникнення та розвиток.
2. Особливості запліднення у рослин.
3. Етапи онтогенезу.
4. Постембріональний розвиток у тварин.
5. Прямий та непрямий розвиток у тварин.

### Видатні біологи

**Ернст Генріх Філіп Август Геккель** (1834–1919) — німецький природодослідник і філософ. Ернст Геккель виявив, описав і назвав тисячі нових видів, зробив карту генеалогічного дерева, що має відношення до всіх життєвих форм, і створив багато термінів в біології, зокрема тип, філогенез, екологія і царство Найпростіші (Protista).

**Сергій Гаврилович Навашин** (1857–1930) — український ботанік, цитолог та ембріолог рослин. Відкрив у 1898 році подвійне запліднення у покритонасінних рослин. Заклав основи морфології хромосом і каріосистематики. У 1894–1914 рр. — працював директором ботанічного саду Київського університету. Довгий час жив і працював у Києві, створив вітчизняну школу цитології та ембріології рослин. Професор Київського (1894–1915) і Тбіліського (1918–23) університетів. Один із засновників (1923) і перший директор (до 1929) Біологічного інституту ім. Тімірязєва в Москві. Помер 10 грудня 1930 року Похований у Москві.

## § 16. Вплив генотипу та факторів зовнішнього середовища на розвиток організму. Вади розвитку людини та їх корекція

**Вплив генотипу на розвиток організму.** Один і той же генотип може стати джерелом розвитку різних фенотипів. Він же і має суттєве значення для медицини. Спадковість не обов'язково має проявитися. Багато залежить від тих умов, у яких проживає організм. У ряді випадків хворобу як фенотиповий вияв спадкової інформації можна відвернути дотриманням дієти або використанням лікарських препаратів.

Реалізація спадкової інформації знаходиться у прямій залежності від середовища, їхню взаємозалежність можна сформулювати у вигляді певних положень:

1. Оскільки організми є відкритими біологічними системами, які існують як єдине ціле з умовами середовища, то і реалізація спадкової інформації відбувається під контролем факторів зовнішнього середовища.

2. Один і той же генотип здатний дати різні фенотипи, що визначається умовами, в яких реалізується генотип у процесі онтогенезу особини.

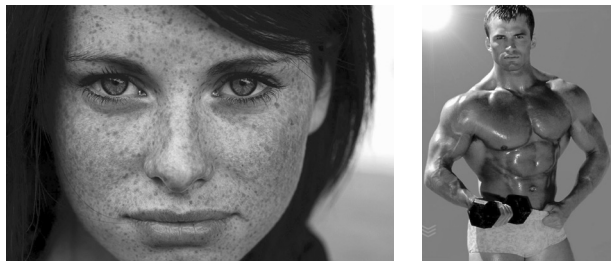


3. У організмі можуть розвиватися тільки ті ознаки, які зумовлені генотипом. Фенотипова мінливість у межах норми реакції відбувається за кожною конкретною ознакою.

4. Умови середовища можуть впливати на ступінь вираженості спадкової ознаки у організмів, які мають відповідний ген (експресивність), або на кількість особин, які проявляють відповідну ознаку (пенетрантність).

Живий організм завжди перебуває в тісному взаємозв'язку з навколишнім середовищем, під впливом чинників якого виявляється одна з найважливіших властивостей організму — його мінливість. Саме вона забезпечує різноманітність організмів у процесі еволюційного розвитку.

**Вплив довкілля на розвиток організму.** Під впливом зовнішніх умов середовища фенотипово змінюються ріст тварин і рослин, їхня маса, колір тощо. Виникнення модифікацій пов'язане з тим, що умови середовища впливають на ферментативні реакції, які відбуваються у організмі, і певним чином змінюють їх хід. Цим пояснюється поява різного кольору квіток примули і відкладання пігменту у волосся гімалайських кролів. Прикладами впливу умов довкілля на розвиток організму людини можуть бути посилення пігментації під впливом ультрафіолетового опромінення (мал. 4.44,1), розвиток м'язової і кісткової систем в результаті фізичних навантажень тощо (мал. 4.44,2).



1

2

Мал. 4.44. Приклад впливу чинників довкілля на розвиток організму людини (1 — ластовиння на обличчі дівчини; 2 — юнак із атлетичним складом тіла)

У процесі розвитку під впливом зовнішніх факторів ознака, яка залежить від певного генотипу, може змінитися при цьому копіюються ознаки, що характерні для іншого типу. На розвиток фенкопій можуть впливати різноманітні фактори середовища — кліматичні, фізичні, хімічні, біологічні. Деякі інфекційні хвороби (краснуха, токсоплазмоз), які перенесла мати під час вагітності, також можуть стати причиною фенкопій ряду спадкових хвороб і вад розвитку у новонароджених. Наявність фенкопій нерідко ускладнює діагноз, тому про їх існування лікар повинен знати.

Якщо рослину з червоними квітками перенести у приміщення з підвищеною вологістю і температурою 30–35 °С, то нові квітки матимуть білий колір, а в разі повернення рослини у попередні умови знову з'являться червоні квітки. Це означає, що одні й ті самі спадкові властивості виявляються по-різному залежно від умов, в яких відбувається реалізація цих властивостей.

Коти сіамської породи мають молочно-біле забарвлення шерсті, але вуха, ніс, лапи, хвіст чорного кольору. Змінюючи температуру середовища, вдається у таких котів домогтися темного забарвлення шерсті на всіх частинах тіла або білої на тих його частинах, які зазвичай мають чорний колір (мал. 4.45).

Було проведено серію експериментів над рослинами. Кожний екземпляр рослин розрізали на дві однакові частини. Одну частину вирощували в умовах теплого м'якого клімату, а другу — високо в горах. Результати дослідів були вражаючими. Наприклад,

стебло земляної груші, яка виросла на рівнині, було високим, а вирощеної в горах — дуже низеньким і мало вигляд розетки, притисненої до землі. Така зміна форми стебла — результат пристосування до суворих умов високогір'я.

Наведені приклади підтверджують, що успадковуються не готові ознаки, а певний тип реакції генотипу та вплив зовнішнього середовища. Слід підкреслити, що всі модифікаційні зміни не передаються у спадок, оскільки вони не стосуються генотипу, а лише фенотипу.

Дуже демонстративні у цьому плані листки жовтецю водяного. Ця рослина росте як у воді, так і на березі. Іноді лише частина рослини занурена у воду. Над водою листки мають широкі пластинки із слабо розрізаними краями; листки цієї самої рослини під водою дуже розсічені, що запобігає їхньому пошкодженню течією води. Якщо ж зумисне витримувати частину листової пластинки під водою, а іншу над водою, то надводна частина листка буде нерозчленованою, а підводна набуде глибоких вирізів.

На чистопородних кроленятах одного приплоду було поставлено такий експеримент. Частину кроленят щедро годували, решта ж отримували мінімальний раціон. При такому розвитку вже дорослі кролі відрізнялися між собою. Проте як би не годували кроленят із першої групи, більшими за певну величину вони не ставали, і навпаки, як би мало не годували тварин із другої групи, меншими за певні розміри вони також не ставали. Крайні величини росту і тут залежать від норми реакції того генотипу, який тварини дістали у спадок. Отже, будь-яка ознака зумовлена генотипом, але його фенотипове виявлення може змінюватися під впливом умов середовища в межах норми реакції генотипу за цією ознакою.

**Вади розвитку людини** — це природжені відхилення за межі нормальних варіантів у анатомічній будові (формі, розмірах, кількості) тканин та органів людини, які здебільшого супроводжуються порушеннями їх функцій чи навіть загрожують життєздатності організму.

Вищі ступені природжених вад розвитку багатьох органів та систем організму називають **виродливістю**. Вивчення походження та патології вад складає окрему дисципліну медичної науки — **тератологію**.

Існують вади, як видимі, так і невидимі, морфологічного та біохімічного характеру. За локалізацією в організмі вади можуть бути: зовнішні, внутрішні, комбіновані чи змішані. За кількістю траплянь у людини розрізняють вади: поодинокі, множинні тощо.

Із клінічної точки зору вади класифікуються відповідно до анатомо-фізіологічного поділу організму на системи, ділянки та органи тіла. Наприклад, вади ЦНС, органів травного каналу, сечовидільної системи, обличчя, шкіри тощо.

У основі походження вад розвитку людини лежать різноманітні порушення процесів та розвитку тканин і органів, а саме: агенезія та аплазія (повна відсутність органа), гіпоплазія (недостатній розвиток маси органа, окремих його частин або всього тіла), природжена гіпертрофія органа за рахунок збільшення його об'єму або кількості клітинної маси, гетеротопія (наявність комплексу клітин, частин тканин або органа в тканинах чи органах), ектопія та дистопія (ненормальна локалізація органа), стеноз (звуження діаметра каналу чи порожнини легеневої артерії, стравоходу, кишки тощо), атрезія (зрощення отворів чи каналів органів), нерозділення органів чи організмів (синдактилія — зрощення пальців), персистування (збереження після народження проток, які звичайно функціонують лише в ембріональний період), подвоєння органа чи частини його, інверсія розташування органа чи органів унаслідок порушення процесу повороту їх, атавізм (поява у людини тканинних структур у місцях, де вони є у тварин).



Мал. 4.45. Сіамський кіт



---

---

Природжені вади розвитку людини умовно ділять на три групи: спадкові, екзогенні та мультифакторіальні. Всі численні чинники вад розвитку можна розділити на дві групи — ендогенні та екзогенні. До групи ендогенних чинників належать мутації спадкових структур. Групу екзогенних чинників складають: фізичні, хімічні та біологічні. Серед зовнішніх причин, що сприяють розвитку природжених вад, насамперед треба назвати прогресуюче погіршення екології, незадовільний стан довкілля (забруднення повітря, води та землі відходами промислової діяльності людини тощо).

Найбільшу роль у виникненні вад розвитку людини відіграють фізичні чинники, особливо рентгенівське та радіоактивне опромінення, деякі хімічні речовини, медичні препарати, інфекційні захворювання, дефіцит амінокислот, білків, вітамінів та інших поживних речовин у дієті чи організмі вагітної, порушення гормонального балансу в її організмі, гіпоксія, механічні впливи на плід тощо.

Із хімічних чинників особливо небезпечними вважається етиловий спирт. Багато інших хімічних сполук (саліцилати, антиметаболіти, цитостатики, інсектициди, оксиданти, сполуки арсену, хрому тощо), серед яких багато і медичних препаратів (наркотики, транквілізатори, гормональні препарати тощо) теж здатні спричинити порушення розвитку плода.

Численні інфекційні, особливо вірусні, захворювання також стають причиною розвитку багатьох вад. Серед них такі інфекційні захворювання, як грип, кір, краснуха, токсоплазмоз, епідемічний паротит та гепатит, ревмокардит тощо.

Неінфекційні захворювання матері, які супроводжуються розвитком у неї гіпоксемії, зумовлюючи гіпоксію плода, сприяють розвитку в нього вад.

Слід зазначити, що хоча вади розвитку можуть виникати впродовж усього внутрішньоутробного розвитку плода, але найчастіше вони утворюються в так звані критичні періоди, коли зародок дуже чутливий до шкідливих чинників середовища. Це перші 6 тижнів ембріогенезу (вади кінця 2-го тижня цього періоду несумісні з життям; вади, що виникають на 3–6-му тижні, переважно сумісні з життям).

Прикладами вад розвитку людини є:

1) природжена гідроцефалія, ознаками якої є збільшені розміри голови у немовляти, широко відкриті тім'ячка та шви черепа, різко розширені внутрішньомозкові шлуночки з великою кількістю в них ліквору (спино-мозкової рідини).

2) кривошия (різкий нахил шиї вбік), яка виникає внаслідок рубцевого переродження і укорочення грудино-ключично-сосковидного м'яза в ембріональний період. Голова дитини нахилена в бік укороченого м'яза та вперед із поворотом обличчя і підборіддя в протилежний бік. Нахилена частина обличчя випнута та вкорочена, а протилежна — сплюснена, видовжена та дещо атрофована. Через постійний нахил голови зміщується також плечовий пояс, з'являється викривлення хребта. Невеликі ступені кривоший в ранньому віці лікують консервативно-ортопедичним методом, застарілі форми та такі, що не піддаються консервативному лікуванню, потребують хірургічного втручання.

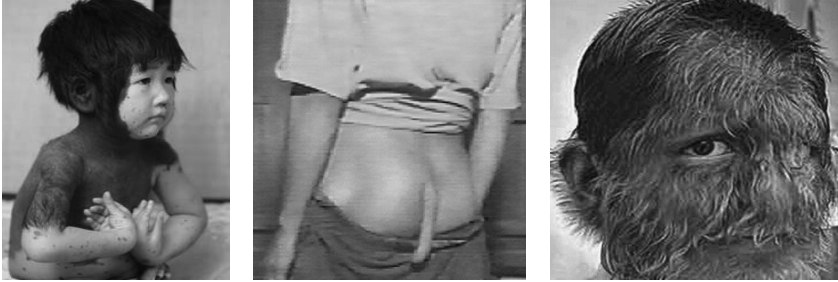
Найтяжчою вадою розвитку людини є ембріональна грижа, яка лікується виключно хірургічно.

Атавізми теж є вадами розвитку людини. Це несподівана поява в людини ознак, що були властиві їхнім далеким предкам. Виникають вони внаслідок генетичних причин: розщеплення, рекомбінацій, мутацій тощо. Наприклад, у людини атавізмами є полімастія (наявність більше пари грудних залоз), волосатість тіла, наявність хвоста (мал. 4.46).

**Медико-генетичне консультування.** Нині у великих містах нашої країни створено медико-генетичні консультації з метою профілактики спадкових хвороб у людини. До них можуть звернутися за порадою здорові батьки дітей, що мають якісь дефекти,



або хворі на спадкові хвороби; батьки, один з яких хворіє на спадкову хворобу; здорові батьки, що мають родичів із дефектом розвитку або хворих на спадкові хвороби; подружжя, які перебувають у кровноспорідненому шлюбі та ін.



Мал. 4.46 Атавізми у людини

Профілактика спадкових хвороб спрямована також на ослаблення дії мутагенних факторів: зменшення опромінення природними і штучними джерелами, зниження вмісту хімічних мутагенів у навколишньому середовищі (промислових відходів, речовин побутової хімії, пестицидів). Слід нагадати, що хімічні речовини (алкоголь, нікотин, наркотики), потрапляючи в організм, можуть змінювати нормальну послідовність нуклеотидів у ДНК і структурі хромосом, порушувати процес розподілу хромосом під час мейозу. Це може призвести до виникнення спадкових хвороб і аномалій розвитку.

Одним із головних завдань медико-генетичного консультування є прогнозування захворювання потомства у сім'ях, обтяжених спадковою патологією. Якщо в сім'ї повторюються випадки важких спадкових захворювань, хворі чи їхні здорові рідні, помічаючи сімейний характер хвороби, звертаються до лікаря з питаннями прогнозування захворювання у їхніх дітей. Питання зазвичай ставлять так: чи можна створювати сім'ю? Діти будуть здорові чи хворі? При обтяженні сім'ї важкими спадковими недугами відповідальність лікаря, який дає пораду, дуже велика. Необґрунтовані поради, до яких схильні деякі лікарі, завдають невіправне нещастя сім'ї і шкоду суспільству. На батьків лягає тягар безсилля допомогти хворій дитині. Тому порада лікаря повинна ґрунтуватися не на його особистих враженнях, а на точних розрахунках імовірності народження хворої дитини при існуючій у сім'ї генетичній ситуації. В ряді випадків лікар повинен радити утриматися від народження дитини. Не менше значення має й інший бік питання. Здорові члени спадково обтяженої сім'ї, побоюючись народити хвору дитину, нерідко утримуються від шлюбу або народження дитини. В багатьох випадках ці побоювання необґрунтовані, і лікар-генетик, зробивши дослідження генетичної ситуації, може усунути безпідставні побоювання і сприяти створенню щасливої сім'ї.

Роль генетика-консультанта полягає в тому, що він повинен дати пораду. Вирішення питання, утриматися від народження дитини чи ні — це право кожної сім'ї. Те, в якій формі має даватися порада консультанта, викликає низку запитань. Багато генетиків пропонують обмежуватися лише інформацією про виражений у відсотках ризик народження хворої дитини. Інші вважають, що консультант, вирахувавши ризик, повинен дати пораду в імперативній формі: «Вам не можна мати дітей» або ж: «Ви можете мати дитину». Доцільніше за все поєднувати у відповіді обидві форми, вказавши ступінь ризику і давши імперативну пораду.

Прогнозування ризику мати хвору дитину набуває особливо великого значення у таких випадках: а) при психічних захворюваннях спадкової етнології; б) при сублетальних спадкових хворобах; в) при важких, що погано піддаються лікуванню, аутосомних і зчеплених зі статтю домінантно спадкових хворобах; г) при важких

зчеплених зі статтю рецесивних хвороб; д) при споріднених шлюбах між членами спадково обтяженої сім'ї.

Цими випадками не обмежується сфера застосування медико-генетичної консультації. Вони наведені тут лише тому, що при них ризик народження важко хворої дитини значно вищий, ніж при більшості інших генетичних ситуацій, і втручання лікаря-генетика найбільш актуальне.

Розрізняють пасивну й активну форми консультації. При першій лікар радить особам, котрі самостійно звернулися до лікувального закладу щодо прогнозування потомства. Активна форма консультації не менш важлива. Дізнавшись про несприятливу генетичну ситуацію в сім'ї, лікар може запросити для консультування інших членів обтяженої сім'ї або використати з цією метою періодичні медичні обстеження контингенту осіб, котрі підлягають диспансеризації.

Перед тим як дати відповідь жінці про ризик народження хворої дитини лікар-консультант обов'язково повинен мати таку інформацію:

1. Клінічний діагноз хвороби. Необхідність диференційованого діагностування зумовлена різним характером спадкування близьких нозологічних форм.

2. Родовід сім'ї з «легендою» до нього, яка містить висновок про спадковий характер і тип спадкування патології в цій сім'ї. Це дозволяє віддиференціювати спадкові патології від копіюючих їх неспадкових хвороб (фенокопій) і встановити, як спадкується хвороба в цій сім'ї.

3. Якщо при цьому захворюванні розроблені методи клінічного діагностування гетерозиготного носійства, необхідно мати клінічні аналізи, що підтверджують або заперечують носійство у здорових членів сім'ї.

4. Розрахунок ймовірності народження хворої дитини в цієї пари. Розрахунок повинен виходити з даних про генотип чоловіка і його дружини.

**Організми завжди перебувають у тісному взаємозв'язку з навколишнім середовищем, під впливом чинників якого виявляється одна з найважливіших властивостей організму — його мінливість. Генотип може стати джерелом розвитку різних фенотипів. Спадковість не обов'язково має проявитися. Багато залежить від тих умов, у яких проживає організм. Реалізація спадкової інформації знаходиться у прямій залежності від середовища.**

Вади розвитку людини — це природжені відхилення за межі нормальних варіантів у анатомічній будові (формі, розмірах, числі) тканин та органів людини, які здебільшого супроводжуються порушеннями їх функцій чи навіть загрожують життєздатності організму. Нині у великих містах нашої країни створено медико-генетичні консультації з метою профілактики спадкових хвороб у людини. Одним із головних завдань медико-генетичного консультування є прогнозування захворювання потомства у сім'ях, обтяжених спадковою патологією.

### Перевірте себе

1. Яким чином генотип впливає на розвиток організму?
2. Як впливають чинники зовнішнього середовища на розвиток організму?
3. Наведіть приклади впливу генотипу на розвиток організму.
4. Наведіть приклади впливу чинників зовнішнього середовища на розвиток організму рослин і тварин.
5. Як ви розумієте термін «вади розвитку людини»? Наведіть приклади.
6. Які причини виникнення вад розвитку?
7. Коли закладаються вади розвитку у людини?
8. З якою метою створюються медико-генетичні консультації?
9. Яким вадам розвитку людини можуть застерегти медико-генетичні консультації?

## Поміркуйте

1. Чому будь-яка ознака зумовлена генотипом змінюється і під впливом умов середовища існування?
2. Чому успадковуються не готові ознаки організму, а певний тип реакції генотипу та вплив зовнішнього середовища?
3. З чим пов'язано виникнення вад розвитку людини?
4. Запропонуйте правила ведення способу життя, які б сприяли уникненню вад розвитку у людини.
5. Чи можуть спричинити вади розвитку людини девіантні поведінки (алкоголізм, тютюнокуріння тощо)?

## Проекти

1. Вплив навколишнього середовища на розвиток організму людини.
2. Вплив генотипу на розвиток організмів.
3. Природжені вади розвитку людини.
4. Прогнозування ризику народження хворих дітей.
5. Заходи щодо уникнення вад розвитку людини.

## § 17. Життєвий цикл у рослин і тварин та прояв у ньому ЗЗП

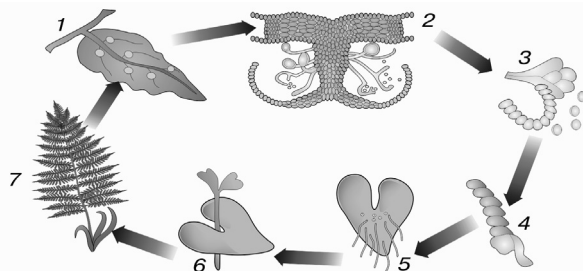
**Життєвий цикл** — це період між однаковими фазами розвитку двох чи більшої кількості послідовних поколінь.

За тривалістю життєві цикли дуже відрізняються (у бактерій і дріжджів — близько 30 хвилин, сосни звичайної — 30–40 років). Упродовж життєвих циклів спостерігається чергування ядерних фаз, що є проявом закономірності періодичності.

Розрізняють прості та складні життєві цикли. Простий життєвий цикл характеризується тим, що всі послідовні покоління розвитку організму не відрізняються одне від одного. Він властивий для одноклітинних організмів при нестатевому розмноженні, гідри, річковому раку, плазунам.

Прості життєві цикли характерні для деяких водоростей, найпростіших (амеби протей), тварин із прямим типом розвитку (гідри, планарій, дощового черв'яка, деяких ракоподібних, деяких павукоподібних, деяких молюсків, плазунів, птахів, ссавців).

Складний життєвий цикл супроводжується послідовною зміною поколінь, які відрізняються одне від одного. Його можна спостерігати впродовж життя однієї особи, якщо цикл супроводжується метаморфозом. Можна також спостерігати протягом кількох поколінь, якщо спостерігається їх зміна — можна простежити впродовж життя однієї особи (якщо не відбувається з метаморфозом) або кількох поколінь (якщо спостерігається їхня зміна). Складні цикли характерні для деяких водоростей, усіх вищих рослин. Вони супроводжуються чергуванням поколінь — статевого (гаметофіту) і нестатевого (спорофіту), що є проявом закономірності періодичності (мал. 4.47).



Мал. 4.47. Життєвий цикл розвитку у папороті:

1 — листок із сорусами; 2 — сорус із спорангіями; 3 — спори; 4 — проросла спора; 5 — заросток (гаметофіт); 6 — розвиток спорофіту; 7 — доросла рослина (спорофіт).

У мохоподібних домінує гаметофіт, у всіх інших вищих рослин — спорофіт. У вищих спорових рослин гаметофіт — самостійний організм. У насінневих рослин гаметофіт значно редукований, розвивається на спорофіті.

У багатьох тварин спостерігаються складні життєві цикли: найпростіших, кишковопорожнинних, плоских, круглих червів, членистоногих тощо.

Правильне чергування поколінь спостерігається у тварин, які розмножуються *статевим* і *нестатевим* шляхами. Характерні для деяких найпростіших (фораменіфер, споровиків) та кишковопорожнинних. Наприклад, у сцифоїдної медузи аурелії нестатеве покоління — поліпи, статеве — медузи. Поліпи утворюють медузу, медузи продукують гамети, і після запліднення з яйця розвивається личинка, яка плаває, осідає на дно і перетворюється на поліп (мал. 4.48).

Чергування поколінь спостерігається у тварин, які розмножуються *статевим* шляхом і *партеногенетично* (сисуни, деякі членистоногі). Наприклад, деякі дафнії можуть тривалий час розмножуватись партеногенетично. За несприятливих умов існування відкладають яйця, з яких виходять і самці, і самки. Відбувається запліднення. З яєць з'являється нове покоління самок, що розмножується партеногенетично.

У деяких тварин спостерігається чергування *роздільностатевого* і *гермафродитного* поколінь (у деяких круглих червів). Прикладом є круглий черв рабдитис, гермафродитне покоління якого паразитує в легенях жаб. Із яєць, виведених назовні, розвиваються роздільностатеві особини, що відрізняються від паразитичних.

У деяких ссавців зустрічається у життєвому циклі *сплячка*, що є проявом закономірності збереження та періодичності.

Причинами її виникнення служать зниження температури, а також відсутність їжі як взимку, так і влітку, коли рослинність у степу і пустелі вигорає від спеки. Хом'яки, бурундуки, їжаки, кажани, деякі види ховрахів тощо впадають у зимову сплячку. У інших видів ховрахів спостерігається літня сплячка, звичайно в засушливу половину літа. Під час сплячки знижується активна терморегуляція, температура тіла падає майже до температури навколишнього середовища, уповільнюються всі функції. Частота серцевих скорочень у кажанів, наприклад, падає від 420 до 16 за хвилину.

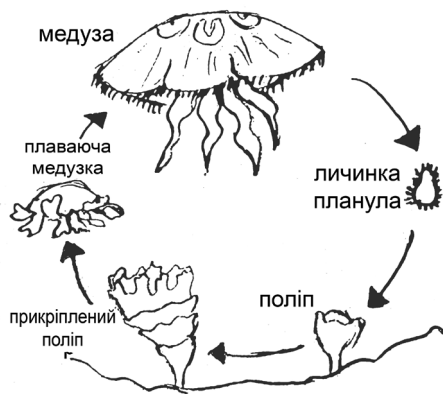
У деяких ссавців — ведмеда, борсука, єнотовидного собаки — настає *зимовий сон*, при якому також значно знижується обмін речовин, але температура тіла їх не знижується.

При осінньому линянні у ссавців виростає густий підшерсток, а у птахів — пух, які запобігають переохолодженню тварин взимку, що є проявом закономірності збереження.

Для завершення життєвого циклу деяким рослинам, комахам і ряду інших організмів необхідні охолодження і проходження зимових стадій спокою. В цей час здійснюються відповідні фізіологічні процеси, які готують організм до нового етапу активної життєдіяльності.

**Регенерація.** Важливе значення для реалізації індивідуального розвитку має регенерація (від лат. регенератіо — відновлення)

**Регенерація** — це процес відновлення організмом втрачених або ушкоджених частин, а також відтворення цілісного організму з певної його частини, що є проявом закономірності збереження. Завдяки процесам регенерації постійно відновлюються клітини і тканини, термін функціонування яких вичерпано (залозисті клітини киш-



Мал. 4.48. Життєвий цикл розвитку у медузи аурелії

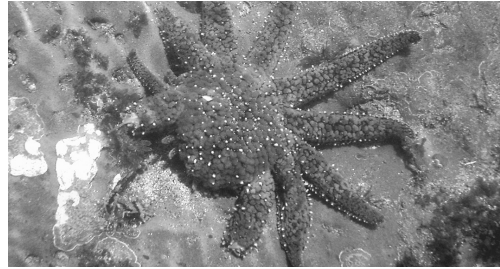
кового епітелію, клітини крові тощо). Процеси регенерації також лежать в основі вегетативного розмноження.

У різних груп тварин різна здатність до регенерації. Наприклад, відомі випадки, коли цілісний організм губки відновлювався з розтертої клітинної маси. У гідри організм може відновитися зі своєї 1/200, у війчастих черв'яків — із 1/100 його частини. Добре розвинена регенерація у багатощетинкових та малощетинкових черв'яків, деяких ракоподібних (наприклад, крабів), голкошкірих.

Серед тварин регенерацію цілісних органів (кінцівок, хвоста, очей, деяких внутрішніх органів) спостерігають у хвостатих земноводних, у ящірок (відновлення відкинутої частини хвоста) (мал. 4.49,1), морської зірки (мал. 4.49,2), хамелеонів тощо.



1



2

Мал. 4.49. Регенерація у тварин: 1 — ящірки; 2 — морської зірки.

Із підвищенням рівня організації організмів здатність до регенерації зменшується. Так, у птахів і ссавців (зокрема й людини) зберігається тільки здатність до загоєння ран, зростання кісток, поновлення клітин і тканин, що мають обмежений термін життя.

Добре розвинена здатність до регенерації у рослин. Вони відновлюють ушкоджені тканини і органи, а також цілісний організм із певної його частини. У багатьох рослин нова особина може розвиватись із живців (корневих, стеблових чи листкових) або видозмінених пагонів.

**Життєвий цикл** — це період між однаковими фазами розвитку двох чи більшої кількості послідовних поколінь, що є проявом закономірності збереження та періодичності. Розрізняють прості та складні життєві цикли в організмів. Чергування поколінь спостерігається у тварин, які розмножуються статевим шляхом і партеногенетично (сисуни, деякі членистоногі). Регенерація — це процес відновлення організмом втрачених або ушкоджених частин, а також відтворення цілісного організму з певної його частини, що пояснюється закономірністю збереження.

### Перевірте себе

1. Що таке життєвий цикл? Які ЗЗП лежать в його основі?
2. Які існують різновидності життєвого циклу у рослин?
3. Наведіть приклади тварин, для яких властивий простий і складний життєвий цикли.
4. Що таке регенерація?
5. Наведіть приклади тварин, здатних до регенерації.

### Поміркуйте

1. Тварини з простим чи складним життєвим циклом більш пристосовані до існування?
2. Яке біологічне значення регенерації? Поясніть цей процес на основі ЗЗП.

### Подискутуйте

1. Чому, чим вище організованішими є тварини, тим вони менше або зовсім не здатні до регенерації?

## Проекти

1. Прості життєві цикли у рослин і тварин.
2. Особливості складних життєвих циклів у рослин і тварин
3. Регенерація у тварин, її особливості.

### УЗАГАЛЬНЕННЯ ЗНАНЬ З ТЕМИ: «ОРГАНІЗМОВИЙ РІВЕНЬ ОРГАНІЗАЦІЇ ЖИВОЇ ПРИРОДИ»

**I рівень.** *Виберіть правильну відповідь.*

1. Які з перерахованих форм розмноження належать до нестатевого:  
а) фрагментація; г) копуляція;  
б) кон'югація; д) спороутворення?  
в) брунькування;
2. Мутагени — це:  
а) чинники, що спричиняють в) зміни, що виникають в організмі  
спадкові зміни; в результаті мутації;  
б) організми, які зазнали мутацій; г) ознаки організмів.
3. Методами вивчення спадковості у людини є:  
а) гібридологічний; г) біохімічний;  
б) генеалогічний; д) цитологічний.  
в) близнюковий;
4. Основними етапами онтогенезу є:  
а) ембріогенез; г) дроблення;  
б) бластуляція; д) постембріональний розвиток.  
в) гастрюляція;

**II рівень.** *Виберіть правильну відповідь.*

1. Які є різновидності статевого розмноження:  
а) спороутворення; г) фрагментація;  
б) копуляція; д) кон'югація.  
в) брунькування;
2. Які причини виникнення мутацій?  
а) вплив чинників навколишнього середовища;  
б) зміни кількості хромосом;  
в) зміни генетичного апарату;  
г) вплив радіації.
3. Організми, у яких змінений генетичний матеріал за допомогою штучних переносів генів, називаються:  
а) трансгенними; в) мутантними;  
б) химерними; г) модифікованими.
4. Регенерація — це:  
а) складний життєвий цикл; в) процес відновлення організму  
б) процес відновлення організмом в цілому;  
втрачених частин тіла; г) індивідуальний розвиток.

**III рівень**

1. Які твердження характеризують яйцеклітину:  
а) рухома; д) містить поживні речовини;  
б) нерухома; е) не містить поживних речовин;  
в) малих розмірів; е) має джгутик.  
г) відносно великих розмірів;

2. Специфічний розподіл волосся на тілі людини є результатом:
  - а) мінливості модифікаційної;
  - б) комбінативної мінливості;
  - в) мутації.
3. Основними напрямками біотехнології є:
  - а) промислова мікробіологія;
  - б) біохімія;
  - в) переробка відходів;
  - г) селекція.
4. Яким тваринам властивий непрямий розвиток?
  - а) метелики;
  - б) птахи;
  - в) колорадський жук;
  - г) жаба.

**IV рівень. Дайте відповідь на запитання**

1. Чим статеве розмноження відрізняється від нестатевого? Які загальні закони та біологічні закономірності лежать в основі процесу розмноження?
2. Порівняйте характерні особливості мутаційної і модифікаційної мінливостей та встановіть їх зв'язок із ЗЗП.
3. Порівняйте методи селекції рослин і тварин. Наведіть приклади відомих Вам сортів рослин та порід тварин, виведених селекціонерами України.
4. Охарактеризуйте ембріональний розвиток організму на прикладі хребетних тварин.
5. \* Заповніть структурно-логічну схему, яка об'єднує основні поняття і терміни:



Мал. 4.50. Варіант СЛС до розділу «Організмний рівень організації життя»

## ТЕМА 2. НАДОРГАНІЗМОВІ РІВНІ ОРГАНІЗАЦІЇ ЖИВОЇ ПРИРОДИ: ПОПУЛЯЦІЯ, ЕКОСИСТЕМА, БІОСФЕРА

### § 18. Поняття про середовище існування, шляхи пристосувань до нього організмів. Біологічні адаптивні ритми організмів

Середовище — це комплекс природних тіл і явищ, з якими організм знаходиться в прямих або опосередкованих відносинах.

**Середовища існування організмів.** Середовище існування — це сукупність умов, у яких мешкають певні особини, популяції, угруповання організмів. Живі організми населяють чотири основні середовища існування: наземно-повітряне, водне (прісноводне, морське), ґрунтове (підземне) і організмове (мал. 4.51).



Мал. 4.51. Схема, що ілюструє різноманітність середовищ існування організмів із їх характеристиками

**Наземно-повітряне середовище** за своїми умовами найрізноманітніше. У ньому існують: переважна більшість рослин (наземні трави, дерева і кущі тощо), мешкають більшість тварин (наземні ссавці, співочі птахи, більшість комах), всі гриби.

Провідна роль серед чинників неживої природи тут належить світлу, температурі, вологості, складу атмосфери. Відповідно до цих чинників рослини і тварини мають різноманітні пристосування.

Відповідно до потреб в освітленості рослини поділяють на світлолюбних (береза, сосна), тіньовитривалих та тіньолюбних.

До **світлолюбних видів** належать мешканці відкритих, добре освітлених місцевостей. Як правило, вони мають вище стебло порівняно з видами, що мешкають у затінку, розсічені листові пластинки, в листках добре розвинена стовпчаста асиміляційна паренхіма тощо (береза, сосна та ін.) (мал. 4.52, 1).

У **тіньових рослин** (плаун булавоподібний, квасениця звичайна, смерека) листки темно-зеленого кольору з високою концентрацією хлорофілу, стовпчаста паренхіма погано розвинена або відсутня (мал. 4.52, 2).

У **тіньовитривалих рослин** (дуб, липа, бузок), які можуть зростати як на відкритих, добре освітлених місцях, так і витримувати певний ступінь затінку, спостерігаються адаптації, властиві як світлолюбним, так і тіньолюбним видам (мал. 4.52, 3).

У тварин світло має важливе значення щодо орієнтації в просторі, а реакція на тривалість світлового дня (**фотоперіодизм**) дає їм можливість, як і рослинам, регулювати свої життєві функції залежно від сезону чи часу доби.





