

**Л. П. Величко**

# Хімія

Профільний рівень

Підручник для 10 класу  
закладів загальної середньої освіти

*Рекомендовано Міністерством освіти і науки України*

Київ  
«Школяр»  
2018

УДК 54(075.3)  
В27

*Рекомендовано Міністерством освіти і науки України  
(наказ Міністерства освіти і науки України від 31.05.2018. № 551)*

**ВИДАНО ЗА РАХУНОК ДЕРЖАВНИХ КОШТІВ. ПРОДАЖ ЗАБОРОНЕНО**

**Величко Л. П.**  
В27 **Хімія** : підруч. для 10 кл. закладів загальної середньої освіти: профіл. рівень / Л. П. Величко. — К. : Школяр, 2018. — 296 с. : іл.

ISBN 978-966-1650-56-4

УДК 54(075.3)

ISBN 978-966-1650-56-4

© Величко Л. П., 2018  
© УВЦ «Школяр», 2018  
© УВЦ «Школяр», художнє оформлення, 2018

## До учнів

У 10 класі триватиме вивчення органічної хімії.

Ви вже знаєте, що серед сполук різних елементів окрему групу становлять ті, що утворені Карбоном, — так звані *органічні сполуки*. З найважливішими з них ви ознайомилися в попередніх класах, а докладно вивчити органічні речовини в усій їхній багатоманітності зможете в окремому розділі **органічної хімії**. Цей підручник відкриє багато нового, досі невідомого про природні й синтетичні сполуки, із яких виготовлено ваш одяг, які ви вживаєте в їжу, які вас обігрівують і лікують, з яких, зрештою, побудовано ваш організм.

Зміст кожної наступної теми і кожного наступного параграфу підручника ґрунтується на змісті попередніх. Намагайтеся зрозуміти логіку органічної хімії — і ви легко засвоїте навіть найскладніший матеріал. А знання залежності властивостей органічних речовин від їхніх складу та будови дадуть вам змогу не лише пояснювати ці властивості, а й передбачати їх.

У вивченні хімії вам допоможе структура підручника. Фактичний матеріал про органічні сполуки викладається в рубриках: *Склад і будова молекул*, *Фізичні властивості*, *Хімічні властивості*, *Застосування*, *Добування*. Матеріал про хімічні властивості як найважливіший подано в зручному вигляді: рівняння хімічних реакцій речовин згруповано в одному місці, а пояснення цих реакцій наведено паралельно.

Кожна тема закінчується висновками, в яких узагальнено основний, найважливіший матеріал. Наприкінці параграфів наведено завдання, за допомогою яких ви можете перевірити свої знання і розуміння вивченого. Не лінуйтеся робити це систематично — і успіх у навчанні забезпечений. Не хешуйте також запитаннями, уміщеними в тексті параграфів.

Навички експериментування ви зможете розвинути, виконуючи різноманітні хімічні досліди. Прописи лабораторних робіт наведено в тексті параграфів, а практичних робіт — наприкінці підручника.

Сподіваємося, що вивчення органічної хімії буде для вас цікавим і корисним.

Успіхів вам!

*Авторка*

# ОРГАНІЧНА ХІМІЯ

## § 1. ПОВТОРЕННЯ ОСНОВНИХ ВІДОМОСТЕЙ ПРО ОРГАНІЧНІ СПОЛУКИ

Поновіть свої знання про органічні речовини та виконайте завдання.

- **Органічна хімія вивчає сполуки Карбону.**
  1. Наведіть приклади (формули, назви) органічних речовин.
  2. Які інші елементи можуть входити до складу органічних речовин? Наведіть приклади (формули, назви) таких речовин.
- **Атоми Карбону здатні сполучатися між собою в ланцюги й утворювати молекули різноманітної форми.**
  3. Чому, на вашу думку, кількість органічних речовин значно перевищує кількість неорганічних речовин? Відповідь поясніть.
- **Характерні ознаки органічних речовин: ковалентні зв'язки, молекулярні кристалічні ґратки, низька термостійкість, горючість, погана розчинність у воді.**
  4. Поясніть, чим різняться між собою органічні й неорганічні речовини.
  5. Складіть порівняльну таблицю неорганічних і органічних речовин за відомими вам ознаками.
- **Органічні сполуки становлять основу рослинних і тваринних організмів, із них виробляють харчові продукти, папір, тканини, барвники, ліки, косметичні засоби, пластмаси, пальне тощо.**
  6. Укажіть перелік продуктів лише органічного походження.  
А капрон, метан, сірка, цемент

- Б каучук, капрон, поліетилен, соняшникова олія  
В вовна, целюлоза, гас, амоніак  
Г ацетилен (етин), нафтален, вольфрам, оцтова кислота
7. Укажіть предмети, що їх виготовлено з матеріалів органічного походження.
- А книжка                                  Д підшва кросівок  
Б грифель олівця                      Е джинси  
В кулька кулькової ручки        Є водопровідний кран  
Г хімічний стакан
8. Назвіть інші предмети, які, на вашу думку, виготовлено з органічних речовин.
9. Поміркуйте, як змінилася б ваша класна кімната (кабінет хімії), якби зникли всі матеріали органічного походження.
10. Установіть відповідність між речовиною та її застосуванням:

Назва речовини	Застосування речовини
1 етилен (етен)	А добавка до пального
2 гліцерин (гліцерол)	Б зварювання металу
3 етиловий спирт (етанол)	В ароматизатор мила
4 етиловий естер етанової кислоти (етилетаноат)	Г засіб пом'якшення пряжі та шкіри
	Д сировина для виробництва полімеру

- **Органічні речовини добувають із природної сировини, а також шляхом синтезу з інших органічних і неорганічних речовин.**
  11. Наведіть приклади природних і синтетичних органічних речовин.
  12. Наведіть приклади взаємних перетворень органічних речовин.
- **Поділ на органічні й неорганічні речовини є умовним.**
  13. Поясніть відносність поділу речовин на органічні й неорганічні, а також умовність терміна «органічна хімія».
  14. Наведіть приклади колообігу хімічних елементів у природі. Який висновок можна зробити щодо взаємозв'язку неорганічних і органічних речовин?
  15. Наведіть власний приклад взаємозв'язку неорганічних і органічних речовин.
- **Метан — найпростіша органічна сполука.**
  16. Складіть молекулярні й структурні формули метану та його хлоропохідних.
  17. Що означає риска у структурній формулі?
  18. Складіть розповідь про застосування метану та його хлоропохідних.
- **Гомологи метану належать до групи насичених вуглеводнів.**
  19. Що таке гомологи? Наведіть приклади (формули, назви) гомологів метану.

20. Укажіть пропущені слова: бутан, пентан, ..., ..., октан.  
**А** нонан, декан                      **В** гексан, гептан  
**Б** пропан, гексан                      **Г** гексан, пропан
21. Укажіть спільні ознаки гомологів метану.  
**А** якісний склад                      **В** фізичні властивості  
**Б** кількісний склад                      **Г** хімічні властивості
22. Укажіть відмінну ознаку гомологів метану.  
**А** наявність у молекулах атомів Карбону й Гідрогену  
**Б** температури плавлення  
**В** ковалентні зв'язки між атомами  
**Г** хімічні властивості
23. Укажіть характеристику, що стосується гомологів метану.  
**А** молекулярна будова                      **В** негорючість  
**Б** розчинність у воді                      **Г** мало поширені в природі
- **У результаті повного окиснення органічних сполук утворюються вуглекислий газ і вода.**  
 24. Складіть рівняння реакцій горіння метану й етину (ацетилену). Де використовують ці реакції?
  - **Як насичений вуглеводень метан вступає в реакцію заміщення з хлором.**  
 25. Складіть рівняння послідовного заміщення атомів Гідрогену в метані на атоми Хлору.
  - **Як ненасичені вуглеводні етен і етин вступають у реакції приєднання з воднем і бромом.**  
 26. Складіть рівняння реакцій приєднання водню і броду до етину й етену.
  - **Молекули спиртів можуть містити одну, дві, три й більше гідроксильних груп.**  
 27. Наведіть приклади (формули, назви) відомих вам спиртів.
  - **Етанова (оцтова) кислота за деякими хімічними властивостями подібна до неорганічних кислот.**  
 28. Складіть рівняння реакцій, що підтверджують це.
  - **Крохмаль, целюлоза, білки — природні полімери.**  
 29. Схарактеризуйте біологічне значення цих сполук.
  - **Поліетилен — синтетичний полімер.**  
 30. Розкажіть про використання поліетилену.  
 31. Установіть відповідність між змістом лівої і правої колонок.  

<i>Характеристика речовини</i>	<i>Назва речовини</i>
<b>1</b> природний полімер	<b>А</b> вуглекислий газ
<b>2</b> продукт згоряння	<b>Б</b> метан
<b>3</b> найпростіша органічна сполука	<b>В</b> сечовина
<b>4</b> продукт білкового обміну	<b>Г</b> білок
	<b>Д</b> глюкоза



# Теорія будови органічних сполук

## Нові поняття й терміни:

хімічна будова, теорія хімічної будови, віталістична теорія, ізомерія, взаємний вплив атомів у молекулі.



## § 2.3 ІСТОРІЇ ОРГАНІЧНОЇ ХІМІЇ

Як самостійна галузь хімічної науки органічна хімія виникла на початку XIX ст. У 1808 р. шведський учений Я. Берцеліус запропонував цю назву, що походить від слова *організм*. Органічними, на відміну від неорганічних (мінеральних), називали речовини, добуті з рослинних і тваринних організмів. На той час уже було з'ясовано, що всі ці речовини містять Карбон.

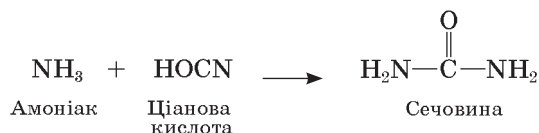
**Перші синтези органічних речовин.** Нині кожному знайоме словосполучення *синтетичні речовини*, кожен їх використовує. Проте так було не завжди, шлях, який пройшла органічна хімія від вивчення природних органічних речовин до їх синтезу, був досить довгим. Ще на початку XIX ст. жоден учений не міг припустити можливість утворення органічної речовини *in vitro* (лат. у склі, пробірці). Уважалося, що органічні речовини можна виділяти з продуктів рослинного й тваринного походження, вивчати їх у готовому вигляді, але добути в лабораторії з інших речовин, тобто хімічним способом, неможливо. Згідно з віталістичною теорією, що панувала на той час у хімії, органічні речовини можуть утворюватися лише в живих організмах під впливом «життєвої сили» (від лат. *vis vitalis* — життєва сила). Такі погляди гальмували розвиток органічної хімії, і до середини XIX ст. синтетичні методи в цій галузі не розвивалися.