1



2



3

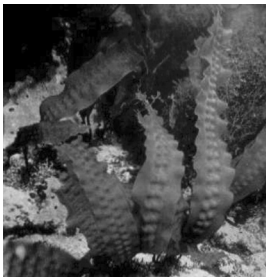
Мал. 4.52. Екологічні групи рослин, що населяють наземно-повітряне середовище:  
1 — світлолюбна береза; 2 — тіньова смерека; 3 — тіньовитривалий бузок

За відношенням до світла у тварин можна виділити дві групи: «**нічну**» (активні вночі) та «**денну**» (активні у світлу частину доби). У представників «денної» групи добре розвинений зір, вони здатні розрізняти кольори, часто мають яскраве забарвлення. Натомість у представників «нічної» групи, а також видів, що походять від предків, які вели нічний спосіб життя (наприклад, із родин вовчих, котячих тощо), колірний зір не розвинений, очі можуть мати великі розміри (наприклад, у сов, лемурів), що дає змогу вловлювати навіть незначну кількість світла. У тварин, які живуть в умовах відсутності світла (мешканці глибоких шарів ґрунту, печер тощо), органи зору редуковані (кріт, сліпак) або можуть взагалі втрачатись (дощовий черв'як, протей).

За відношенням до температурного режиму організми поділяють на **холодостійкі** види (лишайники, бактерії, мохи, членистоногі, моржі, пінгвіни тощо), **теплолюбні** (бактерії, плазуни, більшість трав'янистих рослин тощо).

За відношенням до вологості повітря виділяють такі групи організмів: **посуhostійкі** (ковила, кактус, типчак, більшість тварин), **вологолюбні** (тропічні види рослин, земноводні, мокриці тощо).

У **водному середовищі існування** провідна роль належить температурі, світлу, тиску, газовому складу, солоності води, рельєфу дна тощо. Представниками водного середовища є одноклітинні рослини й тварини, водні і напівводні види рослин, риби, двостулкові молюски, кишковопорожнинні тварини, деякі види земноводних, плазунів, птахів та ссавців (мал. 4.53). Є серед них мешканці прісних і солоних водойм.



1



2



3

Мал. 4.53 Мешканці водного середовища існування: 1 — бура водорість ламінарія; 2 — кальмар; 3 — морж

До екологічних груп організмів-гідробіонтів належать: планктон, нектон, бентос, перифітон і нейстон.

Планктонні організми (бактерії, ціанобактерії, водорості, радіолярії, медузи, дрібні рачки, личинки кісткових риб тощо) нездатні до протидії течіям, якими вони розносяться на значні відстані.

Нектонні організми (більшість риб, головоногих моллюсків, китоподібні) здатні до активного пересування у товщі води незалежно від напрямів течій. Вони мають обтічну форму тіла і добре розвинені органи руху.

До складу бентосу входять організми, які мешкають на поверхні та в товщі ґрунту водойм (форамініфери, поліпи, круглі та багатощетинкові черви, двостулкові та деякі інші моллюски, ракоподібні — вусоніг рачки, краби, омари та ін., голкошкірі, придонні риби, наприклад, бички, деякі водорості, ціанобактерії, бактерії тощо). Ці організми пристосовані до прикріплення до дна або пересування по ньому, заглиблення в його товщу тощо.

Організми, які селяться на різних субстратах у товщі води (днища кораблів, гідротехнічні споруди тощо), належать до перифітону (губки, частина водоростей, вусоніг ракоподібні та ін.). Вони мають різноманітні засоби прикріплення до субстрату. Поширюються ці істоти на певних фазах життєвого циклу (у вигляді спор, личинок).

Своєрідну групу складають організми, які мешкають на межі водного та наземно-повітряного середовищ, населяючи поверхневу плівку води (нейстон), (наприклад, клопи-вodomірки) використовуючи сили поверхневого натягу води для пересування по цій плівці, чому сприяє незмочуваність тіла.

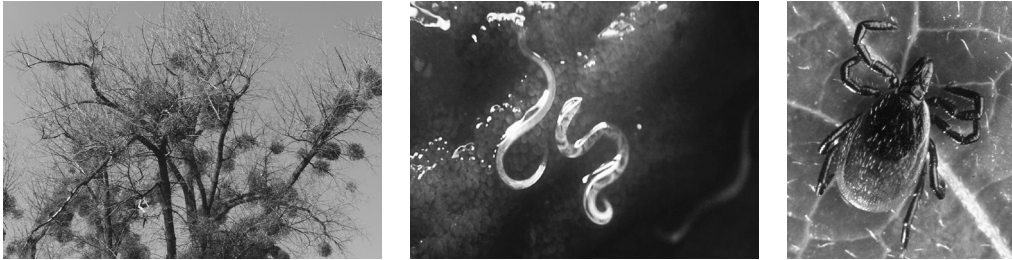
**Ґрунтове середовище існування** утворене внаслідок життєдіяльності різних організмів. Ґрунт становить систему порожнин, розміри яких залежать від діаметра механічних часток, що його складають. Ці порожнини заповнені водою або повітрям. Завдяки наявності вологи умови існування дрібних організмів у ґрунті наближаються до подібних у водоймах. Вологість ґрунту завжди вища, ніж вологість повітря, тому різноманітні організми можуть легше переживати там посушливий період.

Мешканцями ґрунтового середовища є ґрунтові бактерії, ґрунтові водорості, ґрунтові гриби, деякі тварини. Ґрунтові бактерії дуже різноманітні. В деяких типах ґрунтів вони можуть проникати вглиб на декілька метрів. Серед них є автотрофи (переважно хемосинтетики — нітрифікуючі бактерії та ін.) і гетеротрофи (сапрофіти, симбіонти, спори збудників захворювань людини, тварин і рослин тощо). Ґрунтові водорості трапляються як на поверхні ґрунту, так і в його товщі. Більшість ґрунтових водоростей мають мікроскопічні розміри. Ґрунтові гриби трапляються також у ґрунтах різних типів, там де є хоча б трохи органічних речовин. Як вам відомо, гриби — гетеротрофні організми. Серед ґрунтових грибів є як сапротрофи, такі паразитичні форми (паразити надземних та підземних частин рослин тощо). Тварини, які мешкають у ґрунті, належать до найрізноманітніших систематичних груп: найпростіших (амеби, джгутикові, інфузорії), черви (круглі, кільчасті, іноді — війчасті), членистоногих (комахи, багатоніжки, павукоподібні, ракоподібні), черевоногих моллюсків, хребтних тварин (земноводні, плазуни, ссавці). Серед тварин є постійні мешканці ґрунту (кроти, сліпаки, круглі та дощові черви певні систематичні групи кліщів, комах, багатоніжок тощо) (мал. 4.54,1), а також види, які мешкають у ґрунті протягом більшої частини свого життєвого циклу (личинки жуків — коваликів, хрущів тощо) (мал. 4.54,2).



Мал. 4.54. Мешканці ґрунтового середовища існування: 1 — багатоніжка; 2 — личинка жука хруща.

**Організм як середовище існування** за своїми властивостями істотно відрізняється від інших. Так, якщо на організми, які живуть на поверхні інших істот, впливають різні чинники довкілля, то на організми, що мешкають усередині організму хазяїна, ці чинники діють лише опосередковано. В ролі господарів можуть виступати будь-які організми — від бактерій до високорозвинутих організмів рослин і тварин. Прикладами можуть стати численні хвороботворні бактерії, рослини-паразити, тварини-паразити. Відомі рослини-паразити і напівпаразити — повитиця, омела (*мал. 4.55, 1*). Серед тварин-паразитів можна назвати різні види плоских і круглих червів, які живуть у внутрішніх органах людини і тварин (*мал. 4.55, 2*). Так, печінковий ціп'як живе в печінці та жовчних протоках корів, свиней, кролів, іноді трапляється й у внутрішніх органах людини.

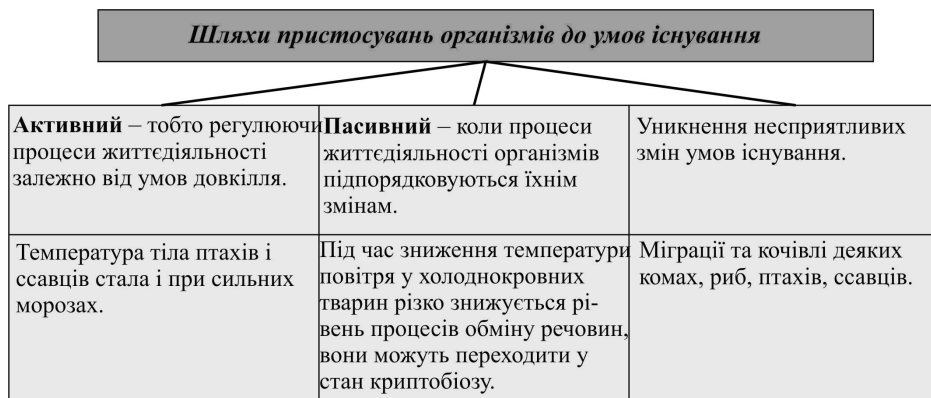


Мал. 4.55. Організми-паразити і напівпаразити: 1 — омела; 2 — круглі черви; 3 — кліщ

Широкий стьожак і свинячий ціп'як паразитують у кишечнику людини, спричиняючи погане почуття та схуднення. На поверхні тіла тварин паразитують воші, блохи та кліщі (*мал. 4.55, 3*).

**Біологічні адаптивні ритми.** Слово «ритм» у перекладі з грецької означає розмірність, злагожденість. Із цим поняттям пов'язане уявлення про гармонію. Ритмічними також є явища, що періодично повторюються: рух небесних тіл; зміна пір року, доби; припливи і відливи; активність Сонця та Місяця.

Усі живі організми здатні самі відміряти час, як найточніші годинники. Впорядкованість в часі процесів в живих організмах виявляється в формі **біологічних ритмів**. Живі системи здатні не тільки сприймати, зберігати і передавати інформацію, але й переробляти та використовувати інформацію, яку сприймають відокремлено від енергії. Для взаємодії організму з навколишнім середовищем потрібна їх впорядкованість у просторі і часі. Це проявляється у різноманітних пристосуваннях до умов існування (*мал. 4.56*).



Мал. 4.56. Схема пристосувань організмів до умов існування

Біологічні ритми живих організмів залежать від зміни дня і ночі, місячних фаз, активності Сонця, як це показано на мал. 4.57.



Мал. 4.57. Схема біоритмів

За одиницю біологічного часу можна взяти період індивідуального розвитку організму. Інші часові проміжки: обертання Землі навколо Сонця, фази Місяця, зміна сезонів узгодилися з фізіологічними функціями організму. Вони проявляються у вигляді біологічних ритмів з різними періодами.

Наука, що вивчає вплив часу на живі організми, називається **хронобіологією**.

**Біоритми** — знаряддя природного добору. У боротьбі за існування виживали лише ті організми, які могли відчувати і вимірювати час. Наприклад, багато тварин взимку залягають у сплячку в певно визначений час. Якщо тварина не залягає в сплячку своєчасно або з якихось причин прокидається серед зими, до весни вона практично не доживає. Так часто гинуть ведмеді, байбаки, ховрахи.

Періодичність життєдіяльності організмів є загальним проявом пристосованості до умов зовнішнього середовища. Сучасна людина підпорядковує своє життя не природним ритмам, а, насамперед, соціальним. Таке бездумне відношення до самого себе і до оточуючого світу може призвести до порушення віками встановленого ритму. А це загрожує катастрофою.

Живі організми населяють чотири основні середовища існування: наземно-повітряне, водне (прісноводне, морське), ґрунтове (підземне) і організмове. Впорядкованість процесів у живих організмах виявляється в формі біологічних ритмів. Наука, що вивчає вплив часу на живі організми, називається хронобіологією. Періодичність життєдіяльності організмів є загальним проявом пристосованості до умов зовнішнього середовища.

### Перевірте себе

1. Які середовища існування заселяють живі організми?
2. Наведіть приклади організмів, що мешкають у наземно-повітряному середовищі, водному, ґрунтовому, організмовому.
3. Чим умови наземно-повітряного середовища відрізняються від організмового та ґрунтового?
4. Що таке біоритми?
5. Наведіть приклади біоритмів у житті рослин і тварин, та поясніть їх зв'язок із загальними закономірностями природи.

### Поміркуйте

1. Чи є серед організмів такі види, що можуть мешкати у різних середовищах існування? Наведіть приклади.
2. Які чинники формують біоритми в організмів
3. Чи можна сезонні зміни віднести до біоритмів? Поясніть свою думку.

### Подискутуйте

1. Які біоритми має людина?

### Проекти

1. Особливості повітряно-наземного середовища існування організмів.
2. Тварини, що мешкають у водному середовищі.
3. Організми, що населяють ґрунтове середовище існування.
4. Паразитичні організми, їх середовище існування.
5. Біоритми людини.

## § 19. Популяції, їх характеристика.

### Екологічні фактори, які впливають на чисельність популяції, їх пояснення на основі ЗЗП

Взаємодія популяцій певного виду з комплексом усіх екологічних чинників, притаманних для середовища життя, становить його *екологічну характеристику*. Популяції певного виду постійно взаємодіють не лише з абіотичними факторами, а й з популяціями інших видів, що визначає положення виду в біогеоценозі — екологічну нішу.

**Екологічна ніша** — це просторове і трофічне положення популяції певного виду в біогеоценозі, комплекс його взаємозв'язків з популяціями інших видів і вимог до умов довкілля.

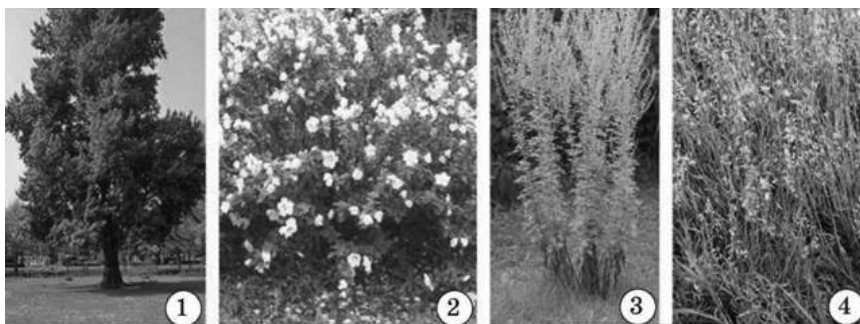
У разі руйнування екологічної ніші популяція виду з певної екосистеми зникає. Згодом вона може відновитись за рахунок міграцій особин виду з інших екосистем. Чим ближчі екологічні ніші популяцій певних видів в одному біогеоценозі, тим гостріша між ними конкуренція. Наслідком такої конкуренції є або витіснення одного виду іншим, або зниження її гостроти внаслідок змін їхніх вимог до умов довкілля.

Екологічна характеристика виду є сукупністю ніш його популяцій. Порушення екологічної ніші виду призводить до його вимирання.

Частину простору в екосистемах, яка заселена популяціями даного виду та забезпечує їх необхідними ресурсами, називають *місцеіснуванням виду*.

**Життєві форми.** Сукупність подібних адаптацій будови і функцій еукаріотичних організмів до певних умов середовища в організмів незалежно від їхнього систематичного положення називають *життєвою формою*. Вона свідчить про спосіб життя представників виду та слугує одиницею екологічної класифікації. Життєвою формою рослин вважають насамперед їхній зовнішній вигляд, який відбиває пристосованість до певних умов існування. Основні категорії життєвих форм рослин — дерева, чагарники, чагарнички і трави, вони відрізняються висотою, ступенем здерев'яніння осьових органів і тривалістю життя надземних пагонів (*мал.4.58*). Класифікують життєві форми тварин за типом живлення (фільтратори, хижаки, фітофаги, паразити, кровососи, некрофаги тощо), за характером місцеіснування (землерії, деревні форми, літаючі) тощо.





Мал. 4.58. Життєві форми рослин: 1 — дерево; 2 — чагарник; 3 — чагарничок; 4 — трав'янисті рослини

**Популяційна структура виду.** У межах ареалу виду окремі особини зібрано в більш-менш розмежовані групи — популяції. Пригадаємо означення популяції.

**Популяція** — сукупність особин одного виду, які тривалий час мешкають на певній частині свого ареалу частково чи повністю ізольовано від інших подібних угруповань.

Існування виду у формі популяцій пов'язане з нерівномірністю розподілу сприятливих умов існування за його ареалом. Наприклад, білка звичайна поширена в Євразії, але мешкає лише в лісах певних типів, які розділено іншими рослинними угрупованнями, горами, річками. Тому кожний із таких лісів має свою, більш-менш відокремлену від інших, популяцію білок. Отже, *чим різноманітніші умови існування, до яких адаптований вид, тим більша кількість популяцій, із яких він складається.*

За наявності значних географічних перешкод популяції можуть бути майже повністю відокремлені одна від одної (як-от, у риб із різних озер). Коли ж територія, яку заселяє вид, більш-менш однорідна, то межі між окремими популяціями виражені нечітко (наприклад, у копитних тварин пустель і степів).

**Екологічна характеристика популяції.** Популяція як структурна одиниця виду характеризується певними ознаками (мал. 4.59): чисельність, щільність, біомаса, народжуваність і смертність. Кожна популяція займає певну площу або об'єм (для популяцій гідробіонтів) у біогеоценозі.

Кожна популяція характеризується певною чисельністю особин, її змінами, зайнятим простором, віковим і статевим складом особин.



Мал. 4.59. Схема особливостей популяції

**Чисельність популяції** — загальна кількість особин на даній території або в даному об'ємі (води, ґрунту, повітря), які належать до однієї популяції. Розрізняють неперіодичні (такі, що рідко спостерігаються) і періодичні (постійні) коливання чисельності популяцій.

Чисельність популяцій може різко змінюватися за сезонами і роками. Відоме масове розмноження в деякі роки лемінгів (дрібні гризуни), сарани, хвороботворних бактерій, сонечок. У видів тварин і рослин з більшою тривалістю життя і відносно малою

плодючістю чисельність популяцій сталіша. Чисельність популяцій комах і дрібних рослин на відкритих просторах часто становить сотні тисяч і мільйони особин. У популяціях ящірки прудкої вона коливається від сотень до кількох тисяч особин.

Вважають, що при чисельності популяції, меншій від кількох сотень особин, випадкові причини (пожежа, повінь, зміна погоди) можуть зменшити її настільки, що народжуваність перестане покривати втрату. Особини, що залишилися, протягом кількох поколінь вимруть.

**Щільність та структура популяцій** — середня кількість особин на одиниці площі чи об'єму. Розрізняють середню й екологічну щільності. Середня щільність — це кількість особин (або біомаса) на одиницю всього простору. Екологічна щільність — кількість особин (або біомаса) на одиницю заселеності простору (тобто доступної площі або об'єму, які фактично можуть бути зайняті популяцією). При збільшенні чисельності щільність популяції не росте лише у випадку її розселення, розширення ареалу.

**Густина популяції** визначається середньою кількістю особин, що припадає на одиницю площі або об'єму, який вона займає.

**Питома біомаса** — це маса особин популяції, що припадає на одиницю площі або об'єму.

**Народжуваність** — кількість особин популяції, які народились за певний час, а **смертність** — кількість особин, які гинуть за цей самий час.

Різниця між народжуваністю і смертністю становить **приріст популяції**. Якщо інтенсивність народжуваності перевищуватиме смертність, то приріст популяції позитивний, якщо навпаки — негативний.

Кожна популяція характеризується певною структурою: статевою, віковою, просторовою. Структура популяції має пристосувальне значення, бо є наслідком взаємодії особин із умовами довкілля. Вона динамічна, тобто змінюється відповідно до змін умов довкілля.

Розгляньте схему на мал. 4.60, де показано просторову структуру популяцій.



Мал. 4.60. Схема структури популяції

**Статева структура** визначається співвідношенням особин різних статей, а **вікова** — розподілом особин за віковими групами. Цей показник характеризує стан популяції. Так, різке скорочення частки нестатевозрілих особин свідчить про можливе зменшення чисельності популяції в майбутньому, коли ці особини стануть статевоз-

рілими і залишать мало нащадків. Розподіл особин популяції по території, яку вона займає, визначає її **просторову структуру**.

За характером використання території популяції тварин можна поділити на осілі, кочові та мігруючі. **Популяції осілих видів** (ведмеді, кроти, хатні горобці, більшість комах і ґрунтових організмів тощо) тривалий час займають одну й ту саму територію. **Популяції кочових видів** переміщуються на невеликі відстані в пошуках їжі, місць розмноження, зимівлі тощо (шпаки, граки, пєсці, копитні тварини тощо). Кочовий спосіб життя дає можливість уникати швидкого виснаження ресурсів середовища, а також краще пристосовуватись до сезонних змін умов існування.

**Популяції мігруючих видів** закономірно змінюють місцеіснування, значно відокремлені просторово. Міграції, як і кочівлі, часто спричинюються сезонними змінами умов існування і відбуваються зазвичай за визначеними маршрутами. Міграції можуть бути **періодичними** (у перелітних птахів, прохідних риб тощо) і **неперіодичними**, пов'язаними з переселенням осілих видів унаслідок несприятливих кліматичних змін, виснаження кормової бази тощо (наприклад, міграції зграй сарани, білок і тундрових гризунів — лемінгів — у роки масового розмноження). Отже, просторова структура популяції має пристосувальний характер, бо дає змогу повніше використовувати ресурси середовища життя.

**Етологічна структура** популяції — це система взаємозв'язків між її особинами, що проявляється в поведінці. Особинам різних видів притаманний **поодинокий** або **груповий спосіб життя**. У першому випадку особини популяції більш-менш відокремлені просторово і збираються групами лише на період розмноження (скорпіони, сольпуги, більшість видів павуків, тетеруки, качка-крижень тощо). Серед рослин прикладом поодинокого розміщення є баобаб, особина якого займає значну територію, формуючи власне середовище (мал. 4.61, 1). Груповий спосіб життя пов'язаний із утворенням постійних родин, колоній, табунів, зграй тощо. Спільне існування організмів у вигляді родин, колоній, зграй, табунів дає можливість краще пристосуватись до умов існування (захист від ворогів, ефективне використання кормових ресурсів, розмноження, краще виживання молоді тощо) (мал.4.61,2). Колоніями живуть комахи і миші, купами — терміти. Журавлі і лебеді шикуються в ключі. Зазвичай у таких гуртах кожна особина займає певне положення (ранг), що визначає поведінку стосовно інших членів гурту, зокрема черговість доступу до їжі, можливість участі в розмноженні тощо. Особини у складі популяції виконують різні функції. Між ними постійно відбувається обмін інформацією. Інформаційні процеси представляють собою специфічний механізм формування та підтримання цілісності популяції у просторі і в часі.



1



2

Мал. 4.61. Поодинокий та груповий способи життя: 1 — поодинокое дерево баобаба, 2 — зграя вовків

**Популяційні хвилі.** Чисельність і густота популяцій, навіть за сталих умов існування, непостійні в часі, вони можуть періодично чи неперіодично змінюватись під впливом різноманітних факторів. Коливання чисельності популяцій називають



популяційними хвилями, або хвилями життя. Це поняття ввів російський біолог С. С. Четвериков. Популяційні хвилі можуть бути сезонними або несезонними.

Сезонні популяційні хвилі зумовлені особливостями життєвих циклів або сезонною зміною кліматичних факторів. Так, у середовищах із чітко вираженими сезонними змінами умов існування розмноження організмів припадає на сприятливу пору року, у несприятливі періоди, навпаки, зростає смертність організмів, особливо з нетривалим періодом життя. Наприклад, більшість комах протягом року розмножується переважно з весни до осені, а з початком холодів більшість особин гине.

Несезонні популяційні хвилі можуть бути спричинені змінами різних екологічних факторів: абіотичних, біотичних, антропогенних (спрямовані протягом значного історичного періоду кліматичні зміни, інтенсивний вплив хижаків або паразитів, господарська діяльність людини тощо).

Для раціонального використання видів людина повинна знати склад особин популяції за віком і статтю, їх плодючість і смертність, причини коливання чисельності. З метою збереження видів використовують різні способи регулювання чисельності популяції. Наприклад, правильне ведення мисливського господарства (установлення строків і угідь полювання, ліцензій) забезпечує відтворення популяції. Охорона та впорядкування промислу сибірського соболя, який був на межі зникнення, призвели до збільшення його чисельності.

Популяція — це сукупність особин одного виду, які відтворюють себе протягом великої кількості поколінь і тривалий час займають певну територію, функціонуючи і розвиваючись в одному або в ряді біоценозів. Кожна популяція характеризується певною чисельністю особин, її змінами, зайнятим простором, віковим і статевим складом особин.

#### Перевірте себе

1. Що таке популяція? Наведіть приклади популяцій.
2. Які основні характеристики популяцій? Поясніть їх на основі ЗЗП.
3. Від чого залежить чисельність популяцій? Наведіть приклади.
4. Що називають щільністю популяцій? Від чого вона залежить?
5. Які існують типи розміщення популяцій?

#### Поміркуйте

1. Запропонуйте заходи, направлені на збереження чисельності популяцій.

#### Проекти

1. Популяції, їх характеристика.
2. Типи розміщення популяцій.
3. Екологічна характеристика популяцій.
4. Щільність та чисельність популяцій.

## § 20. Угрупування організмів у природі. Екосистеми

Угрупування організмів у природі — це сукупність взаємопов'язаних між собою організмів різних видів, які тривалий час проживають на певній ділянці місцевості з однорідними умовами середовища. Прикладом рослинних угруповань є ділянка лісу, болота, степу. Кожне угруповання має свою структуру, яка залежить від екологічних чинників.

Синекологія — розділ екології, що вивчає життя угруповань різних видів організмів. Вона досліджує весь комплекс взаємозв'язків у біоценозі (екосистемі).



Елементами морфологічних ознак угруповань є відповідний видовий *склад*, *аспектність*, *щільність*, *покриття*. Вища систематична одиниця угруповань — *формація*, яка об'єднує групи рослинних і тваринних асоціацій, наприклад, соснові, ялинові, букові ліси. Своєю чергою формація «сосновий ліс» об'єднує всі асоціації соснового лісу.

*Асоціація організмів* — основна систематична одиниця угруповань, яка має певний властивий їй видовий склад, ярусне розміщення, певну взаємодію із середовищем. Прикладом асоціацій рослин може бути ділянка заплавної лук зі стоколосом безостим, ділянка дібровного лісу з дубом звичайним і яглицею звичайною тощо (мал. 4.62).

*Видовий склад* угруповання — це комплекс усіх його видів. Види, що входять до складу угруповання, завжди різні в екологічному відношенні. Наприклад, видовий склад флористичного угруповання, крім вищих рослин, формують види грибів, мохів, лишайників, ґрунтових водоростей та ін. Істотною ознакою угруповань є диференціювання видів, що входять до їхнього складу за тим значенням, які вони мають для визначення основних рис цілісного угруповання.

*Екологічні системи*. Історично утворена сукупність популяцій різних видів, що населяють певну територію або акваторію і характеризуються певними взаємозв'язками між собою, називається *біоценозом* (наприклад, однорідна ділянка степу, лісу, озера тощо). Мешканці біоценозу тісно зв'язані з абіотичними чинниками, їхня сукупність складає *екологічну систему* (екосистему), або *біогеоценоз*. Екосистема включає в себе певні угруповання популяцій різних видів, ґрунт, ґрунтові води, нижні шари атмосфери, а також температуру, світло тощо. Організми в біогеоценозі пов'язані міжвидовими і внутрішньовидовими відношеннями.

Біогеоценоз і екосистема — поняття подібні, але не тотожні. В обох випадках це взаємодіючі сукупності живих організмів і середовища, але екосистема — поняття безрозмірне. Мурашник, болото, гірський хребет, біосфера в цілому, кабіна космічного корабля — все це екосистеми. Біогеоценоз — це екосистема, межі якої визначені фітоценозами. Іншими словами, біогеоценоз — певний ранг екосистеми.

*Ланцюги живлення*. Угруповання організмів, що входять до складу екосистем, складаються з трьох груп компонентів: утворювачів органічної речовини (автотрофних організмів) — продуцентів; споживачів живої органічної речовини — консументів; руйнівників органічних решток — переважно мікроорганізмів, які розщеплюють органічні речовини до простих мінеральних сполук — редуцентів. Всі вони пов'язані ланцюгами живлення.

*Ланцюги живлення* — це ряд видів організмів, пов'язаних між собою трофічними зв'язками, що складають певну послідовність у передаванні речовин і енергії (мал. 4.63).

Розрізняють два типи ланцюгів живлення. Перший тип ланцюга живлення (ланцюг виїдання, або пасовищний) розпочинається із зелених рослин. Джерело енергії, за рахунок якої існують усі організми, — Сонце. В процесі фотосинтезу світлова енергія перетворюється ними (перша ланка таких ланцюгів живлення) на хімічну з утворенням органічних сполук. При цьому лише близько 1% світлової енергії, що потрапляє на рослину, переходить у потенціальну енергію органічних речовин; решта розсіюється у вигляді теплоти та відбивається. Коли тварини поїдають рослини, то інша частина енергії, що міститься в кормах, витрачається на різні процеси життєдіяльності, що є проявом *закономірності направленості процесів*. У середньому в різних ланцюгах живлення лише 10% енергії кормів переходить у новозбудовану речовину тіла тварин, що є проявом *закономірності збереження*. Трав'ядних тварин поїдають хижакі (на цьому і завершується ланцюг виїдання). Приклад такого типу ланцюга живлення: *планктонні водорості — планктонні тварини — риби — рибодітні пта-*



Мал. 4.62. Асоціація рослин заплавної лук

*хи і м'ясоїдні ссавці*. Інший приклад: *рослини — комахи — комахоїдні птахи — хижі птахи*.

Другий тип ланцюгів живлення розпочинається від рослинних і тваринних решток, екскрементів тварин і йде до дрібних тварин і мікроорганізмів, які ними живляться. В результаті діяльності мікроорганізмів утворюється напіврозщеплена маса — детрит. Такий ланцюг живлення називають ланцюгом розщеплення (детритним).

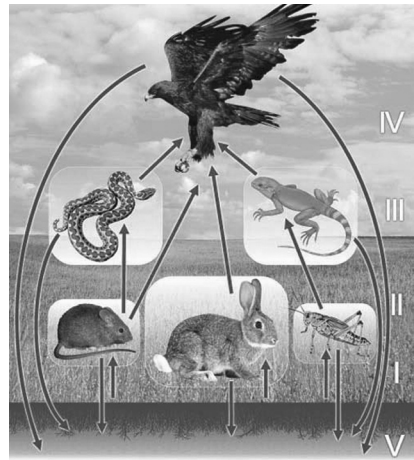
В угрупованні організмів (біоценозі) зазвичай буває низка паралельних ланцюгів живлення, між якими можуть існувати зв'язки, оскільки майже завжди різні компоненти живляться різними об'єктами і самі є поживою для різних членів екосистеми. Складна структура ланцюгів живлення забезпечує цілісність і динамічність біоценозу.

Кожний ланцюг живлення включає, як правило, не більше 4–5 ланок, оскільки внаслідок втрати енергії загальна маса кожної наступної ланки приблизно в 10 разів менша від попередньої. Цю закономірність називають правилом екологічної піраміди. Розрізняють кілька категорій «екологічних пірамід». *Піраміда чисел* відображає число особин у кожному рівні ланцюга живлення (у кожному наступному рівні число особин зменшується); *піраміда біомаси* — кількість органічної речовини (біомаса), *піраміда енергії* — кількість енергії в їжі у кожному рівні ланцюга живлення. Усі вони, хоч і відрізняються за абсолютними значеннями, мають однакову спрямованість, що відображає чисельність окремих організмів в угрупованнях, і разом з нею виявляють характерні особливості біоценозів.

Кожна екосистема включає три основні компоненти: організми, що продукують (утворюють) органічні речовини, тобто зелені рослини (продуценти), споживачі живої органічної речовини — тварини та деякі паразитичні гриби і незелені рослини: хижакі, паразити (консументи) і руйнівники органічних решток — бактерії, більшість сапротрофів, грибів (редуценти). Усі вони пов'язані між собою в ланцюгах живлення, наявність яких є умовою існування екосистеми.

Рослини, засвоюючи сонячну енергію, з вуглекислого газу, води та мінеральних речовин ґрунту синтезують поживні речовини. Без рослин (продуцентів) екосистема не може існувати. Тварини, які живляться рослинами (консументи), слугують їжею для інших тварин. Гриби та бактерії (редуценти) переробляють рештки рослин і тварин, повертаючи в екосистему мінеральні речовини, які знову використовують рослини. Так завдяки сонячній енергії та екологічним зв'язкам між організмами (рослинами, тваринами, грибами, бактеріями) в екосистемі відбувається колообіг речовин, забезпечується її цілісність. Екологічні зв'язки — обмін речовиною, енергією здійснюються згідно із законами збереження та спрямованості процесів до рівноважного стану.

Угруповання організмів у природі — це сукупність взаємопов'язаних між собою організмів різних видів, які тривалий час проживають на певній ділянці місцевості з однорідними умовами середовища. Історично утворена сукупність популяцій різних видів, що населяють певну територію або акваторію і характеризуються певними взаємозв'язками між собою, називається біоценозом. Мешканці біоценозу тісно зв'язані з абіотичними чинниками, їхня сукупність складає екологічну систему (екосистему), або біогеоценоз. Ланцюги живлення — це ряд видів організмів, пов'язаних між собою трофічними зв'язками, що складають певну послідовність у передаванні речовин і енергії.



Мал. 4.63. Ланцюг живлення екосистеми: I — продуценти; II — IV — консументи; V — редуценти.

### Перевірте себе

1. Що таке угруповання? Яким чином формуються угруповання організмів у природі?
2. Що таке асоціація?
3. Що таке екосистема? Наведіть приклади екосистем та поясніть на основі ЗЗП взаємозв'язки між організмами в екосистемах.
4. Що таке ланцюг живлення? Наведіть приклади.
5. Які основні компоненти екосистем?

### Поміркуйте

1. Чим екосистема відрізняється від біоценозу, біогеоценозу?
2. Чим штучна екосистема відрізняється від природної?
3. Чи можна екосистему вважати угрупованням організмів у природі?

### Проекти

1. Склад екосистем.
2. Екологічні піраміди.
3. Ланцюги живлення організмів у водоймі.

## § 21. Взаємодії організмів в екосистемах, прояв у них ЗЗП

Живі організми завжди утворюють певні просторові та функціонально залежні угруповання, між якими формуються відповідні залежності та взаємовідносини. Такий взаємозв'язок виникає, перш за все, на основі харчових потреб (зв'язків) і способів добування енергії, необхідної для життєвих процесів. Між організмами виникає конкуренція: **міжвидова та внутрішньовидова**.

Взаємовідносини між живими організмами поділяють на негативні, позитивні та нейтральні.

**Негативні взаємовідносини.** Типовим прикладом таких взаємовідносин є **хижацтво**. Хижаки — це організми, які добувають свою жертву, вбивають і поїдають. Серед ссавців типовими хижаками є вовк, куницеві, кошачі, горностай тощо (*мал. 4.64,1,2*).



1



2



3

Мал. 4.64. Тварини-хижаки: 1 — горностай; 2 — тигр; 3 — павук-птахоїд

До однієї з форм хижацтва можна віднести **канібалізм**. Це живлення хижаків (хижі клопи, комахи, павуки (*мал. 4.64,3*), хижі риби та ін.) особинами свого виду.

**Антибіоз** — це форма антагоністичних взаємовідносин видів, при якій різні речовини, що виділяються мікроорганізмами, грибами або вищими рослинами, пригнічують або затримують розвиток інших видів (антибіотики, рідкі й газоподібні фітонциди).

**Паразитизм** — це симбіотичні взаємовідносини, за яких один організм (**паразит**) живе за рахунок іншого (**хазяїна**). Серед паразитів розрізняють **ендопарази-**

*тів*, які живуть в тілі свого хазяїна і живляться його тканинами або вмістом травного тракту (паразитичні черви, малярійний плазмодій) та *ектопаразитів*, що живуть переважно на шкірі хазяїна і мають достатню рухомість, щоб переходити від одного хазяїна до іншого (комарі, кліщі, блохи, воші).

Залежно від тривалості контакту паразитів із організмом хазяїна розрізняють *паразитизм обов'язковий* (постійний), коли паразит перебуває в організмі впродовж основного періоду свого розвитку (малярійний плазмодій, деякі плоскі черви, паразитичні амеби (мал. 4.65,1), з рослин — повитиця, вовчок) і більш поширений *необов'язковий паразитизм* (гриби-паразити рослин і тварин, комахи, аскариди, нематоди, хвороботворні бактерії).

Паразитизм зустрічається серед тварин (червів, комах, молюсків), бактерій, грибів (трутовик, сажка (мал. 4.65,2)) і рослин (повитиця). Внутрішньоклітинними паразитами є віруси.

Паразитизм — це антагоністичні взаємовідносини. Хазяїн за допомогою захисних, імунних реакцій намагається позбутися паразита. Паразит намагається послабити, нейтралізувати дії хазяїна.

У процесі пристосування до паразитичного життя в паразитів виробляється ряд адаптацій: спрощується будова тіла, втрачаються певні органи та навіть системи органів. Наприклад, у стюжкових червів відсутня травна, кровоносна, дихальна системи.

Для прикріплення в тілі хазяїна у паразитів з'являються гачечки, присоски тощо. Найбільш розвиненою є статевая система, характерна велика плодючість (закон великої кількості яєць).

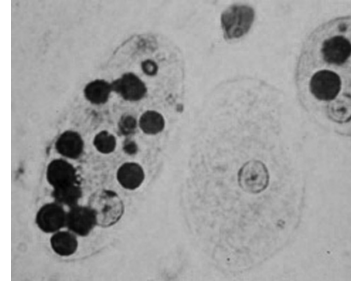
Багато паразитів має складні життєві цикли, які супроводжуються зміною поколінь, хазяїв та середовищ існування. Хазяї, у яких паразити розмножуються статевим шляхом, називаються *остаточними*. Хазяї, в яких паразити розвиваються, розмножуються нестатевим шляхом, називаються *проміжними* (комар у малярійного плазмодія). У природі паразити регулюють надмірне зростання чисельності популяції хазяїв.

**Позитивні міжвидові взаємовідносини.** У природі існує міжвидова взаємодопомога. Вона відіграє велику роль у боротьбі за існування. Прикладом можуть бути птахи, які попереджають про небезпеку великих копитних, знищують личинок паразитів під шкірою буйволів, очищують пащу крокодилів від п'явок. У рослинному світі це взаємозв'язки ентомофільних рослин і комах-запилувачів.

**Коменсалізм** — це симбіотичні позитивні взаємовідносини між організмами різних видів. Один вид (*коменсал*) використовує житло або їжу іншого (*хазяїна*). Коменсалізм виявляється у формі квартиранства або нахлібництва.

**Квартиранство** — це використання коменсалом для оселення в організмі хазяїна (мал. 4.66, 1). Приклади квартиранства — рослини епіфіти (орхідеї), водорості, лишайники. Коменсали живуть у нірках великих морських червів, мурашниках, термітниках, норах гризунів, гніздах птахів, використовуючи їх як місце проживання з більш стабільним і сприятливим мікрокліматом.

**Нахлібництво** — використання залишків їжі, здобичі хазяїна. Наприклад, середземноморський краб і актинії (краби живляться залишками їжі актиній). У міс-



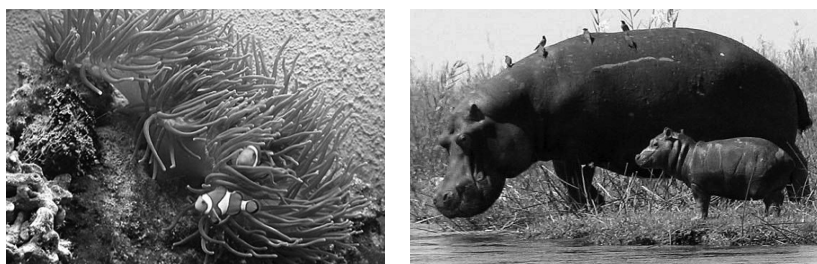
1



2

Мал. 4.65. Паразитизм у тварин:  
1 — постійний у дизентерійної амеби;  
2 — необов'язковий у гриба сажки кукурудзи

цях мешкання бегемотів живуть волові птахи, які живляться дрібними тваринами, що паразитують на шкірі носорогів і турбують їх. Таким чином, бегемот забезпечує їжею птахів, а вони звільняють його від паразитів і своїм криком сповіщають про небезпеку (мал. 4.66,2).



1

2

Мал. 4.66. Коменсалізм у тварин: 1 — квартиранство морських рибок у коралах; 2 — нахлібництво волових птахів на тілі бегемота

Коменсали є в багатьох морських тварин: дрібні рибки в порожнині голотурій, мальки ставриди під дзвоном (парасолькою) медуз і в мантийній порожнині карака-тиць. Іноді коменсали — і квартиранти, і нахлібники одночасно. В гніздах птахів, норах гризунів живуть постійні співмешканці, які використовують мікроклімат сховища та їжу, що там знаходиться.

**Мутуалізм.** Це позитивний симбіоз, співіснування різних видів, від якого вони отримують користь. Мутуалізм розрізняють за ступенем сполучення партнерів і за їх харчовою залежністю одного від іншого. Прикладами симбіонтів є симбіоз бульбочкових бактерій із бобовими, мікориза деяких грибів із коренями дерев.

Близькі до мутуалізму взаємовідносини грибів із водоростями в тілі лишайника, гриба підберезника з кореневою системою берез у березовому лісі (мал. 4.67,1), у сосновому і модриновому лісі — маслюка, в осичняку — підосичника і осини (мал. 4.67,2).



1

2

Мал. 4.67. Мутуалізм у грибів: 1 — підберезника; 2 — підосичника.

Крім грибів, у симбіоз із вищими рослинами вступають бульбочкові бактерії. Вони теж поселяються на коренях, розвиваючи бульбочки. Це явище поширене у бобових рослин. Бульбочкові бактерії зв'язують вільний азот повітря і переводять його у такі форми, що легко засвоюються зеленою рослиною.

У природі всі організми взаємопов'язані. Між ними формуються відповідні залежності та взаємовідносини, перш за все, на основі харчових потреб (зв'язків) і способів добування енергії, необхідної для життєвих процесів. Взаємовідносини між живими організмами поділяють на негативні, позитивні та нейтральні. До негативних взаємовідносин належать: хижацтво, антибіоз, паразитизм, до позитивних міжвидових взаємовідносин — коменсалізм, квартиранство, нахлібництво, мутуалізм та ін.

## Перевірте себе

1. На основі чого між організмами виникають взаємовідносини?
2. Які взаємовідносини називають негативними? Поясніть чому? Наведіть приклади.
3. Які взаємовідносини називають позитивними? Поясніть чому? Наведіть приклади.
4. Наведіть приклади нейтральних взаємовідносин між організмами.

## Поміркуйте

1. Чи впливають екологічні чинники довкілля на взаємовідносини між організмами?
2. Чому мутуалізм називають позитивним симбіозом?

## Проекти

1. Коменсалізм серед тварин.
2. Нахлібництво у природі, його особливості та приклади.
3. Симбіоз у рослин і тварин.
4. Особливості паразитизму у рослин і тварин.

## § 22. Різноманітність екосистем, їх розвиток та зміни

Екосистеми поділяють на природні і штучні. До природних екосистем належать ліс, степ, водойми тощо. До штучних — водосховище, акваріум, сад, поле тощо.

**Природні екосистеми. Ліс** — це природна екосистема, основним компонентом рослинності якої є дерева. Крім дерев, у лісі ростуть кущі, трав'янисті рослини, мешкає значна кількість тварин. Пристосованість до спільного життя у рослин лісу виявляється, наприклад, у їх ярусному розміщенні. Так, у сосновому лісі чітко розрізняються деревний, трав'янисто-чагарниковий і моховий яруси. У широколистяному лісі — дуброві визначають 4–6 ярусів. Верхній ярус утворюють високі дерева: дуб, ясен, липа, граб тощо. Другий ярус займають менш високі дерева: дикі яблуня і груша. У третьому ярусі — підліску — зустрічаються: ліщина, крушина, бузина, молоді деревця. Четвертий-шостий яруси займають трави: копитняк, чистець, осока, медуника тощо. Кількість ярусів трав та їх склад залежать від освітлення ділянки і зволоженості ґрунту. Рано навесні з'являються рослини-першоцвіти, що утворюють тимчасовий ярус: проліски, підсніжники, примула, ряст, анемона, фіалка тощо. Вони відцвітають раніше, ніж на деревах з'явиться листя.

Тварини в лісі також оселяються «поверхами». Нерідко вони прив'язані до того чи іншого ярусу рослин: тут вони знаходять собі їжу, житло. Так, серед комах є мешканці ґрунту, опалого листя, травостою, верхньої та нижньої частин крони. Кожне дерево — це не тільки житло, але і «їдальня» для тварин.

**Степ** — це природна екосистема, елементарною якою є трав'янисті рослини, тварини, мікроорганізми. Степ формується на чорноземних ґрунтах, на ділянках земної поверхні з глибоко розташованими підземними водами. Рослини степу становлять угруповання трав, що добре витримують і посуху, і спеку, і холод. За умов спекотного посушливого літа верхня частина степових трав восени відмирає, але залишається їх підземна частина (кореневища, цибулини, бульби), з якої наступної весни розвиваються молоді пагони. Степові рослини мають дуже довгі та розгалужені корені, бо



Мал. 4.68. Степова ділянка в біосферному заповіднику «Асканія Нова»

влітку вологи часто не вистачає. Тому степ влучно називають «лісом навпаки»: у лісі більше розвинена наземна частина рослин, а в степу — підземна.

У наш час степи збереглися маленькими клаптиками по схилах деяких балок. Вони дуже збіднені внаслідок випасання домашніх тварин. Родючі чорноземи були розорані сотні років тому для вирощування культурних рослин. Зараз на чорноземах вирощують пшеницю, цукровий буряк, соняшник, картоплю, розводять баштан. Багато степових рослин і тварин зникло, а рідкісні види рослин і тварин занесені до Червоної книги України. Для їх охорони створюють заповідні території (мал. 4.68).

**Водойми** зі стоячою водою залежать від рослин і тварин, що живуть біля води. Якщо тихо підійти до водойми, то можна почути різноманітні звуки: кумкання жаб, пісню славки у прибережних заростях, сплески води (стрибають у воду жаби) або поодинокий сплеск серед водойми — окунь спіймав здобич. Як і ліс чи степ, водойма поділена на «поверхи». Одні тварини мешкають поблизу водної поверхні чи над нею, другі — у товщі води; треті — на прибережному мілководді; четверті — біля дна (мал. 4.69). У водоймі постійно точиться боротьба між хижаками та їх можливими жертвами.

Слабкі організми гинуть, стаючи їжею сильніших. Лише сильні хижаки і найсильніші можливі жертви виживають і дають потомство. Поміркуйте, хто в цій боротьбі досягає перемоги? При цьому візьміть до уваги, що коли знищити хижаків (наприклад, щук), то через деякий час «мирні» риби в озері стануть слабшими від хвороб і нестачі корму.

**Штучні екосистеми** створюються людиною для задоволення її потреб. Це сади, парки, поля, городи, поселення різного типу, сільські та міські двори, штучні водойми.

**Канали** — це штучні річки, для яких люди створюють річища і заповнюють їх річковою або озерною водою. Їх будують, щоб мати зручні водні шляхи чи з метою перерозподілу води з однієї річкової системи в іншу.

В Україні для поліпшення водопостачання промислових центрів та міст споруджено великі канали: «Дніпро — Донбас», «Сіверський Донець — Донбас», «Дніпро — Кривий Ріг».

Спорудження водосховищ створило більш сприятливі умови для використання дніпровської води з метою зрошування полів, постачання міст і промислових підприємств, регулювання режиму повеней, поліпшення роботи гідроелектростанцій тощо. Однак таке регулювання стоку Дніпра має і негативні екологічні наслідки: замулення водосховищ, погіршення якості води, зменшення вилову цінних промислових риб, заболочування.



Мал. 4.70. Акваріум — штучна екосистема



Мал. 4.69. Життя у водоймі

Маленькими водосховищами є ставки, які можна зустріти практично в кожному українському селі. У ставках розводять рибу, утримують водоплавну птицю, воду з них використовують для поливання городів.

**Акваріум** — штучна водойма (мал. 4.70). Життя риб у природних екосистемах спостерігати нелегко. Акваріум може служити доброю моделлю куточка живої природи водойми, у якому риби себе поведуть як у природному середовищі життя.

Дуже важливо підтримувати в акваріумі рівновагу між кількістю тварин і рослин,



---

---

адже тварини дихають киснем, який виділяють рослини. Якщо в акваріумі забагато рослин, то їм не буде вистачати вуглекислого газу для створення органічних речовин. А якщо кількість тварин надмірна, то вони можуть загинути від нестачі кисню.

**Екосистеми поділяють на природні і штучні. До природних екосистем належать ліс, степ, річка, болото тощо, до штучних — водосховище, акваріум, сад, поле тощо.**

#### Перевірте себе

1. Які типи екосистем виділяють?
2. Наведіть приклади природних екосистем.
3. Наведіть приклади штучних екосистем.
4. Охарактеризуйте одну з екосистем.

#### Поміркуйте

1. Чим штучні екосистеми відрізняються від природних, в чому вони їм поступаються?

#### Подискутуйте

1. Запропонуйте заходи збереження природних екосистем.

#### Проекти

1. Характеристика екосистеми лісу.
2. Степ як екосистема.
3. Склад штучних екосистем на прикладі поля, ставка, озера тощо (на вибір учня).
4. Типи екосистем.

### § 23. Колообіг речовин і потік енергії в екосистемах, їх зв'язок із ЗЗП.

#### Продуктивність екосистем

**Колообіг речовин у екосистемі.** Біологічний колообіг речовин зумовлює стійкість і цілісність екосистеми. Він пов'язаний з життєдіяльністю біомаси екосистеми в цілому.

Зелені рослини, вбираючи світлову енергію Сонця, створюють з неорганічних речовин органічні речовини — первинну продукцію для тварин, грибів, бактерій усієї планети. Тварини перетворюють первинну рослинну продукцію у вторинну — тваринну. Бактерії й гриби руйнують первинну — рослинну і вторинну — тваринну продукцію до мінеральних речовин, що є проявом закономірності збереження та направленості процесів.

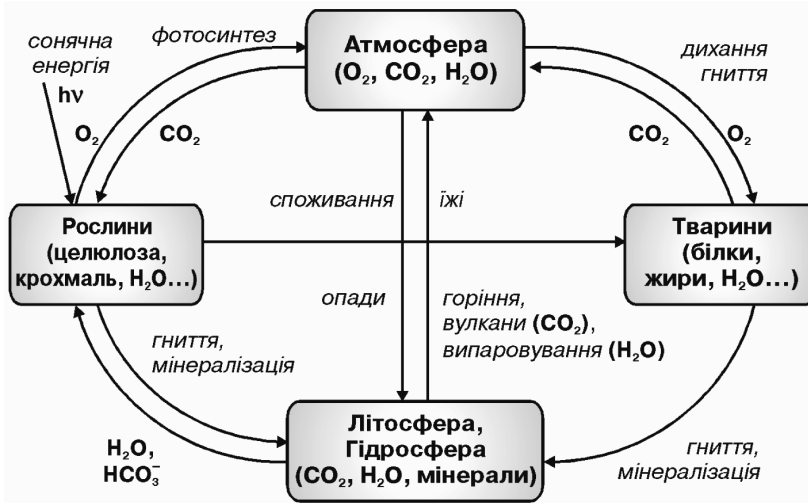
Основу біологічного колообігу, що забезпечує життя в екосистемі, становлять енергія Сонця і хлорофіл зелених рослин.

У будь-якій екосистемі взаємовідношення між популяціями різних видів дуже складні й суперечливі. Тварини і рослини зв'язані ланцюгами живлення одне з одним і постійним обміном речовин з навколишньою неживою природою (світло, вода, тепло, повітря, хімічні елементи). Тим самим вони включаються в колообіги речовин, що відбуваються в кожній екосистемі та в усій біосфері.

У екосистемі постійно відбуваються колообіги води і всіх елементів (Оксигену, Нітрогену тощо), які входять до складу живих організмів (*мал. 4.71*).

**Перетворення енергії в екосистемах.** Функціонування будь-якої екосистеми пов'язане з перетворенням енергії. Енергія витрачається живими організмами на процеси росту, розмноження, рухову активність тощо, що є проявом закономірності збереження і періодичності.





Мал. 4.71. Схема колообігу Оксигену

Екосистеми є відкритими біологічними системами, які потребують постійного надходження речовини та енергії ззовні. Основним джерелом цієї енергії є сонячне світло, яке фототрофи вловлюють та перетворюють на енергію хімічних зв'язків синтезованої органічної речовини. Гетеротрофні організми дістають необхідну їм енергію внаслідок ферментативного розкладу органічних речовин, що є проявом закономірності направленості процесів. Лише незначна частина енергії сонячного світла, яка досягає поверхні Землі (близько 1%) фіксується зеленими рослинами, інша ж відбивається в космос або розсіюється у вигляді тепла.

У свою чергу, організми, які споживають зелені рослини, теж засвоюють для побудови речовин свого тіла лише незначну частину енергії хімічних зв'язків своєї їжі (10–20%), а решта розсіюється у вигляді тепла, витрачаючись на процеси життєдіяльності, що є проявом закономірності збереження. Те саме спостерігається і при поїданні фітофагів хижаками.

Отже, на кожному етапі передачі енергії від одних організмів до інших більша частина її розсіюється у вигляді тепла і лише незначна частка перетворюється в потенційну енергію хімічних сполук у процесах пластичного обміну.

Послідовності організмів, у яких особини одного виду, їхні рештки або продукти життєдіяльності слугують об'єктом живлення організмів іншого називають **ланцюгами живлення**. Кожний ланцюг живлення складається з певної кількості ланок. Оскільки, як зазначалося раніше, при передаванні енергії з попередньої ланки до наступної, більша її частина втрачається для організмів, кількість ланок ланцюгів живлення обмежена і, як правило, не перевищує чотирьох-п'яти.

Будь-яка популяція організмів одного виду займає в ланцюзі живлення певне місце — трофічний рівень. На початку ланцюгів живлення в екосистемі завжди знаходяться продуценти (автотрофні організми). Трофічний рівень консументів (гетеротрофних організмів) визначається кількістю ланок, через які вони дістають енергію від продуцентів. Так, рослиноїдні тварини займають наступний після продуцентів трофічний рівень (консументи I порядку), далі йде рівень хижаків, які живляться рослиноїдними видами (консументи II порядку) тощо. Якщо консументи мають широкий спектр живлення, вони можуть займати різні трофічні рівні в кількох ланцюгах. Наприклад, сіра ворона може поїдати зерно (консумент I порядку) або пташенят зерноїдних (консумент II порядку) чи комахоїдних (консумент III порядку) видів

птахів. Частина біомаси загиблих продуцентів, яку не спожили консументи (наприклад, листяний опад), а також залишки чи продукти життєдіяльності інших організмів (наприклад, трупи й екскременти тварин), складають кормову базу редуцентів, які в кілька етапів їх розкладають до неорганічних сполук. Таким чином, у екосистемі енергія у вигляді хімічних зв'язків органічних сполук акумулюється на рівні продуцентів, проходить через організми консументів і редуцентів, частково розсіюється у вигляді тепла на кожній з трофічних ланок, зберігається в мертвій органічній речовині й остаточно втрачається для біогеоценозу при її руйнуванні.

Енергетичний баланс консументів складається таким чином. Разом із їжею вони дістають певну кількість енергії, частина якої запасається у вигляді синтезованої органічної речовини (продукція — П). Частка незасвоєної їжі, разом із енергією, яка в ній міститься, повертається у навколишнє середовище (незасвоєна частина їжі — Н). Більша ж частина енергії витрачається на забезпечення процесів життєдіяльності, головним чином — дихання (Д). Отже, енергетичний баланс консументів можна виразити формулою:

$$P = P + D + H,$$

де Р — кількість їжі, яку споживають консументи, з енергією, що в ній міститься у вигляді хімічних зв'язків.

Оскільки під час передавання енергії від нижчого трофічного рівня до вищого більша її частина розсіюється у вигляді тепла, колообіг енергії, на відміну від колообігу речовини, неможливий. Для функціонування екосистеми потрібне надходження енергії ззовні. Тому умовою існування будь-якої екосистеми є наявність зелених рослин, які вловлюють сонячну енергію. Тож сукупність мешканців океанічних глибин, печер тощо не становлять собою окремої екосистеми. Вони є лише фрагментами, які функціонують за рахунок надходження органічної речовини від ближніх до них екосистем, де є продуценти.

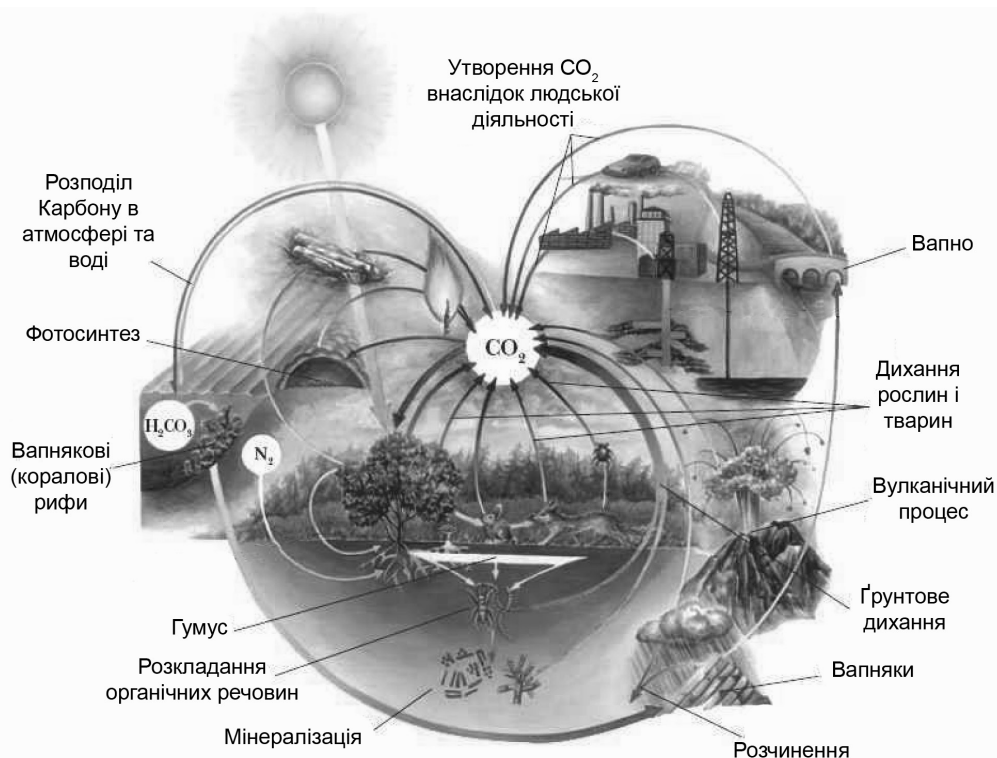
**Біогенна міграція атомів.** У екосистемі відбувається постійний колообіг елементів, які переходять з організму до організму, у неживу природу і знову в організм. Це біогенна міграція, яка відрізняється від здійснюваних на Землі фізико-хімічних переміщень у водному середовищі (розчинення елементів, рух розчинів у ґрунтових і підґрунтових та поверхневих водах) і в атмосфері (рух газоподібних сполук і водяної пари). Елементи, вивільнені мікроорганізмами під час гниття, надходячи в ґрант і атмосферу, знову включаються у колообіг речовин екосистеми.

У колообігу речовин екосистеми до складу живих організмів входять одні й ті самі елементи (Карбон, Нітроген, Гідроген, Оксиген, Сульфур). З неживої природи вони переходять до складу рослин, з рослин — до тварин і людини. Атоми переходять від організму до організму, перебуваючи в колі життя сотні мільйонів років, що підтверджують останні дані про ізотопи.

Для біогенної міграції атомів характерні нагромадження хімічних елементів у живих організмах, а також їх вивільнення в результаті розкладання мертвих організмів, як це показано на мал. 4.72. У кожній екосистемі можна спостерігати біологічний колообіг елементів — акумуляцію і мінералізацію їх. Утворення живої речовини переважає над мінералізацією на поверхні суші й у верхніх горизонтах моря при наявності зелених рослин. Рослинний покрив земної кулі дістає карбон з вуглекислого газу атмосфери й гідросфери. Мінералізація переважає в ґрунті й у глибинах моря. Розселення, рух організмів (бактерій, спор, насіння, комах, птахів, риби та ін.) сприяють міграції атомів. Хімічні елементи переносяться в результаті далеких міграцій птахів, риби і комах. Складний ланцюг взаємозв'язків рослин і тварин, що передають одні одним потрібні для життя елементи, характерний для усіх екосистем.

Біогенна міграція зумовлюється трьома процесами життя: обміном речовин в організмах, ростом і розмноженням їх. Розрізняють два види біогенної міграції атомів: перший — міграція, що здійснюється мікроорганізмами, і другий — багатоклітин-

ними організмами. Міграція атомів першого виду переважає над міграцією другого виду. Людство оволоділо міграцією атомів третього виду, яка відбувається під впливом його діяльності.



Мал. 4.72. Колообіг Карбону

Поширеність мікроорганізмів в атмосфері, літосфері й гідросфері, швидкість їх розмноження й життєдіяльність, що впливають на колообіг речовин, відіграють дуже важливу роль у екосистемі.

Поряд із нагромадженням у ґрунті сполук Нітрогену нітрифікуючими (аеробними) та іншими бактеріями в ньому відбувається й зворотний процес виділення азоту в повітря денітрифікуючими (анаеробними) бактеріями. Луї Пастер назвав бактерії «великими могильниками природи». Щохвилини помирають мільйони організмів. Під час гниття в атмосферу виділяється велика кількість вуглекислого газу й водню. Якщо зелені рослини є утворювачами органічної речовини, тварини — її споживачами, то мікроорганізми — переважно її руйнівниками. Мікроорганізми беруть значну участь у геохімічних процесах і колообігах речовин у біосфері 43, а також у виведенні речовин з колообігу та відкладанні їх у земній корі.

Біологічний колообіг речовин забезпечує стійкість і цілісність екосистеми. Він пов'язаний з життєдіяльністю біомаси екосистеми в цілому. Основу біологічного колообігу, що забезпечує життя в екосистемі, становлять енергія Сонця і хлорофіл зелених рослин. У колообігу речовин жива речовина, або біомаса, виконує біогеохімічні функції: газову, концентраційну, окислювально-відновну і біохімічну. Функціонування будь-якої екосистеми пов'язане з перетворенням енергії, яка витрачається живими організмами на процеси росту, розмноження, рухову активність тощо. У екосистемі відбувається й біогенна міграція.

### Перевірте себе

1. Поясніть колообіг речовин у екосистемі на основі ЗЗП.
2. Що лежить в основі енергообмінних процесів в екосистемах?
3. Що таке біогенна міграція атомів? Наведіть приклади.
4. Яка роль мікроорганізмів в обміні речовиною і енергією в екосистемі?

### Поміркуйте

1. Доведіть, що екосистема є відкритою біологічною системою.
2. Поясніть обмін речовин і перетворення енергії у екосистемах на основі ЗЗП.
3. Міграцію в екосистемах яких елементів можете пояснити.
4. Побудуйте схему колообігу в екосистемі:  $H_2O$ ,  $CO_2$ ,  $O_2$  (на вибір учня).

### Подискутуйте

1. Яке значення має колообіг речовин для існування екосистеми? Поясніть

### Проекти

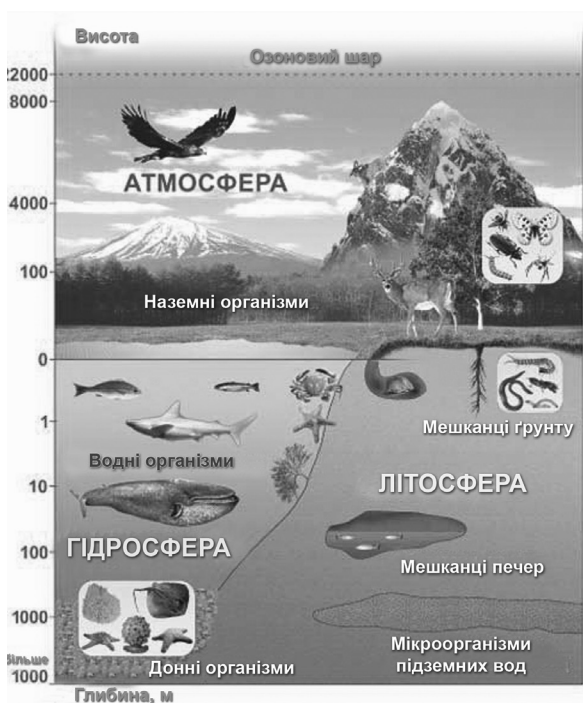
1. Колообіг речовин у природі.
2. Біогенна міграція Оксигену, Гідрогену, Нітрогену, Сульфуру (на вибір учня).
3. Енергетичний обмін у екосистемі.

## § 24. Загальна характеристика біосфери. Вчення В.І. Вернадського про біосферу

**Біосфера** — область поширення життя на Землі, існування живої речовини. Це найбільша екосистема планети, глобальна екосистема, межі якої обумовлені «полем існування життя». Так пояснював біосферу В.І. Вернадський. На сьогодні вважають, що біосфера — це оболонка Землі, в межах якої існує життя.

Біосфері притаманна складна внутрішня ієрархічна структура, множинність системної організованості біосистем, що входять до неї, специфічні закони виникнення, розвитку та функціонування.

**Структура біосфери (межі)** (мал. 4.73). Біосфера на Землі має чіткі межі свого існування. Структурно біосфера складається з нижньої частини атмосфери, усієї гідросфери та верхніх шарів літосфери із ґрунтом включно. Розгляньте таблицю на сторінці 258.



Мал. 4.73. Структура біосфери

Оболонка Землі	Протяжність	Межі життя	Будова
Атмосфера	100 км	До 10 км і більше. Спори бактерій і грибів піднімаються на висоту до 20 км.	Тропосфера — нижній шар атмосфери висотою 15 км; включає завислі у повітрі водні пари, які переміщуються при нерівномірному нагріванні поверхні Землі. Стратосфера — шар, що знаходиться вище тропосфери до висоти 40 км. У верхній частині вільний кисень перетворюється в озон, який утворює екран, що затримує космічні випромінювання і короткохвильові ультрафіолетові промені Сонця, згубні для живого. Іоносфера — шар, що знаходиться вище стратосфери, де переважають розріджені гази.
Літосфера	30–70 км	6–8 м (до 100 м)	Тверда кам'яна оболонка Землі. Верхня частина літосфери складається з осадових гірських порід. Під ними лежать межовий і базальтовий шари. На поверхні літосфери знаходиться ґрунт.
Гідросфера	70% поверхні Землі	До 11 км (Маріанська западина в Тихому океані)	Водяна оболонка Землі розташована між атмосферою і землею корою. Світовий океан має середню глибину 3–8 км, максимальну — до 11,034 км. Живі організми, які населяють Світовий океан, поділяються на планктон і бентос. Океан має значний вплив на клімат — пом'якшує спеку і холод. На дні відбуваються процеси відкладання осадових порід.

В атмосфері теоретично можливе існування мікробного життя включно до озонового шару. У гідросфері воно поширене аж до найглибших глибин (понад 11 км — Маріанська западина). У земній корі його існування обмежене ізотермою 100 °С (6 км глибини), хоча можна припустити можливість протікання біологічних процесів і на глибині до 25 км, тобто товщ, де температура сягає 460 °С, далі вода перетворюється у пару, що робить неможливим існування життя земного типу.

Для існування життя надзвичайно важливе значення мають кисень, водяна пара, азот та вуглекислий газ. Кисень потрібен для дихання (реакцій окислення, внаслідок чого виділяється енергія) та горіння; у формі озону він затримує шкідливу для живих істот ультрафіолетову радіацію Сонця.

Вуглекислий газ — необхідний компонент для діяльності автотрофних організмів. Водяна пара — регулятор водного балансу на планеті, азот — незмінний компонент нуклеїнових кислот та білків. Вуглекислий газ разом із водяною парою та іншими непрозорими частками — надзвичайно важливий регулятор прозорості атмосфери, а відтак і її температурного режиму. Підвищені концентрації цих компонентів зумовлюють затримання в атмосфері більшої кількості сонячних променів, її розігрівання з наступним «парниковим ефектом».

Загальна кількість вільного кисню в атмосфері, яка нагромадилася за час діяльності фотосинтезуючих організмів —  $1,18 \cdot 10^{15}$  т. Нині кисень (вільний) утворюється зі швидкістю  $1,55 \cdot 10^9$  т/рік, а витрачається за рік —  $2,16 \cdot 10^{10}$ , тобто кисню більше споживається, ніж вивільняється. Тим часом відносно вуглекислого газу тенденції зворотні: в атмосферу його викидається більше, ніж встигають асимілювати рослини. Внаслідок цього газовий баланс атмосфери невпинно змінюється.

Гідросфера — це сукупність усіх вод Землі, куди входять океанічні, материкові (поверхневі — річкові та озерні, ґрунтові, підземні) та води атмосфери. У всіх своїх станах вода зв'язана з біосферою і є однією з найголовніших умов існування життя на Землі.

---

Основна маса води зосереджена у Світовому океані: його площа 361 млн. км<sup>2</sup>, а обсяг — 1370 млн. км<sup>3</sup>. На нього припадає 98,8% усієї гідросфери і близько 71%. Значна кількість води законсервована в льодовиках — близько 24 млн. км<sup>3</sup>, майже стільки ж — у глибинних (понад 2 км) шарах земної кори. Вода рік та озер становить 0,182 млн. км<sup>3</sup>, атмосферна — 0,013 млн. км<sup>3</sup>, живі організми містять близько 0,001 млн. км.

Вода — основа та коліска життя на Землі. Як універсальний розчинник вона сприяє протіканню реакцій взаємодії між компонентами середовища, в тому числі і всередині організму. Води суходолу активно впливають на формування ландшафтних структур як один із чинників фізичного та хімічного вивітрювання. Потрапляючи на ґрунт, вода уможливорює існування фотосинтезуючих рослин. Нарешті, вода є одним із «сировинних» матеріалів у синтезі органічної речовини, причому її розщеплення призводить до вивільнення життєвого кисню. Динаміка різних станів води активно змінювала екологічні обставини на планеті. Періодичні коливання впродовж року формували специфічні життєві форми, пристосовані до існування в умовах низьких температур та кристалічної води. Епохальні коливання, пов'язані з наступом на суходіл льодовиків, суттєво змінювали видовий та екосистемний вигляд регіонів.

Верхні шари земної кори, як правило, наслідок геологічної активності живих організмів минулих часів. Нині існуючі живі істоти зосереджені у верхньому шарі земної кори — ґрунті. Глибина ґрунтів інколи сягає кількох метрів, звичайно — до метра, а в деяких місцях відсутня повністю. У ґрунті нагромаджуються рештки відмерлих рослин та тварин, тут же живуть різноманітні мікроорганізми, гриби, комахи, черви та інші організми, тобто ґрунт виступає для них середовищем проживання та екологічною нішею. Споживаючи подібні рештки, ґрунтові тварини нагромаджують біомасу, повертаючи водночас у колообіг мінеральні речовини та воду.

**Функціональні блоки біосфери.** З функціонального погляду біосфера, як екосистема, являє собою сукупність трьох основних блоків: продуцентів, консументів та редуцентів.

Пригадайте, що продуценти — організми, що виробляють органічну речовину з неорганічних сполук, використовуючи сонячну енергію чи енергію хімічних реакцій. За останнім показником (джерелом енергії) вони поділяються на автотрофи та хемотрофи. До автотрофів належать вищі рослини (крім паразитів та сапрофітів), водорості (синьо-зелені, зелені, червоні, бурі, діатомові, пірофітові), деякі бактерії (багрянні, залізобактерії, сіркобактерії тощо); до хемотрофів — нітрифікуючі, водневі бактерії тощо. Продуценти виробляють біомасу. Щоб зіставити продуктивність різних об'єктів, використовують поняття сухої речовини. Ще один важливий показник — первинна продукція: сумарна продукція фотосинтезу на одиницю площі за одиницю часу; цей самий показник, взятий без витрат біоти на дихання, становить чисту первинну продукцію.