Німецький хімік, професор Геттингенського університету. Працював у галузі органічної та неорганічної хімії. Синтезував низку органічних сполук, установив їхні формули. Уперше синтезував природну органічну речовину — сечовину з неорганічних речовин.

**Фрідріх Велер**  
(1800–1882)

У 1828 р. німецький хімік Ф. Велер повідомив, що добув органічну речовину — сечовину з неорганічних речовин за такою реакцією:



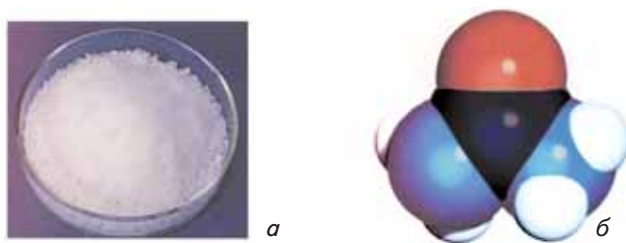
Сечовина належить до речовин тваринного походження і є продуктом білкового обміну в організмі (мал. 1, 2). У листі до Берцеліуса Велер написав, що може робити сечовину, не потребуючи для цього ні нирок, ні живої істоти взагалі — чи то людини, чи собаки. Це повідомлення стало науковою сенсацією.

Наведену реакцію вважають першим в історії хімії синтезом органічної речовини, хоча слово *синтез* щодо органічних сполук уперше увів у 1845 р. німецький хімік А. Кольбе. Того року він синтезував оцтову кислоту.

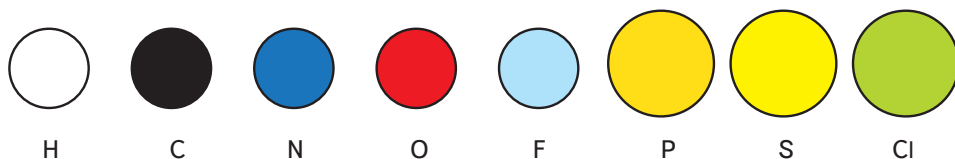
У 1854 р. французький учений М. Бертло вперше синтезував жироподібну речовину, а в 1861 р. російський учений О. М. Бутлеров — цукристу речовину. Серед авторів перших синтезів органічних речовин є й український учений, академік Іван Якович Горбачевський. У 1882 р. він синтезував сечову (уреатну) кислоту. Ця сполука є кінцевим продуктом обміну білків у деяких плазунів і птахів.

Першими синтезами органічних сполук було доведено принципову можливість їх добування в лабораторіях, а надалі — й у промислових умовах. Це був початок широкого поступу органічної хімії, що триває й донині.

Українські вчені зробили вагомий внесок у розвиток органічної хімії. Усьому науковому світові відомі імена С. М. Реформатського (1854—1936), І. Я. Горбачевського (1854—1942), М. І. Коновалова (1858—1906),

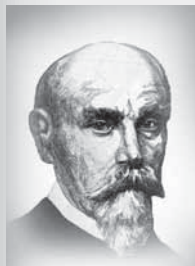


Мал. 1. Сечовина: а — кристали; б — масштабна модель молекули



Мал. 2. Атоми різних елементів у моделях молекул прийнято позначати різними кольорами





**Іван Якович  
Горбачевський  
(1854—1942)**

Український учений, академік. Народився в Україні, працював у Відні, Празі, професор, ректор Українського вільного університету в Празі. Наукові праці стосуються органічної хімії та біохімії. Вперше синтезував сечову кислоту і з'ясував шляхи її утворення в організмі. Висловив думку про амінокислотний склад білків. Уперше виділив чисті нуклеїнові кислоти із тваринних організмів. Зробив внесок у розвиток української наукової термінології. Автор підручників хімії українською мовою.

А. І. Кіпріанова (1896—1972), Є. О. Шилова (1893—1970), О. В. Кірсанова (1902—1992). Докладніше про цих учених ви дізнаєтеся під час подальшого вивчення органічної хімії.



### Завдання для самоконтролю

1. Чи можна стверджувати, що органічна хімія належить до молодих наук порівняно з астрономією, ботанікою, інформатикою, генетикою.
2. Хто й коли вперше синтезував органічну речовину?
3. Схарактеризуйте значення перших синтезів органічних речовин для розвитку органічної хімії.



## § 3. ТЕОРІЯ ХІМІЧНОЇ БУДОВИ ОРГАНІЧНИХ СПЛУК

**Теорія — вища форма наукових знань.** Наука як система знань із певної галузі відображає дійсність у різних формах і на різних рівнях. До емпіричного (від гр. *ἐμπειρία* — досвід) рівня пізнання належать спостереження, експеримент, опис, які й ви використовуєте під час лабораторних досліджень. На теоретичному (від гр. *θεωρία* — розгляд, дослідження) рівні відбуваються узагальнення й пояснення того, що спостерігається, розкриття внутрішніх взаємозв'язків явищ.

Із курсів фізики, біології, математики вам відомі різні форми вираження наукових знань: теорії, закони, правила, аксіоми, постулати тощо. Теорія є вищою, найскладнішою та найдосконалішою формою наукового знання. До її складу можуть входити і закон, і правила, і принципи, вона передбачає наявність наслідків. Наприклад, в основі теорії відносності лежить прин-

цип відносності, а наслідком, що випливає з цієї теорії, є сповільнення плину подій у разі швидкостей, наближених до швидкості світла.

За означенням, *теорія є системою основних ідей у певній галузі знань*. Такі ідеї в галузі органічної хімії в 1861 р. висловив видатний російський учений О. М. Бутлеров. Але цьому передувало багато інших подій.

**Передумови створення теорії хімічної будови.** У першій половині ХІХ ст. органічна хімія розвивалася емпіричним шляхом, тобто накопичувалися експериментальні факти, отримані під час виділення органічних речовин і вивчення їхнього кількісного і якісного складу, фізичних і хімічних властивостей. Як вам уже відомо з курсів біології та неорганічної хімії, сукупність наукових фактів на певному етапі потребує їх упорядкування за певними ознаками, або класифікації. Такі спроби робилися і щодо органічних сполук.

Першою теорією, що спробувала впорядкувати відомості про органічні сполуки, була *теорія радикалів*. Згідно з цією теорією до складу органічних речовин входять групи атомів (радикалів), що під час перебігу реакцій переміщуються від однієї сполуки до іншої. Згідно з іншою теорією, а саме *теорією типів*, органічні сполуки розглядали як похідні «типових» неорганічних сполук — амоніаку, води, гідроген хлориду тощо.

Ці теорії, хоча й систематизували фактичний матеріал і були прогресивними для свого часу, проіснували недовго, оскільки об'єктивно не пояснювали нові дослідні дані. Зокрема, стали відомі сполуки, що мають той самий хімічний склад, але різні властивості (так звані *ізомери*). Тогочасні теорії не давали відповіді на причину цього явища.

До того ж серед учених не було єдності щодо написання формул сполук, а дехто вважав неможливим «групувати атоми на площині паперу». Наприклад, для оцтової кислоти пропонували понад десяти формул.

У середині ХІХ ст. в органічній хімії виникли суперечності між накопиченими фактами й теоретичними уявленнями, на основі яких можна було б пояснити ці факти. У 1835 р. Ф. Велер писав: «Органічна хімія може нині кого завгодно позбавити здорового глузду. Вона здається мені дрімучим лісом, повним дивних речей, безмежною хащею, з якої неможливо вибратися, куди не насмілишся проникнути».

Схарактеризуйте ситуацію, що склалася в неорганічній хімії напередодні відкриття Періодичного закону, і порівняйте її з описаною ситуацією в органічній хімії.

Важливим кроком у розвитку теоретичних уявлень у хімії було створення вчення про валентність (Е. Франкленд, 1852 р.) і визначення валентності низки елементів. Було висловлено думку про чотиривалентність атомів Карбону та їхню здатність сполучатися між собою з утворенням ланцюгів (А. Кекуле, А. Купер, 1857—1858 рр.).

Цікаво, що в хімічній науці на той час ще не було чітко визначено поняття атома і молекули. Лише після Міжнародного з'їзду хіміків у 1860 р. ці поняття остаточно увійшли в науку. Усе це створило передумови для появи нової теорії в органічній хімії.

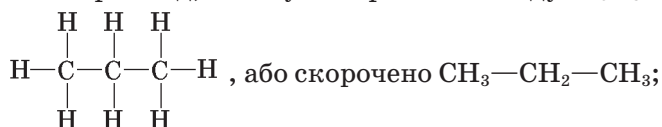
**Теорія хімічної будови органічних сполук О. М. Бутлерова.** Як засвідчує історія науки, для створення теорії недостатньо одних лише передумов. Потрібні нові ідеї, на основі яких можна будувати цілісну теорію. Які ж наукові ідеї було покладено в основу нової теорії її автором — О. М. Бутлеровим?

Учений висловив думку про те, що кожній речовині притаманна своя **хімічна будова**. За Бутлеровим, хімічна будова — це «спосіб взаємного сполучення атомів у складному тілі», або, сучасною мовою, послідовність (порядок) сполучення атомів у молекулі.

Наявність хімічної будови означає, що атоми в молекулі розміщені не безладно, а в певному порядку згідно з їх валентністю.

Хімічну будову речовини можна зобразити за допомогою *структурної формули*, або *формули будови*. Пригадаймо структурні формули органічних речовин, які ви вивчали в курсі хімії 9 класу.

Наприклад, сполука пропан складу  $C_3H_8$  має структурну формулу



оцтова кислота складу  $C_2H_4O_2$  —  $\begin{array}{c} \text{H} & \text{O} \\ | & // \\ \text{H}-\text{C}-\text{C} \\ | & | \\ \text{H} & \text{O}-\text{H} \end{array}$ , або скорочено  $\text{CH}_3-\text{COOH}$ .

Хімічну будову можна встановити на основі хімічних перетворень речовини. Визначення того, які атоми, скільки їх і в якій послідовності вони сполучені між собою, тобто, визначення хімічного складу й хімічної будови — це перші кроки в дослідженні будь-якої речовини.

Теорія хімічної будови стверджує також наявність **взаємного впливу атомів у молекулі**. Розглянемо це явище на прикладі відомих вам неорганічних речовин води  $H_2O$  і гідроген хлориду  $HCl$ , а також органічної — метану  $CH_4$ . Усі вони містять елемент Гідроген, однак він виявляє різні властивості: у гідроген хлориді легко заміщується на металічний елемент, у воді заміщується лише на активний металічний елемент, у метані — не заміщується на металічний елемент. Гідроген по-різному поводить себе в цих хімічних реакціях залежно від того, з атомом якого елемента він сполучений. Отже, властивості речовин не зводяться до суми властивостей окремих атомів, оскільки ці атоми зазнають взаємного впливу.

Основне положення теорії, що увійшла в науку як **теорія хімічної будови органічних сполук О. М. Бутлерова**, учений сформулював так: «хімічна натура складної частинки визначається натурою елементарних складових частин, кількістю їх і хімічною будовою».

Згідно із сучасними поняттями це положення формулюють так: *хімічна природа молекули визначається природою атомів, що входять до її складу, їх кількістю та хімічною будовою*.

Це положення встановлює закономірний зв'язок між складом, хімічною будовою і властивостями речовини та є одним із найважливіших серед теоретичних положень хімічної науки.



Російський учений. Здобув освіту в Казанському університеті, там став професором, згодом очолив кафедру в Петербурзькому університеті. Видатний теоретик і блискучий експериментатор. Автор теорії хімічної будови органічних сполук і підручника з органічної хімії, в якому матеріал уперше викладався з позицій цієї теорії. Власними синтезами ізомерів, передбачених за допомогою теорії, підтвердив її справедливості. Вперше синтезував цукристу речовину.

Крім хімії інтереси О. М. Бутлерова як людини високоосвіченої стосувалися також медицини, бджолярства, садівництва. Був видатним педагогом, виховав плеяду вчених-хіміків.

### **Олександр Михайлович Бутлеров (1828—1886)**

Теорія будови виникла на основі дослідження органічних речовин. Поняття хімічної будови О. М. Бутлеров пов'язував насамперед із молекулами органічних речовин. Проте ця теорія є загальнохімічною і поширюється також на речовини немалекулярної будови. Відома вам залежність між типом хімічного зв'язку, кристалічною будовою неорганічних речовин та їхніми властивостями — це також вияв цього закону.



### **Завдання для самоконтролю**

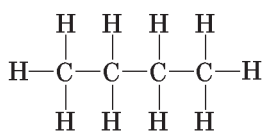
1. Наведіть приклади наукової класифікації, відомі вам із курсів біології та неорганічної хімії.
2. Наведіть приклади теорії, закону, постулату, гіпотези, аксіоми з різних галузей знань.
3. Схарактеризуйте положення, що склалося в органічній хімії в середині XIX ст.
4. Видатні відкриття невіддільні від своєї історичної доби. Пригадайте історичні умови, що склалися в Росії 60-х років XIX ст. (суспільно-політична ситуація, просвітницький рух тощо).
5. Назвіть наукові передумови створення теорії хімічної будови органічних речовин й імена вчених, які зробили внесок у розвиток теоретичних уявлень в органічній хімії.
6. Що таке хімічна будова органічних речовин?
7. Як ви розумієте взаємний вплив атомів у молекулі?
8. Що виражає структурна формула речовини?
9. Яку залежність встановлює основне положення теорії О. М. Бутлерова?
10. Наведіть приклади залежності фізичних властивостей неорганічних речовин від типу хімічного зв'язку.



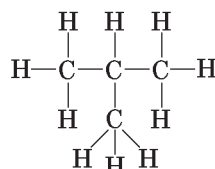
## § 4. ІЗОМЕРІЯ. УТВЕРДЖЕННЯ І РОЗВИТОК ТЕОРІЇ ХІМІЧНОЇ БУДОВИ

**Ізомерія.** На основі теорії хімічної будови було пояснено наукові факти, що не піддавалися тлумаченню, зроблено важливі наукові передбачення. Насамперед це стосується пояснення причин уже згадуваної ізомерії. У чому ж суть цього явища? Звернемося до структурних формул органічних сполук, які відображають їхню хімічну будову.

Запишемо структурну формулу бутану, що має склад  $C_4H_{10}$ , пам'ятаючи про чотиривалентність Карбону. Можливі два варіанти сполучення атомів:



Бутан нормальної будови  
 $t_{\text{кип}} = -0,5^\circ\text{C}$



Ізомер бутану, або ізобутан  
 $t_{\text{кип}} = -12^\circ\text{C}$

Виявляється, ці формули належать різним речовинам з різними властивостями, що засвідчують наведені константи.

Згідно із теорією Бутлерова властивості речовин залежать від їхньої хімічної будови. Зміна цієї будови спричиняє зміну властивостей, тобто появу іншої речовини. У бутану та ізобутану однаковий якісний і кількісний склад молекул, але різна хімічна будова, тому це різні речовини з різними властивостями.

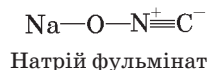
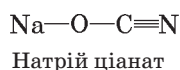
Для пентану складу  $C_5H_{12}$  можливі три варіанти будови, тобто такому складу відповідають три різні речовини.

Складіть структурні формули трьох ізомерів пентану, пам'ятаючи про чотиривалентність Карбону.

*Сполуки, що мають однаковий склад молекул (тобто однакові молекулярні формули), але різну будову, а тому й різні властивості, називають ізомерами* (від грец.  $\text{ισοζ}$  — однаковий і  $\text{μέροζ}$  — частина).

Ми розглянули приклади так званої *структурної ізомерії*, зумовленої будовою (структурою) карбонového скелета молекули. Далі ви ознайомитеся з іншими видами ізомерії.

Явище ізомерії спостерігається і серед неорганічних сполук. Наприклад, натрій ціанат і натрій фульмінат мають однаковий хімічний склад  $\text{NaOCN}$ . Проте перша сполука плавиться за температури  $560^\circ\text{C}$ , а друга — вибухає від нагрівання. Причина полягає в тому, що ці речовини — ізомери, атоми в них сполучені в різному порядку, а саме:



Ізомерія стала випробуванням теорії хімічної будови та її триумфом. О. М. Бутлеров передбачив на основі теорії, що для сполуки складу  $C_4H_{10}$  можливі два ізомери, про які йшлося вище. Учений синтезував невідомий на той час ізобутан, що, як і очікувалося, різнився за властивостями з бутаном.

Пригадайте, які наукові відкриття сприяли утвердженню Періодичного закону.

**Значення теорії хімічної будови.** На основі теорії хімічної будови органічних речовин було *узагальнено* накопичений наукою фактичний матеріал органічної хімії, *пояснено* причину ізомерії, *передбачено* й *добуто* невідомі раніше сполуки.

Теорія хімічної будови *стала інструментом вивчення органічних речовин*. На її основі, тобто з урахуванням складу, хімічної будови, взаємного впливу атомів у молекулі, стало можливим передбачати хімічну поведінку речовини. І навпаки — за хімічними властивостями робити висновок про будову речовини. Це було справді революційним для тогочасної науки.

Отже, теорія хімічної будови *поглибила* уявлення про природу органічних речовин і *сприяла розвитку* органічної хімії.

Закономірність взаємозв'язку будови речовин та їхніх властивостей поширюється не лише на фізичні та хімічні властивості, а й на біологічні функції цих речовин. Це положення покладено в основу створення речовин з необхідним комплексом технічних, біологічних та інших характеристик, наприклад барвників, полімерів, лікарських засобів чи засобів захисту рослин.

**Розвиток теорії хімічної будови.** Наукова теорія не є вічною та незмінною істиною. Важливою особливістю справді наукової теорії є те, що ця форма знань може розвиватися разом із розвитком науки. Часто система теоретичних знань, що склалися на певному історичному етапі, повністю або частково відкидалася у процесі розвитку науки. В історії хімії існувало багато теорій, які не витримали випробування часом і були спростовані — хоча б та сама віталістична теорія чи теорія флогістону. Щодо теорії хімічної будови органічних сполук, то її справедливність доведено подальшим розвитком науки.

У 70-х роках ХІХ ст. в органічній хімії було виявлено деякі випадки ізомерії, які не можна було пояснити лише різною хімічною будовою речовин. Пояснити явище — означає встановити його причину. Часом це можна зробити, користуючись наявними теоретичними знаннями, але в іншому разі цих знань виявляється недостатньо, постає потреба їх розвитку, доповнення, а то й заміни новими. Виявлення нових випадків ізомерії спонукало вчених висунути гіпотезу просторової будови молекул органічних сполук. Подальші дослідження підтвердили справедливність цієї гіпотези: з'ясувалося, що молекули не плоскі, що атоми певним чином орієнтовані в тривимірному просторі й що властивості речовин залежать від цієї орієнтації. Так виникли вчення про просторову будову молекул і нова галузь хімічної науки — стереохімія (від грец. *στερεός* — просторовий).

На початку ХХ ст. на основі найновіших на той час досягнень фізики було розкрито електронну природу хімічних зв'язків. Хімічна будова, структурні формули речовин наповнилися електронним змістом, з'ясувалася електронна сутність взаємного впливу атомів у молекулах.

Отже, розвиток науки сприяв розширенню поняття *будова органічних речовин*. Якщо в часи Бутлерова розглядали лише хімічну будову, то нині будову речовин розглядають *в єдності хімічної, просторової та електронної будови*. У зв'язку з цим основне положення теорії будови органічних сполук було уточнено:

**фізичні й хімічні властивості органічних речовин визначаються складом, хімічною, просторовою та електронною будовою їхніх молекул.**

Пригадайте, як змінилося формулювання Періодичного закону Д. І. Менделєєва з розвитком науки.

Якщо теорія підтверджується практикою, то вона не відкидається, коли поглиблюються наукові знання, а включається до змісту нових теорій. Такий приклад вам відомий із фізики і стосується співвідношення теорії відносності й законів класичної механіки. Коли виявилось, що тіла, які рухаються зі швидкістю, наближеною до швидкості світла, не підлягають законам класичної механіки й виникла потреба пояснити це, було створено теорію відносності й релятивістську механіку. При цьому класичну механіку не відкинута, її положення справджуються за умови, що швидкості тіл значно менші порівняно зі швидкістю світла. Інший приклад — синтетична теорія еволюції, що інтегрувала теорії класичної і молекулярної генетики та природного добору.

Класична теорія хімічної будови — лише етап у розвитку теоретичних поглядів у хімії. Вона увійшла до складу сучасної теорії будови органічних сполук. Щоб схарактеризувати речовину згідно із цією теорією, слід указати якісний і кількісний склад, порядок сполучення атомів у молекулі, просторову форму й розміри молекул, взаємодію електронів у молекулі.