Найвищі абсолютні показники продуктивності, таким чином, має ліс, особливо тропічний. Проте за виходом повсякденної біомаси реалії дещо інші — поряд із вологими тропічними лісами найістотніший приріст біомаси забезпечує поверхня відкритого океану. Передовсім це фітопланктон — сукупність завислих біля поверхні води мікроводоростей, які надзвичайно швидко розмножуються. До речі, не лише тропічні ліси Амазонії чи Африки слід називати «легенями» планети, а й поверхню океану. І забруднення останньої мастилами так само згубне для продуцентів, як і нищення могутніх тропічних лісів.

**Біогеохімічні функції біомаси.** Біомаса в біосфері виконує: газову, концентраційну, окислювально-відновну і біохімічну функції.

Газову функцію здійснюють зелені рослини, які в процесі фотосинтезу виділяють кисень, а також рослини і тварини, які, дихаючи, виділяють вуглекислий газ, а також багато які бактерії, що відновлюють азот, сірководень та ін.

---

---

Концентраційна функція виявляється в захопленні живою речовиною хімічних елементів (Гідрогену, Карбону, Нітрогену, Оксигену, Натрію, Мангану, Магнію, Алюмінію, Фосфору, Силіцію, Калію, Кальцію, Сульфур, Феруму) і нагромадженні окремими видами Іоду, Радію та ін.

Окислювально-відновна функція виявляється в окисленні речовин за допомогою організмів у ґрунтах і гідросфері з утворенням солей, оксидів та ін., у відновленні речовин (сірководень, сірчане залізо та ін.). Внаслідок діяльності бактерій у земній корі утворилися відклади вапняків, бокситів, руди тощо.

Біохімічна функція пов'язана: з живленням, диханням та розмноженням; з руйнуванням і гниттям відмерлих організмів. Усі ці функції виявляються в біогенній міграції атомів.

Особливе місце займає функція людської діяльності й створений нею колообіг хімічних елементів, що їх виділяє і споживає промисловість.

**Різноманітність живих організмів як умова стабільності біосфери.** Результатом еволюції стала величезна різноманітність видів живих організмів. Вид є одиницею еволюції і існує як потік організмів у часі. Цей потік має своїх предків і своїх нащадків, тому він неперервний.

Кожен вид має своє власне місце в природі. Природний добір пристосовує види до конкретних умов оточуючого середовища. Якщо представники одного виду потрапляють до різних умов середовища, то через певний час можуть виникнути два різних види. Це — поширення організмів у просторі.

Чим більша різноманітність видів живих організмів, тим більша стійкість біосфери в цілому, тим більша ймовірність того, що при зміні одного з факторів зовнішнього середовища зникнуть тільки ті види, на які впливають ці фактори. Так, наприклад, ви знаєте, що вимерли динозаври. Якби крім динозаврів не існували інші види тварин, то існування біосфери було б під загрозою.

**Біосфера** — це оболонка Землі, в межах якої існує життя. Структурно біосфера складається з нижньої частини атмосфери, усієї гідросфери та верхніх шарів літосфери. З функціонального погляду біосфера являє собою сукупність трьох основних блоків: продуцентів, консументів та редуцентів. Біомаса в біосфері виконує: газову, концентраційну, окислювально-відновну і біохімічну функції.

### Перевірте себе

1. Що називають біосферою?
2. Які межі біосфери?
3. Яка структура біосфери?
4. Які функціональні блоки має біосфера?
5. Які біохімічні функції виконує біомаса у біосфері?

### Поміркуйте

1. Наведіть докази того, що біосфера є екологічною системою.
2. Чим визначаються межі біосфери?
3. Чому різноманітність живих організмів є умовою стабільності біосфери? Поясніть на основі ЗЗП.

### Подискутуйте

1. Біосфера — відкрита біологічна система.

### Проекти

1. Різноманітність видів у біосфері.



2. Рівні організації життя у біосфері.
3. Функціональні блоки біосфери.
4. Видатні вчені, які досліджували біосферу.

## § 25. Вплив діяльності людини на стан біосфери

**Екологічна ніша людини в біосфері.** Об'єктивний процес розвитку життя на Землі призвів до того, що у біосфері виникла людина, котра перетворила цю межу для планети екосистему у величезну власну екологічну нішу. У зв'язку з цим виникає потреба оцінювати нинішній стан біосфери та перспективи її подальшого розвитку крізь призму визначального впливу на неї антропоїчного чинника. У свою чергу, людина, не маючи іншого природного середовища проживання, неминуче пов'язана з біосферою як питомим доквіллям, у котрому вона може реалізувати свої потенції як виду, усталитись і розвиватись, покладаючись на її ресурси у своєму культурному, мистецькому, пізнавальному житті. Таким чином, склалася система «людина-біосфера».

**Еволюція взаємовідносин в системі «людство — біосфера».** Людство — частина біомаси біосфери — тривалий час перебувало в безпосередній залежності від навколишньої природи. З еволюційним розвитком людина сама стає могутнім фактором дальшої еволюції на Землі. Оволодіння різними формами енергії — механічною, електричною й атомною — призвело до того, що значно змінилася земна кора й біогенна міграція атомів. Використання кам'яних знарядь тривало сотні тисяч років, а від кам'яного до атомного віку минуло лише кілька тисячоліть. За час свого існування людство добуло кам'яного вугілля близько 50 млрд. т, заліза — 2 млрд. т і мільйони тонн інших металів. Дедалі більше й більше елементів уводиться в міграцію атомів біосфери в результаті діяльності людини. Це особливо виявляється під час війни, коли кожний рік війни вимагає десятки мільйонів тонн заліза, сталі, цементу, нафти, сотні мільйонів тонн вугілля тощо. Людина безпосередньо вплинула на природу створенням каналів, водосховищ, зміною русла річок тощо. Ці новоутворення вплинули на клімат.

Діяльність людства позначається й на складі атмосфери, гідросфери тощо. Людство оволоділо величезною енергією і технікою, стало головною силою, що змінює процеси в біосфері. Академік В. І. Вернадський в ученні про біосферу висловлював думку, що тепер людство повинне створити нову оболонку Землі — ноосферу («розумну оболонку» Землі). Людство становить порівняно невелику масу в біосфері, але його діяльність грандіозна. Людина вже вийшла за межі біосфери, її космічні кораблі досягли Місяця, Венери та інших планет.

Нині в усьому світі існує гостра потреба налагодити розумний розвиток виробництв, споживання енергії та використання природних багатств, не порушуючи закономірностей, що існують у біосфері. Важлива охорона чистоти повітря, води, ґрунту, живої природи на основі біологічних знань. Санітарна охорона біосфери стала дуже важливою проблемою всього людства.

Зараз складаються зовсім нові взаємовідносини в системі «людина — біосфера». Земля, що завжди здавалася людині неосяжною, величезною, сили якої викликали в неї благоговійний трепет, були грізним нагадуванням про слабкість людини розумної, сьогодні вже такою не є. Хоча сліпі природні сили й нині не стали слабкішими й час від часу нагадують про себе руйнівними землетрусами або іншими стихійними лихами, але могутність людини здається просто безмежною. Наприклад, за рахунок роботи тисяч радіостанцій, телестанцій, релейних ліній тощо Земля сьогодні випромінює енергії в радіодіапазоні (на метрових хвилях) більше, ніж Сонце. Щорічно людство лише в сільському господарстві перевертає, перелопачує своїми плугами та луцильниками масу ґрунту, в 200 разів більшу, ніж увесь пісок, глина, намул, які виносяться в океан усіма ріками Землі. Людство стало провокувати справжні землетруси — за рахунок

підземних ядерних вибухів, а також будівництва крупних водосховищ у сейсмічно небезпечних зонах. Сьогодні людина використовує не лише всі елементи таблиці Менделєєва, але й створила нові, яких раніше не було на Землі, наприклад, плутоній.

Усе, добуто з надр Землі, людина розсіює на поверхні, колосально прискорюючи переміщення хімічних елементів у біосфері Землі, порушуючи ті біогеохімічні цикли, що склалися протягом мільйонів років. Запаси енергетичної сировини, металів тощо, які природа накопичувала в своїх коморах впродовж цілих геологічних періодів, людина розтрачує за лічені десятиліття. Натомість вона вносить у природу нові сполуки, здебільшого шкідливі для біосфери. На сьогодні за рахунок техногенної діяльності в біосферу потрапило вже близько 50000 нових хімічних речовин, не властивих природі й здебільшого шкідливих для живих істот. Таке споживацьке ставлення до природи несе за собою незворотні перетворення в біосфері. Серед них: зменшення запасів прісної води, зменшення чисельності видів живої природи (мал. 4.74,1), забруднення вод, повітря тощо (мал. 4.74,2).



1



2

Мал. 4.74. Наслідки негативного впливу людини на стан біосфери: 1 — вирубка лісу; 2 — смог над містом.

Люди продовжують і далі діяти в тому ж напрямі, не усвідомлюючи того очевидного факту, що Земля, на якій вони розвинулись до сучасного рівня, — це маленька планета з обмеженими ресурсами і дуже вразливим режимом. Вона вимагає до себе тим обережнішого і дбайливішого ставлення, чим ширшими стають можливості людей порушувати цей режим.

**Ноосфера.** На початку ХХ століття В. І. Вернадський висунув тезу про те, що біосфера Землі закономірно й неминуче перейде в нову якість, стане **ноосферою** (від грец. *ноос* — розум). На його думку, людина візьме на себе керівництво всіма процесами в біосфері, спрямує її розвиток у бажаному для себе напрямі. На зміну «дикій» біосфері повинна прийти нова оболонка — ноосфера, тобто якісно новий стан біосфери, переробленої, перебудованої розумом людини і її працею.

Сьогодні можна констатувати, що біосфера справді різко змінюється під впливом технологічної діяльності людини, дедалі більше замінюється **техносферою**, в якій дехто з учених ще недавно схильний був бачити початок формування ноосфери, передбачуваної Вернадським. Але сьогодні стало ясно, що наступ техносфери супроводжується такими змінами природного середовища, які почали вже загрожувати самому існуванню людини на Землі. Відбувається прискорене, прогресуюче руйнування основних життєво важливих ланок біосфери, що може викликати її повну деградацію й загибель, що автоматично означатиме загибель людства, оскільки люди не можуть існувати в іншому середовищі, ніж те, в якому вони з'явилися та існували. Отже, все активніше рухаючи вперед «технічний прогрес», людство лише погіршує загальну ситуацію в біосфері і своє власне в ній становище.

Порушені людством біоти самі стають джерелом забруднення природного середовища. Наприклад, за рахунок надмірного внесення в ґрунти мінеральних добрив і пестицидів порушується склад і життєдіяльність ґрунтових мікроорганізмів, що викликає

---

посилене надходження в атмосферу метану й вуглекислого газу. З цієї причини, а також за рахунок швидкого зведення лісів біота континентів почала виділяти в атмосферу стільки CO<sub>2</sub> скільки його надходить туди ж від згоряння мінерального палива.

Нереальною виглядає й мрія Вернадського про те, що людина може перебрати на себе керування всіма процесами в біосфері, спрямувати їх у «розумне русло». Адже загальна кількість живих організмів у біосфері не може бути суттєво скорочена, інакше біосфера втратить свою стійкість, збалансованість усіх процесів і вийде зі стану гомеостазу. Тому, якщо ми хочемо створити систему для керування біосферою, вона повинна бути складнішою від самої біосфери.

Отже, ідея ноосфери, як керованої людством біосфери, виглядає утопією, такою ж, як, скажімо, ідея побудови комунізму. Якщо людство хоче мати майбутнє, то воно, як складова частина біосфери, не повинне руйнувати її, не намагатися перебрати на себе «керівництво» цією суперскладною системою, бо це абсолютно для нього нереальне завдання і до того ж недосяжне. Ми повинні жити в гармонії з природою і діяти згідно з народним прислів'ям «будуй хатку по достатку». Це вимагає переходу на енергоспоживання, засноване виключно на відновних ресурсах і на безвідходних технологіях. Зупинити прогресуюче руйнування біосфери можна лише у випадку, якщо антропогенне навантаження на біосферу впаде нижче порогового рівня, біоти повернуться в природно врівноважений стан і зможуть компенсувати шкоду, якої їм завдають люди. Енергоспоживання у зв'язку з переходом на відновні ресурси доведеться знизити на 90%. Але природа людини така, що вона ніколи не відмовиться від того рівня споживання, який є сьогодні.

Основне завдання на сьогодні полягає у вихованні людей, особливо молоді, для усвідомлення тієї простої істини, що всі наші плани, дії й вчинки мають не суперечити законам природи, а узгоджуватись з ними. Треба також мати на увазі, що часу для такої перебудови загального світогляду людей залишилось не так уже й багато перед лицем глобальної екологічної кризи, що насувається.

**Людство — частина біомаси біосфери — тривалий час перебувало в безпосередній залежності від навколишньої природи. З розвитком мозку людина сама стає могутнім фактором дальшої еволюції на Землі. Оволодіння різними формами енергії — механічною, електричною й атомною — призвело до значних змін земної кори й біогенної міграції атомів. Діяльність людства позначається й на складі атмосфери. Зараз складаються зовсім нові взаємовідносини в системі «людина — біосфера».**

#### Перевірте себе:

1. Яке місце людини у біосфері?
2. Поясніть умови виникнення системи «людина-біосфера».
3. Як еволюціонували взаємовідносини між людством і біосферою?
4. Що таке ноосфера? Хто з вчених запропонував цей термін?
5. Чи впливає ноосфера на біосферу? Яким чином?
6. Яке місце посідає Україна по екологічній ситуації серед країн Європи?
7. Які причини екологічної кризи в Україні?
8. Які існують наслідки екологічної кризи?
9. Що таке екологічна культура?
10. Які функції екологічної свідомості людини?

#### Поміркуйте:

1. Чим корисна та шкідлива для біосфери діяльність людини?
2. Порівняйте ноосферу з техносферою.



3. Поясніть вираз «будуй хатку по достатку», щоб він стосувався поведінки людини в біосфері.
4. Яких ідей ноосфери слід притримуватися?
5. Чому людству необхідно мати екологічну культуру?
6. Чи можна віднести аварію на ЧАЕС до екологічної кризи?

#### Подискутуйте:

1. Які причини і наслідки Чорнобильської трагедії?

#### Проекти:

1. Ноосфера, її особливості.
2. Негативний вплив людини на біосферу.
3. Екологічна криза у світі.
4. Причини екологічної кризи в Україні.
5. Шляхи подолання екологічної кризи у світі.

### § 26. Збереження біорізноманіття

Скорочення біорізноманіття займає особливе місце серед головних екологічних проблем сучасності. Відбувається інтенсивне знищення природних екосистем та зникнення видів живих організмів. Природні екосистеми змінені на п'ятій частині суходолу. Під загрозою знищення знаходяться тисячі видів рослин і тварин — до Червоного списку МСОП (2000 р.) занесено більш як 9 тис. видів тварин і 7 тис. видів рослин. Подальше скорочення біорізноманітності може призвести до дестабілізації біоти, втрати цілісності біосфери та її здатності підтримувати найважливіші характеристики середовища. Внаслідок необоротного переходу біосфери в новий стан, вона може стати непридатною для життя людини. Збереження біорізноманітності живих систем на Землі — необхідна умова виживання людини та сталого розвитку цивілізації.

Із метою запобігання негативним наслідкам вченими та спеціалістами під егідою ООН у 1992 році в Ріо-де-Жанейро була підписана Конвенція про біологічне різноманіття. Багато країн світу, в тому числі й Україна, приєдналися до цієї Конвенції.

Біологічні системи різних ієрархічних рівнів характеризуються різноманітною структурою, законами розвитку та функціонування. Тому на різних ієрархічних рівнях організації живого необхідно визначити принципи (окремі методичні підходи), які ґрунтуються на вихідних наукових положеннях про об'єкти біорізноманітності та головні завдання щодо збереження об'єктів і способів їх охорони.

**Організмовий принцип.** Організми — найдрібніші одиниці життя, які самостійно існують у середовищі, є носіями спадкової інформації про головні властивості і ознаки виду. Головні завдання — збереження організмів і забезпечення їх відтворення, а також збереження генотипів.

**Популяційний принцип.** Популяції являють собою форму існування виду, елементарні одиниці еволюційного процесу, які володіють унікальним генофондом.

Головні завдання — збереження або відновлення чисельності й ареалів природних популяцій, збереження внутрішньопопуляційної генетичної різноманітності і генетичної унікальності популяцій, різноманітності структури популяції.

**Видовий принцип** — це найменша генетично закрита система, яка володіє неповторним генофондом; він являє собою, як правило, систему взаємопов'язаних локальних популяцій, внутрішньовидових форм і підвидів. Головні завдання за цим принципом — збереження чисельності та ареалів видів, просторово-генетичної популяційної структури виду, різноманітності популяцій, внутрішньовидових форм.

**Біогеоценологічний принцип.** Види в природі існують у тісному функціональному зв'язку у формі угруповань організмів. Головні завдання — збереження і відновлення угруповань, збереження видового різноманіття угруповань, підтримання природних процесів формування складу і структури угруповань.

**Екосистемний принцип.** Сукупність функціонально пов'язаних організмів (біоценоз) і абіотичних компонентів середовища, в якому вони існують (біотоп, екотоп), становить єдину систему (екосистему). Головні завдання — збереження і відновлення природних екосистем, підтримання їх функції щодо утворення середовища і природних процесів розвитку природних екосистем; збереження і відновлення екологічно збалансованих природно-культурних комплексів.

**Червона книга України.** У зв'язку з інтенсифікацією господарської діяльності, посиленням негативної впливу на довкілля більшості антропогенних чинників, погіршенням і зменшення біологічних ресурсів і біорізноманіття, збереження фауни й флори в усьому світі стало одним з найактуальніших завдань сучасності. Особливо гостро ця проблема постала у боротьбі за збереження й відтворення рослинного й тваринного світу. З'явилися важливі міжнародні документи з цієї проблеми, конвенції, угоди, в тому числі Червона книга Міжнародного союзу охорони природи та природних ресурсів, Європейський червоний список тварин, Червоні книги ряду країн.

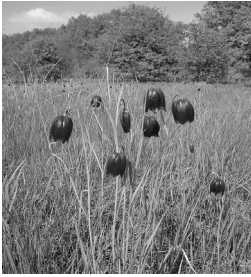
Червона книга України є основним державним документом, у якому вміщено узагальнені відомості про сучасний стан видів тварин і рослин України, що перебувають під загрозою зникнення, та заходи щодо їх збереження й науково обґрунтованого відтворення. Вона є основою для розробки подальших дій, спрямованих на збереження й відтворення біорізноманіття в Україні. Занесені до Червоної книги види тварин і рослин підлягають особливій охороні (мал. 4.75).

Червона книга України — результат дуже кропіткої і важливої праці багатьох учених із наукових інститутів Національної Академії Наук: Інституту зоології, Інституту біології південних морів, Інституту ботаніки, а також природничих музеїв, заповідників, біологічних факультетів університетів і педагогічних інститутів, сільськогосподарських та лісотехнічних інститутів та інших закладів.

У жовтні 1992 р. Верховна Рада України з метою збереження й відтворення біологічного різноманіття, охорони рідкісних і таких, що перебувають під загрозою зникнення, видів тварин і рослин затвердила «Положення про Червону книгу України». Зазначимо, що перше видання «Червоної книги України», коли Україна ще входила до складу СРСР, вийшло в 1980 р. Тоді в ньому було вміщено 85 видів тварин (ссавців — 29, птахів — 28, плазунів — 6, земноводних — 4, комах — 18) і 151 вид вищих рослин. За 14 років, що минули з того часу, ситуація значно погіршилася. У квітні 1994 р. вийшов перший том «Червоної книги України», в якому вміщено вже 382 види тварин (ссавці — 41, птахи — 67, плазуни — 8, земноводні — 5, риби — 32, молюски — 12, комахи — 173, ракоподібні — 26, черви — 2, павукоподібні — 2, гідродні поліпи — 2, кільчасті черви — 7, круглороті — 2).

Відомості про кожен вид в Червоній книзі розміщено в систематичному порядку за загальноприйнятою класифікацією; дається назва виду латинською й українською мовами, дано статус (категорію рідкісності), поширення в Україні та за її межами, місця мешкання, чисельність, особливості біології, заходи щодо охорони, рекомендації. Види розділено на шість категорій: зниклі види відмічені цифрою 0, зникаючі — I, вразливі — II, рідкісні — III, невизначені — IV, недостатньо відомі — V, відновлені — VI.

За організацію збереження й відтворення тварин і рослин, занесених до Червоної книги, несуть відповідальність Кабінет Міністрів України, Ради народних депутатів, місцеві державні адміністрації, виконавчі органи місцевого самоврядування, Міністерства України.



1



2



3



4



5



6

Мал. 4.75. Види рослин і тварин, занесені до Червоної книги України:  
1 — рябчик малий; 2 — сон чорніючий; 3 — астрагал шерстистоквітковий;  
4 — їжак вухатий; 5 — бражник Мертва голова; 6 — саламандра плямиста

У «Положенні про Червону книгу України» передбачається ціла низка заходів щодо організації й відтворення видів тварин і рослин — від моніторингу за станом популяцій, створення заповідних об'єктів, банків генофонду зникаючих видів до проведення широкої виховної роботи серед населення, встановлення підвищеної кримінальної, адміністративної та матеріальної відповідальності за знищення або пошкодження зникаючих видів тварин чи рослин.

Залежно від стану та ступеня загрози для популяцій видів тварин чи рослин, занесених до Червоної книги України, вони поділяються на: зниклі види (після неодноразових пошуків, проведених у типових місцевостях або в інших відомих та можливих місцях поширення, відсутня будь-яка інформація про їх існування у дикій природі), зникаючі (знаходяться під загрозою зникнення), вразливі (у найближчому майбутньому можуть бути віднесені до категорії «зникаючі»), рідкісні (популяції невеликі, їм загрожує небезпека), невизначені (очевидно, знаходяться під загрозою зникнення, але достовірні дані про стан їх популяції відсутні), відновлені.

Скорочення біорізноманіття займає особливе місце серед екологічних проблем сучасності. Червона книга України є основним державним документом, у якому вміщено інформацію про сучасний стан видів тварин і рослин України, що перебувають під загрозою зникнення, та заходи щодо їх збереження й науково обґрунтованого відтворення.

#### Перевірте себе:

1. Що таке біорізноманіття?
2. Які виділяють принципи збереження об'єктів біорізноманіття?
3. Що таке Червона книга? Яка її структура?
4. На які групи поділяють види, занесені до Червоної книги?

### Поміркуйте:

1. Назвіть види рослин і тварин, занесені до Червоної книги України.
2. Запропонуйте заходи збереження і примноження біорізноманіття.
3. Які причини зменшення біорізноманіття в Україні?

### Подискутуйте:

1. Збереження біорізноманіття — умова стабільності біосфери.

### Проекти:

1. Червонокнижні види рослин, їх причини зникнення.
2. Червонокнижні види тварин, їх причини зникнення.
3. Історія створення Червоної книги України.
4. Міжнародна Червона книга.
5. Види рослин і тварин України, занесені до міжнародної Червоної книги.
6. Місцеві червонокнижні види.

## УЗАГАЛЬНИТЬ ВИВЧЕНЕ З РОЗДІЛУ «НАДОРГАНІЗМОВІ РІВНІ ОРГАНІЗАЦІЇ ЖИТТЯ»

**I рівень.** *Виберіть правильну відповідь.*

1. До біологічних систем надорганізмового рівня організації життя належать:  
а) вид; г) популяція;  
б) клітина; д) біосфера;  
в) екосистема; е) тканина.
2. Біосфера — це:  
а) оболонка Землі, в межах якої існує життя;  
б) область життя в межах атмосфери та гідросфери;  
в) оболонка Землі;  
г) сукупність видів живих організмів.
3. Популяція — це:  
а) сукупність особин, що населяють певну екосистему;  
б) сукупність особин одного виду, що займають певну територію;  
в) структурна одиниця еволюційного процесу;  
г) сукупність особин однієї екосистеми, що вільно схрещуються.
4. Наука, яка вивчає біоритми організмів:  
а) біологія; в) біоетика;  
б) хронобіологія; г) географія

**II рівень.** *Виберіть правильну відповідь.*

1. Причинами екологічної кризи є:  
а) інтенсивне використання природних ресурсів; в) відсутність керівництва;  
б) перенаселення Землі; г) меліорація;  
д) нехтування законами природи.
2. Наслідками екологічної кризи є:  
а) інтенсивне використання природних ресурсів;  
б) дефіцит прісної води;  
в) виснаження земельних ресурсів;  
г) збіднення біорізноманіття;  
д) нехтування законами природи.



3. Популяцію характеризують:

- |                   |                  |
|-------------------|------------------|
| а) чисельність;   | д) змінність;    |
| б) періодичність; | е) розселеність; |
| в) щільність;     | є) розміщення.   |
| г) структура;     |                  |

4. Ланцюги живлення екосистем включають компоненти, які розміщуються в такому порядку:

- |   |
|---|
| а) консументи — редуценти — продуценти; |
| б) продуценти — редуценти — консументи; |
| в) редуценти — консументи — продуценти; |
| г) продуценти — консументи — редуценти. |

### III рівень

1. Стабільність біосфери забезпечує:

- |                     |                                     |
|---------------------|-------------------------------------|
| а) людство;         | в) уникнення екологічних катастроф. |
| б) біорізноманіття; |                                     |

2. Проблеми, що пов'язані зі зростанням чисельності населення, — це

- |                              |  |
|------------------------------|--|
| а) нестача продовольства;    | г) нестача прісної води;                     |
| б) зменшення довкілля;       | д) відсутність екологічної свідомості людей. |
| в) забруднення прісної води; |  |

3. До негативних взаємовідносин організмів в екосистемах належать:

- |                 |                   |
|-----------------|-------------------|
| а) коменсалізм; | г) квартиранство; |
| б) паразитизм;  | д) мутуалізм;     |
| в) антибіоз;    | е) хижацтво.      |

4. Основою біологічного колообігу речовин і енергії, що забезпечують життя в екосистемі є:

- |                    |                    |
|--------------------|--------------------|
| а) енергія Сонця;  | в) тварини;        |
| б) зелені рослини; | г) мікроорганізми. |

### IV рівень. Дайте відповідь на запитання

1. Чим ноосфера відрізняється від біосфери?
2. Яка роль заповідних територій у збереженні біологічного різноманіття?
3. Чим екосистема відрізняється від біоценозу?
4. Дайте коротку характеристику екосистемі лісу?
5. \* Для допитливих. Змодельуйте у зошиті структурно-логічну схему, яка б об'єднувала вивчені поняття і терміни розділу.

## Спостереження за взаємодією організмів в екосистемі вашої місцевості

### УРОК В ДОВКІЛЛІ (екскурсія до природничого музею)

**Мета:** ознайомитися з якісним і кількісним складом живих організмів певного біогеоценозу.

**Обладнання:** фотоапарати, блокноти для записів.

*Хід роботи*

Вийдіть у довкілля і виберіть цікаві біогеоценози: куточок луки, берег річки чи озера, частину узгір'я чи лісу. Виконайте такі завдання:



1. Визначте біомасу надземної частини рослинності. Для цього на майданчику площею 0,25 м<sup>2</sup> вчитель вистриже всю рослинність, яку потім треба зважити.
2. Підрахуйте кількість видів, що входять до складу даного біогеоценозу.
3. Приблизно визначте біомасу кожного виду рослин, а потім біомасу тварин. Птахів треба підраховувати на маршруті довжиною не менше кілометра. Виберіть смугу, вздовж якої ви будете вести спостереження. Підрахуйте кількість птахів на цій площі і визначте, скільки їх припадає на одиницю площі. Біомасу дрібних жителів трав'янистого ярусу визначають за допомогою ящика з дном певної площі (подумайте, як це зробити).
4. На основі кількох проб підрахуйте чисельність організмів і біомаси на площі 1 м<sup>2</sup>.
5. Порівняйте чисельність тварин та рослин різних біогеоценозів та поясніть, чому ця чисельність різна.
6. Перевірте прикмети, вказані в «Народному календарі»



Мал. 4.76. Варіант СЛС до розділу «Надорганізовані рівні організації життя»

---

---

## ТЕМА 3. ОСНОВИ ЕВОЛЮЦІЙНОГО ВЧЕННЯ. ІСТОРИЧНИЙ РОЗВИТОК ОРГАНІЧНОГО СВІТУ

### § 27. Становлення еволюційних поглядів.

#### Теорії еволюції ламарка і дарвіна

Еволюційне бачення природи є важливим компонентом сучасного мислення. Воно заперечує традиційні постулати, догми і стереотипи й забезпечує стійкий розвиток людської цивілізації.

Розмаїття життя і об'єктивні підстави єдності земного життя свідчать про необхідність досягнення якогось цілісного (в ідеалі — єдиного) розуміння еволюційного процесу. Але чи можливий цілісний погляд на розвиток органічного світу, а якщо так, то якими мають бути підходи до його вироблення?

Розвиток наукового пізнання засвідчує, що розв'язати цю проблему прагнуло багато поколінь дослідників, але до створення єдиної теорії справа поки що не дійшла. Однак нагромаджено чимало гіпотетичних поглядів, кожен з яких вносить своє бачення до цілісної картини еволюції живого. Одним із найефективніших результатів, отриманих на цьому шляху, є вироблення певних стратегій, еволюційних поглядів, гіпотез. Осягнення різних шляхів еволюційного розвитку дає змогу простежити головні траєкторії розвитку живої природи, глибше пізнати еволюцію біосфери як цілісної системи.

Різноманітні еволюційні погляди розглядаються вченими як підходи до пояснення еволюції живого. Німецький біолог Л. Плате виділяв «найголовніші еволюційні теорії», до яких він відносив ламаркізм, неоламаркізм, ортогенез, теорію природного добору, неодарвінізм і віталізм. Російський історик науки Ю. О. Філіпченко особливо виокремлював дарвінізм, неодарвінізм, неоламаркізм, мутаціонізм. Генетик Т. Морган основними еволюційними доктринами вважав жоффруїзм, ламаркізм, дарвінізм, «принцип розгортання», мутагенез. Сучасні російські дослідники Жирмунський і Кузьмін вважають, що існують три головні напрями пояснення законів історичного розвитку живої природи: катастрофізм, уніформізм та еволюціонізм (дарвінізм).

Широкого визнання набула класифікація еволюційних теорій видатного американського еволюціоніста Е. Майєра. Всі теорії-пояснення еволюційних змін він поділив на дві групи: моністичні і синтетичні. До першої віднесено екто- та ендегенетичні концепції, теорію природного добору і теорію «випадковості», до другої — поліфакторіальні концепції, а серед них і синтетичну теорію еволюції, неоламаркізм та дарвінізм.

Розглянемо основні еволюційні погляди у вигляді програм, назви яких пов'язані або зі змістом, або з іменем ученого, котрий зробив найбільший внесок у їхній розвиток.

**Епігенетична програма** — одна з найдавніших за віком програма, котра налічує вже кілька століть. Її розробником є К. Ф. Вольф (*мал. 4.77, 1*). Відповідно їй структура організму є не лише об'єктом еволюційних перетворень, а й рушійною, спрямовуючою силою еволюції.

Вольф переконливо доводить обмеженість панівних способів обґрунтування теоретичних моделей пояснення розвитку живого — тавтологічного, емпірично-спостережного і метафізичного. На його думку, набагато кращим є історичне пояснення, яке і реалізує запропонована ним теорія епігенезу або теорія зародження.

Значення епігенетичної програми полягає в тому, що основним об'єктом еволюції визнається організм і його індивідуальний розвиток. Важливою рисою цієї програми є утвердження єдності індивідуального та історичного розвитку організмів — онтогенезу і філогенезу. Важливою обставиною, стало і те, що в центрі еволюційних перетворень опинилася жива система — організм, в реальності існування якої сум-

ніватися не доводилося. На такому об'єкті можна здійснювати експерименти, його можна відтворювати, на ньому стає помітним спектр індивідуальних відхилень будови представників одного й того самого виду. Це істотно підривало філософську доктрину про існування певних загальних планів будови організмів, їхню одвічну заданість і незмінність, про відповідність устрою живого наперед заданій меті.

Епігенетична програма дала початок виникненню низки еволюційних теорій та концепцій. Всі вони дістали назву організмистських. У свою чергу, множина таких концепцій поділяється на три групи: телеономічно-організмів (спрямовані на тлумачення насамперед феномена органічної доцільності, структурно-організмів (спрямовані на пояснення особливостей виникнення нових якостей за підвищення рівня організованості живої матерії), еволюційно-організмів (орієнтовані на розкриття появи нових якостей у процесі органічної еволюції).



Мал. 4.77. Вчені-еволюціоністи: 1— К. Ф. Вольф; 2 — Ламарк; 3 — Ж. Кув'є; 4 — Е. Жоффруа Сент-Ілера

**Ендогенетична програма.** Ламарка (мал. 4.77, 2) вважають творцем першої наукової теорії еволюції, названої (за іменем автора) ламаркізмом. Це єдина еволюційна концепція, котра пережила у своїй історії прямо протилежні хвилі ставлення до себе — від повного сприйняття і схвалення до заперечення взагалі.

Ламарк відкидав телеологічні уявлення про сталість і незмінність видів, що дають лише видимість пояснення, і шукав причини існуючої пристосованості організмів до навколишнього середовища. Він вважає рушійною силою еволюції «потяг природи до прогресу», розвитку від простого до складного. Однак тим самим учений заперечував вплив середовища існування на організми. Це робить незрозумілим походження джерела розвитку.

Після Ламарка були висунуті різні концепції еволюції його послідовниками, які називалися неоламаркізмом.

Ламарк піддав ґрунтовній критиці ідеалістичні погляди на еволюцію живого. Через це його «драбина прогресу» слугувала поштовхом для розвитку концепції структурних рівнів організації живого і філогенії розвитку життя на Землі.

Еволюційні погляди Ламарка людиноцентричні. Основою побудови живих систем та їх філогенетичного розвитку є організація людини, найдосконалішої та найостаннішої у часовому розвитку системи живого. Саме з пізнання і дослідження організації людини необхідно шукати «загальні принципи фізіології» і поширювати низку висновків на всіх тварин взагалі».

Методологічні принципи Ламарка давали можливість рухатися до досягнення розмаїття органічного світу від найдосконалішої його форми — людини, а її розглядати як природний продукт розвитку всього світу.

В еволюційній програмі Ламарка є чимало цінного. Ламарк не лише чітко сформулював еволюційну ідею, але й навів докази еволюції. Йому вдалося виявити одну

---

з властивостей взаємодії організмів і середовища — мінливість видів у різних умовах існування; довести незворотність еволюції, її поступовість, неперервність. Ламарк увів терміни «біосфера» і «біологія», визначаючи їх у близькому до сучасного розуміння.

Водночас еволюційна програма Ламарка має свої недоліки. Зокрема, учений вважав матерію пасивним началом, простір і час тлумачив як зовнішні атрибути матерії. Він помилково називає фактори еволюції з нібито властивого всьому живому прагнення до досконалості, не правильно пояснює причини пристосувань.

Програма Ламарка важлива також орієнтацією на людину як на природний утвір еволюції, найпрогресивніший та найдосконаліший її результат, базовий об'єкт теорії еволюції, пізнання якого має поставати засобом для досягнення загальних особливостей розвитку живого на нашій планеті. Цей аспект класичного ламаркізму враховують нечасто, а тим часом Ламарк сформулював блискучі ідеї щодо якісної природи людини, особливостей процесу антропогенезу, котрі істотно вплинули на весь концептуальний устрій подальшого еволюціонізму. Такий підхід особливо актуалізується у наш час, коли має місце потужна гуманізація природничих наук, мислення та діяльності людини, коли людина постає і як модельний об'єкт досягнення світу загалом, і як найвища цінність біосфери.

Зрештою, саме Ламарку належать глибинні за проникненням у майбуття взаємин людини з довкіллям слова: «Інколи здається, що призначення людини полягає в тому, щоб знищити свій рід, попередньо зробивши земну кулю непридатною для життя».