### Завдання для самоконтролю

1. Наведіть означення ізомерів.
2. У чому полягає причина ізомерії?
3. У яких напрямках розвивалася теорія хімічної будови?
4. Які аспекти будови молекул вивчає сучасна теорія будови органічних сполук?
5. Сформулюйте основне положення теорії будови органічних сполук у сучасному трактуванні.
6. Схарактеризуйте значення теорії хімічної будови органічних сполук.
7. Яка формула дає більше інформації про молекулу органічної речовини — молекулярна чи структурна? Відповідь поясніть.

### Додаткові завдання

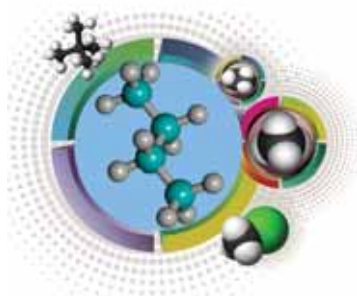
8. Які нові наукові ідеї запропонував О. М. Бутлеров?

9. Що є функцією, а що — аргументом у залежності, яку встановлює теорія Бутлерова?
10. Як теорія хімічної будови пояснює явище ізомерії?
11. Назвіть спільні й відмінні ознаки ізомерів.
12. Кожній сполуці відповідає лише одна хімічна формула. Чи можна стверджувати, що певній хімічній формулі відповідає тільки одна сполука? Для обґрунтування відповіді наведіть приклади органічних і неорганічних сполук.
13. Який зміст укладає сучасна наука в поняття *будова речовини*?
14. Що означає схарактеризувати органічну речовину з погляду теорії будови?
15. Чи справедливе основне положення теорії Бутлерова для неорганічних сполук? Наведіть приклади.
16. Що, на вашу думку, відбувається з науковою теорією, якщо вона не розвивається разом із наукою? Наведіть приклади.
17. Назвіть етапи розвитку теоретичних поглядів у галузі органічної хімії.
18. Теорію хімічної будови органічних речовин називають ще структурною теорією. Поясніть правомірність такої назви.
19. Пригадайте з курсу хімії 9 класу, які органічні сполуки належать до насичених і ненасичених вуглеводнів. Які реакції найхарактерніші для кожної з цих груп речовин? Поясніть відмінності хімічних властивостей етану, етену й етину з погляду теорії хімічної будови органічних сполук.

## Висновки

- Термін *органічна хімія* запропонував шведський учений Я. Берцеліус.
- На початку XIX ст. в органічній хімії панувала віталістична теорія.
- Сечовина — перша синтезована органічна сполука.
- Перші синтези органічних речовин відкрили шлях розвитку синтетичної органічної хімії.
- Створення теорії хімічної будови органічних сполук було зумовлено логікою розвитку органічної хімії.
- Теоретичні передумови створення теорії хімічної будови: утвердження атомно-молекулярного вчення в хімії, розроблення вчення про валентність, установлення чотиривалентності атомів Карбону та їхньої здатності сполучатися між собою.
- О. М. Бутлеров запровадив у науку поняття про хімічну будову і взаємний вплив атомів у молекулі, сформулював положення про залежність властивостей органічних речовин від складу й хімічної будови їхніх молекул.
- Хімічну будову речовин можна зобразити за допомогою структурних формул.
- Згідно з теорією Бутлерова кожна речовина має властиву лише їй хімічну будову. Отже, ізомерія — це наслідок, що випливає із цього закону.
- Теорія хімічної будови набула розвитку завдяки просторовим і електронним уявленням про будову речовин.
- Сучасна теорія будови органічних речовин розглядає цю будову в єдності трьох аспектів: хімічної, просторової та електронної будови.





# Вуглеводні

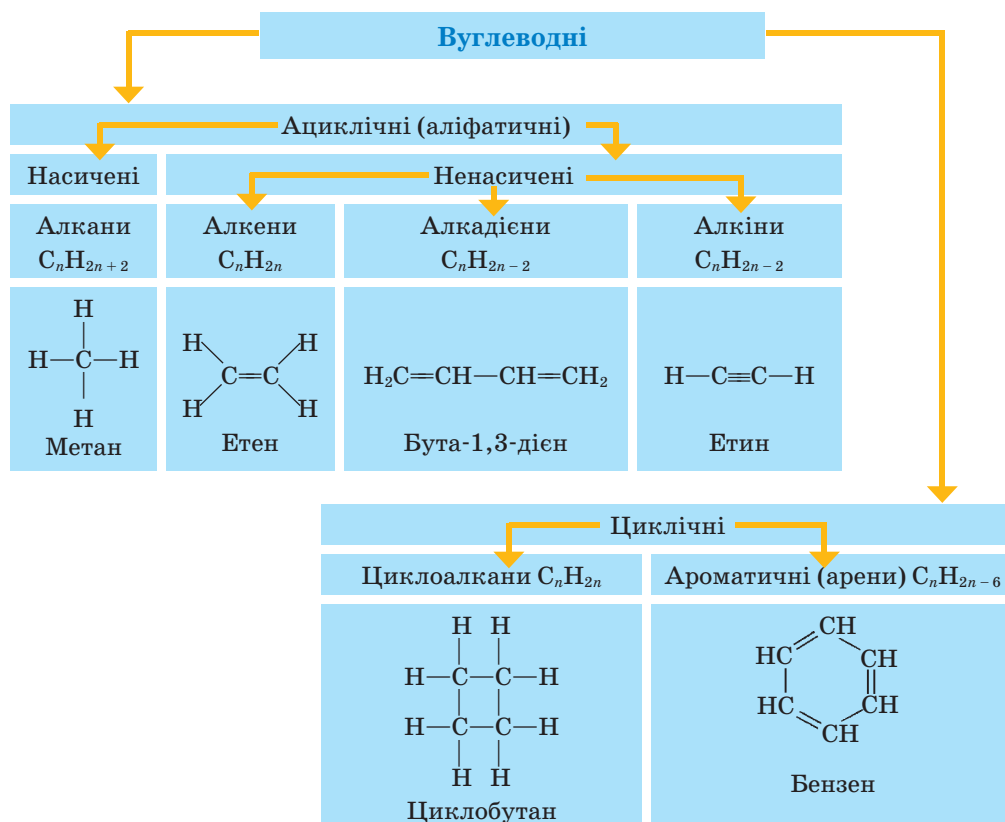
## Нові поняття й терміни:

алкани, циклоалкани, алкени, алкадієни, алкіни, ацени.

З метою упорядкування знань про величезну кількість різних об'єктів, що їх вивчає наука, ці об'єкти класифікують за певними ознаками. Вам уже відома класифікація неорганічних речовин, яка ґрунтується на хімічному складі сполук. Це оксиди, кислоти, основи, солі.

В основу класифікації вуглеводнів покладено будову карбонового ланцюга й наявність у їхніх молекулах простого чи кратного зв'язку між атомами Карбону. Карбоновий ланцюг може бути прямим, розгалуженим або циклічної форми, містити один або кілька кратних зв'язків. Розглянемо класифікацію вуглеводнів за цими ознаками.

## Класифікація вуглеводнів



# Алкани. Циклоалкани

## Нові поняття й терміни:

алкани, циклоалкани, алкільні замісники, номенклатура, конформація, гібридизація електронних орбіталей,  $\sigma$ -зв'язок, піроліз, крекінг, радикал, гомолітичний розрив ковалентного зв'язку, ланцюгова реакція, індукційний ефект, спектральні методи.



## § 5. МЕТАН. УТВОРЕННЯ ХІМІЧНИХ ЗВ'ЯЗКІВ

**Склад і будова молекули.** З курсу хімії 9 класу вам відомо, що сполуки, до складу яких входять два елементи — Карбон і Гідроген, називають *вуглеводнями* (від раніше вживаних назв елементів — *вуглець* і *водень*). Ви знаєте про існування насичених вуглеводнів, до яких належить найпростіша органічна сполука *метан*  $\text{CH}_4$ .

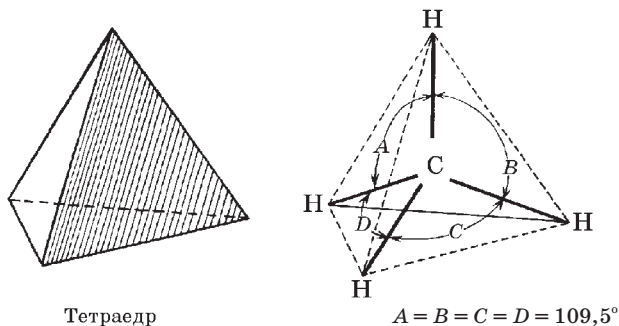
Складіть структурну й електронну формули метану.

Чи відображає структурна формула реальну просторову будову молекули?

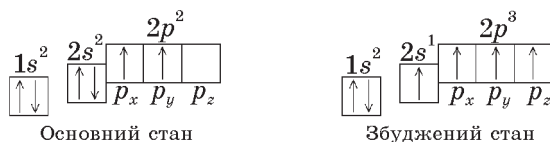
Яку просторову форму має молекула метану?

Молекула метану утворюється за допомогою чотирьох ковалентних зв'язків між атомами Карбону та Гідрогену. Ці зв'язки спрямовуються у просторі під кутами  $109,5^\circ$  (тетраедричні кути) (мал. 3).

Така будова молекули метану зумовлена електронною будовою атома Карбону. Пригадаймо його електронну конфігурацію в основному й збудженому станах (мал. 4).



Мал. 3. Тетраедрична будова молекули метану

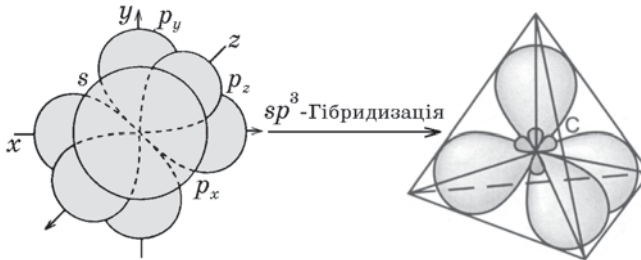


Мал. 4. Електронна конфігурація атома Карбону

У результаті переміщення одного  $2s$ -електрона на вільну  $2p$ -орбіталь атом має чотири неспарені електрони, може утворювати ковалентні зв'язки. Проте  $s$ - і  $p$ -електронні орбіталі мають різну форму: перші — форму кулі, другі — форму гантелі (об'ємної вісімки). Очевидно, унаслідок перекривання цих електронних орбіталей із  $s$ -електронними орбітальями атомів Гідрогену мали б утворитися нерівноцінні зв'язки С—Н. Однак відомо, що в молекулі метану всі зв'язки однакові, тобто утворені однаковими електронними орбітальями.