**Катастрофізм** — програма еволюції, яка відстоює позицію еволюційної ролі різних змін довкілля, тобто переривах наступності у геологічному літописі, змін у самих біосистемах. Її автором є Ж. Кюв'є (*мал. 4.77, 3*). Засади катастрофізму викладені у праці «Роздум про перевороти на поверхні земної кулі» (1821 р.).

Кюв'є розглядав біологічний прогрес як результат зіткнення Землі з космічними тілами. Але більшість вчених вважають, що космічний удар мав місце, однак він не викликав масових ні вимирань, а ні прогресу. Цікаво, що астероїдна гіпотеза знайшла більше прихильників серед американських учених, ніж серед їхніх європейських колег.

Значна частина спеціалістів схильна вважати, що не існує бездоганих доказів зв'язку космічних ударів із масовими вимираннями; не можна говорити про строгу циклічність вимирань; відповідність між явищами вимирання та новоутвореннями (нових таксонів та екосистем) також відсутня.

Однак природні катастрофи, як би ми їх не оцінювали з погляду частоти, циклічності, інтенсивності тощо, дають принаймні відповідь, чому зникають певні організми і як виникають життєві простори (екологічні ніші) для видів нових. На кардинальне питання «Звідки такі види беруться?» катастрофізм, по суті, не відповідає, обмежуючись відстороненим «прийшли звідкільсь». Тому неокатастрофізм практично полишає поза своєю увагою обидві кардинальні події в історії біосфери — виникнення життя та походження людини.

**Жоффраїзм.** Останнім часом широкої популярності набув підхід до катастрофізму як до уніформізму. Це нові еволюційні погляди Е. Жоффрау Сент-Ілера (*мал. 4.77, 4*). Т. Морган створену ним концепцію еволюції відносить до еволюційної теорії під назвою жоффраїзм, котра намагається пояснити розвиток живого прямим формотворчим впливом довкілля. Жоффраїзм пояснює еволюційні зміни адаптивними реакціями організмів на безпосередні впливи середовища. Тому жоффраїзм у такому розумінні протилежний ендегенетичній програмі і справедливо іменується ектогенезом.

**Уніформізм.** Її основоположником є Ч. Лаель. Основні положення уніформізму такі: одноманітність діючих причин еволюції протягом всієї геологічної історії Землі, неперервність і поступовість еволюції, зміна видів шляхом повільних поступових відхилень від початкової форми, зворотність еволюції, визнання джерелом мінливості дію

абіотичних чинників. Вперше в історії еволюціонізму була зроблена спроба наукового визначення об'єкта, рушійних сил, механізму, напрямів та закономірностей еволюції.

Зрозуміло, що уніформізм міг спричинити (і спричинює) певні упущення, зокрема ототожнення різних явищ, ігнорування якісної своєрідності минулих біосфер та ін. Не випадково ще Ф. Енгельс вказував на недоліки цієї концепції: «Недолік лайєлівського погляду, принаймні у його початковій формі, полягає в тому, що він вважав діючі на Землі сили постійними — постійними і якісно, і кількісно. Для нього не існує охолодження Землі, Земля не розвивається у певному напрямі, вона просто змінюється випадковим, нескладним чином».

**Дарвінізм.** Головна заслуга Чарльза Дарвіна (мал. 4.78) полягає в тому, що він розкрив рушійні сили еволюції і матеріалістично пояснив виникнення та відносний характер пристосованості дією тільки природних законів, без втручання надприродних сил. Учення Дарвіна в корені підривало метафізичні уявлення про сталість видів і створення їх богом.

Між особинами як одного виду, так і різних видів виникає боротьба за існування. Наслідком боротьби за існування є природний добір. Цим терміном Дарвін назвав «збереження сприятливих індивідуальних відмінностей і змін та знищення шкідливих».

**Боротьба за існування і природний добір на основі спадкової мінливості є, за Дарвіном, основними рушійними силами (факторами) еволюції органічного світу.**

Теорія еволюції органічного світу шляхом природного добору, сформульована Ч. Дарвіном, зробила справжню революцію в усіх галузях біологічної науки і мала величезне значення для їх розвитку. На основі дарвінізму палеонтологія почала з'ясовувати шляхи розвитку органічного світу; систематика живих організмів — споріднені зв'язки та походження систематичних груп; ембріологія — встановлювати спільне в стадіях індивідуального розвитку організмів у процесі еволюції; фізіологія людини і тварин — порівнювати їх життєдіяльність та встановлювати спорідненість між ними.

На початку ХХ ст. почалось експериментальне вивчення природного добору, швидко розвивалися генетика, екологія. З'явилися статті в журналах, які висвітлювали вчення Дарвіна.

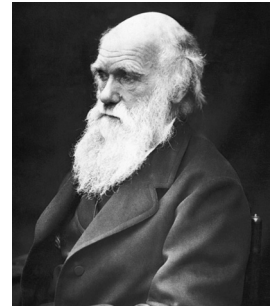
Велика роль у розвитку біологічної науки на основі дарвінізму належить багатьом ученим: братам Ковалевським, К. А. Тімірязєву, І. І. Мечникову, І. П. Павлову, М. І. Вавилову, О. М. Северцову, І. І. Шмальгаузену, С. С. Четверикову та багатьом іншим.

Сучасне еволюційне вчення не витиснуло дарвінізм, а розвинулося з нього. Дарвінівський принцип природного добору випадкових, невизначених спадкових змін досі є єдино науковим поясненням законів еволюції.

**Сальтаціонізм.** На початку ХХ століття голландський біолог Г. де Фріз пояснює еволюцію стрибкоподібними змінами спадковості, які називає мутаціями. Тому ця програма носить другу назву «мутаційна теорія».

Еволюційна програма де Фріза ґрунтувалася на відкритті реального явища мутацій. Цей підхід спирався на закони спадковості Менделя. Ефективність даних поглядів виявилася настільки значною, що частина еволюціоністів почала заперечувати дарвінізм. Виникло протистояння між класичним дарвінізмом та генетичним мутаціонізмом (сальтаціонізмом).

Різноманітні еволюційні погляди розглядаються вченими як підходи до пояснення еволюції живого. Розрізняють такі еволюційні програми, як епігенетична програма К. Ф. Вольфа, ендегенетична програма Ламарка (ламаркізм), катастрофізм, жоффруїзм, уніформізм, дарвінізм, сальтаціонізм.



Мал. 4.78. Чарльз Дарвін (1809–1882)



### Перевірте себе

1. Назвіть основні погляди на еволюцію живого.
2. Охарактеризуйте епігенетичну еволюційну програму.
3. Які основні підходи до пояснення еволюції виділив Ламарк?
4. Які основні положення дарвінізму?
5. Які рушійні сили за програмою жоффруїзму?
6. Хто з вчених є прибічниками катастрофізму?

### Поміркуйте

1. Які недоліки мав ламаркізм?
2. Чому сальтаціонізм породив протистояння між класичним дарвінізмом і генетичним мутаціонізмом?
3. Які переваги дарвінізму над іншими еволюційними програмами?

### Подискутуйте

1. Яких еволюційних поглядів притримуєтеся Ви?

### Проекти

1. Розвиток еволюційних поглядів.
2. Ж. Б. Ламарк, його еволюційне вчення.
3. Дарвінізм, його розвиток.
4. Вчення Ч. Дарвіна, його значення.

### Видатні біологи

Чарльз Роберт Дарвін — англійський природодослідник, основоположник вчення про історичний розвиток органічного світу. Закінчив у 1831 році Кембриджський університет. Більшість його праць присвячена проблемі походження видів. У 1859 р. вийшла у світ монографія Дарвіна «Походження видів шляхом природного добору, або Збереження обраних порід у боротьбі за життя», в якій викладено його вчення про розвиток живої природи.

## § 28. Основні положення синтетичної теорії еволюції

У першій половині ХХ століття в біології відбувається перевідкриття законів Менделя. У цей час посилюються напади на еволюційне вчення Ч. Дарвіна, особливо на основну ланку його вчення — природний добір. Англійський натураліст Ф. Дженкін стверджував, що нова ознака не може бути закріплена добром, бо носієм її є одна особина і, схрещуючись з іншими особинами, втрачає цю ознаку в першому поколінні наполовину, у другому — ще більше, доки не зникне зовсім. На той час Дарвін не міг заперечувати та називав це ствердження «жахом Дженкіна».

Висувається гіпотеза можливості скачкоподібного, а не поступового видоутворення шляхом великих мутацій без добору (Г. де Фріз), перекомбінації готових генів (Дж. Лотсі), випадання генів (У. Бетсон) тощо.

Поглиблення генетичних і екологічних досліджень надали важливий матеріал для аналізу еволюційних перетворень. У 20–30 роки ХХ сторіччя виникають перші спроби синтезу дарвінізму, генетики, екології та інших біологічних наук — виникає **синтетична теорія еволюції**, основоположниками якої були видатні вчені різних країн світу. Російський генетик та ентомолог С. С. Четвериков (1880–1954) розробив учення про популяцію як елементарну одиницю еволюції, ввів поняття «хвилі життя», американські вчені С. Райт — розробив вчення про дрейф генів, Е. Цукеркандаль і Л. Полінг —

---

---

вивчали закономірності молекулярної еволюції, Е. Майр — розвинув концепцію виду, засновник гіпотези еволюційного компромісу, український генетик Ф. Г. Добржанський (1900–1981) — вивчав мутації і мутагенез, ввів поняття мікроеволюції та інші.

**Основні положення синтетичної теорії еволюції:**

Мутації — є матеріалом еволюції, єдиним джерелом спадкової мінливості.

Елементарною одиницею еволюції є популяція як елементарна структурна одиниця виду.

Факторами еволюції є хвилі життя, ізоляція, дрейф генів, які мають випадковий і неспрямований характер.

Мікроеволюція, видоутворення, макроеволюція — три види еволюційного процесу.

Рушійною силою еволюції є природний добір, що діє на популяцію.

Природний добір буває стабілізуючим, рушійним та розриваючим (дизруптивним).

Еволюція систематичної групи може відбуватися шляхом біологічного прогресу або біологічного регресу.

Еволюція має дивергентний характер, тобто один таксон може стати предком кількох дочірніх таксонів, але кожний вид має єдиний предковий вид, єдину предкову популяцію.

Еволюція має поступовий і тривалий характер. Видоутворення як етап еволюційного процесу є послідовною зміною однієї тимчасової популяції низкою наступних тимчасових популяцій.

Вид складається із сукупності підпорядкованих морфологічно, біохімічно, екологічно, генетично відмінних, але репродуктивно не ізольованих одиниць — підвидів і популяцій. Проте відомо багато видів із обмеженими ареалами, в межах яких вид не вдається розчленувати на самостійні підвиди, а реліктові види можуть складатися із єдиної популяції. Такі види, як правило, недовговічні.

Обмін аеляями, «потік генів» можливі лише всередині виду. Якщо мутація має позитивну селекційну цінність на території ареалу виду, то вона може поширитися по всіх популяціях і підвидах. Звідси визначення виду як генетично цілісної і замкненої системи.

Виходячи із названих постулатів, можна зробити висновок, що еволюція непередбачувана, має неспрямований до якоїсь кінцевої мети характер. Тобто, еволюція не має фіналістичного характеру.

Отже, вищезазначене засвідчує, що майже 135 років розвитку науки після виходу у світ праці Ч. Дарвіна не минули даремно. Нові відкриття змушують кожне наступне покоління біологів по-новому сприймати і тлумачити закономірності еволюційного процесу.

**Популяція як одиниця еволюції.** В біоценозах популяція може мати становище ценопопуляції (сукупність особин одного виду в межах угруповання), поліценотичної популяції (популяції тварин, які переходять із одного біоценозу в інший), інвазійної популяції (популяція, яка нападає на популяції інших організмів: сарана, грибні захворювання).

Популяцію слід розглядати як самостійний елемент екосистеми, її підсистему, вплив якої проявляється у всіх частинах її біотопу. Популяція відіграє ту чи іншу роль у функціонуванні усієї екосистеми.

У 20–30 роки ХХ сторіччя виникає синтетична теорія еволюції. Основоположниками її були видатні вчені різних країн світу: російський генетик та ентомолог С. С. Четвериков, американські вчені С. Райт, Е. Цукеркандаль і Л. Полінг, Е. Майр, український генетик Ф. Г. Добржанський.

### Перевірте себе

1. Що слугувало виникненню синтетичної теорії еволюції?



2. Хто є основоположниками синтетичної теорії еволюції? Які заслуги цих вчених в біології?
3. Назвіть основні положення синтетичної теорії еволюції.

### Поміркуйте

1. Що висвітлює синтетичну теорію еволюції?

## § 29. Природний добір як результат боротьби за існування

**Суть природного добору.** Організми є відкритими біологічними системами, які постійно пристосовуються до змінних умов середовища існування.

Із покоління в покоління особини з корисними в певних умовах середовища спадковими змінами здебільшого зберігаються і залишають після себе плодюче потомство. Навпаки, особини з небажаними в тих самих умовах спадковими змінами дають дедалі менш численне і слабкіше потомство, що зрештою може призвести до вимирання виду.

**Природним добром** називають складний еволюційний процес у живій природі, що полягає в збереженні організмів з корисними в даних умовах індивідуальними змінами.

Ч. Дарвін застерігав, що природний добір не є «свідомий вибір тваринами, які знають змін». Роль відбірного чинника відіграють умови середовища. Вислів «природний добір» Дарвін вживав заради лаконічності, у метафоричному розумінні, щоб указати на результат дії природних законів.

**Природний добір** — головна рушійна сила процесу еволюції. Він відбувається успішніше при широкому розселенні виду, яке веде до збільшення кількості популяцій і підвищення різноманітності їхнього генного складу. За таких умов можливості добору розширюються. У різні сезони року і в різні роки змінюються інтенсивність і напрям природного добору. Це пов'язане з біологією особин і змінами умов існування.

**Боротьба за існування.** Природний добір є результатом боротьби за існування.

**Боротьба за існування** — це складні й різноманітні відносини особин усередині видів, між видами та з неорганічною природою. Йдеться не про життя однієї особи, а насамперед її плодючість та успіх у забезпеченні себе їжею.

Ч. Дарвін розрізняв три форми боротьби за існування: внутрішньовидову, міжвидову і боротьбу з несприятливими умовами неорганічної природи.

**Внутрішньовидова боротьба за існування** відбувається між особинами однієї популяції будь-якого виду. Ця форма боротьби найбільш напружена, бо особини однієї популяції потребують однакової їжі, однакових сховищ і їм загрожує однакова небезпека. Прикладами внутрішньовидової боротьби можуть бути змагання між хижакими за здобич, між жертвами — за порятунок, суперництво щодо території, щодо самки (мал. 4.79).



Мал. 4.79. Внутрішньовидова боротьба за існування між хижакими за здобич



Яскравим прикладом внутрішньовидової боротьби є змагання в популяції одно-вікового хвойного лісу. Найвищі дерева з крилатими кронами вловлюють основну масу сонячного проміння; їхня могутня коренева система вбирає з ґрунту, воду з розчиненими в ній мінеральними речовинами на шкоду слабкішим сусідам. Дерева-переможці пригнічують ріст і розвиток інших дерев, спричиняють їх усихання й загибель, а самі ж утворюють багато насіння.

При надмірному збільшенні чисельності особин внутрішньовидова боротьба в популяції посилюється. Це може спричинитися погіршенням умов годівлі, занадто високою густиною населення тощо. У таких ситуаціях плодючість особин у популяції звичайно знижується; часто спалахують епідемії, які призводять до масової загибелі особин і таким чином зменшують чисельність популяції.

Є ряд пристосувань, які допомагають особинам однієї популяції уникнути внутрішньовидової боротьби. Наприклад, бурий ведмідь позначає межі ділянки, на якій добуває собі їжу, подряпинами на деревах; вовк — сечею; самці синиці, зяблика — піснею. Тварини уникають порушення меж чужих ділянок. У популяції в тварин одного виду можна спостерігати взаємодопомогу й співробітництво: спільне вигодування, виховання й охорону потомства (наприклад, у сім'ях бджіл, табуні коней).

Отже, внутрішньовидова боротьба супроводжується зниженням плодючості й загибеллю частини особин виду. Але в цілому це сприяє вдосконаленню виду протягом багатьох поколінь, у напрямі більшої пристосованості до життєвого середовища, до факторів, що спричиняють цю боротьбу.

**Міжвидова боротьба за існування** спостерігається між популяціями різних видів. Вона відбувається звичайно дуже гостро, якщо види потребують подібних умов і належать до одного роду. Сірий і чорний пацюки — різні види одного роду. У людських поселеннях у Європі сірий пацюк зовсім витіснив чорного пацюка, який тепер зустрічається в лісових районах та пустелях. Сірий пацюк більший, краще плаває, а головне — агресивніший і тому в сутичках із чорним перемагає. Швидко розмноження дрозда омельюха в деяких частинах Шотландії спричинило зменшення чисельності іншого виду — співочого дрозда (мал. 4.80). В Австралії звичайна бджола, яку привезли з Європи, витісняє маленьку туземну, що не має жала.



1



2

Мал. 4.80. Міжвидова боротьба у дрозда омельюха (1) і співочого дрозда(2)

Міжвидова боротьба за існування включає однобічне використання одного виду іншим, так звані відносини типу «хижак — жертва» (риби поїдають планктон). Але приклади боротьби за існування не зводяться до боротьби в прямому значенні слова.

У лісі, де так яскраво виявляється біологічне змагання, спостерігається й користь від сумісного зростання рослин. Тут порівняно з відкритими місцями створюється свій тепловий, водний і повітряний режим: менш різкі коливання температури, вища відносна вологість; під деревами верхніх ярусів ростуть тіньовитривалі кущі, трави, мохи, наземні водорості.

**Боротьба з несприятливими умовами** спостерігається в будь-якій частині ареалу виду в тих випадках, коли зовнішні умови середовища погіршуються, наприклад: при добових і сезонних коливаннях температури чи вологості, а також скрізь, де особини популяцій опиняються в умовах надмірного тепла або холоду, сухості або вологості. Про рослину в пустелі кажуть, що вона «бореться з посухою». Просуваючись на північ або піднімаючись у гори, в несприятливих кліматичних умовах можна побачити чахлі дерева і кущі, хоч ніякі інші рослини їх не витісняють.

**Форми природного добору.** Природний добір сприяє нагромадженню ознак в популяції, що обумовлює пристосування організмів до умов оточуючого середовища. Залежно від зміни умов середовища та взаємодії популяцій і видів можуть змінюватися не тільки напрям, а й форми природного добору.

Залежно від спрямування адаптаційних змін організмів виділяють три форми природного добору: рушійний (прямий, спрямований, провідний), стабілізуючий та розриваючий (дизруптивний).

**Стабілізуючий добір.** Проявляється у відносно сталих умовах довкілля. Стабілізуюча форма добору постійно виключає особин, що відхиляються від норми, тобто спрямована на зберігання в популяції середнього значення ознаки. Вона підтримує сталість фенотипу, що найкраще відповідає навколишньому середовищу, призводить до зменшення мінливості ознак, обумовлює тривале існування виду в незмінному середовищі. При змінах умов існування звужується норма реакції, тобто межі модифікаційної мінливості. Наприклад, квітка левкою за формою пристосована до запилення лише джмелями (мал. 4.81). Теорію стабілізуючого добору розробив академік І. Шмальгаузен.

**Рушійний або спрямований добір** відбувається в разі змін у навколишньому середовищі або під час пристосувань до нових умов при розширенні ареалу. Він сприяє зміні мінливості в певному напрямі, зсуваючи у відповідний бік норму реакції. Наприклад, при пристосуванні тварин до риючого способу життя в різних неспоріднених групах виникають копальні кінцівки (вовчок, жук-гнойовик, сумчасті та плацентарні кроти тощо) (мал. 4.82)



Мал. 4.81. Приклад стабілізуючого природного добору — форма квітки у левкою



Мал. 4.82. Приклади рушійного природного добору — копальні кінцівки у крота

**Розриваючий або дизруптивний добір** (від лат. *дизруптус* — розірваний) сприяє мінливості у двох, рідше кількох, різних напрямках, однак не сприяє середнім (проміжним) станам ознак. Наприклад, у популяціях комах океанічних островів, де постійно дме сильний вітер, унаслідок дизруптивного добору є особини без крил або з дуже добре розвинутими крилами, які здатні протистояти здуванню, а комахи із середнім ступенем розвитку крил зникли. Отже, цей добір спричиняє виникнення кількох фенотипних форм у популяції (*поліморфізму*), що сприяє її пристосуванню до нестабільних умов довкілля (мал. 4.83).

У природі рідко зустрічається певна форма добору в чистому вигляді. Найчастіше видоутворення починається з однієї форми добору, а в кінці переваги набуває інша.

Умови існування виду постійно змінюються в часі та просторі. А відповідно до цього змінюються і типи добору. В цілому добір постійно вдосконалює адаптації, створює різноманітність форм життя.



1



2

*Мал. 4.83 Різні види забарвлення сонечка двокрапкового як результат розриваючого (дизруптивного) добору: 1 — форми з червоними надкрилами краще пристосовані до дії підвищених температур; 2 — форми з чорними надкрилами — до дії низьких температур*

**Порівняння дії штучного і природного добору.** Основою обох процесів є спадкова мінливість, вона дає матеріал для добору. В результаті штучного і природного добору утворюються нові форми: штучний добір дає породи і сорти, а природний — види. Між цими двома процесами є істотна відмінність. При штучному доборі людина добирає особин за поміченими ознаками і спрямовує дію добору в бажаний їй бік. При цьому відібрані ознаки можуть бути навіть шкідливими для організму. Наприклад, кращі породи свиней або молочної худоби не могли б існувати в природі без турботи людини. У природному доборі відбірним фактором є умови навколишнього середовища. При цьому добираються будь-які життєво важливі ознаки. Внаслідок цього природний добір діє лише на користь популяції і виду в цілому.

В результаті штучного добору створюються породи свійських тварин і сорти культурних рослин, пристосовані людиною до її потреб і мети. А в результаті природного добору виникають види, пристосовані до життя в певних умовах навколишнього середовища.

Штучний добір проводиться з того часу, як людина почала займатися землеробством і прирученням тварин. Природний добір відбувається протягом усієї історії органічного світу, з часу появи життя на Землі. Природний і штучний добір органічно зв'язані: на породи тварин і сорти рослин, крім штучного добору, продовжує діяти і природний добір.

**Природним добором називають складний еволюційний процес у живій природі, що полягає в збереженні організмів з корисними в даних умовах індивідуальними змінами. Природний добір є результатом боротьби за існування. Боротьба за існування — це складні й різноманітні відносини особин усередині видів, між видами та з неорганічною природою. Розрізняють три форми боротьби за існування: внутрішньовидову, міжвидову і боротьбу з несприятливими умовами неорганічної природи. Виділяють три форми природного добору: рушійний, стабілізуючий та розриваючий.**

#### Перевірте себе

1. Що таке природний добір? Наведіть приклади.
2. Що таке боротьба за існування?
3. Які розрізняють форми боротьби за існування? Наведіть приклади.
4. Які існують форми природного добору? Наведіть приклади.
5. Чим природний добір відрізняється від штучного?

### Поміркуйте

1. Як пов'язані між собою природній добір і боротьба за існування?
2. Наведіть власні приклади боротьби за існування.

### Подискутуйте

1. Як Ви розумієте вислів про те, що відбір діє не на окремі гени, а на генотип в цілому?

### Проекти

1. Форми природного добору, їх приклади у рослин і тварин.
2. Штучний добір.
3. Внутрішньовидова боротьба за існування у тварин.
4. Боротьба за існування з вченням Дарвіна.

#### Видатні біологи

Іван Іванович Шмальгаузен (1884–1963) — видатний український і російський біолог, зоолог, теоретик еволюційного вчення, академік Академії Наук України (з 1922 року), СРСР (з 1935 року). Вчений займався вченням в галузі порівняльної анатомії і ембріології, еволюційної морфології, походженням наземних хребетних тварин тощо.

## § 30. Мікроеволюція, видоутворення та види

**Мікроеволюція.** В еволюції як єдиному цілісному процесі виділяють два рівні — мікроеволюційний і макроеволюційний. Мікроеволюційний рівень характеризує еволюційні процеси на популяційному і внутрішньовидовому рівнях, тоді як макроеволюційний — надвидовий.

**Мікроеволюція** — це сукупність еволюційних процесів, які відбуваються в популяціях одного виду. Їх результатом є утворення нових популяцій, підвидів і врешті-решт, нових видів.

Мікроеволюція є початковим етапом еволюційного процесу. Вона може відбуватися у відносно короткі проміжки часу, її можна спостерігати і вивчати безпосередньо.

**Видоутворення** — це процес утворення виду в ході еволюції. На відміну від мікроеволюції, видоутворення має необоротний характер, оскільки види — це генетично закриті системи. Наприклад, якщо між ізольованими популяціями різних підвидів поновиться обмін спадковою інформацією, вони можуть втратити свої відмінності і повернутися до попереднього стану. Але види до цього не здатні, бо кожен із них містить багато алелей, що спричинює репродуктивну ізоляцію і формування власної екологічно ніші.

Нові види можуть виникати з популяцій, що займають різні географічні ареали або мешкають на одній території. Залежно від цього виділяють такі способи видоутворення: географічне і екологічне.

При **географічному видоутворенні** новий вид виникає в результаті розширення або розчленування початкового ареалу. Наприклад, декілька мільйонів років тому конвалія була значно поширеною в широколистяних лісах Євразії. Потім внаслідок зледеніння клімат змінився і площа широколистяних лісів зменшилася. Конвалії збереглися там, де не було зледеніння: на Далекому Сході, в Закавказзі, Південній Європі. У кожній з трьох популяцій конвалії, що залишилися, природнім добром закріплювалися певні спадкові зміни, що призвело до зміни генофонду і формування трьох видів конвалії: у далекосхідної конвалії ширший віночок, є значний восковий наліт на листі; конвалії Закавказзя порівняно з європейськими більшого розміру. Таке видоутворення відбувається протягом тривалого часу.

Коли розширюється ареал виду, його популяції зустрічаються з новими ґрунтово-кліматичними умовами, а також з новими угрупованнями тварин, рослин і мікроорганізмів. У популяції постійно виникають спадкові зміни, відбувається боротьба за існування, діє природний добір. Усе це з часом призводить до зміни генного складу популяції — мікроеволюції. Еволюція популяції може призвести до виникнення нового виду.

Прикладом географічного видоутворення є виникнення різновидності синиці. Вид синиця велика — складний комплекс популяцій і підвидів, що перебувають на різних ступенях ізоляції. Ареали трьох підвидів синиці великої — євразійського, південноазійського і східноазійського — утворюють кільце навколо Центрально-азійського нагір'я — кільцевий ареал. Підвиди займають добре 'окреслені ареали, але в зонах контакту південноазійські синиці схрещуються з двома іншими підвидами. Східноазійські і євразійські, живучи разом у долинах верхнього Амуру, не схрещуються. Виділення ареалів синиць і утворення їхніх підвидів пов'язані з наступом льодовика.

В озері Байкал живе багато видів і родів в'язчастих плоских черв'яків, ракоподібних і риб, які більше ніде не зустрічаються, оскільки це озеро відокремлене від інших водних басейнів гірськими хребтами вже близько 20 млн. років.

При *екологічному видоутворенні* новий вид формується в межах ареалу материнського виду. При цьому різні популяції одного виду існують в різних екологічних умовах. Наприклад, дуже близькі види метеликів звичайного європейського білана — капустияного, бруквяного і чортополохівка — утворились від одного початкового виду в результаті живлення різною їжею на личинковій стадії розвитку: гусениці білана капустияного і чортополохівки живляться культурними, а білана бруквяного — виключно дикими видами родини капустяних.

В Україні відомо понад 40 видів жовтецю. Усі вони походять від одного виду. Потомки його заселили різні місця — степи, ліси, луки — і внаслідок ізоляції відокремились один від одного спочатку в підвиди, потім у види.

Природним добором, пов'язаним з господарською діяльністю людини, створено підвиди, ізольовані за строками цвітіння. Деякі вчені вважають їх видами.

П'ять видів синиць (*мал. 4.84*) утворилися у зв'язку з кормовою спеціалізацією: синиця велика живиться великими комахами в садах, парках; синиця блакитна добуває дрібних комах у щілинах кори, в бруньках; синиця чубата їсть насіння хвойних дерев; гаїчка і московка живляться переважно комахами в лісах різних типів 10.



Мал. 4.84. Види синиць: 1 — синиця мала; 2 — синиця велика; 3 — синиця чубата;  
4 — синиця блакитна; 5 — синиця лазорівка; 6 — синиця довгохвоста

---

---

Видоутворення відбувається і в наш час. Вид чорний дрізд нині розпадається на дві групи, які ще не розрізняються зовні. Одна з них живе в глухих лісах, друга тримається поблизу житла людини. Це можна вважати початком утворення двох підвидів.

Популяції і підвиди іноді не розрізняються.

На різних етапах мікроеволюції один спосіб змінює другий або вони діють спільно. До географічної ізоляції може згодом додатися дія екологічної, через що буває важко встановити межі кожного способу видоутворення. Утворенням нового виду завершується мікроеволюція.

**Хромосомні перебудови і видоутворення.** Розходження ознак в організмів у процесі еволюційного розвитку називають дивергенцією. Цей процес зумовлюється пристосуванням груп організмів до різних умов існування.

Дивергенція нерідко супроводжується змінами числа хромосом або їх форм. Порівнюючи велику кількість видів, які вільно схрещувалися між собою вказує на те, що їхні хромосомні набори відрізняються певною мірою. Цей факт засвідчує наявність хромосомних перебудов у цих видів.

Учені, що досліджують видоутворення, вважають, що хромосомні перебудови можна розглядати в якості успішного видоутворення, оскільки переміщення фрагментів і цілих хромосом призводить до багаточисленних змін активності генів.

**Визначення виду.** *Вид* — це сукупність популяцій особин, що мають спільне походження, вільно схрещуються між собою і дають плодюче потомство, подібних за морфологічними (будовою і функцією) ознаками, однаковою екологічною нішею на певному ареалі. На певному відрізку геологічного часу вид характеризується відносною стійкістю. Разом із тим він здатний до еволюційного розвитку.

Всі особини виду — не просто сума, а певна сукупність особин, яка має свою внутрішньовидову структуру. Кожний вид виник із іншого виду і існує, доки не зміняться умови. Змінені умови можуть викликати або вимирання виду, або він зміниться і дасть початок новим видам.

Отже, види існують реально. Особини, що належать до одного виду, мають спільні, лише їм властиві морфологічні, фізіологічні, біохімічні, екологогеографічні (або біогеографічні) і цитологічні особливості (критерії виду), відрізняються за цими ознаками від особин, що належать до інших видів. Для характеристики виду необхідна сукупність усіх критеріїв.

Особини, які належать до одного виду, мають однакоvu кількість і структуру хромосом (каріотип). Вони мешкають в однакових (або подібних) екологічних умовах. Кожний вид займає свій ареал (район поширення), що відрізняється від ареалів інших видів. Особини одного виду при схрещуванні між собою дають плодюче потомство.

Елементарною структурною одиницею виду є популяція. Більшою внутрішньовидовою сукупністю є *підвид*. Підвид включає подібні між собою популяції, які відрізняються одним або кількома станами ознаки. Наприклад, ялина утворює кілька підвидів (європейська, фінська, сибірська), тигр має сім підвидів, білка звичайна — 20 тощо.

**Критерії виду.** Види відрізняються між собою рядом ознак, які ще називають критеріями. Виділяють наступні критерії виду: морфологічний, генетичний, фізіологічний, біохімічний, географічний, екологічний.

Розглянемо кожний із них.

**Морфологічний критерій** базується на подібності за будовою всіх особин одного виду. Тривалий час цей критерій був головним. Кожний вид має унікальні, притаманні лише для нього ознаки. За допомогою морфологічного критерію важко визначити види-близнюки (у комарів, попелиць, землерийок), що східні за будовою, але не схрещуються між собою. Наприклад, відкрито 6 видів-двійників малярійного комара, які раніше належали до одного виду. Таким чином, лише морфологічний критерій не надає повного виділення виду.

Особини, що належать до одного виду, мають однакову кількість і структуру хромосом (каріотип). Види-близнюки можна розрізнити за відміною у складі каріотипів. Критерій заснований на специфічності каріотипу іноді виділяють як самостійний — *генетичний*.

**Фізіологічний критерій.** Базується на подібності або відмінності в процесах життєдіяльності. Наприклад, нездатність до парування близьких видів веде за собою безплідність, стерильність гібридів. Представники різних видів, як правило, не схрещуються або їхнє потомство безплідне. Це пояснюється відмінностями в будові статевого апарату, періоду розмноження тощо. Але зустрічаються види, які можуть схрещуватися між собою і при цьому давати плодюче потомство. Наприклад, різні види канарок, зябликів, тополь, верб тощо. Отже, і цей критерій не достатньо виявляє видову належність.

**Біохімічний критерій.** Базується на відмінності біохімічних структур, імунологічних реакцій, особливостях обміну речовин. Наприклад, види відрізняються білковим складом.

**Географічний критерій.** Базується на тому, що кожний вид має відповідний ареал. Ареали відрізняються за розмірами, конфігураціями. Види пристосовані до певних кліматичних умов, особливостей рельєфу. Є види поширені всюди. Наприклад, різні види бур'янів, комахи-шкідники сільськогосподарських культур тощо.

**Екологічний критерій.** Кожен вид займає свою екологічну нішу. Вона визначає чисельність виду, ланцюги живлення тощо. Близькі види за екологічних умов можуть відрізнятися. Наприклад, жовтець їдкий поширений на луках і полях, жовтець повзучий — у вологих місцях, жовтець вогнистий — на болотах, по берегах річок і ставків.

При вивченні видів тварин використовують ще й **етологічний критерій**, який базується на вивченні особливостей їхньої поведінки: шлюбної, соціальної, будівельних, мисливських інстинктів, міграцій тощо.

Отже, щоб визначити вид потрібно застосовувати всі критерії. Сукупність критеріїв дає правильну характеристику виду.

**Мікроеволюція** — це сукупність еволюційних процесів, які відбуваються в популяціях одного виду. Їх результатом є утворення нових популяцій, підвидів і врешті-решт, нових видів. Видоутворення — це процес утворення виду в ході еволюції. На відміну від мікроеволюції, видоутворення має необоротний характер, оскільки види — це генетично закриті системи. Виділяють географічне і екологічне видоутворення. Вид — це сукупність особин, що мають спільне походження, вільно схрещуються між собою і дають плодюче потомство, подібних за морфофізіологічними ознаками, однаковою екологічною нішею в межах певного ареалу. Елементарною структурною одиницею виду є популяція. Види відрізняються між собою рядом ознак, які ще називають критеріями. Виділяють такі критерії виду: морфологічний, генетичний, фізіологічний, біохімічний, географічний, екологічний, у тварин — етологічний.

### Перевірте себе

1. Що таке мікроеволюція?
2. Що таке видоутворення?
3. Чим видоутворення відрізняється від мікроеволюції?
4. Які виділяють способи видоутворення? Назвіть їх і охарактеризуйте.
5. Наведіть приклади географічного і екологічного видоутворення.
6. Що таке вид?
7. Що таке критерії виду? Назвіть їх.
8. Охарактеризуйте критерії виду.
9. Чому для характеристики виду необхідно застосовувати всі критерії, а не один із них?



### Поміркуйте

1. Якими рисами характеризується мікроеволюція?
2. Під впливом яких еволюційних факторів та на основі яких ЗЗП відбувається процес видоутворення?
3. Які ізолюючі механізми відокремлюють один вид від іншого? Спробуйте їх назвати.

### Подискутуйте

1. Яка роль видоутворення в еволюції?
2. Роль людини у руйнуванні міжвидових бар'єрів і отриманні гібридів.

### Проекти

1. Мікроеволюційні процеси.
2. Способи видоутворення.
3. Вид (на вибір учнів), його особливості.
4. Критерії виду, їх характеристика.
5. Рідкісні види тварин, їх морфологічні особливості.
6. Рідкісні види рослин, їх морфологічні особливості.

## § 31. Адаптації як результат еволюційного процесу, прояв у них ЗЗП

**Адаптації** — це пристосування в процесі еволюції будови, функцій, поведінки організмів (особин, популяцій, видів) до певних умов існування. Причинне пояснення адаптацій вперше дав Ч. Дарвін, показавши, що еволюція видів здійснюється через еволюцію їхніх пристосувань.

Формами адаптацій є захисне забарвлення, мімікрія, застережливе забарвлення тощо.

**Захисне забарвлення** розвинене у видів, які живуть відкрито і можуть виявитися доступними для ворогів. Таке забарвлення робить організми менш помітними на фоні навколишньої місцевості. Наприклад, нічні метелики вдень можуть загинути від комахоїдних птахів, але оскільки забарвлення їх крил зливається з тоном тієї поверхні, на якій вони мешкають, багато комах залишаються непоміченими і успішно переживають несприятливий для них час. У птахів (глухар, тетерук, рябчик і ін.), що кубляться на землі, самка, яка сидить на гнізді, майже не відмітна від навколишнього фону. На крайній Півночі більшість тварин забарвлені в білий колір (білий ведмідь, біла куріпка та ін.), що робить їх непомітними на фоні снігового покриву (мал. 4.85, 1), а в пустелі — схожими на колір піску (наприклад, у гекона — мал. 4.85, 2).



1



2

Мал. 4.85. Захисне забарвлення у тварин: 1 — куріпка на снігу; 2 — гекона на піску



Є тварини, що мають яскраве забарвлення — чергування світлих і темних смуг і плям. Наприклад, плямистий олень, тигр, дитинчата кабана, змії тощо) Це забарвлення імітує чергування плям світла і тіні. Для коників, богомолів, жаб, ящірок, які мешкають в траві, характерне зелене забарвлення (мал. 4.86). Для багатьох водних організмів найкращий спосіб маскуванню — мати прозоре тіло. У водному середовищі — це досяжно, на відміну від наземного.



1 2 3 4  
Мал. 4.86. Захисне забарвлення у тварин: 1— жаба; 2 — коник; 3 — богомол; 4 — ящірка.

Сезонне забарвлення спостерігається і серед комах, наприклад, листовидок, які зі складеними крильцями дивовижно схожі на листок.

Улітку листовидки зелені, а з настанням осені колір їхніх крил стає бурувато-жовтим під стать пожовтілих листків. Таким чином, побачити цю комаху важко в різний час.

**Мімікрія** — подібність одних тварин чи рослин до інших або до предметів навколишнього середовища. Це захисне пристосування організмів, що є наслідком природного добору і сприяє виживанню виду. Наприклад, деякі види неотруйних змій і комах схожі на отруйних; форма і забарвлення тіла деяких цикад, цвіркунів, личинок окремих видів коників нагадують мурашок тощо.

Мімікрія у тварин виявляється у маскуванні або міметизмі. **Маскування** — це поєднання забарвлення тварини і подібності форми її тіла до певних предметів. Наприклад, деякі богомоли або їх личинки дуже нагадують квітки, рослиноідні клопи — плоди, метелики — сухе або пожовкле листя, гусінь метеликів нагадує за кольором листки рослин, на яких вони сидять (мал. 4.87, 1). Так у момент небезпеки або в стані спокою вони сидять абсолютно нерухомо в позі, яка збільшує подібність тварини до імітованого нею предмета, або, навпаки, відтворюють рухи такого предмета тощо. **Міметизм** — це уподібнення одних тварин іншим. Так, уподібнення незахищеної тварини (імітатора) тварині, якимось чином захищеній від ворогів і звичайно яскраво забарвленій (моделі) спостерігаємо у мухи-дзигчалки, яка зовні схожа на осу; у метелика пістрянки, який дуже подібний до жука наливника, що містить отруту (мал. 4.87, 2). Друга форма міметизму спостерігається у двох або кількох видів захищених тварин.



1 2  
Мал. 4.87. Види мімікрії: 1 — маскуванню у гусені; 2 — міметизм у мухи-дзигчалки

Мімікрія у рослин стосується окремих органів, а не цілого організму і служить для приваблення корисних рослинам тварин або відлякування шкідливих. Наприклад, у багатьох видів комахоїдних рослин роду непентес ловильні апарати яскраво забарвлені, наче квітки, а їхні краї виділяють пахучу рідину — «нектар», що приваблює комах і готує їм пастку; відомі рослини, квітки яких мають запах трупів, сечі, чим приваблюють спеціальних мух для запилення.

**Застережливе (відлякуюче) забарвлення.** Види тварин нерідко мають яскраве забарвлення, що запам'ятовується. Хоча б раз спробувавши покуштувати неістівне сочечко чи осу, птах на все життя запам'ятає їх яскраве забарвлення.

Деякі тварини демонструють застережливе забарвлення лише при нападі на них хижаків. Забарвлення спини звичайного хом'яка схоже на колір вигорілої трави (мал. 4.88,1). При нападі лисиці або собаки хом'як перевертається вгору черевом і захищається укусами сильних різців. Хижак, нападаючий на такого гризуна, надовго запам'ятає не тільки міцні зуби і пронизливе верещання звіра, але і яскраве забарвлення його черева. У деяких видів метеликів на крилах є яскраві плями, які можуть відлякувати хижаків (мал. 4.88,2).



Мал. 4.88. Застережливе (відлякуюче) забарвлення: 1 — хом'як звичайний; 2 — метелик (Павичеве око)

**Пристосування до екстремальних умов існування.** Рослини, що зростають в напівпустелях і пустелях, мають численні і різноманітні адаптації. Це і корінь, що заглиблюється на десятки метрів в глиб землі, і різке зменшення випаровування води завдяки особливій будові кутикули на листках, і повна втрата листя. У кактусів це перетворення особливе дивне: перетворення стебла не тільки в орган, що виконує опорну і провідну функції, але і в структуру, що запасає воду і забезпечує фотосинтез. Крупні екземпляри кактусів накопичують до 2000 л води.

Чим жорсткіші умови середовища існування, тим більше адаптацій розвивається у організмів, які дуже далекі один від одного. Генотипи організмів, що мають багато загального в будові, при цьому сильно відрізняються. Наприклад, пересування у водному середовищі викликає схожість в будові тіла у пінгвінів і тюленів, які належать до різних класів хребетних. Очі у головоногого моллюска (каракатиці) і ссавця дуже схожі, хоча ці досконалі органи виникли абсолютно незалежно в ході еволюції. Таке явище називається **конвергенцією**.

**Відносний характер адаптації.** Усі пристосування, наскільки б досконалі вони не були, носять **відносний характер**. Річ у тому, що природний відбір забезпечує розвиток пристосувань в організмів до тих умов середовища існування, що існують зараз, а не до всіх можливих умов середовища. Наприклад, розвиток здатності до польоту не дуже добре поєднується з можливістю швидко бігати. Тому птахи, що володіють якнайкращими можливостями до польоту, погані бігуни. Навпаки, страуси, які не здатні літати, чудово бігають.

---

Пристосування до певних умов може бути даремне або навіть шкідливим при появі нових умов. Проте умови проживання змінюються постійно і іноді дуже різко. У цих випадках накопичені раніше адаптації можуть утруднити формування нових, що може призвести до вимирання великих груп організмів, як це трапилося більше 60–70 млн. років назад із динозаврами.

Але не кожна межа будови і функціонування організму має істотне адаптивне значення. Наприклад, у носорогів Південно-східної Азії один ріг, а у їх африканських родичів два. Немає підстав думати, що це морфологічна відмінність у носорогів має принципове значення для адаптації одних в Азії, а інших в Африці. Найімовірніше, що це «побічний» результат природного відбору двох генетичних систем, що розрізняються між собою.

Формування адаптації — складний результат взаємодії чинників еволюційного процесу, в якому вирішальну роль відіграє природний відбір, який пов'язує вимоги середовища існування із структурою генотипу і фенотипу організмів.

**Адаптації** — це пристосування в процесі еволюції будови, функцій, поведінки організмів (особин, популяцій, видів) до певних умов існування. **Формами адаптацій є покривне забарвлення, мімікрія, застережне забарвлення тощо. Мімікрія** — подібність одних тварин чи рослин до інших або до предметів навколишнього середовища. Це захисне пристосування організмів, що є наслідком природного добору і сприяє виживанню виду. Усі пристосування, наскільки б досконалі вони не були, носять відносний характер.

#### Перевірте себе

1. Що таке адаптації? Наведіть приклади.
2. Який характер мають адаптації?
3. Що таке мімікрія? Назвіть та наведіть приклади різновидностей мімікрії.
4. Яку роль у житті організмів має застережливе забарвлення? Наведіть приклади.
5. Наведіть приклади маскування у тварин і рослин.

#### Поміркуйте

1. Чому адаптації носять відносний характер?
2. Чим адаптації відрізняються від природного добору?
3. Чи всі адаптації пов'язані з умовами середовища існування?
4. Чому поняття «адаптації» в еволюційному розумінні має відноситися не лише до окремих особин, але й до популяцій, виду?

#### Подискутуйте

1. Чи всі адаптації корисні в природі і еволюції?
2. Проекти:
3. Приклади адаптацій у рослин.
4. Приклади адаптацій у тварин.
5. Відносний характер адаптацій.
6. Мімікрія, її прояви у тварин.
7. Застережливе забарвлення у тварин.

### § 32. Макроеволюційний процес

**Макроеволюція органічного світу** — це сукупність еволюційних процесів, які сприяють утворенню надвидових систематичних категорій (родів, рядів, класів, типів, відділів).



Макроеволюцією можна вважати розвиток життя на Землі в цілому, включаючи його походження. Процеси макроеволюції відбуваються впродовж величезних проміжків часу, тому безпосередньо вивчати їх неможливо. Проте в основі макроеволюції лежать ті ж рушійні сили, що й мікроеволюції: спадкова мінливість, природний добір і репродуктивне відокремлення. Відсутність принципових відмінностей у перебігу мікро- і макроеволюційних процесів дозволяє розглядати їх як дві складові єдиного еволюційного процесу.

Результатом макроеволюції є виникнення нових таксонів (родів, родин). Реально у природі існує тільки вид і популяція. Тому процес макроеволюції розглядається як підсумок, простеження, узагальнення накопичених загальних фактів розвитку систематичних груп.

У 20-х роках ХХ сторіччя О.М. Северцов (мал. 4.89) розробив гіпотезу про біологічний регрес та біологічний прогрес як основні напрями макроеволюції.

**Біологічний прогрес** характеризується процвітаннєм видів, збільшеннєм чисельності популяцій, розширеннєм ареалу, утвореннєм нових видів, підвидів у межах певної групи. Це еволюційний успіх. Прикладом еволюційного успіху є виникнення покритонасінних рослин, ссавців, комах тощо.

**Біологічний регрес** настає, якщо певна група не виробила адаптацій до змін умов довкілля. Відбуваються процеси зменшення чисельності, звуження території ареалу. Це може призвести до вимирання певної групи. Приклад — азіатський носоріг (мал. 4.90), який майже зник як вид.



Мал. 4.90. Азіатський носоріг як приклад біологічного регресу

Поняття біологічний прогрес і біологічний регрес не дають реального відображення процесів, що відбуваються в природі, а є лише узагальнюючими поняттями.

Основними шляхами досягнення біологічного прогресу є: ароморфоз, ідіоадаптація та загальна дегенерація.

**Ароморфоз** — (від грец. *aiiro* — піднімаю та *морфозис* — форма, зразок), або *морфологічний прогрес*, — еволюційне перетворення, яке підвищує рівень організації організму в цілому і відкриває нові можливості для пристосування до різноманітних умов існування. Наприклад, виникнення щелеп у хребетних дало їм можливість живитись

великою здобиччю; утворення квітки у покритонасінних призвело до урізноманітнення способів запилення та формування плодів тощо.

Прикладом ароморфозу може бути підвищення рівня організації ссавців у порівнянні з рептиліями: поява чотирикамерного серця, збільшення функціональних можливостей мозку, розвиток потових залоз і їх похідних та інших прогресивних рис. Інший приклад — утворення квітки у покритонасінних призвело до розвитку запилення за участі комах.

Ароморфоз дає значні переваги в боротьбі за існування і робить можливим перехід у нове життєве середовище, сприяє виживанню й зменшенню смертності в популяціях. При високій народжуваності й низькій смертності кількість особин у популяції зростає, розширюється її ареал, утворюються нові популяції, прискорюється формування нових видів, тобто відбувається біологічний прогрес. Так, ускладнення будови давніх земноводних порівняно з рибами сприяло вступу земноводних на шлях біологічного



Мал. 4.89. Олексій Миколайович Северцов (1866–1936)

прогресу. Ароморфоз дає змогу розширити свої адаптаційні можливості за допомогою ідіоадаптацій.

**Ідіоадаптація** — це дрібніші еволюційні зміни організмів, які сприяють пристосуванню до певних умов життєвого середовища (окремі пристосування). На протилежність ароморфозу ідіоадаптація не супроводжується змінами основних рис організації, загальним підвищенням її рівня та інтенсивності життєдіяльності організмів. Пристосування придонних риб — камбалових, скатів — до життя на дні (сплюснення тіла, забарвлення під колір ґрунту) — типові приклади ідіоадаптації.

Захисне забарвлення — приклад пристосування тварин до певних умов існування, не зв'язаного з підвищенням організації.

Прикладами ідіоадаптації в рослин можуть бути різноманітні пристосування квітки до перехресного запилення вітром і комахами, пристосування плодів і насіння до поширення, пристосування листків до зменшення випаровування.

Звичайно дрібні систематичні групи — види, роди, родини — в процесі еволюції виникають внаслідок ідіоадаптації. Ідіоадаптація також призводить до збільшення чисельності виду, розширення ареалу, прискорення видоутворення, тобто до біологічного прогресу.

**Дегенерація** — це еволюційні зміни, які призводять до спрощення організації. Вони звичайно супроводжуються зникненням ряду органів, які втратили своє біологічне значення.

Дегенерація часто пов'язана з переходом до сидячого або паразитичного способу життя. Спрощення організації звичайно супроводжується виникненням різних пристосувань до специфічних умов життя. У свинячого цїп'яка, стьожака широкого та інших червів — паразитів людини — відсутній кишечник, слабо розвинена нервова система, вони майже не здатні до самостійного пересування. При спрощеній організації ці тварини мають присоски і гачки, за допомогою яких утримуються на стінках кишківника свого хазяїна. Вони мають також добре розвинені органи розмноження і відзначаються величезною плодючістю, що забезпечує збереження виду і зростання його чисельності.

Повитиця (*мал. 4.91, 1*), яка паразитує на конюшині, хмелю та інших рослинах, не має головного органа — листка, а замість коренів у неї утворюються на стеблі присоски, якими вона висмоктує поживні речовини з рослини-хазяїна. Отже, загальна дегенерація не виключає процвітання виду. Багато паразитів рослин, які не мають зелених листків, процвітають, хоч організація їх зазнає значного спрощення. Це означає, що і дегенерація може призводити до біологічного прогресу (*мал. 4.91, 2*).

Таким чином, біологічний прогрес еволюції досягається трьома способами: ароморфозом, ідіоадаптацією, дегенерацією.

Проте у природі спостерігається й біологічний регрес. Він характеризується рисами, протилежними біологічному прогресу: зменшенням кількості особин; звуженням ареалу; зменшенням кількості видів, популяцій. Зрештою він часто призводить до вимирання видів.

Із численних найдавніших земноводних лишилися тільки ті, які призвели до утворення сучасних класів земноводних і плазунів. Давно зникли давні папоротеподібні та багато інших груп рослин і тварин.

Із появою людини причини біологічного прогресу і біологічного регресу часто пов'язані зі змінами, які вона вносить у ландшафти Землі, порушуючи зв'язки живих істот із середовищем, що склалися в процесі еволюції.



Мал. 4. 91. Повитиця (1); Петрів хрест (2)

Діяльність людини є могутнім фактором біологічного прогресу одних видів, часто шкідливих для неї, і біологічного регресу інших, потрібних і корисних їй. Пригадайте появу багатьох видів комах, стійких проти отрутохімікатів, інтенсивне розмноження хвороботворних мікробів, стійких проти ліків, бурхливий розвиток синьо-зелених водоростей у стічних водах. Винна в цьому діяльність людини. Посівами і насадженнями вона втручається в живу природу, знищує на великих масивах різноманітність диких популяцій, замінюючи їх небагатьма штучними.

Посилене знищення людиною багатьох видів призводить до їх біологічного регресу. Біологічний регрес завжди загрожує вимиранням. Ось чому природоохоронними заходами важливо не тільки його стримувати, а й запобігати йому. У господарській діяльності та в медицині людині треба враховувати біологічний прогрес і біологічний регрес.

Організми постійно перебувають у змінних умовах середовища існування. Це призводить до чисельних пристосувань, які підвищують шанси організмів на виживання і утворення більшого числа нащадків. Наприклад, вироблення досконалих пристосувань у стрижа до польоту, у дятла — до життя в лісі. Форми пристосувань у організмів до життя у відповідному середовищі можуть бути різними. Наприклад, стриж в польоті легко ловить дрібних комах — у нього широкий рот і короткий дзьоб; дятел видобує з-під кори личинок комах — у нього міцний довгий дзьоб і довгий язик.

**Макроеволюція органічного світу — це сукупність еволюційних процесів, які сприяють утворенню надвидових систематичних категорій (родів, рядів, класів, типів, відділів). Біологічний прогрес характеризується процвітаннєм видів, збільшеннєм чисельності популяцій, розширенням ареалу, утворенням нових видів, підвидів у межах певної групи. Біологічний регрес настає, якщо певна група не виробила адаптацій до змін умов довкілля. відбуваються процеси зменшення чисельності, звуження території ареалу. Шляхи досягнення біологічного прогресу: ароморфоз, ідіоадаптацію та загальну дегенерацію.**

#### Перевірте себе

1. Що таке макроеволюція? До чого призводить вона?
2. Що таке біологічний прогрес? Які його наслідки?
3. Які шляхи досягнення прогресу?
4. Наведіть приклади ароморфозу.
5. Що таке ідіоадаптація? Наведіть приклади.
6. Наведіть приклади дивергенції.

#### Поміркуйте

Якими шляхами досягається біологічний прогрес? Поясніть на основі ЗЗП.

#### Проекти

1. Ароморфози у живій природі.
2. Дегенерація у рослин і тварин.
3. Ідіоадаптації у живій природі.
4. Життя і діяльність О. М. Северцова.

#### Видатні біологи

**Северцов Олексій Миколайович** — радянський зоолог, академік АН СРСР та з 1925 р. академік АН УРСР, один із основоположників еволюційної морфології. З 1902 р. працює професором Київського університету, а з 1911 р. — професором Московського університету. Автор теорії філогенетичної ембріології, створив нове вчення про взаємовідношення онтогенезу і філогенезу, в основі якого лежить гіпотеза: «Онтогенез є коротке повторення філогенезу».

---

---

### § 33. Сучасні уявлення про фактори еволюції: синтез екології та еволюційних поглядів

Поки що не створено підтвердженої фактами теорії про закономірності історичного розвитку живої матерії. Розроблено кілька гіпотез, які пояснюють окремі сторони еволюційного процесу. Більшість із них визнає, — що екологічні чинники водночас є факторами еволюції.

Чому біогеоценоз вважають середовищем еволюційних змін?

Сучасні еволюційні погляди ґрунтуються на ідеях про взаємозв'язок усіх рівнів живого в єдиній біосфері і про те, що життя на Землі із самої своєї появи мало різні рівні організації, включно з біогеоценотичним.

У біогеоценозах усі популяції взаємопов'язані трофічними, просторовими та іншими зв'язками і впливають одна на одну. Тому еволюційні зміни в популяціях спричинюються факторами, які діють через біогеоценоз як цілісну систему. Отже, біогеоценоз — це середовище еволюційних процесів.

**Фактори еволюції** — це чинники, що приводять до адаптивних змін організмів, популяцій і видів. За сучасними уявленнями, на різних рівнях організації живого діють особливі фактори еволюції; унаслідок їх спільної дії відбуваються адаптації організмів та популяцій до умов навколишнього середовища.

Спадкова інформація (генотип) закована у вигляді послідовності нуклеотидів ДНК чи РНК. Носії спадкової інформації найбільш захищені від зовнішніх впливів, бо містяться всередині клітини в цитоплазмі (прокаріоти) або ще додатково оточені ядерною оболонкою чи оболонками мітохондрій чи пластид (в еукаріотів). Спрямо-ваність спадкових змін, які відбуваються на молекулярному (мутації) та клітинному (комбінаційна мінливість) рівнях, можуть не залежати від умов довкілля або ж на них діють мутагенні чинники.

На клітинному рівні здійснюються всі основні функції живого, які проявляються внаслідок взаємодії генотипу клітини з її оточенням. Наприклад, в організмі багато-клітинних усі соматичні клітини мають однаковий генотип, але диференціюються, спеціалізуючись у різних напрямках, через активність певних генів чи вплив біологічно активних речовин тощо.

Саме поняття «боротьба за існування» не має біологічного сенсу. Його зазвичай вживають для позначення всієї сукупності відносин між організмами та між організмами і довкіллям, тобто насправді воно охоплює цілий розділ екології — вчення про екологічні фактори та взаємозв'язки особин у популяції та між популяціями різних видів. Ніяких особливих механізмів «боротьби за існування» у живих істот не виявлено, хоча це поняття відіграло значну роль у побудові різних еволюційних гіпотез.

Усі екологічні фактори, якщо вони діють із відносно постійною інтенсивністю або ця інтенсивність періодично змінюється, є водночас і факторами еволюції. Унаслідок їхньої комплексної дії на популяції частина особин передчасно гине. Ми вже згадували, що **елімінація** — це загибель особини на будь-якому етапі індивідуального розвитку, внаслідок чого вона переважно не залишає нащадків (*мал. 4.92*). Елімінація змінює частоти трапляння організмів з певними фенотипами. Її слід відрізнити від природної смерті як завершення процесу старіння після розмноження, що не впливає на генофонд популяції. Отже, загальна смертність у популяції є сумою елімінації та природної смертності за певний відрізок часу.

Термін **добір** означає певний свідомий акт; тому його спостерігають лише серед тварин із розвиненою вищою нервовою діяльністю: статевий добір, добір певних видів їжі за доступністю, поживними якостями тощо.

Важливим показником біологічного процвітання виду є оптимальна густина просторового розміщення особин кожної з його популяцій, яка зумовлена збалансова-

ністю народжуваності та загальної смертності. Розглянемо найпопулярніші сучасні еволюційні гіпотези.



Мал. 4.92. Явище елімінації: 1 — вимерзання рослин; 2 — зів'ялі рослини; 3 — лісова пожежа; 4 — мертвий ліс; 5 — жертва хижака (сколопендра вбила ящірку)

### У чому суть гіпотези неокатастрофізму?

Неокатастрофізм (від грец. *неос* — новий та *катастрофе* — переворот) — система поглядів, яка базується на факті етапності розвитку життя на Землі, тобто гіпотеза катастроф. У 1864 р. Е. Зюсс (мал. 4.93) модернізував погляди Ж. Кюв'є для пояснення швидкої заміни одних комплексів викопних організмів іншими; саме його вважають засновником неокатастрофізму.

Едуард Зюсс (1831–1914) — австрійський геолог, засновник неокатастрофізму. У 1898–1911 рр. був президентом Віденської академії наук



Мал. 4.93.

Етапність історичного розвитку живого полягає в тому, що протягом послідовних етапів геологічної історії Землі існували певні більш-менш стабільні екосистеми зі специфічними флорою та фауною, які на межах цих етапів відносно швидко (за кілька тисяч років) замінювались іншими.

Об'єктивні підтвердження цього явища дає вивчення темпів вимирання одних і появи інших систематичних груп організмів різного рангу. Протягом певного, досить тривалого часу (мільйони та десятки мільйонів років) незначне вимирання одних груп врівноважується появою екологічно близьких їм інших; на межах періодів та окремих епох (*епоха* — геологічний підрозділ всередині періоду, наприклад рання, або нижня, середня, пізня, або верхня, крейда — крейдяний період) незбалансовані вимирання зареєстровані наприкінці попереднього, а незбалансоване швидке зростання видового різноманіття — на початку наступного періоду чи епохи.

Наприклад, наприкінці середньокрейдяної епохи відбулося масове вимирання багатьох груп голонасінних, комах, динозаврів (зникло 5 родин з 11), ссавців та значного числа видів інших організмів. Навпаки, на початку другої половини крейдяного періоду відбувалось бурхливе видоутворення: виникають і зазнають



значної адаптивної радіації покритонасінні та комахи-запилувачі (мухи, деякі групи жуків, бджоли, денні метелики тощо), з'являються 10 нових родин динозаврів, кілька рядів справжніх птахів, сумчастих і плацентарних ссавців. Протягом пізньокрейдяної епохи число цих новоутворених груп стабілізується, а в її кінці знову спостерігається незбалансоване вимирання, зокрема динозаврів, яке замінюється бурхливим видоутворенням на початку наступного періоду (палеоген). Вимирання динозаврів стало підґрунтям для різних фантастичних пояснень його причин. Так, однією з популярних гіпотез вимирання динозаврів є їхня раптова загибель внаслідок зіткнення Землі з астероїдом. Однак жодних фактичних підтверджень цього не знайдено.

Отже, на межах геологічних періодів та епох відбуваються різкі зміни видового складу біосфери, тобто заміна одних біогеоценозів іншими. Причини цього явища вчені вбачають у неперіодичній зміні інтенсивності екологічних факторів, яка перевищує межі витривалості біогеоценозів, руйнуючи їх, що і спричинює масове вимирання спеціалізованих видів. Неспеціалізовані види як екологічно пластичні опановують простір зруйнованих екосистем і формують там нові стійкі біогеоценози, адаптуючись до їхніх умов. Цим пояснюють бурхливу адаптивну радіацію на початку періодів та епох.

У житті біосфери геологічні катастрофи спричинюють загальні (глобальні) або місцеві (локальні), тобто в межах певної території, **біоценотичні кризи**. Вони можуть бути спричинені не лише геологічними, але й біогенними причинами. Наприклад кризу середини крейдяного періоду спричинила поява покритонасінних рослин; сучасна екологічна криза — наслідок дії антропогенного фактору, що може катастрофічно закінчитись.

#### На чому базується гіпотеза нейтральності молекулярної еволюції?

Гіпотезу нейтральності молекулярної еволюції вперше опублікував японський генетик М. Кімура (мал. 4.94) у 1968 р. і розвинув у багатьох своїх наступних працях. Незалежно від М. Кімури американські біохіміки Д. Кінг та Т. Джукс дійшли майже тих самих висновків про нейтральну еволюцію (1969).

М. Кімура зі співробітниками провели низку експериментів над дрозофілами та математично обробили результати, а також вивчили генофонди природних популяцій різних видів. Виявилось, що в будь-якій природній чи штучній популяції 7–15% організмів були гетерозиготні по кожному з локусів. Від 30 до 50% генів були представлені декількома алелями. Це визначає поліморфізм білків, тобто явище, коли кожний білок у різних організмів одного виду фактично перебуває в кількох генетично зумовлених формах. Сумарна кількість алелів, які несуть інформацію про поліморфні білки, у популяціях становить багато тисяч, тому число різних поліморфних білків сягає мільйонів і більше.

М. Кімура припустив, що більшість цих білків нейтральна, тобто не шкідлива і не корисна для організму і не підлягає дії добору. Пізніше було встановлено, що найпоширеніші мутації в структурі ДНК або не порушують послідовності амінокислот при синтезі поліпептидів, або відбуваються в ділянках, які не кодують інформацію про амінокислоти. Таким чином, у мікроеволюції чільне місце належить випадковим процесам (мутації, дрейф генів, елімінація), які змінюють частоту зустрічальностей алелів, а не природному добору чи боротьбі за існування.

#### У чому полягає гіпотеза сальтаціонізму?

**Сальтаціонізм** (від лат. *сальто* — стрибак) — система поглядів на темпи еволюції як стрибкоподібні зміни, що відбуваються за незначний проміжок часу і спричинюють виникнення нових видів, родів тощо. Ці погляди побудовано на уявленнях про



Мал. 4.94.  
Мотоо Кімура  
(1924–1994) — автор  
нейтральності молекулярної еволюції

те, що темпи еволюції зумовлені швидкістю змін умов довкілля. Зрозуміло, що кожний вид має бути адаптованим до умов середовища життя в будь-який момент свого існування. Якщо ж він не встигає пристосуватися до змін довкілля, то вмирає. Тому в стабільні періоди темпи еволюції незначні або ж вона не відбувається зовсім. Під час біоценотичних і біосферних криз ці темпи зростають, і видоутворення в масштабах геологічної історії Землі відбувається практично миттєво, стрибкоподібно.

#### Які основні положення гіпотези перерваної рівноваги?

Відомо, що біологічні системи всіх рівнів організації здатні функціонувати лише за сталого або періодично змінного середовища. Неперіодичні зміни інтенсивності екологічних факторів, що перевищують межі стійкості живих систем, призводять до їхнього руйнування. Найвразливіші до таких впливів біогеоценози та біосфера в цілому. На цьому ґрунтується еволюційна гіпотеза перерваної рівноваги, запропонована американськими вченими Н. Елреджем, С. Гоулдом та С. Стенлі в 70-х — 80-х роках ХХ сторіччя та значно доповнена дослідженнями російських ботаніків та екологів С. М. Розумовського і В. А. Красилова. Її основні положення такі:

Кожен етап історичного розвитку біосфери має відносно стабільні кліматичні умови і характеризується певними біогеоценозами з притаманними їм спеціалізованими екологічно непластичними видами (*ценофілами*). Тобто існує динамічна рівновага між біотичними та абіотичними складовими екосистем і біосфери в цілому.

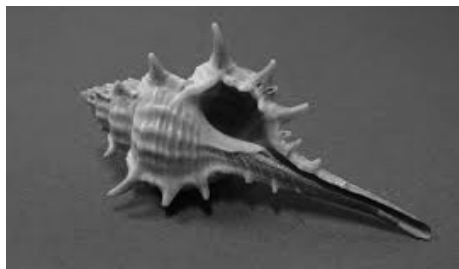
За різких (катастрофічних) змін довкілля, спричинених абіотичними, біотичними чи антропогенними факторами, необоротно порушується рівновага в екосистемах: настають локальні чи біосферні екологічні (біо-геоценотичні) кризи.

Під час біогеоценотичних криз унаслідок руйнування стабільних екосистем вмирають ценофіли. Вживають лише ті групи (переважно мало спеціалізовані екологічно пластичні види — *ценофоби*), які внаслідок притаманної їм екологічної пластичності встигають адаптуватись до швидких змін довкілля.

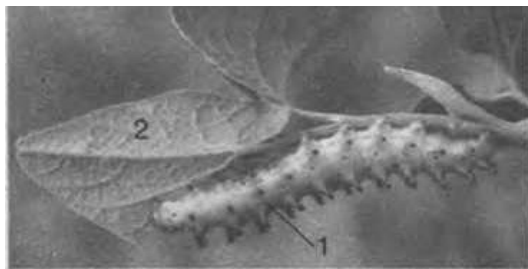
Під час стабілізації умов довкілля відновлюється рівновага в біосфері внаслідок зміни самих екосистем та їх населення відповідно до нових умов. У цей час відбувається швидка адаптивна радіація груп організмів, що пережили кризу, завдяки якій виникають нові стабільні біогеоценози з новими ценофільними видами.

Темпи еволюції нерівномірні: вони мають характер повільних незначних змін або зовсім непомітні в стабільних біогеоценозах та багатократно прискорюються під час екологічних криз.

#### У чому суть гіпотези адаптивного компромісу?



Мал. 4.95. Товста черепашка забезпечує надійний захист, однак обмежує рухливість морського хижого молюска мурекса



Мал. 4.96. Приклад вузької пристосованості. Гус'нь метелика поліксени (1) живиться виключно пагонами отруйної для інших фітофагів рослини — хвилівника звичайного (2), уникаючи трофічної конкуренції з іншими видами. Але існування її популяцій повністю залежить від наявності хвилівника на відміну від видів, що живляться різноманітною їжею і легко замінюють кормові об'єкти

Сучасний російський палеонтолог та зоолог О. П. Расніцин наприкінці 80-х років ХХ сторіччя звернув увагу на відоме явище відносної пристосованості організмів до середовища життя. Відомо, що вид у формі популяцій одночасно пристосовується до кожного з факторів та до їхнього комплексного впливу.

Зміцнення зовнішніх захисних утворів (*мал. 4.95*) знижує рухливість видів; збільшення розмірів і маси тіла тварин зменшує їхню відносну тепловіддачу, однак призводить до необхідності споживання великої кількості поживних речовин, тому такі види дуже вразливі щодо нестачі їжі.

Отже, вузька пристосованість видів до певних умов довкілля (*спеціалізація*) забезпечує максимальне використання ресурсів середовища життя, але водночас знижує здатність адаптації до нових умов (*мал. 4.96*).

Таким чином, адаптивний компроміс — це можливість пристосування виду до всього комплексу умов довкілля лише за рахунок неповних адаптацій до дії окремих чинників.

### Перевірте себе

1. Чому біогеоценоз вважають середовищем еволюційних процесів?
2. Які фактори еволюції діють на різних рівнях організації живої матерії?
3. Що таке елімінація?
4. Як пояснити етапність розвитку живої матерії з позицій неокатастрофізму?
5. Які основні положення гіпотези нейтральності молекулярної еволюції?
6. Як швидкість змін середовища життя впливає на темпи еволюції?
7. Що стверджує гіпотеза перерваної рівноваги? 8. У чому суть гіпотези адаптивного компромісу?

### Поміркуйте

1. У чому полягає небезпека мішанини наукових і релігійних понять для світогляду сучасної людини.

### Проекти

1. Фактори еволюції та їх дія на різних рівнях організації життя.
2. Елімінація та її наслідки.
3. Гіпотеза неокатастрофізму та її значення.
4. Гіпотеза адаптивного компромісу та її значення.

## § 34. Гіпотези виникнення життя на землі

Згідно з найновішими науковими даними життя на Землі існує понад 4 млрд. років. Проблема ж виникнення життя та його походження в різні часи хвилювала й хвилює зараз не лише вчених, але й людство в цілому. Існує чимало відмінних одна від одної гіпотез виникнення життя на Землі. Ознайомимося з креаціоністською, абіогенетичною, панспермію, коацерватною, генетичною гіпотезами.

**Креаціоністські погляди** на виникнення життя на Землі є поза науковими. Вони базуються на вірі в Бога, єдиного творця неба і Землі. А виникнення життя пояснюють Божественною нематеріальною силою. Положення цих поглядів детально викладені в Біблії (для християн) та Корані (для мусульман). Пригадайте із зарубіжної літератури (Біблії), в якій послідовності створював Бог світ.

Багато видатних учених-біологів були глибоко віруючими людьми (Арістотель, К. Лінней, Ч. Дарвін, І. П. Павлов, Г. Мендель. Інші ж (Ж.-Б. Ламарк, Е. Геккель, М. І. Вавилов, І. І. Шмальгаузен) — якими атеїстами, що аж ніяк не позначилось на їхніх наукових досягненнях.

Наукові вчення атеїстів поділяють на два напрями: «абіогенез» (живі істоти виникли з неживої матерії) та «біогенез» (живі істоти можуть виникати лише від живих). Кожен із цих напрямів має свої корені ще в науці стародавнього світу і розвивається донині.

**Абіогенетичну гіпотезу** висували ще вчені стародавньої Греції (Демокрит, Епікур, Платон, Арістотель). Вони вважали, що живі істоти виникають з мулу, гною, води, ґрунту тощо. Подібних поглядів дотримувались навіть найвизначніші вчені епохи Відродження Ф. Парацельс, Р. Декарт, Ф. Бекон, Карл Лінней в основу створеної ним наукової систематики поклав такий принцип — «будь-який організм походить від собі подібного».