Для пояснення такої суперечності було запропоновано *гіпотезу гібридизації електронних орбіталей*. Згідно з цією гіпотезою в момент утворення молекули метану одна  $s$ - і певна кількість  $p$ -електронних орбіталей атома Карбону гібридизуються (змішуються), і в результаті утворюються нові гібридні електронні орбіталі, що мають форму несиметричних вісімок, витягнутих від атома Карбону в напрямку новоутвореного зв'язку.

У молекулі метану «змішуються» одна  $s$ - і три  $p$ -орбіталі, утворюючи чотири нові рівноцінні  $sp^3$ -гібридні орбіталі. Вони спрямовані від центра до вершин тетраедра під кутом одна відносно одної  $109,5^\circ$ . Цей вид гібридизації електронних орбіталей називають  $sp^3$ -гібридизацією (мал. 5).

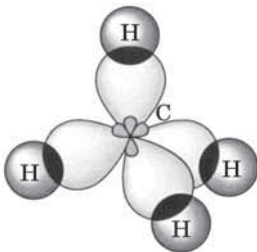


Мал. 5. Схема утворення  $sp^3$ -гібридних орбіталей атома Карбону

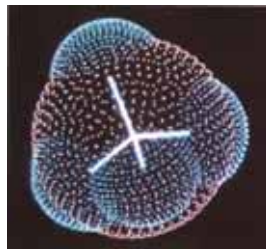
Описана форма електронних орбіталей атома Карбону забезпечує максимальне перекривання їх з електронними орбітальями атомів Гідрогену, що супроводжується утворенням так званих  $\sigma$ -зв'язків (мал. 6).

Пригадайте, які існують види моделей молекул. Які з них більшою мірою відповідають реальним молекулам?

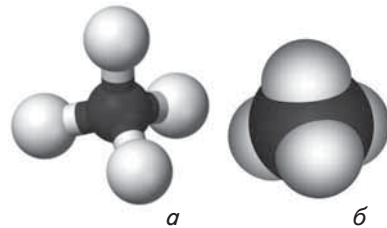
Складіть кулестержневу й масштабну моделі молекули метану (мал. 8), порівняйте їх із комп'ютерною моделлю (мал. 7).



Мал. 6. Схема утворення  $\sigma$ -зв'язків у молекулі метану



Мал. 7. Комп'ютерна модель молекули метану. Показано тетраедричну напрямленість хімічних зв'язків



Мал. 8. Кулестержнева (а) й масштабна (б) моделі молекули метану

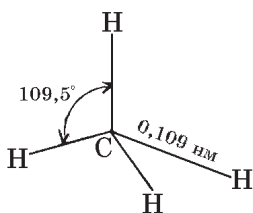
**Основні характеристики ковалентних зв'язків.** З однією характеристикою ковалентних зв'язків ви щойно ознайомилися — це *просторова напрямленість*. У молекулі метану зв'язки спрямовані під кутом  $109,5^\circ$ .

Пригадайте з курсу фізики, з чого складається внутрішня енергія системи, зокрема молекули.

Згідно з одним із основних принципів природи система найстійкіша, коли вона перебуває в стані з мінімумом енергії. Молекула як стійка система утворюється в тому разі, коли зі зближенням атомів її внутрішня енергія зменшується, тобто енергія молекули менша від суми енергій окремих атомів.

Енергію, що виділяється під час утворення молекули з окремих атомів, називають *енергією зв'язку*. Її можна розглядати і як енергію, яку треба затратити для розривання цього зв'язку.

Отже, енергія зв'язку може бути мірою його міцності: чим більша енергія зв'язку, тим він міцніший. Енергія зв'язку С—Н у молекулі метану  $\text{CH}_4$  становить  $411 \text{ кДж/моль}$ .



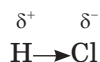
Мал. 9. Геометрія молекули метану

Атоми можуть зближуватися до певної межі, бо далі зростають сили відштовхування між їхніми ядрами. Відстань між ядрами, що відповідає мінімуму енергії молекули, визначає *довжину* ковалентного зв'язку. У молекулі метану довжина зв'язку С—Н становить  $0,109 \text{ нм}$  (мал. 9).

Енергія зв'язку тісно пов'язана з його довжиною. Чим більшим є перекривання електронних хмар, тим меншою є відстань між ядрами атомів, тим більше енергії виділяється під час утворення зв'язку. Знаючи довжину зв'язку, можна робити припущення про його енергію, і навпаки. **Чим більшою є енергія і меншою довжина зв'язку, тим він міцніший.**

Як вам відомо, ковалентні зв'язки бувають полярні й неполярні. Перші утворюються між атомами, що різняться своєю електронегативністю. Чим більша ця різниця, тим більшу *полярність* має ковалентний зв'язок. Полярність зв'язку характеризують значенням дипольного моменту: чим воно більше, тим полярніший зв'язок.

У разі значної полярності зв'язків електронна густина зміщується до одного з атомів, у результаті чого на ньому виникає частковий негативний заряд, а на іншому — частковий позитивний заряд. Ці заряди позначають грецькою літерою  $\delta$  (дельта), наприклад:



Атоми Карбону й Гідрогену мають близькі значення електронегативності, тому зв'язок С—Н слабкополярний. Однак молекула метану загалом неполярна, оскільки полярність зв'язків урівноважується їх симетричною тетраедричною напрямленістю.

Основні характеристики деяких ковалентних зв'язків наведено в таблиці 1.

Таблиця 1

## Довжина, енергія і дипольний момент деяких ковалентних зв'язків

Зв'язок	Довжина, нм	Енергія, кДж/моль	Дипольний момент, D
H—H	0,074	454	0
O—H	0,096	460	1,51
C—H	0,109	411	0,40
C—O	0,143	351	0,70
C=O	0,121	711	2,40
C—N	0,147	305	0,45
N≡N	0,110	946	0
C—F	0,140	439	1,39
C—Cl	0,176	331	1,47
C—Br	0,194	285	1,42
C—C	0,154	348	0
C=C	0,134	614	0
C≡C	0,120	839	0
C:::C	0,140	412	0

На прикладі хімічних зв'язків між атомами Карбону й галогенів поясніть залежність між довжиною та енергією хімічних зв'язків.

Молекулу метану можна описати такими параметрами:  
тип гібридизації електронних орбіталей атома Карбону —  $sp^3$ ;  
вид зв'язків —  $\sigma$ -зв'язки;  
довжина зв'язку C—H — 0,109 нм;  
енергія зв'язку C—H — 411 кДж/моль;  
валентний кут —  $109,5^\circ$ .



## Завдання для самоконтролю

1. Поясніть відмінність між основним і збудженим станами атома Карбону.
2. Які електронні орбіталі беруть участь у  $sp^3$ -гібридизації?
3. Який вид зв'язків у молекулі метану?
4. Укажіть, що позначає риска у структурній формулі.
  - А зміщення електронної густини хімічного зв'язку
  - Б електронну пару
  - В енергію зв'язку
  - Г електронегативність

5. Яку просторову будову має молекула метану?
6. Назвіть основні характеристики ковалентних зв'язків.
7. Закінчіть речення:  
Ковалентний зв'язок тим міцніший, чим ...  
**А** менша його довжина    **В** більша його енергія  
**Б** більша його довжина    **Г** менша його енергія
8. Чи можна вважати енергію хімічного зв'язку мірою його міцності? Відповідь поясніть.
9. Назвіть параметри молекули метану.
10. Зв'язки С—Н слабкополярні, а молекула метану неполярна. Поясніть це.

### Додаткові завдання

11. Поясніть рівноцінність хімічних зв'язків у молекулі метану, спираючись на гіпотезу гібридизації.
12. Чи можна застосовувати до йонного зв'язку характеристику *напрявленість*?
13. Як, на вашу думку, треба змінити склад молекули метану, щоб утворилася полярна молекула?
14. Поясніть причину порівняно високої стійкості молекули азоту.



## § 6. СКЛАД І БУДОВА АЛКАНІВ

**Склад молекул.** Пригадайте з курсу хімії 9 класу:

- Що таке гомологи?
- Наведіть загальну формулу гомологів метану.
- Пригадайте назви перших десяти гомологів метану, наведіть їхні молекулярні формули.
- Складіть структурні формули насичених вуглеводнів, що містять три, чотири, п'ять атомів Карбону, пам'ятаючи про його чотиривалентність.

У таблиці 2 наведено формули перших десяти насичених вуглеводнів ряду метану за зростанням кількості атомів Карбону в молекулах.

До складу наведених сполук входять лише атоми Карбону й Гідрогену, причому валентності атомів Карбону (вуглецю) повністю використані для зв'язку між собою та атомами Гідрогену (водню), тобто «насичені». Такі сполуки називають *насиченими вуглеводнями*, або *алканами* (за міжнародною номенклатурою).

Загальна формула алканів —  $C_nH_{2n+2}$ . Знаючи її, можна вивести формулу будь-якого алкану.

Складіть формулу алкану, що містить 15 атомів Карбону (пентадекан).

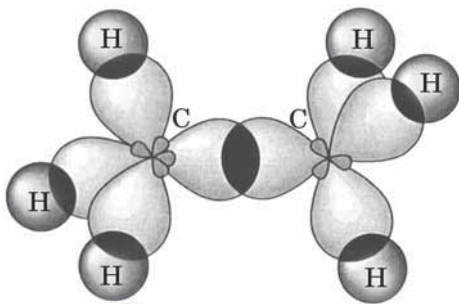
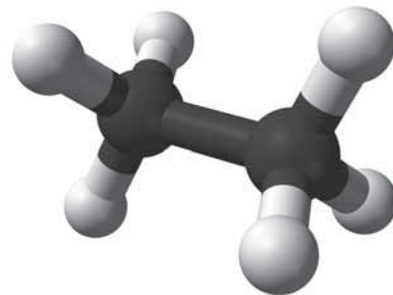
**Назви** перших чотирьох аланів склалися історично, а *починаючи з пентану, утворені від назв грецьких або латинських числівників додаванням суфікса -ан.*