Емпідокл ще в античні часи писав про чотири корені походження всього суцього (так він називав живу природу): повітря, вода, вогонь і земля. Життя виникло згідно його вчення в результаті дії сил тяжіння і відштовхування між цими чотирма коренями. Цілковита відсутність фактичного матеріалу спростовує ці погляди.

Протягом XVII–XVIII сторіччя ці погляди були спростовані завдяки вивченню фізіології розмноження багатоклітинних організмів. У другій половині XIX сторіччя після відкриття Р. Вірховим положення клітинної теорії більшість учених відмовилися від абіогенетичних поглядів. В цей час видатний французький біолог Л. Пастер довів неможливість самозародження мікроорганізмів (на прикладі дріжджів і бактерій).

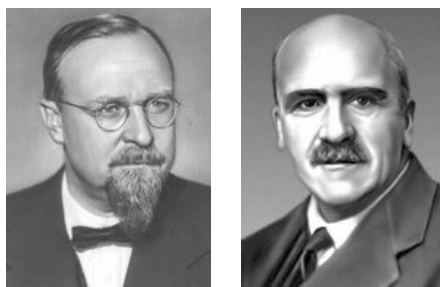
Гіпотеза абіогенезу дістала нове життя в XX сторіччі. Її особливість полягає у неможливості самозародження життя в наш час, однак деякі учені вважають можливим його виникнення з хімічних сполук у минулому. Вперше цю думку висловив Ж.-Б. Ламарк у 1820 р.; згодом її підтримали Е. Геккель і К. А. Тімірязєв. За їхніми твердженнями, в первісному океані в результаті певних хімічних процесів виникли спочатку органічні речовини, а потім — доклітинні форми життя, які поступово перетворилися на клітинні організми. Ця гіпотеза є розвитком поглядів Ж.-Б. Ламарка на еволюцію як процес поступового переходу з нижчого щабля організації до вищого.

**Коацерватна гіпотеза біогенезу** широкого визнання набула у 30-х роках XX ст. Її авторами незалежно один від одного були російський учений О. І. Опарінта англійський Дж. Б. С. Холдейн (мал. 4.97). Вона по своїй суті також є розвитком ідей Ж.-Б. Ламарка.

Суть цієї гіпотези полягає у твердженні, що еволюція життя розпочинається з виникнення білків (протобіонтів), відмежованих від довкілля напівпроникною мембраною. Утворені таким чином коацервати — протоклітини — уможливили оптимальніше використання енергії та речовини, сприяли самоорганізації клітини. На думку О. І. Опаріна та Д. Холдейна, біологічній еволюції передувала хімічна еволюція.

Гіпотеза біогенезу ґрунтується на поглядах про життя як особливу форму існування матерії. Сучасна наука не підійшла до розуміння суті життя так само, як і до наукового пояснення виникнення Всесвіту, матерії, простору і часу. Вона лише відкрила основні закони перетворень матерії та енергії, які можна перевірити експериментально. Ще Ч. Дарвін указував на безглуздість спроб науково пояснити походження життя без розуміння виникнення Всесвіту загалом.

Гіпотеза панспермії. Значна кількість прихильників ґрупується навколо концепції космічного, тобто позаземного походження життя. Ж. Кюв'є пояснював виникнення Землі і життя на ній в результаті стикання Сонця з блукаючою кометою. А походження життя — результат подальших періодичних космічних катастроф.



Мал. 4.97. О. І. Опарін (зліва)  
і Дж. Б. С. Холдейн

У XIX ст. видатний шведський фізик С. Арреніус сформулював гіпотезу панспермії (космічної всюдності життя). Розвинув її геніальний український учений В. І. Вернадський. Її прихильниками були такі видатні російські вчені, як зоолог Л. С. Берг, географ О. Ю. Шмідт, астроном Й. С. Шкловський. Нині її активним пропагандистом є Нобелівський лауреат сучасний англійський біохімік Ф. Крік, один із відкривачів коду ДНК. Цікаво, що думку про можливість занесення життя із космосу висловлював ще давньогрецький філософ Анаксагор у V ст. до нашої ери.

Суть цієї гіпотези полягає в наступному: спори (цисти) прокариот можуть, не втрачаючи здатності до відновлення життєдіяльності, витримувати перебування у вакуумі при температурах, близьких до абсолютного нуля, жорстке радіаційне та ультрафіолетове опромінення, тобто умови космічного простору. Вони легко досягають верхніх шарів атмосфери і завдяки мізерній власній масі можуть звідти потрапляти у відкритий космос.

С. Арреніус підрахував, що тиск світла спричинює помітну механічну дію на частки діаметром близько 0,015 мм, переміщуючи їх. Саме такий діаметр мають спори більшості бактерій. Спора, розганяючись під дією тиску сонячних променів, за 20 діб може подолати відстань між орбітами Землі та Марса, а за 80 — досягти орбіти Юпітера. Спороподібні частки знайдено нещодавно в метеоритах. Отже, в космосі присутні спори прокариот, які безперервно потрапляють на планети. У сприятливих умовах із них виходять активні форми прокариот різних видів, які утворюють первинні біогеоценози. В подальшому еволюція таких первинних видів відбувається в різних напрямках відповідно до змін умов довкілля на певних небесних тілах.

Наприклад, у сірководневій атмосфері фотосинтез можуть здійснювати зелені та пурпурові бактерії за рахунок фотолізу сірководню. Поклади сірки, датовані архейською ерою, підтверджують це припущення. Різні компоненти первинної атмосфери могли перетворюватись хемосинтетиками (аміак — нітрифікуючими, метан — метановими бактеріями тощо). З появою вільного кисню внаслідок фотолізу води ціанобактеріями інші види фотосинтезу та хемосинтезу у біосфері Землі відійшли на другий план, однак у специфічних умовах деяких екосистем (гарячі сірководневі джерела, ґрунт тощо) збереглися донині.

**Генетична гіпотеза** виникнення життя на Землі є досить популярною сьогодні. Її сформулював Мюллер у 1928 році. Згідно з нею початки біогенезу характеризуються виникненням нуклеїнових кислот, на котрих, як на матрицях, почали синтезуватися різноманітні білки.

Існує чимало гіпотез виникнення життя на Землі. Однак серед них виокремлюються дві основні гіпотези його походження: абіогенна і біогенна. Суть абіогенної гіпотези (Опаріна–Холдейна) полягає в тому, що внаслідок специфічних умов формування земної кори життя виникло в океанах у результаті абіогенного синтезу органічних сполук, які згодом самовпорядкувались у живі системи. Біогенна гіпотеза припускає, що життя — це форма існування матерії, яка виникла водночас із Всесвітом.

### Перевірте себе

1. Які існують гіпотези виникнення життя на Землі?
2. У чому полягає суть абіогенної гіпотези? Хто з вчених її сформулював?
3. Які вчені є прихильниками креаціоністських поглядів на виникнення життя? Ви притримуєтеся її чи заперечуєте?
4. У чому суть гіпотези панспермії? Хто з вчених її сформулював?
5. У чому суть генетичної гіпотези? Хто з вчених її сформулював?

### Поміркуйте

1. Чому в деякий час гіпотеза абіогенезу була спростована вченими?



2. Які напрями поглядів має гіпотеза біогенезу?
3. Поясніть на основі ЗЗП у який же спосіб з'явилося життя на Землі?

### Подискутуйте

1. Яка з гіпотез, на Вашу думку, заслуговує переконань.

### Проекти

1. Обґрунтуйте одну з гіпотез та спростуйте решту.
2. Концепція В. І. Вернадського про появу життя на Землі.

## § 35. Еволюція одноклітинних та багатоклітинних організмів

**Еволюція прокариотів.** З моменту виникнення життя на Землі минуло близько 4 млрд. років. Із тих пір активно діють два найважливіші чинники еволюційного процесу — природний відбір і спадкова мінливість. Швидкість еволюційного процесу поступово зростала і самі чинники еволюції перетворювалися і поповнювалися новими. У пробіонтів вже існували головні атрибути будь-якого живого організму: ДНК і система її реплікації, транскрипція, трансляція, мембранні структури, ферментативні системи розщеплювання і синтезу органічних речовин, запасання і перенесення енергії. Ділення пробіонтів здійснювалося приблизно так само, як це відбувається у сучасних бактерій, шляхом порівняно простого ділення надвоє.

У даний час більшість дослідників вважають, що незабаром після виникнення життя сформувалися три надцарства (імперії) живої природи: архебактерії, еубактерії (включаючи синьо-зелені водорості) і еукаріоти (гриби, рослини, тварини). Архебактерії мешкають в безкисневих шарах, концентрованих сольових розчинах, гарячих вулканічних джерелах. Еубактерії надзвичайно широко представлені в біосфері. Це так само, як і архебактерії, без'ядерні одноклітинні організми. Еукаріоти мають чітко сформоване ядро і клітинну оболонку. Саме ця група живих організмів дала найбільш різноманітність багатоклітинних і одноклітинних форм.

Найбільшим ароморфозом, що надав величезну за своїми наслідками дію, стало виникнення фотосинтезу. Фотосинтез виникав у прокариотичних організмів неодноразово. В даний час фотосинтезики — це не тільки синьо-зелені, але й інші представники еубактерії та архебактерії. Виникнення прокариотичних організмів, що мали здатність до фотосинтезу, віддалене від нас на 3–3,2 млрд. років. Всі організми у той час були анаеробними, тобто були здатні існувати в безкисневій атмосфері. З часом атмосфера збагачувалася киснем і вуглекислим газом. Близько 2 млрд. років тому сформувалася атмосфера, подібна до сучасної, в ній зменшилася кількість метану, аміаку, з'явилася можливість для виникнення і інтенсивної еволюції організмів аеробів. Перехід до метаболізму аероба був передумовою до виникнення окислювального фосфорилування — надзвичайно важливого ароморфозу. В результаті цього аероби прокариоти активно оволоділи окислювальним фосфорилуванням за порівняно короткий час і отримали великі можливості для освоєння різноманітних середовищ існування. Вони і слугували групою організмів, із яких близько 1,5–2 млрд. років назад виокремилися еукаріоти.

**Еволюція одноклітинних еукаріотів.** Виникнення ядерних одноклітинних організмів ознаменувало собою принципово новий етап в еволюції життя.

Протягом тривалого періоду (700–800 млн. років) еукаріоти були представлені лише одноклітинними формами. За цей виникло чимало ароморфозів: поява мітозу, ускладнилося в будові ядро, виникли хромосоми, мітохондрії і хлоропласти. Виділилася група простих еукаріотів, із яких пізніше еволюціонували рослини, поперідики тварин, гриби.

---

---

Безперервно відбувався процес дивергенції, що призводив до появи чисельної різноманітності форм життя. Ускладнення еукаріотичних клітин привело до виникнення статевого процесу. Це означає, що в популяціях одноклітинних еукаріотів з'являлися клітини з полярними властивостями, здатні до взаємного об'єднання — копуляції. Це був вирішальний крок до появи диплоїдності. У міру того як статевий процес ставав регулярним, росла необхідність у діленні клітин, під час якого гомологічні хромосоми розходяться і їх число зменшується удвічі. Саме ця важлива функція передувала виникненню мейозу. Тривала еволюція кінець кінцем привела до виникнення двохступінчастого мейозу сучасного типу.

Увесь комплекс ароморфозів, починаючи з виникнення статевого процесу і закінчуючи появою мейозу, мав виняткове значення для подальшого ходу еволюції. В результаті виникла диплоїдність, з'явилася домінантність і рецесивність, сформувалася комбінативна мінливість, що складається з рекомбінації в профазі, випадкової розбіжності хромосом в метафазі, мейозу і випадкового з'єднання гамет при заплідненні. У популяціях одноклітинних еукаріотів завдяки появі згаданих процесів темп еволюції різко зріс.

**Еволюція багатоклітинних організмів.** Виникненню багатоклітинності передувала серія ароморфозів, що мають особливе значення в еволюції життя на Землі.

Відомостей, які має сучасна наука про розвиток багатоклітинних форм, дуже мало. Процес виникнення багатоклітинних організмів припадає на докембрійський період, тобто протерозойську еру. Залишки цих організмів відсутні. Особливо це стосується грибів.

Вважають, що багатоклітинні гриби виникли ще 1,3 млрд. років тому. Мабуть, що в цей час вже існували і багатоклітинні зелені і бурі водорості, як плаваючі, так і прикріплені до дна. Перші наземні судинні рослини з'явилися набагато пізніше, вони відомі з силурійського періоду (400 млн. років) палеозойської ери, хоча ймовірно, що їх попередники існували і раніше.

У докембрії з'являються і перші багатоклітинні тварини, перші палеонтологічні відомості про яких сягають 700 млн. років. Наскільки раніше виникли тварини на землі не відомо: це можуть бути інтервали часу від десятків до сотень мільйонів років.

Царство тварини нараховує не менше 35 типів, із яких 26 існують до теперішнього часу.

Починаючи з кембрійського періоду повнота палеонтологічної інформації значно зростає. За короткий проміжок часу (близько 50 млн. років) з'являються практично всі типи тварин, що мають зовнішній або внутрішній скелет.

Саме у палеозої відбувається бурхливий розвиток життя. На початку палеозойської ери з'являються перші хордові і риби, в девоні з'являються амфібії, а в карбоні — рептилії.

Така ж тенденція спостерігається і у рослин — від перших наземних судинних рослин у силурійському періоді (440–410 млн. років) до насінневих папоротей у карбоні.

Протягом 300 млн. років життя на Землі проходить складний шлях розвитку і знаходить безліч нових якостей і властивостей. Найважливіша подія — вихід на сушу рослин, тварин і, мабуть, грибів. Це результат прогресивної еволюції багатоклітинних еукаріотів, який є наслідком тривалої підготовки суші бактеріями, синьо-зеленими водоростями впродовж сотень мільйонів років. Саме прокаріоти завдяки своїй діяльності підготували верхній шар земної кори до освоєння її багатоклітинними організмами.

У мезозої (230–70 млн. років) еволюційні процеси продовжувалися, а у тріасі (230–195 млн. років) з'являються перші ссавці, в юрському періоді (195–135 млн. років) — перші птахи, в крейдяному (135–70 млн. років) виникають перші квіткові рослини. Проте в цілому пануючою групою організмів упродовж більшої частини мезозою були різні групи рептилій, із яких найбільш відомими є динозаври. Розквіт



---

---

одних груп тварин і рослин бував пов'язаний із вимиранням інших. На стику палеозою і мезозою вимерло більшість морських організмів, на зміну яким у результаті дивергенції прийшли рептилії.

У мезозої найінтенсивніше еволюціонували представники хордових і членистоногих серед тварин, а також голонасінні і частина покритонасінних серед рослин. Появу ссавців і птахів ознаменувала поява теплокровності, ціла низка ароморфозів. Наприклад, розвиток центральної нервової системи, складних форм поведінки, які мали безумовно важливе значення для прогресивної еволюції, хоча і захоплювали порівняно невеликі таксони.

У кайнозойській ері (70 млн. років) з'являються сучасні тварини і рослини. Особливо інтенсивно протікала еволюція ссавців, птахів і квіткових рослин. У першій половині кайнозойської ери сформувався примати, а за останніх 3–5 млн. років виникли найдавніші форми людей.

### Поміркуйте

1. Які основні ароморфози відбувалися в ході еволюції багатоклітинних організмів.
2. Як відбувалася еволюція грибів?
3. Яким чином виникли рослини?

### Перевір себе:

1. Коли з'явилися прокаріотичні організми? Що сприяло їхньому виникненню?
2. Що передувало виникненню еукаріотів?
3. Які ароморфози сприяли виникненню багатоклітинності у живій природі?
4. Використовуючи ЗЗП охарактеризуйте еволюцію багатоклітинних організмів.

## § 36. Поява основних груп організмів на землі

### та формування екосистем. Пояснення цих процесів на основі ЗЗП

Початок появи основних груп організмів припадає на середину палеозойської ери. В цей період життя поступово опанувало добре зволожені частини суходолу. Для силурійського періоду (440–400 млн. років тому) характерна наявність мілких (до 10 м глибини) теплих морів зі зниженою солоністю. У прибережних частинах континентальних водойм утворився шар мулу внаслідок мінливості рівня води. Він став основою первісних ґрунтів, на яких утворилися наземні біогеоценози. Їхню основу складали вищі спорові рослини з відділів Риніофіти та Плауноподібні (*мал. 4.98*). З тварин там мешкали ґрунтові види (малоцетинкові черви та ін.) та рослиноідні багатоніжки.

Упродовж девонського періоду (закінчився близько 350 млн. років тому) процеси гороутворення чергувались із опусканнями суходолу, що спричинювало часті біоценотичні кризи. Темпи еволюції при цьому були досить високими. На початку періоду вимерли більшість трилобітів, а наприкінці — панцирні риби та щиткові. На понижених зволжених частинах суходолу утворилися ліси із дерев вищих спорових рослин — плаунів, хвощів, папоротей. З'являються перші голонасінні з класу насінних папоротей. Ці рослини зовні нагадували деревоподібні папороті, але розмножувались насінням. Із безхребетних тварин суходіл опанували павуки та кліщі.

У морях з'являються хрящові риби (акули та деякі інші), у прісних водоймах — кісткові риби. Це переважно кистепері та дводишні, які досягли значного видового різноманіття, а також променепері. Вважають, що плавальний міхур кісткових риб слугував для додаткового дихання атмосферним повітрям, оскільки у воді прісних водойм, де перегнивали рештки деревних рослин, було замало розчиненого кисню.





Мал. 4.98. Риніофіти



Мал. 4.99. Ліси палеозойської ери

Наприкінці палеозойської ери життя опанувало всю поверхню суходолу і біосфера досягла сучасних меж. Кам'яновугільний період був одним із найтепліших в історії Землі. На суходолі було багато зволжених низовин, де буяли ліси з різноманітних вищих спорових та голонасінних (мал. 4.99).

Потрапляючи в заболочений ґрунт, стовбури відмерлих дерев через відсутність кисню не перегнивали, а замулювались, вкривались шарами піску та глини і врешті-решт виявились на значних глибинах під землею, де в умовах високого тиску перетворились на кам'яне вугілля (звідси походить назва кам'яновугільний періоду). В цей час з'явилися хвойні рослини, розмноження яких не було пов'язане з водою. Вони утворили основу біогеоценозів середньозволжених та посушливих місцевостей, і на кінець періоду весь суходіл був опанований життям, тобто біосфера досягла сучасних меж. Тварини швидко опановували суходіл слідом за рослинами. На початку періоду від якихось прісноводних ракоподібних утворилися спочатку безкрилі, а потім — крилаті комахи, черевоногі молюски, що дихали легенями. У середині періоду деякі земноводні пристосувались до розмноження на суходолі завдяки появі внутрішнього запліднення, багатих на запасні речовини яєць, укритих товстими водонепроникними оболонками, та прямого розвитку. В одних із них зникли шкірні залози, а сама шкіра стала дуже товстою (пристосування до збереження води в тілі). Вони дали початок першим плазунам і стали предками послідовного ряду форм, аж до ссавців.

Тріасовий період закінчився близько 185 млн. років тому. Його кліматичні умови нагадували пермський. У морях тривало зростання різноманітності хрящових і кісткових риб, які поширились і в солоних водоймах. З'являються два ряди наземних плазунів, відомих під загальною назвою динозаври (мал. 4.100).



1



2



3

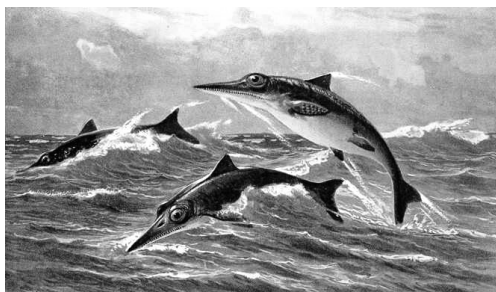
Мал. 4.100. Динозаври: 1 — стегозавр, 2 — тиранозавр, 3 — диплодок

Це були тварини середніх і великих (від одного до 30 м завдовжки) розмірів, що пересувались на чотирьох або на двох задніх кінцівках, які були спрямовані донизу, на відміну від сучасних плазунів. Існувало кілька груп морських плазунів. Від не-

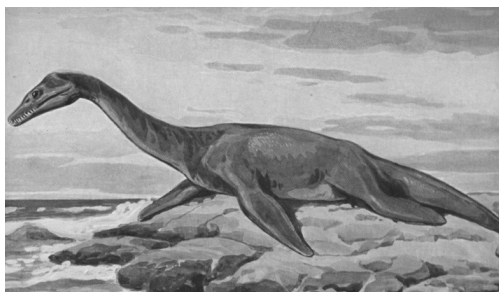
великих за розмірами комахоїдних звірозубих у другій половині періоду походять перші ссавці. Вони були невеликі (5–15 см завдовжки), вкриті шерстю, і зовні нагадували сучасних землерийок.

Триасовий період закінчився біосферною кризою, спричиненою підйомом рівня Світового океану та пов'язаним із цим загальним потеплінням клімату, що супроводжувалось вимиранням багатьох груп — первісних земноводних, звірозубих та інших тварин.

Юрський період (185–130 млн. років тому) характеризувався переважно помірним кліматом. У цей час існувало багато мілководних морів. У них мешкали головоногі молюски, що загалом нагадували кальмарів, однак мали зовнішню пряму черепашку — белемніти. Рештки цих черепашок, які часто знаходять у піщаних породах, відомі в народі під назвою «чортові пальці». У водоймах з'являються діатомові водорості. Крокодили стають водними тваринами. Крім прісних водойм вони заселили солоні, причому деякі морські види досягали 15 м завдовжки. Поширились водні хижі плазуни, іхтіозаври (мал. 4.101,1) та плезіозаври (мал. 4.101,2).



1



2

Мал. 4.101. Іхтіозавр (1) і плезіозавр (2)

Динозаври були дуже різноманітними. На чотирьох кінцівках пересувались переважно рослиноїдні види, з яких найвідоміший диплодок завдовжки 30 м і схожий на нього, але кремезніший, бронтозавр масою близько 80 т. Це були найбільші наземні тварини за всю історію Землі. На території сучасної Північної Америки мешкав стегозавр із двома паралельними рядами вертикальних кісткових пластин на спині.

Крейдяний період (130–65 млн. років тому) названо так тому, що в морях, крім бентосних, поширились і досягли великої чисельності планктонні форамініфери. Залишки їхніх черепашок утворили поклади крейди та вапняку.

Екосистеми першої половини цього періоду істотно не відрізнялись від юрських. У цей час досягли найбільшої видової різноманітності безхвості літаючі яцери, їхні розміри варіювали від 10 см до 13 м (птеранодон) у розмаху крил. Цікаво, що багато з них були вкриті шерстю і, можливо, теплокровними. Решток птахів цього часу не знайдено, а ссавці представлені тими ж рядами, що і в юрський період.

У середині періоду відбулась біосферна криза, зумовлена не змінами клімату, а біотичним фактором — появою покритонасінних квіткових рослин. Вважають, що вони походять від якихось голонасінних, залишки яких не збереглись. Завдяки подвійному заплідненню та запиленню комахами, вони зруйнували екосистеми, основою яких були голонасінні, й утворили нові біогеоценози. Подвійне запліднення призвело до появи триплоїдного ендосперму (у голонасінних він гаплоїдний), що значно прискорює дозрівання насіння.

Упродовж геологічної історії Землі окремі біогеоценози завжди гинули від випадкових причин (наприклад, пожежа від удару блискавки). Вони відновлювались завдяки сукцесіям. Насіння квіткових, потрапивши в такі зруйновані екосистеми,

---

швидко проростало, ці рослини запилювалися комахами (тоді це були переважно жорсткокрилі) і знову давали насіння. Так квіткові пригнічували проростання насіння голонасінних, змінюючи їх.

Разом із голонасінними вимерло багато груп тварин. Зокрема, зникло близько двох третин видів комах, 5 родин динозаврів. Це збіглося з вимиранням значної частини морських планктонних форамініфер, що значно змінило твердість води. Останнє, у свою чергу, призвело до вимирання багатьох головоногих молюсків із зовнішньою черепашкою, іхтіозаврів та інших тварин.

У другій половині періоду сформувалися нові біогеоценози, основу яких складали комахозапилні дводольні та однодольні покритонасінні рослини, а також частина хвойних (переважно соснові). Відбувається бурхлива спряжена еволюція квіткових рослин та комах-запилувачів: відомі бджоли, денні метелики, сучасні групи мух. У цей час з'являються сумчасті та плацентарні ссавці. Останні були представлені комахоїдними, рукокрилими, приматами (напівмави) та кількома нині вимерлими рядами. Ссавці того часу досягли значного видового різноманіття, мали розміри від 5–10 см до 5–6 м завдовжки. Серед них були рослиноїдні, трупіодні, комахоїдні та хижі форми.

Наприкінці крейдяного періоду відбулася ще одна біосферна криза, спричинена подальшим опусканням материків. Клімат став дуже вологим, що призвело до зникнення біогеоценозів посушливих та помірно зволжених ландшафтів та до вимирання багатьох груп комах, зубастих птахів, динозаврів, літаючих ящерів, кількох рядів ссавців. У морях зникли плезіозаври. Ці зміни підготували умови для утворення кайнозойських екосистем.

Неогеновий період загалом характеризується низьким рівнем Світового океану, завершенням утворення сучасних гірських масивів, досить суворим кліматом з чіткою природною зональністю та кількома зледеніннями в Північній та Південній півкулях. Наприклад, близько 12 млн. років тому під кригою перебувала частина Південної Америки (Патагонія), Антарктида (до сьогодні), Нова Зеландія та майже вся Австралія. Все це спричинювало часті як місцеві, так і глобальні біогеоценогічні кризи, що супроводжувались масовим вимиранням одних та появою інших груп організмів.

Наприкінці палеогенового періоду відбувається підняття суходолу. Утворилися Альпи, Піринеї, гори Греції, Криму, Кавказу, Гімалаї, Кордильєри, Анди тощо. Це спричинило біосферну кризу, під час якої вимерло багато груп рослин і тварин, характерних для палеогенового періоду, й сформувались біогеоценози наступного неогенового періоду.

Наприкінці періоду фауна і флора загалом нагадували сучасні, відрізняючись переважно на видовому та частково родовому рівнях. З'явилась більшість сучасних родин покритонасінних, комах, молюсків, птахів і ссавців. Існування сухопутного перешийка між Північною Америкою та Європою забезпечило взаємообмін компонентами фаун і флор: зокрема в Північній Америці з'являються хоботні, в Європі та Азії — особливий рід трипалих конячих — гіпаріон. Його представники були дуже поширені в Євразії, у тому числі на території сучасної України. Вони дали назву специфічному комплексу степових тварин того часу — гіпаріонова фауна. Деяких незвичних ссавців неогенового періоду зображено на малюнку 213.

Великі простори Північної півкулі були зайняті тундрою із специфічними біогеоценозами, основу яких складали трав'янисті покритонасінні, мохи та лишайники. Із ссавців для тундри характерні лемінги (особливий вид гризунів), північний олень та вівцебик (дожили до наших днів), а також нині вимерлі вкритий шерстю слон — мамут, шерстистий носоріг, великорогий олень, печерний ведмідь.

Замість стабільних екосистем із високою видовою різноманітністю людина створює нездатні до саморегулювання лісові насадження та агроценози з незначною кількістю видів. Це призводить до неспряженої еволюції екологічно пластичних видів



тварин — фітофагів, які стають шкідниками культурних рослин, а також всіляких бур'янів. Зростання чисельності популяцій свійських тварин і самої людини стимулює еволюцію пов'язаних з ними паразитичних, кровосисних та синантропних видів. Така діяльність призводить до дестабілізації біосфери та її кризи з непередбаченими наслідками, безумовно катастрофічними для природи всієї планети, включаючи й антропогенізовані промислові та сільськогосподарські ландшафти.

Початок появи основних груп організмів припадає на середину палеозойської ери. Життя опанувало поряд із солоними ще й прісні водойми. В середині палеозойської ери у зволжених місцях утворюються наземні біогеоценози, основу яких складали вищі спорові рослини. Суходіл освоїли різні безхребетні, з'явилися перші наземні хребетні — земноводні, в морях — хрящові, а в прісних водоймах — кісткові риби. Наприкінці палеозойської ери життя опанувало весь суходіл, і біосфера досягла сучасних меж: з'явилися голонасінні рослини та плазуни; вимерли деякі вищі спорові рослини і земноводні, повністю — давні класи риб, трилобіти і багато інших видів. Упродовж мезозойської ери на суходолі панували голонасінні, плазуни та комахи, а в морях — хрящові й кісткові риби, головоногі молюски. У цей час з'являються покритонасінні, ссавці та птахи. Під час кайнозойської ери суходіл поступово набув сучасних обрисів, встановилися природно-кліматичні зони. Ця ера характеризується бурхливою адаптацією квіткових рослин, комах, птахів і ссавців. Приблизно 2 млн. років тому з'являється сучасна людина, її господарська діяльність у наш час — провідний фактор еволюції сучасних організмів.

#### Перевір себе:

1. На яку еру припадає початок формування біосфери Землі?
2. Коли виникли перші прісні водойми та суходільні біоценози?
3. Які основні групи організмів виникли у мезозойську еру? Наведіть приклади рослин і тварин.
4. Що особливого у живій природі відбувалося у кайнозойську еру?
5. Як змінилася біосфера з виникненням людини?

#### Поміркуй:

1. Які ароморфози у рослин характерні для палеозойської ери?
2. Поясніть, на основі ЗЗП, яким чином рослини і тварини сприяли змінам біосфери в ході еволюції?
3. Які біосферні кризи виникали в історичному розвитку органічного світу? Чим це було викликано?

#### Подискутуйте:

1. Основні напрями формування екосистем в еволюції живої природи.

### § 37. Історичний розвиток органічного світу та періодизація еволюційних явищ

Історичний розвиток органічного світу вчені розподіляють на певні проміжки часу — *ери*, які поділяють на *періоди*. Процес розвитку життя на Землі показано в геохронологічній таблиці.

Історію Землі поділяють на п'ять ер (архейську, протерозойську, палеозойську, мезозойську і кайнозойську), тривалість кожної з них сягає десятків і навіть сотень мільйонів років. Вік і тривалість ер і періодів визначені за допомогою «уранового годинника» — розщеплення радіоактивних елементів у пробах гірських порід.

Ери		Періоди та їх тривалість (у млн. років)
Назва і тривалість (у млн. років)	вік (у млн. років)	
Кайнозойська (нового життя), 67	67	Антропоген, 1,5
		Неоген, 23,5
		Палеоген, 42
Мезозойська (середнього життя), 163	230	Крейдовий, 70
		Юрський, 58
		Тріасовий, 35
Палеозойська (давнього життя), 340	Можливо, 570	Пермський, 55
		Кам'яновугільний, 75–65
		Девонський, 60
		Силурійський, 30
		Ордовицький, 60
		Кембрійський, 70
Протерозойська (раннього життя), понад 2000	2700	
Архейська (найдавніша в історії Землі), близько 1000	Можливо, 3500	

**Розвиток життя в архейську еру.** Життя зародилось в архейську еру у воді, яка вкривала тоді весь земний простір. Перші мешканці нашої планети були гетеротрофними організмами і живились за рахунок органічних речовин абіогенного походження, розчинених у первинному океані.

Із часом у первинному океані стали вичерпуватися органічні речовини, які утворювалися в ньому абіогенним шляхом. Завдяки появі автотрофних фотосинтезуючих рослин вода і атмосфера стали збагачуватися вільним киснем. Це стало передумовою появи аеробних організмів, здатних до більш ефективного використання енергії в процесі життєдіяльності. Нагромадження кисню в атмосфері привело до утворення в верхніх шарах озонового шару, який не пропускає згубні для життя ультрафіолетові промені. Це підготувало можливість виходу життя на сушу. Поява фотосинтезуючих рослин забезпечувала можливість існування і прогресивного розвитку гетеротрофних організмів.

В еволюції органічного світу цієї ери відбулися чотири великі ароморфози: з'явилися еукаріоти, фотосинтез, статевий процес і багатоклітинні організми. Поява еукаріот була пов'язана з утворенням клітин, які мають оформлене ядро і мітохондрії. Тільки такі клітини здатні ділитися мітотично, що забезпечувало стабільність і передачу генетичного матеріалу. Це стало передумовою виникнення статевого про-

---

---

цесу. Виникнення статевого процесу зумовило появу комбінативної мінливості, яка була підтримана природним добром. Нарешті, в цю еру від колоніальних джгутикових виникли багатоклітинні організми. Виникнення статевого процесу і багатоклітинності було фундаментом подальшого прогресивного еволюційного розвитку.

**Розвиток життя в протерозойську еру.** В протерозойській ері життя продовжувало існувати переважно в морі. Панували еукаріотичні зелені водорості, існували всі типи безхребетних тварин.

Важливим ароморфозом у розвитку тварин була поява двобічної симетрії. З нею пов'язані диференціювання тіла на передній і задній кінці, спинний і черевний боки. На передньому кінці концентруються органи чуттів, нервові вузли, а в тих, що мають більш високу організацію, — головний мозок.

У цю еру в результаті ідіоадаптивних змін від найдавніших багатоклітинних, що вели повзаючий спосіб життя і тому мали двобічну симетрію, виникли плоскі і круглі черви. Завдяки новим ароморфозам і ідіоадаптаціям від якихось потомків найдавніших тварин, що мали двобічну симетрію, виникли молюски і кільчасті черви. У спорідненості з кільчастими червами знаходяться членистоногі. Також від найдавніших тварин із двобічною симетрією виникли голкошкірі і хордові, що мають між собою ряд подібних ознак, які проявляються в характері розвитку, характері утворення скелета, будові шкіри і відрізняються за цими ознаками від інших типів тварин. У протерозої з'явилися і найдавніші хордові — безчерепні. Їхній представник у сучасній фауні — ланцетник.

На суші у вологих місцях могли мешкати бактерії, синьо-зелені водорості, тварини типу найпростіших. Вони були першими ґрунтоутворювачами.

**Розвиток життя в палеозойську еру.** На початку ери в кембрійській період життя продовжувало існувати в воді. Значного поширення набули великих розмірів багатоклітинні бурі і зелені водорості. В силурійському, а можливо, ще в ордовицькому і кембрійському періодах у деяких популяціях зелених водоростей, які мешкали у водоймах, що тимчасово пересихали, в результаті ароморфозу формувалися тканини. Так виникли перші наземні рослини псилофіти, які мали невеликі розміри (до півметра), стеблоподібну наземну частину і кореневище, від якого відходили ризоїди. Існування рослин на суші вже було можливим, оскільки невеликий шар ґрунту був сформований діяльністю бактерій, синьо-зелених водоростей, найпростіших. На цей час з'явилися і гриби, які своєю життєдіяльністю сприяли ґрунтоутворенню.

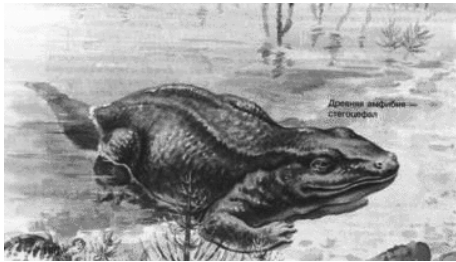
У морях кембрійського, ордовицького, силурійського періодів жили найпростіші, губки, кишковопорожнинні, членистоногі, молюски, голкошкірі, нижчі хордові. В силурійський період з'являються найбільш примітивні хребетні — круглороті, хрящові риби, пізніше — кистепері риби. Нечисленні представники їх виявлені в наш час в Індійському океані, біля берегів Африки.

Першими наземними хребетними були найдавніші земноводні стегоцефали (*мал. 4.102, 1*) — потомки кистеперих риб. Скелет плавців кистеперих подібний до скелета п'ятипалої кінцівки. У стегоцефалів, як і у сучасних земноводних яйця і личинки могли розвиватися лише у воді, тому вони змушені були жити лише поблизу водойм.

У девонський період у рослин відбувся важливий ароморфоз: з'являється корінь і листок, відбувається диференціювання тіла рослини на стебло, листок і корінь. Першими листостебловими рослинами були псилофіти (*мал. 4.102, 2*).

У девонський період від псилофітів виникли вищі спорові: плауни, хвощі, папороті. У них з'явилися добре сформовані корені, але для розмноження їм необхідна вода, в якій переміщуються чоловічі статеві клітини — сперматозоїди. Клімат кам'яновугільного періоду був теплим, вологим, атмосфера містила велику кількість вуглекислого газу. Це сприяло бурхливому розвитку папоротеподібних, це був період їхнього розквіту. Деякі хвощі досягали 30-метрової висоти. Розвиток назем-

ної рослинності сприяв формуванню ґрунту, із залишків рослинності того періоду утворилося кам'яне вугілля. В ньому виявилась ніби законсервована значна частина вуглекислого газу атмосфери. В результаті інтенсивного фотосинтезу, який здійснювався зеленими рослинами, атмосфера збагачувалась киснем.



1



2

Мал. 4.102. Стегоцефал (1), псилофіт (2)

У рослинному світі відбувся ще один ароморфоз — поява насінних папоротей. В насінні накопичувалися поживні речовини, воно мало шкірку, яка захищала від несприятливих умов. Насінним рослинам для запліднення вода не потрібна, що забезпечило їм завоювання суші.

Клімат кам'яновугільного періоду сприяв також розквіту земноводних (стегоцефалів). На суші ворогів у них ще не було, а численні черви і членистоногі, особливо павукоподібні і комахи, які жили в цей час, були кормом для земноводних. У результаті дивергенції та ідіоадаптації існувало багато видів стегоцефалів, деякі з них досягали гігантських розмірів (до 47 м завдовжки).

У кінці кам'яновугільного і особливо в пермський період клімат змінився, став сухим. Це призвело до значного вимирання папоротеподібних і земноводних. Ті ж, які вижили у вологих місцях, дали початок земноводним і папоротеподібним невеликих розмірів. Від стегоцефалів виникли не тільки земноводні, а і плазуни, які могли розмножуватися на суші. Це дозволило плазунам завоювати всі середовища існування: сушу, повітря і повторно поселитися у воді. Прогресу плазунів сприяв розвиток рогового покриву, який захищав від висихання, більш досконалий розвиток легень, кровоносної системи, кінцівок, головного мозку. Все це дає підстави визнати плазунів першими справжніми наземними хребетними.

У пермський період від насінних папоротей виникли голонасінні рослини, які дуже поширилися на суші. Це пов'язано було з тим, що з'явився новий спосіб запліднення, який не зв'язаний з водою, а формування насінини дало можливість зародкам рослин тривалий час переносити несприятливі умови. Як наслідок виниклих пристосувань насінні рослини змогли існувати не лише по вологих узбережжях, а й проникати в глибину материків.

**Розвиток життя в мезозойську еру.** Початок мезозойської ери (тріасовий і юрський періоди) був часом розквіту і панування плазунів. Деякі з них досягали гігантських розмірів з масою тіла до 20 т. Були серед них як рослиноїдні, так і м'ясоїдні. З'явилися звірозубі плазуни — предки ссавців. Перші ссавці (однопрохідні та сумчасті) відомі з тріасового періоду. Тоді ж виникли справжні костисті риби і псевдозухії — плазуни, які пересувалися лише на задніх кінцівках. Їх (псевдозухій) вважають предками птахів. Першоптах — археоптерикс — з'явився в юрський період та існував ще і в крейдовому періоді.

Поява справжніх птахів і вищих ссавців належить до крейдового періоду. Вони швидко зайняли панівне положення в типі хордових. Цьому сприяли також розвиток нервової системи, утворення умовних рефлексів, виховання потомства, а у ссавців —

---

---

живородіння і вигодовування малят молоком. Завдяки дивергенції та ідіоадаптаціям з'явилися численні ряди, роди і види ссавців і птахів.

На кінець мезозою в крейдовому періоді від голонасінних виникли покритонасінні, що пов'язано з новим ароморфозом — появою квітки, яка захищає від несприятливих факторів насінину, яка розвивається у зав'язі. У результаті дивергенції у відділі покритонасінних сформувались два класи: однодольних і дводольних, а завдяки ідіоадаптаціям у цих класах виробилися різноманітні пристосування до запилення.

У кінці мезозою з'явилися перші плацентарні ссавці (комахоїдні) і в зв'язку зі сухістю клімату розпочалося вимирання голонасінних, а, оскільки вони були кормом для багатьох плазунів, то це призвело до вимирання і плазунів.

**Розвиток органічного світу в кайнозойську еру.** В кайнозойську еру сформувались сучасні материки. Покритонасінні широко поширилися по суші у всіх кліматичних зонах, завоювали і водне середовище і нині займають панівне становище. Проте голонасінні та спорові рослини не зникли, продовжували дивергентно розвиватися і існують і зараз у вигляді численних видів.

Із безхребетних панівне положення займають комахи. Еволюція комах пов'язана з ароморфозами: поява трахейної системи дихання, яка забезпечує інтенсивний обмін речовин; виникнення членистості кінцівок і посмугованої мускулатури, яка забезпечує високу рухливість; розвиток хітинового покриву, який захищає тіло від несприятливих умов і є зовнішнім скелетом; розвиток нервової системи і органів чуттів. Все це забезпечило їм поширення у всіх середовищах існування, для життя в яких у них виникли різноманітні ідіоадаптивні зміни (в будові ротових органів, кінцівок тощо).

Із хребетних панівне положення займають птахи і ссавці. Стала температура їхнього тіла забезпечила можливість розселення практично у всіх широтах. При цьому птахи займають переважно повітряний простір, а ссавці ведуть наземний спосіб життя. Еволюція хребетних були пов'язана з поступовим від класу до класу удосконаленням всіх систем: видільної, кровоносної, нервової, досягши найбільшого розвитку в класах птахів і ссавців. Завдяки ідіоадаптаціям вони пристосувались до різних середовищ існування.

Панівний стан покритонасінних, комах, птахів і ссавців тісно взаємозв'язаний. Рослини — їжа для тварин, комахи — запилювачі багатьох квіткових рослин, птахи і ссавці сприяють їхньому розселенню.

Завдяки дивергенції в класі ссавців утворилися численні ряди. Від предків, близьких до комахоїдних, виникли примати. В антропогені сформувався сучасний клімат сучасні види рослин і тварин, з'явилась людина.

Історичний розвиток органічного світу вчені розбивають на певні проміжки часу — ери, які поділяють на періоди. Виділяють п'ять ер в історії розвитку органічного світу: архейську, протерозойську, палеозойську, мезозойську і кайнозойську.

#### Перевірте себе:

1. Які періоди виділяють в історичному розвитку органічного світу?
2. Назвіть ери та їх періоди в історії Землі.
3. Що особливого відбувалося у рослинному і тваринному світі у архейську еру?
4. Які ароморфози відбулися у протерозойській ері?
5. Які ароморфози зумовили появу земноводних та плазунів?

#### Поміркуйте:

1. Назвіть ароморфози кайнозойської ери.
2. Які причини виходу рослин на сушу?
3. Що сприяє виникненню такої різноманітності органічного світу?



**УЗАГАЛЬНЕННЯ ЗНАНЬ ІЗ ТЕМИ**  
**«ОСНОВИ ЕВОЛЮЦІЙНОГО ВЧЕННЯ. ІСТОРИЧНИЙ РОЗВИТОК**  
**І РІЗНОМАНІТНІСТЬ ОРГАНІЧНОГО СВІТУ НА ОСНОВІ ЗЗП»**

*Тематична самоперевірка знань*

**I рівень.** *Виберіть правильну відповідь.*

- Гіпотези походження життя, які ґрунтуються на тому, що жива матерія виникла з неживої:
  - біогенез;
  - абіогенез;
  - панспермія;
  - креаціонізм.
- Еволюційне перетворення, пов'язане з підвищенням рівня організації — це:
  - ароморфоз;
  - ідіоадаптація;
  - загальна дегенерація;
  - дрейф генів.
- Багатоклітинні організми виникли в еру:
  - архейську;
  - протерозойську;
  - палеозойську.

**II рівень.** *Виберіть правильну відповідь.*

- Першими наземними хребтними тваринами були:
  - псевдозухії;
  - кистепері риби;
  - ланцетник;
  - археоптерикс.
- Найбільшим ароморфозом в еволюції прокариотів було виникнення:
  - фотосинтезу;
  - статевого розмноження;
  - ядра.
- Ж.-Б. Ламарк факторами еволюції вважав:
  - природний добір;
  - боротьбу за існування;
  - мінливість організмів під впливом факторів довкілля;
  - внутрішнє прагнення організмів до прогресу.

**III рівень**

- Із чим пов'язане панівне становище покритонасінних рослин?
  - змінюю клімату;
  - адаптаціями;
  - масовим поширенням їх насіння;
  - ароморфозами.
- Прикладами ідіоадаптацій є:
  - поява квітки;
  - утворення ластів у ластоногих;
  - перетворення листків у кактусів на колючки;
  - зникнення кишечника у стьожкових червів;
  - поява щелеп у хребтних тварин.
- Виникнення людини припадає на еру:
  - мезозойську;
  - кайнозойську;
  - палеозойську;
  - протерозойську.

**IV рівень.** *Дайте відповідь на запитання*

- Які зміни відбулися у біосфері в часи протерозойської ери?
- Чим сучасні еволюційні погляди (гіпотези перерваної рівноваги та адаптивного компромісу) відрізняються від основних положень синтетичної гіпотези еволюції?
- \* Для допитливих. Змоделюйте у зошиті структурно-логічну схему, яка б об'єднувала вивчені поняття і терміни розділу.



## Різноманітність видів у природі

### УРОК У ДОВКІЛЛІ

*Мета:* спостереження за видами рослин і тварин у природі.

*Обладнання:* фотоапарати, мікроскопи, лупи, блокноти для записів.

#### Хід роботи

1. Охарактеризуйте стан довкілля, в якому Ви перебуваєте. В якому стані перебувають рослини і тварини довкола? Назвіть відомі вам види рослин і тварин.
2. Проведіть спостереження за рослинами. Опишіть види вищих спорових рослин, їх життєвий цикл. Запишіть види покритонасінних рослин, яких Ви зустріли. Які пристосування у них до умов існування?
3. Проведіть спостереження у довкіллі за тваринами. Які види тварин Ви зустріли? До яких систематичних типів та класів вони належать? Які пристосування у цих видів до умов існування?
4. Охарактеризуйте екосистему, яку досліджуєте. Спробуйте побудувати схему ланцюгів живлення між її складовими компонентами.
5. Спостереження за взаємовідносинами між організмами у екосистемі. Які типи взаємовідносин між організмами зустріли? Охарактеризуйте їх.
6. Сфотографуйте види рослин і тварин даної екосистеми.

## УЗАГАЛЬНЕННЯ БІОЛОГО-ЕКОЛОГІЧНОГО МОДУЛЯ 11 КЛАСУ

### Тематична самоперевірка знань

#### **I рівень. Виберіть правильну відповідь.**

1. Розмноження рослин виводковими бруньками — це приклад розмноження:  
а) нестатевого; в) вегетативного;  
б) статевого; г) партеногенетичного.
2. Властивість організмів набувати нових ознак та їхніх станів у процесі індивідуального розмноження називають:  
а) спадковістю; в) розмноженням;  
б) мінливістю; г) саморегуляцією.
3. Організм, у якому генетичний матеріал змінений за допомогою штучних прийомів перенесення генів, які не відбуваються у природних умовах, називають:  
а) трансгенним; в) гібридом;  
б) мутантом; г) геномним.

#### **II рівень. Виберіть правильну відповідь.**

1. Схрещування форм організмів, при якому простежується успадкування за двома парами алелей називають:  
а) моногібридним; в) полігібридним;  
б) дигібридним;
2. Модифікаційна мінливість належить до мінливості:  
а) спадкової; б) неспадкової.
3. Продукентами у екосистемах виступають:  
а) зелені рослини; в) хижі тварини;  
б) тварини рослиноїдні; г) мікроорганізми.

#### **III рівень**

1. Елементарною структурною одиницею виду є:  
а) екосистема; в) популяція;  
б) підвид; г) особини.

2. Подібність одних тварин чи рослин до предметів навколишнього середовища називають?

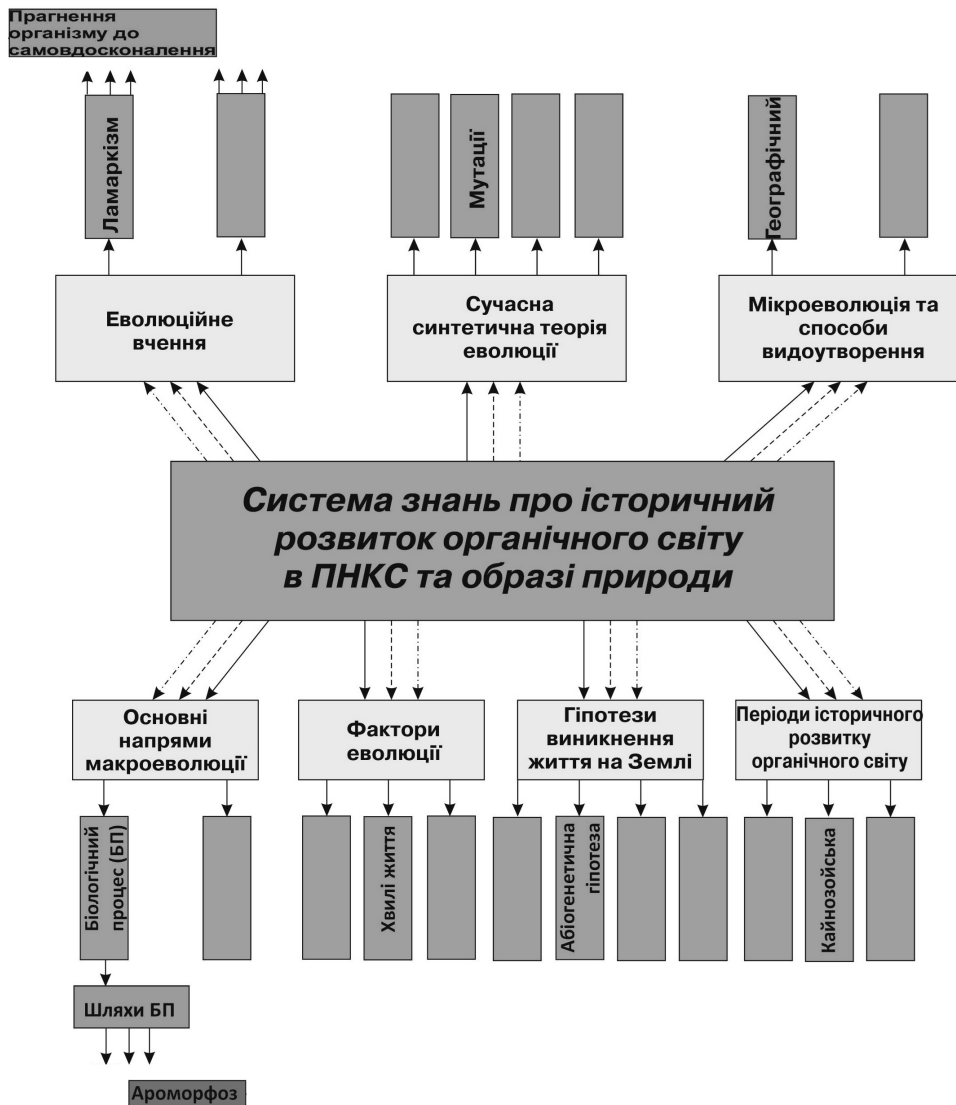
- а) мутація;
- б) мімікрія;
- в) дивергенція;
- г) адаптація.

3. Еволюційні зміни, які призводять до спрощення організації організму, називають:

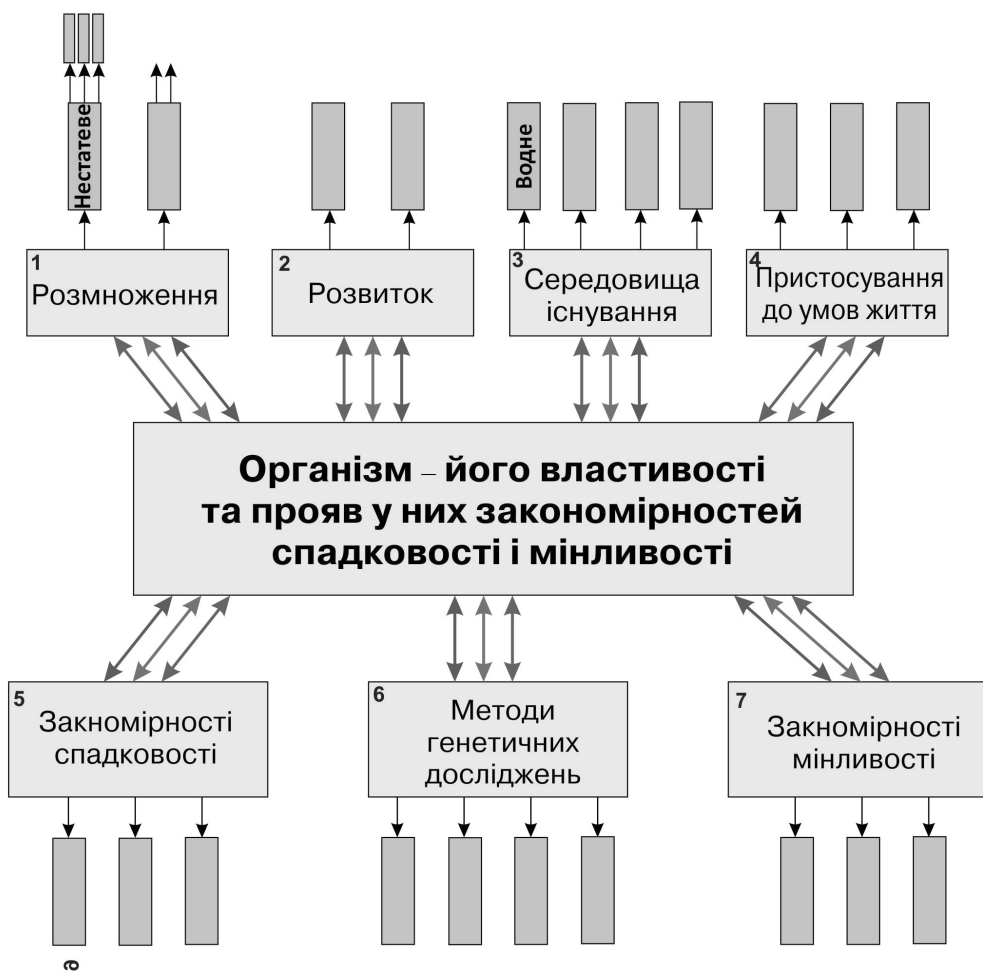
- а) дегенерація;
- б) ідіоадаптація;
- в) ароморфоз.

**IV рівень. Дайте відповідь на запитання**

1. Назвіть закони спадковості Менделя.
2. Що таке мутації? Які їх причини та різновидності?
3. \* Для допитливих. Змоделуйте у зошиті структурно-логічну схему, яка б об'єднувала вивчені поняття і терміни розділу.



Мал. 4.103. Варіант СЛС до розділу «Історичний розвиток органічного світу»



- > Закономірність спрямованості самочинних процесів
- > Закономірність збереження процесів
- > Закономірність періодичності процесів

Мал. 4.104. Варіант структурно-логічної схеми  
«Узагальнення вивченого з біолого-екологічного модуля»



## 5. УЗАГАЛЬНЕННЯ ЗНАНЬ

### § 1. Еволюція природничо-наукової картини світу

Не одні ви намагаєтесь створити цілісну систему знань про світ. До цього прагнули вчені з давніх давен.

Якщо ви повернетесь до першого — загально-природничого модуля, то прийдете до висновку, що кожен із стародавніх вчених по-своєму шукав основу об'єднання знань про світ в цілісність. Фалес першоосною 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 першоосною 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 першоосною 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. Ці думки вам вже знайомі — адже в 5-му класі ви пояснювали, чому вивчаєте комплекси знань про навколишній світ — повітря, воду, «землю», «вогонь».

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. Вони і є тим суцям, тією першоосною, 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. 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 реальності? 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. Якщо відповідно до механістичної картини світу він уявлявся величезним механізмом, у якому кожному об'єкту (планеті чи людині) відповідає повністю накреслений шлях і змінити його неможливо, то згідно із сучасними уявленнями у світі поряд із закономірними існують випадкові події, які також підпорядковані законам. Ці закони 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 напрямком самочинних процесів.

Сучасні вчені користуються імовірнісним, системним, структурним, модельним підходами до пояснення світу природи. (Чи навчилися ви користуватись цими підходами?)



### Перевірте себе

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. Які закономірності лежать в основі природничо-наукової картини світу, що формувалася в учнів впродовж навчання в школі?

### Поміркуйте

1. Використавши зміст першого модуля, складіть схему еволюції природничо-наукової картини світу випускника, вказавши на кожному етапі «першооснови речей».
2. З якої картини світу, на вашу думку, бере початок астрологія, гороскопи?
3. Назвіть еволюційні ідеї в сучасній астрономії, біології, хімії, фізиці. Як вони підтверджують еволюцію наукової картини світу?
4. Що на вашу думку, залишиться з основ сучасної наукової картини світу в основах наукової картини світу в майбутньому?

### Подискутуйте

1. Чи може бути фізична, хімічна, біологічна картина світу? (Підказка: Використовуйте означення «світу» як сфери прояву тотально діючих на всі об'єкти світу закономірностей).
2. Як у природничо-науковій картині світу пов'язані цілісності знань з окремих модулів?

## § 2. Готуємось до інтегративного дня з природознавства

*Природознавство* — система наук про природу. В цій системі кожна наука відіграє певну роль. Вона нерозривно пов'язана з усіма іншими науками, як кожен орган в організмі з іншими органами.

Світ природи єдиний і неподільний, все в ньому взаємообумовлене. Щоб легше було його вивчати, люди розділили знання про природу на окремі науки. Але при глибокому вивченні науки ніби проростають одна в другу, становлячи цілісну систему знань.

Предметом вивчення природознавства є форми існування матерії та форми її руху. Матерія — безмежна множина всіх існуючих явищ, об'єктів і систем. Матерія — це те, що оточує нас, і ми з вами в тому числі. Матерія може існувати в двох формах — речовини і поля. Вони пов'язані між собою і можуть перетворюватись одна в одну. З системами навколишнього світу, з формами існування речовини весь час відбуваються зміни — вони перебувають у русі.

В природознавстві розрізняють такі основні форми руху матерії: механічна, фізична, хімічна, біологічна. Механічна та фізична — найбільш прості і найбільш загальні форми руху матерії. Їх вивчає наука фізика, яка, в свою чергу, поділяється на багато фізичних дисциплін. Хімічну форму руху матерії вивчає хімія, біологічну — біологія. До важливих природничих наук належать астрономія та географія, які дають людині знання про космос та Землю.

Ми багато разів вживаємо слово «наука». А що воно означає? Ще з XVII століття під наукою розуміли систему знань, яка утворюється за допомогою законів — суттєвих, об'єктивних зв'язків явищ, об'єктів природи. Центральним пунктом кожної науки, навколо якого систематизуються знання, є закони цієї науки. Науковими є ті знання, які пояснюються, обґрунтовуються за допомогою законів.

---

---

Закінчуючи вивчення природознавства, ви, напевно, переконалися, що основою його є фізика, а загальні закономірності природи — збереження, направленості процесів до рівноважного стану, періодичності процесів у природі, найбільше проявляються під час вивчення фізико-астрономічного модуля.

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.

Фізика — основа технічного прогресу. Якби явища чи закони природи ми не пояснювали, глибинний рівень пояснення їх фізичний. Фізика — лідер сучасного природознавства.

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.

Хімія вивчає перетворення, які пов'язані зі змінами в зовнішніх електронних оболонках атомів; внутрішні оболонки і атомні ядра змін при цьому не зазнають. Перетворення ядер, ядерні реакції — це область дослідження фізики.

В сферу дії хімічної науки включають більше 110 хімічних елементів, які існують у природі чи одержані штучно, і декілька мільйонів хімічних сполук. Кількість їх весь час збільшується, перелічити їх неможливо. Це різноманітні ліки, фарби, добрива, кислоти, спирти, мило, есенції, штучні тканини, пластмаси...

Ми не можемо собі уявити нашого життя без побутової хімії, без всіх тих речовин, які зроблені з штучно виготовлених матеріалів.

Перші відомості про хімічні перетворення відносяться до дуже давніх часів, коли ще не було поняття хімічного елементу. Вважалося, що все створюється з чотирьох «стихий» (вогню, води, повітря, землі) і по закінченню свого існування знову перетворюється в ці «стихий».

Проте з часом накопичувалися факти, що лягли в основу практичної хімії, яка ще не була наукою в повному значенні цього слова, бо не мала своїх законів.

Біологія — це наука про життя, про організми, які живуть на Землі. «Біос» грецькою означає життя, «логос» — наука.

Предметом вивчення біології є царства живої природи: рослини, тварини, бактерії, гриби, віруси.

Що ми бачимо в доквіллі? В більшості це живі організми або предмети, виготовлені з них. Те, що ви їсте, — це продукти переробки рослин і тварин. Те, чому ви радієте, чим живете, — іде від живого. Життя є всюди — у водах річок, озер, морів, океанів, у повітрі та в ґрунті, на неприступних голих скелях, у льодовитих просторах Арктики і Антарктики. І скрізь є люди, що вивчають живі організми. Вони займаються біологією.

Біологія — багатогалузева наука. До біологічних наук належать ботаніка — наука про рослини. Грецьке слово «ботане» означає зелень, трава, рослина. Король ботаніки, геній Скандинавії Карл Лінней (1707–1778) присвятив вивченню рослин своє життя і вважав себе щасливою людиною.



Зоологія — одна з найцікавіших біологічних дисциплін. «Зоо» грецькою означає тварина, «логос» — наука. Вивчення тварин іноді приносить не тільки насолоду, але і світове визнання.

Жан Фабр (1823–1915) зацікавився особливостями поведінки комах ще хлопчиком. Пізніше, працюючи вчителем біології, він серйозно зайнявся вивченням життя комах і став одним з найвідоміших спеціалістів у цій галузі. Французька академія наук довго не визнавала його творів, але його книги про ос, бджіл, цвіркунів, мурашок читались як детективні романи. Не визнати цих робіт було неможливо. Коли Фабру було вже понад 90 років, академіки запросили його на засідання академії. Фабр відмовився. Академіки були змушені приїхати до нього, на його пустир, де жили ті, хто приніс йому світову славу, — оси, бджоли, цвіркуні. Там же провели засідання академії і проголосили Жана Фабра академіком...

Генетика — наука про закони спадковості, одна з передових, найцікавіших біологічних наук.

А ще до біологічних наук належать фізіологія, палеонтологія, мікробіологія та ін.

Астрономія — наука про будову і розвиток Всесвіту. Це одна з найдавніших і найцікавіших наук (чи маєте ви докази цьому твердженню).

### Робота в групах

1. Випишіть в зошит основні, на вашу думку, знання з фізико-астрономічного модуля, класифікуйте їх, наприклад, за такими ознаками: поняття; закони і закономірності, їх математичний вираз; явища; факти; застосування знань. Співставте виокремлені вами елементи знань з виділеними вашими товаришами по групі. Які, на вашу думку, необхідні знання для розуміння того, що відбувається навколо вас в довкіллі, ви чи ваші товариші не включили в «основні знання»? Подискутуйте.
2. Те ж саме виконайте для хімічного, біологічно-екологічного модулів.

### Домашнє завдання.

Використавши *мал. 1.6* та виділені основні знання з курсу природознавства, змодельуйте свій образ природи. Прикрасьте його малюнками, фото (в тому числі, з інтернету). Подумайте, який символ вашого образу природи.

Наводимо приклади символів образу природи випускників шкіл, де вивчався інтегрований курс природознавства.

На своєму образі природи покажіть обраний вами символ. Символи виражають духовність людини, суспільства. Ви знаєте, що означає тризуб (сокіл, що прямує на ціль), прапор України. Розгляньте декілька символів образів природи випускників, що вивчали інтегрований курс «Природознавство», пояснення їх.



Символ мого образу природи Вовк

У вовків дуже сильно розвинутий інстинкт збереження виду. Їх неможливо заставити виконувати чужу волю. Я не чув про вовків, які служать в цирку. Про таких людей писав Омар Хайям.

Якщо одним коржем я можу два дні жити  
І пити з черепка, що на землі лежить, —  
Навіщо меншому за себе підклонятись,  
Навіщо наймитом у рівного служить?





Символ ... дятел

Невтомний санітар природи від шкідників. Як сама природа.

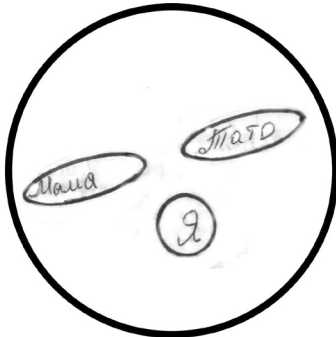


Символ ... кіт

Коти згідно народних звичаїв — обереги оселі, землі, людства.

Золотий кіт — вічний, нетлінний оберег людини, природи.

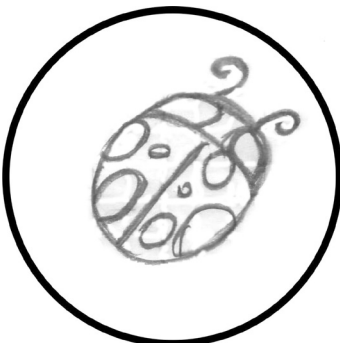
Символ ... сім'я.



Символ ... сім'я

Основа суспільства — сім'я. Це оберег довкілля, роду, народу.

Сім я — я, тато, мама, дві бабусі, два дідусі, які берегли звичаї і передали мені, як оберігати природу, рід.



Символ ... сонечко

Образ, який я хотіла би розкрити, показати, який гармонізує з природою — це божа корівка або сонечко. Ця комаха свята, бо в неї на спинці сім темних плямок (святе число!), як сім кольорів веселки, як сім днів у тижні. Її не можна не тільки вбивати, а й навіть образати, бо вона є зв'язком між людьми і Небом: передає Богу людські прохання, а людям — повідомлення про врожай, про радість й прикрощі їх життя. Отже, посягнути на «Божу корівку» — Сонечко — це посягнути або й розірвати свій зв'язок з Небом.

Рух «Божої корівки» тільки вгору, до неба: як би ми не повертали стеблину чи свій палець, де вона сидить, рухається ця комаха тільки вверх.





Символ ... «бутерброд»



Символ ... людина

Природа — система систем. В ній все зв'язано єдиними закономірностями. В суспільстві текст є системи, але зв'язки між ними не єдині.

Мій символ природи — бутерброд, тому що різноманітні природні системи, процеси в них взаємозв'язані, один без одного не можуть бути корисними.

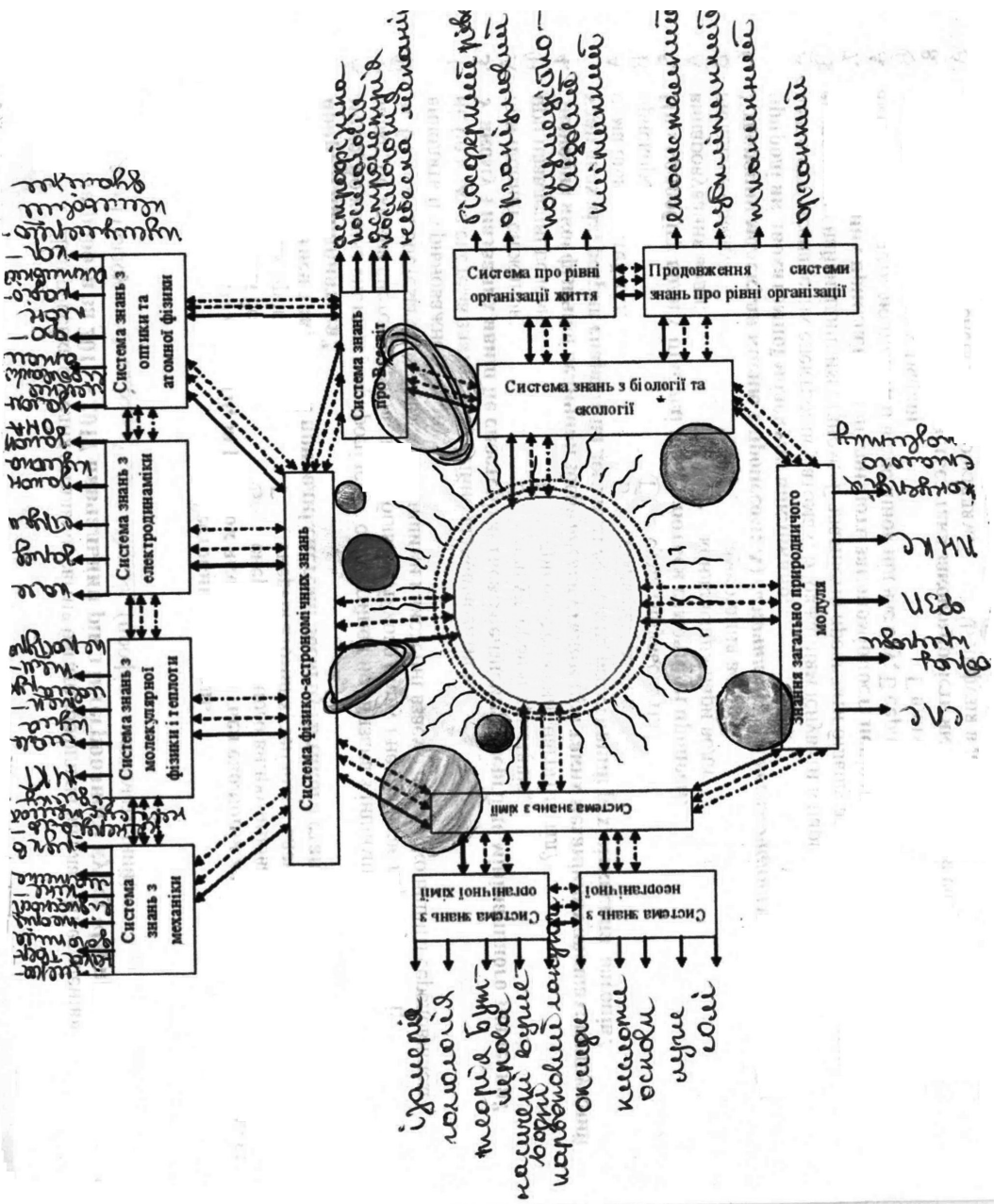
Природа — гармонійна система. А людина створила свій устрій не за подібною схемою, а як групи систем, у які людина попадає після свого народження. Такі групи систем у суспільному «бутерброді» перетворюють людину у біомасу, якою керують ті, хто створив таку систему.

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 покоління!

*Винокур Богдан*

Серед символів понад сотні образів не знайшлося двох однакових. Бо, як вважає Богдана, Природа всіх наділила потрібним тільки йому.

Користуйтесь гідно подарунком Природи і будьмо гідними заповіді Григорія Сковороди: «Пізнай природу, пізнай свій народ, пізнай себе». З ким твоя спорідненість у світі...



**НАВЧАЛЬНЕ ВИДАННЯ**

**Ільченко Віра Романівна  
Гуз Костянтин Жоржович  
Ільченко Олексій Георгійович  
Гринюк Оксана Сергіївна  
Ляшенко Андрій Хомич**

# **ПРИРОДОЗНАВСТВО-11**

*Підручник для 11 класу загальноосвітніх  
навчальних закладів*

Верстка Штефан Ю. В.  
Обкладинка Лук'яненко Л. П.

Підписано до друку \_\_. \_\_. \_\_\_\_ р. Формат 70x100 1/16  
Гарнітура Newton. Друк. офсетний. Папір офсетний.  
Ум. друк. арк. 26  
Наклад 300 пр.

Віддруковано у ТОВ «КОНВІ ПРІНТ».  
03680, м. Київ, вул. Антона Цедіка, 12  
тел. +38044 332-84-73.

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи  
до Державного реєстру видавців, виготовлювачів і розповсюджувачів  
видавничої продукції серія ДК № 6115, від 29.03.2018 р.