Таблиця 2

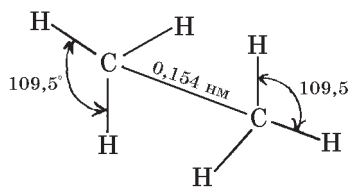
## Характеристики алканів

Назва алкану	Формула		Температура, °С		Густина, г/см <sup>3</sup>
	молекулярна	скорочена структурна	плавлення	кипіння	
Метан	CH <sub>4</sub>		-182	-162	
Етан	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	CH <sub>3</sub> —CH <sub>3</sub>	-183	-89	
Пропан	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	CH <sub>3</sub> —CH <sub>2</sub> —CH <sub>3</sub>	-188	-42	
Бутан	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	CH <sub>3</sub> —(CH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> —CH <sub>3</sub>	-138	-0,5	
Пентан	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	CH <sub>3</sub> —(CH <sub>2</sub> ) <sub>3</sub> —CH <sub>3</sub>	-130	36	0,63
Гексан	C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	CH <sub>3</sub> —(CH <sub>2</sub> ) <sub>4</sub> —CH <sub>3</sub>	-95	69	0,66
Гептан	C <sub>7</sub> H <sub>16</sub>	CH <sub>3</sub> —(CH <sub>2</sub> ) <sub>5</sub> —CH <sub>3</sub>	-91	98	0,68
Октан	C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>	CH <sub>3</sub> —(CH <sub>2</sub> ) <sub>6</sub> —CH <sub>3</sub>	-57	126	0,70
Нонан	C <sub>9</sub> H <sub>20</sub>	CH <sub>3</sub> —(CH <sub>2</sub> ) <sub>7</sub> —CH <sub>3</sub>	-51	151	0,72
Декан	C <sub>10</sub> H <sub>22</sub>	CH <sub>3</sub> —(CH <sub>2</sub> ) <sub>8</sub> —CH <sub>3</sub>	-30	174	0,73

**Будова молекул.** У молекулах алканів, як і в метані, валентні електрони атомів Карбону перебувають у стані  $sp^3$ -гібридизації. Гібридні електронні орбіталі, перекриваючись між собою та з  $s$ -електронними орбіталями атомів Гідрогену, утворюють  $\sigma$ -зв'язки (мал. 10, 11). Довжина зв'язків С—С становить 0,154 нм (мал. 12), енергія зв'язків С—С — 348 кДж/моль.

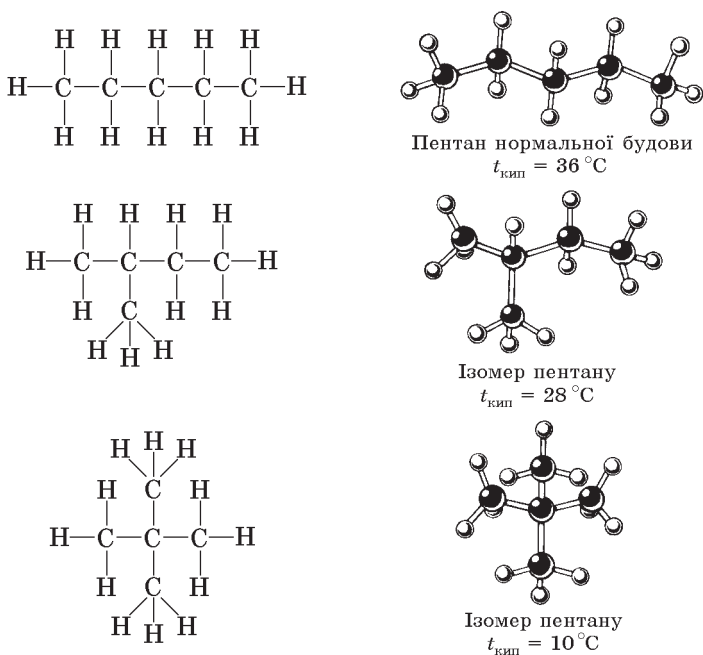
Мал. 10. Схема утворення  $\sigma$ -зв'язків у молекулі етану

Мал. 11. Модель молекули етану



Мал. 12. Геометрія молекули етану

**Ізомерія.** Насиченим вуглеводням властива *структурна ізомерія*, що зумовлена послідовністю сполучення атомів у молекулі (хімічною будовою). Наприклад, у молекулі пентану атоми можуть сполучатися трьома способами, тобто пентан має три ізомери (мал. 13).



Мал. 13. Структурні формули й моделі молекул ізомерів пентану

На моделі молекули пентану змінимо послідовність сполучення атомів Карбону й переконаємося, що атоми можуть сполучатися в послідовності, якій відповідають структурні формули, наведені на мал. 13.

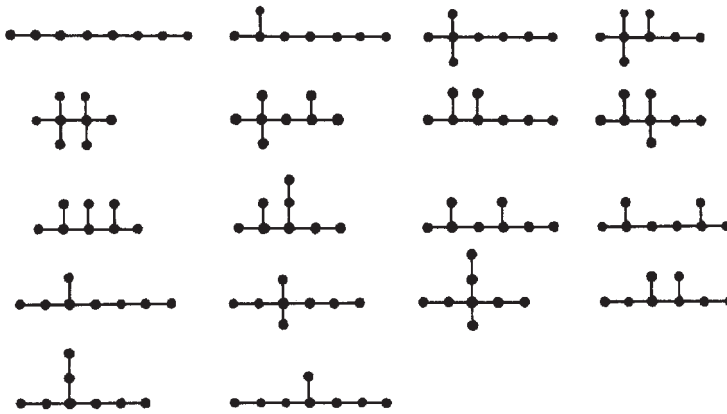
Зі зростанням числа атомів Карбону в молекулі зростає число можливих ізомерів. Якщо для бутану  $\text{C}_4\text{H}_{10}$  існують два ізомери, для пентану  $\text{C}_5\text{H}_{12}$  — три, то для декану  $\text{C}_{10}\text{H}_{22}$  їх 75, а для ейкозану  $\text{C}_{20}\text{H}_{42}$  — 366 319 ізомерів.

На мал. 14 зображено схеми «скелетів» ізомерів октану  $\text{C}_8\text{H}_{18}$ . Складіть структурні формули за цими схемами.

**Номенклатура.** Кожна наука створює і використовує свою власну мову, що складається зі спеціальних термінів, символів, формул і правил їх застосування. Символи хімічних елементів, хімічні формули, хімічні рівняння, назви елементів, сполук, різні інші хімічні терміни — усе це в сукупності становить хімічну мову. У хімії особливе значення мають власні назви сполук, завдяки яким їх можна відрізнити одну від одної, та правила утворення цих назв, тобто **номенклатура**.

Історично склалося, що для багатьох органічних сполук використовують традиційні, так звані *тривіальні* назви (від лат. *trivialis* — звичайний, буденний), які не підлягають жодним правилам і які можна лише запам'ятати. Наукові (*систематичні*) назви органічних речовин, зрозумілі





Мал. 14. Схематична будова молекул ізомерів октану

для всіх хіміків світу, складаються за правилами, розробленими міжнародною науковою спільнотою, і відображають хімічну будову речовин.

З назвами алканів *нормальної* (нерозгалуженої) будови ви вже ознайомлені, їх треба запам'ятати. Ці назви беруть за основу систематичних назв алканів розгалуженої будови, зазначаючи місце та назву груп атомів, що становлять відгалуження. Такі групи атомів називають *алкільними замісниками*.

**Назви** алкільних замісників *утворюють заміною суфікса -ан у назві алканів на суфікс -ил (іл)* (алкан — алкіл). Загальна формула алкільних замісників —  $C_nH_{2n+1}$ . Приклади найпростіших з них наведено в таблиці 3.

Таблиця 3

## Алкани й алкільні замісники

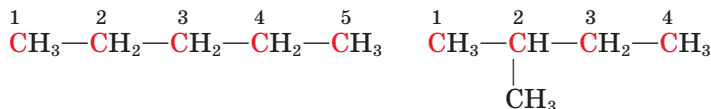
Формула й назва алкану $C_nH_{2n+2}$	Формула й назва алкілу $C_nH_{2n+1}$
$CH_4$ Метан	$CH_3-$ Метил
$C_2H_6$ $CH_3-CH_3$ Етан	$C_2H_5-$ $CH_3-CH_2-$ Етил
$C_3H_8$ $CH_3-CH_2-CH_3$ Пропан	$C_3H_7-$ $CH_3-CH_2-CH_2-$ Пропіл

*Щоб скласти назву алкану розгалуженої будови, треба:*

- визначити головний (найдовший) ланцюг атомів Карбону;
- пронумерувати, починаючи від найближчого відгалуження (алкільного замісника);
- перед назвою сполуки цифрами вказати місця алкільних замісників і їхні назви в абетковому порядку.

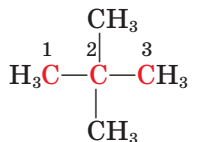
За наявності однакових замісників вживають множинні суфікси *ди-, три-, тетра-*.

Наприклад, ізомери пентану  $C_5H_{12}$  мають такі назви:



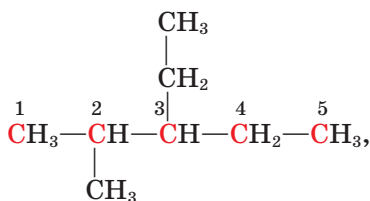
Пентан

2-Метилбутан



2,2-Диметилпропан

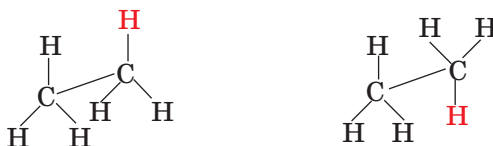
Сполука, що має формулу



називається 3-етил-2-метилпентаном.

**Конформації.** Для подальшого вивчення будови алканів скористаємося моделями молекул. Складемо модель молекули *етану*  $C_2H_6$ .

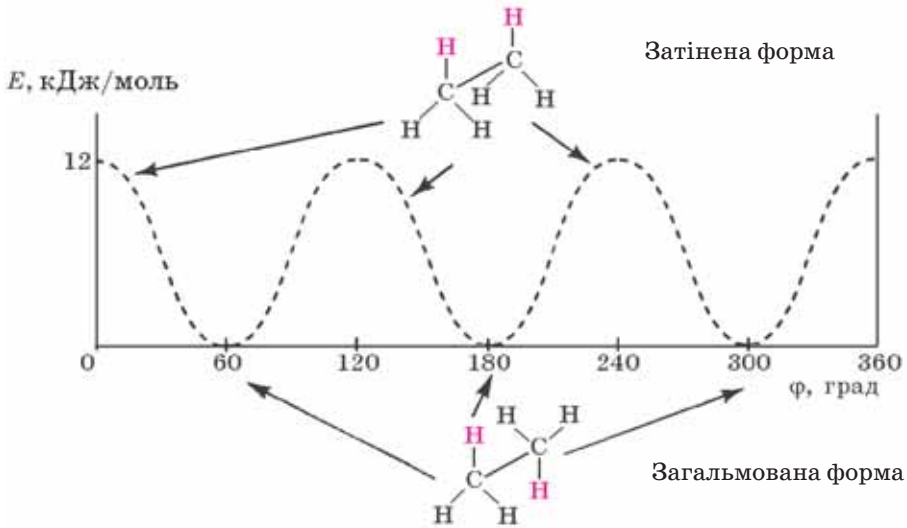
Зверніть увагу, що групи атомів  $CH_3$  можна вільно обертати навколо зв'язку  $C-C$ , при цьому можлива безліч взаємних положень атомів Гідрогену, зокрема:



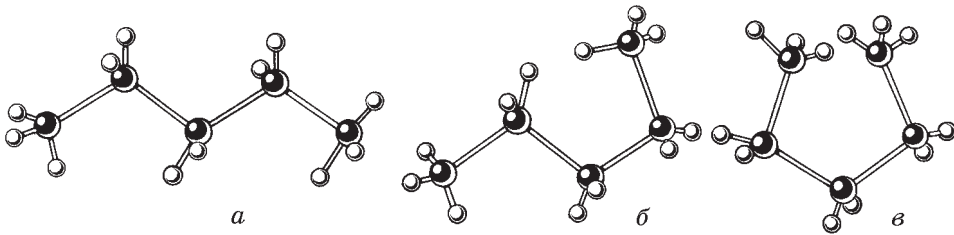
Просторові форми молекул змінюються, і можна стверджувати, що вони перебувають у динамічній рівновазі, переходячи одна в одну, тому сполука є сумішшю молекул з різною геометрією. Причинами зміни форми молекули завдяки обертанню однієї її частини відносно іншої є тепловий рух, процеси притягування і відштовхування атомів чи груп атомів. Серед цих форм молекул є енергетично вигідні та невигідні, між якими існує певний енергетичний бар'єр. Якщо за нормальних умов відмінність у енергіях форм незначна, як, наприклад, у етану (лише 12 кДж/моль), то обертання груп навколо  $\sigma$ -зв'язку вважають практично вільним.

*Енергетично вигідні просторові форми молекул, що утворюються внаслідок обертання атомів або груп атомів навколо  $\sigma$ -зв'язків, називають конформаціями* (від лат. *con* — спільність і *formatio* — утворення).

За низьких температур молекули перебувають у енергетично найбільш вигідному стані, або, інакше кажучи, у *найстабільнішій конформації*. Для



Мал. 15. Залежність потенціальної енергії молекули етану від взаємного розміщення метильних груп



Мал. 16. Форми молекули пентану:  
а — зигзагоподібна; б — нерегулярна; в — клешнеподібна

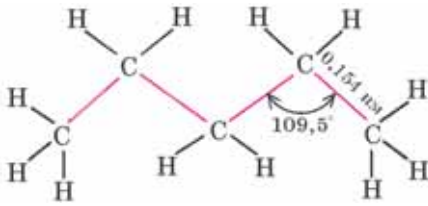
етану найбільш стабільною (з мінімумом енергії) вважають ту форму, в якій атоми Гідрогену найвіддаленіші один від одного, відштовхування між ними є найменшим, а взаємодія — мінімальною. Цю конформацію називають *загальмованою*. Найменш імовірну (з максимумом енергії) форму молекули етану називають *затінєною* (мал. 15).

На моделі молекули пентану  $C_5H_{12}$  можна перекопати, що ланцюг карбонів атомів може набувати різних просторових форм унаслідок вільного обертання навколо  $\sigma$ -зв'язків (мал. 16). Енергетично найбільш вигідною конформацією є зигзагоподібна, оскільки в цьому разі атоми максимально віддалені один від одного (мал. 16, а).

Зверніть увагу, що під час конформаційних переходів хімічна будова молекули не змінюється, сталими залишаються і такі параметри молекули, як валентний кут, довжина зв'язків (мал. 17, с. 28).

Зигзагоподібну будову алканів відображають їхні спрощені структурні формули:





Мал. 17. Геометрія молекули пентану

Пам'ятайте, що на відміну від структурних ізомерів, які є індивідуальними речовинами, конформери не піддаються розділенню, їх існування можна довести лише фізико-хімічними методами.

Оскільки існування конформацій пов'язане з енергетичними характеристиками сполук, знання про них, їхню структуру має значення для пояснення

реакційної здатності речовин, механізмів реакцій тощо. Конформації позначаються на властивостях полімерів, функціонуванні біологічно активних речовин, таких як білки та нуклеїнові кислоти.

Галузь знань, що вивчає конформації, називають *конформаційним аналізом*.



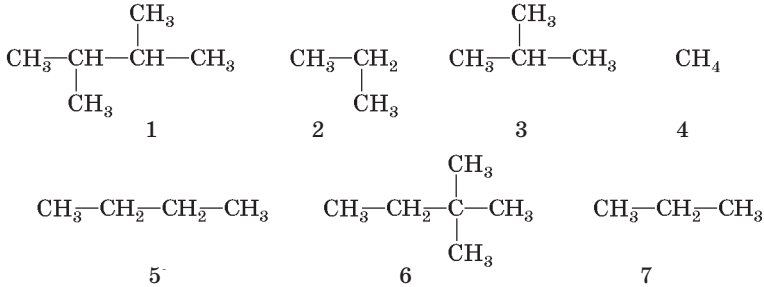
## Завдання для самоконтролю

- Складіть молекулярну і структурну (повну й скорочену) формули алкану, який містить 12 атомів Карбону.
- Поясніть, як утворюються зв'язки між атомами в молекулах алканів.
- Складіть характеристику молекули етану за схемою: тип гібридизації електронів, вид зв'язків, довжина С—С-зв'язку, енергія С—С-зв'язку, валентний кут.
- Укажіть причину ізомерії алканів.
  - електронегативність атомів Карбону
  - довжина карбонового ланцюга
  - структура карбонового ланцюга
  - конформації молекул
- Складіть формули ізомерів гексану та назвіть їх за систематичною номенклатурою.
- Наведіть означення конформацій.
- Поясніть, чому карбоновий ланцюг набуває зигзагоподібної форми.
- Укажіть перелік назв лише алканів.
  - метан, етан, пропан, фонтан
  - декан, пентадекан, гексадекан, целофан
  - метан, алкан, алкен, алкін
  - метан, гексан, нонан, етан

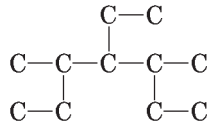
## Додаткові завдання

- Назвіть ізомери октану, схеми яких зображено на мал. 14 (с. 25).
- Доведіть на моделях, що зигзагоподібна форма карбонового ланцюга є просторово найбільш вигідною.
- Чи є індивідуальними сполуками: а) ізомери; б) конформери? Відповідь поясніть.
- Поясніть, чим різняться між собою конформери й ізомери.
- Поясніть, чому графік, зображений на мал. 15 (с. 27), має три мінімуми й три максимуми.

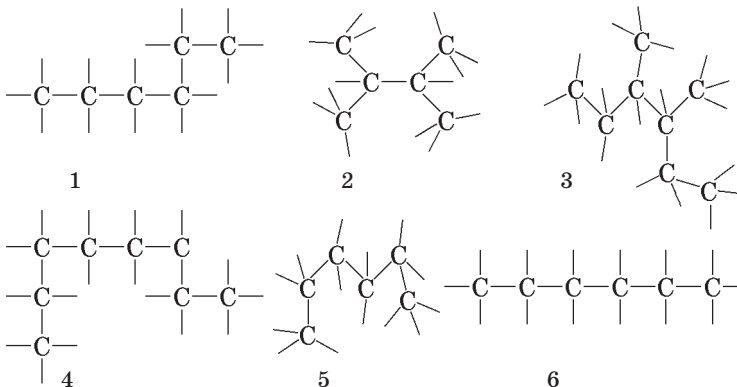
14. Яка конформація молекули етану й чому є переважною?  
 15. Чи правильною є назва ізомера пентану — тетраметилметан — за систематичною номенклатурою?  
 16. Укажіть ізомери серед наведених сполук.  
**А** 2, 7 **Б** 3, 5 **В** 1, 6 **Г** 2, 3



17. Укажіть назву алкану з наведеною будовою карбонового скелета.



- А** гептан  
**Б** 4-етил-3,5-диметилгептан  
**В** 3-бутил-4-метилгептан  
**Г** пентадекан
18. Укажіть число сполук, яким належать карбонові скелети.  
**А** 3 **Б** 4 **В** 5 **Г** 6



Складіть молекулярні формули цих сполук. Назвіть ізомери.

19. Напишіть структурну формулу ізомеру нонану, до складу якої входять: три групи  $-\text{CH}_3$ , дві групи  $-\text{C}_2\text{H}_5$ , одна група  $-\text{CH}$ , один четвертинний атом С.



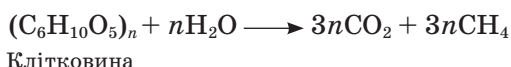
## § 7. ФІЗИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ АЛКАНІВ

**Поширення у природі.** Основні природні джерела алканів — нафта й природний газ. Нафта є сумішшю багатьох органічних речовин, серед яких переважають алкани. Для їх добування нафту піддають переробці, про що ви дізнаєтеся згодом (докладніше про це — на с. 111). У природному газі масова частка метану сягає 98 %, решта — етан, пропан, бутан та інші вуглеводні.

Як основа природного газу метан утворився в надрах Землі, ймовірно, внаслідок взаємодії розжарених карбідів металів з водяною парою.

Тверді алкани містяться у природних покладах озокериту, бітуму, входять до складу бджолиного воску.

У природі можна спостерігати метан, що виділяється внаслідок переробки рослинних решток деякими видами бактерій:



На болотах він виділяється у вигляді бульбашок на поверхні води (болотний газ). У вугільних шахтах є рудниковий газ — це також метан. Значну кількість метану виробляють терміти у процесі живлення целюлозою; він утворюється в результаті гниття органічних решток (біогаз).

Метан і деякі інші алкани у вигляді кристалічних гідратів утворюються на дні морів і океанів.

Метан є не лише на Землі, а входить до складу атмосфери планет Сатурн, Уран, Нептун, Плутон.

**Фізичні властивості.** Ви, напевне, вже звикли, що вивченню хімічних властивостей речовин передують вивчення їхніх фізичних властивостей. Чому вони цікавлять хіміків не менше, ніж хімічні реакції? З'ясуємо, з якою метою вивчають фізичні властивості речовин.

Агрегатний стан та зовнішні фізичні ознаки речовини, колір, запах — це перше, що досліджують. Подальше вивчення речовини пов'язане з такими її фізичними властивостями, як температури плавлення (для речовини у твердому стані), кипіння (для рідини). За фізичними властивостями можна розпізнавати речовини, оскільки кожна з них має власні фізичні константи. Вони відбивають і ступінь чистоти речовини, бо наявність домішок впливає на густину, температури плавлення, кипіння.

На використанні фізичних властивостей речовин ґрунтується багато промислових процесів, зокрема перегонка нафти, тобто розділення її на компоненти за температурами кипіння. Розділення або очищення речовин перекристалізацією з розчину залежить від розчинності речовин у різних розчинниках, зокрема у воді.

У шкільному курсі хімії розглядають такі характеристики речовин, як температури плавлення й кипіння, густина, розчинність, згодом ви ознайомитеся зі спектральними характеристиками. Останні широко використо-

вують для ідентифікації речовин (від лат. *identicus* — тотожний та *ficatio* — здійснювання, ототожнення, порівнювання).

Фізичні властивості речовин залежать від їхньої будови. Розглянемо, як це позначається на температурах плавлення й кипіння.

Щоб розплавити речовину, треба зруйнувати її кристалічну структуру. Як вам відомо, органічні сполуки утворюють переважно молекулярні кристали, структурними одиницями яких є молекули. Між ними діють незначні міжмолекулярні сили. Вони легко руйнуються внаслідок нагрівання. Тому органічні речовини молекулярної будови плавляться за порівняно низьких температур на відміну від неорганічних сполук йонної будови. У йонних кристалах структурні одиниці утримуються значно більшими за значенням міжйонними силами, отже, треба витратити більше енергії, щоб подолати їх і розплавити речовину.

Рідкий стан речовини менш упорядкований порівняно з кристалічним, частинки менше притягуються між собою. В органічних речовинах цими частинками є переважно молекули. Міжмолекулярні сили, що діють у речовині молекулярної будови в рідкому стані, також незначні, тому органічні речовини мають порівняно низькі температури кипіння.

Чим довший карбоновий ланцюг молекули, тим більше сумарне притягання між такими молекулами, і тим важче його подолати під час нагрівання цієї речовини. Звернувшись до наведених у таблиці 2 (с. 23) фізичних констант алканів, можна помітити, що зі збільшенням кількості атомів Карбону в молекулі зростають температури плавлення й кипіння цих речовин. Перші чотири речовини за стандартних умов — гази. Далі йдуть рідини, а починаючи з вуглеводню складу  $C_{18}H_{38}$  (у таблиці 2 не наведено) — тверді речовини. Від пентану в кожного наступного члена ряду температури кипіння зростають на 20—30 °С.

Насичені вуглеводні нормальної будови мають вищі температури кипіння порівняно з їхніми ізомерами розгалуженої будови. Це загальне правило для всіх органічних сполук, а пояснюють його тим, що сполуки нормальної будови мають щільнішу «упаковку» кристала. Щоб його зруйнувати (розплавити), потрібна більша енергія, отже, й вища температура.

Зробіть припущення щодо причини такої залежності.

Густина насичених вуглеводнів збільшується зі збільшенням розмірів молекул, проте всі вони легші за воду.

Пропан і бутан легко скраплюються за підвищеного тиску.

Алкани — неполярні або слабкополярні сполуки, практично нерозчинні у воді, яка є полярною сполукою.

Газуваті й тверді алкани не мають запаху, рідкі (складу  $C_5—C_{17}$ ) мають характерний запах бензину.

Природний газ, що транспортується газовими магістралями, має, як ви знаєте, неприємний запах. Він спричинений навмисним добавлянням спеціальних речовин — меркаптанів.

З якою метою, на вашу думку, добавляють ці речовини?



## Завдання для самоконтролю

1. З якою властивістю метану пов'язано те, що його можна спостерігати у вигляді бульбашок на поверхні заболоченої водойми?
2. З якою метою вивчають фізичні властивості речовин?
3. Назвіть характерні фізичні властивості алканів.
4. Чи існує залежність між агрегатним станом алканів та їхньою відносною молекулярною масою? Відповідь поясніть.
5. Чи можна виявити метан за запахом?
6. Чи можна змити водою нафтову пляму з тканини?

### Додаткові завдання

7. Чому органічні сполуки мають порівняно низькі температури плавлення й кипіння? Відповідь поясніть, виходячи з будови цих сполук.
8. За даними таблиці 2 (с. 23) накресліть графік залежності температур кипіння алканів нормальної будови від кількості атомів у молекулі. Який характер має ця залежність — монотонний чи періодичний?
9. Продовжіть графік штриховою лінією. Укажіть, яку температуру кипіння можна припустити для сполуки складу  $C_{15}H_{32}$ .  
А 180—190 °С    Б 190—220 °С    В 220—250 °С    Г 250—270 °С
10. Поясніть, як впливає розгалуженість молекул на температури плавлення алканів. Скористайтеся такими константами ізомерів бутану:  
бутан —  $t_{пл} = -138$  °С; 2-метилпропан —  $t_{пл} = -145$  °С.
11. Складіть формули двох ізомерних алканів, що є газами й густина яких за воднем дорівнює 29.

## § 8. МЕТОДИ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ТА ВСТАНОВЛЕННЯ СТРУКТУРИ ОРГАНІЧНИХ СПЛУК



Найперше завдання, що постає перед хіміком-органіком, який синтезував нову сполуку, — це необхідність встановлення її хімічного складу. Речовину ретельно очищують, визначають її фізичні властивості (температури плавлення й кипіння, густину, розчинність у різних розчинниках тощо). З метою визначення вмісту атомів елементів у сполуці проводять якісний елементний аналіз. Прикладом такого аналізу є визначення Карбону, Гідрогену та Хлору, що ви його проводили на практичній роботі. Далі з'ясовують, у якому співвідношенні містяться в сполуці визначені хімічні елементи, тобто кількісний склад молекул. Для цього хіміки розробили спеціальні методи (ми їх не розглядаємо).

Якщо відомий відсотковий вміст елементів, то можна обчислити найпростішу (емпіричну) формулу речовини. Наприклад, для етану найпростішою



є формула  $\text{CH}_3$ . Лише визначивши відносну молекулярну масу сполуки, наприклад за густиною її пари, можна встановити істинну, тобто молекулярну, формулу речовини. Для етану визначено молекулярну масу 30, отже, формула сполуки  $\text{C}_2\text{H}_6$ .

На практиці часто доводиться виокремлювати індивідуальні речовини з їхніх сумішей. Для цього існують різні методи, одним з яких є метод **хроматографії**. Він ґрунтується на здатності речовин по-різному поглинатися адсорбентом, наприклад силікагелем. Суміш речовин у розчині пропускають крізь металеву або скляну трубку (хроматографічну колонку), заповнену адсорбентом. Компоненти суміші рухаються в колонці вниз з різною швидкістю: той, що адсорбується найкраще, залишається в нерухомій фазі вгорі, інші — рухаються далі й поступово поглинаються іншими ділянками адсорбенту. Упродовж певного часу в колонці утворюються окремі зони, заповнені адсорбованими речовинами, що складали суміш.

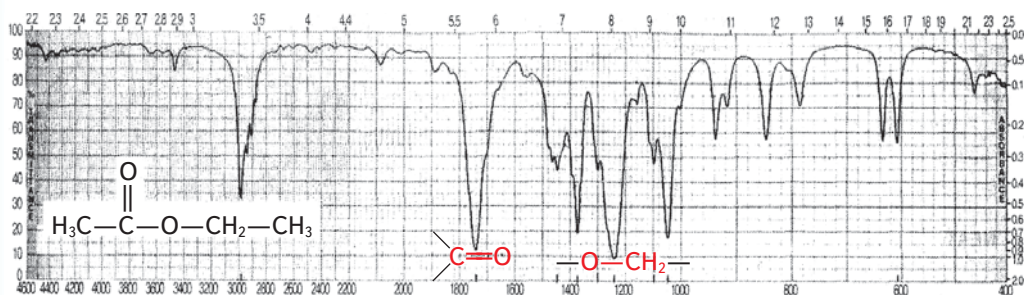
Уперше хроматографію застосував у 1903 р. російський учений М. С. Цвет для розділення хлорофілу на компоненти. Цей дослід можна повторити в лабораторії. Хлорофіл, екстрагований за допомогою органічного розчинника із листків кропиви, уносять у верхню частину скляної трубки, щільно заповненої кальцій карбонатом. Унаслідок поглинання хлорофілу верхнім шаром адсорбенту утворюється зелена зона. Далі колонку промивають чистим розчинником, і через деякий час по всій висоті трубки утворюються окремі різнокольорові зони: найнижча — інтенсивного жовтого кольору, над нею — жовтого, далі — зеленого, ще вище — жовто-зеленого кольору. Так можна виявити, що в екстракті зеленого листа міститься не індивідуальна речовина хлорофіл, а суміш пігментів (знизу вгору) каротину, ксантофілу, хлорофілу-*a* і хлорофілу-*b*.

Нині розроблено багато методів хроматографії — рідинна, газова, паперова тощо. Метод хроматографії прислужився не лише для розділення сумішей та ідентифікації компонентів, а й у різноманітних технологіях для очищення речовин, контролю харчових виробництв, визначення вмісту шкідливих домішок у різних продуктах, наприклад пестицидів.

Добувши нову сполуку, треба встановити її структуру. Сучасному хімікові в цьому допомагають різноманітні хімічні (вивчення реакцій сполуки) та фізичні методи, найважливішими з яких є спектральні.

Методи спектроскопії ґрунтуються на явищі взаємодії речовини з електромагнітним випромінюванням. З курсу фізики вам відомі різні типи електромагнітного випромінювання (назвемо їх за зменшенням довжини хвилі): радіохвилі, інфрачервоні (ІЧ-), видимі, ультрафіолетові (УФ-), рентгенівські, гамма-промені. На шкалі електромагнітних хвиль УФ-випромінювання займає діапазон від  $0,4 \cdot 10^{-6}$  до  $0,5 \cdot 10^{-8}$  м, ІЧ-випромінювання — від  $0,76 \cdot 10^{-6}$  до  $3,5 \cdot 10^{-8}$  м.

Стикаючись з речовиною, електромагнітні хвилі або проходять крізь неї, або поглинаються. У разі поглинання енергія хвилі затрачається на зміну внутрішньої енергії речовини: відбувається збудження окремих структурних фрагментів молекул. Зокрема, поглинання в УФ-ділянці спектра пов'язане з тим, що валентні електрони переходять на вищі енергетичні



Мал. 18. Інфрачервоний спектр етилового естеру етанової кислоти (етилетаноату)

рівні; поглинання в ІЧ-ділянці спричиняє зміни коливальних рухів атомів і груп атомів у молекулі.

Графік, що показує, яка ділянка електромагнітного випромінювання поглинається, називають *спектром речовини*, а ділянку найбільш інтенсивного поглинання — *смугою поглинання*.

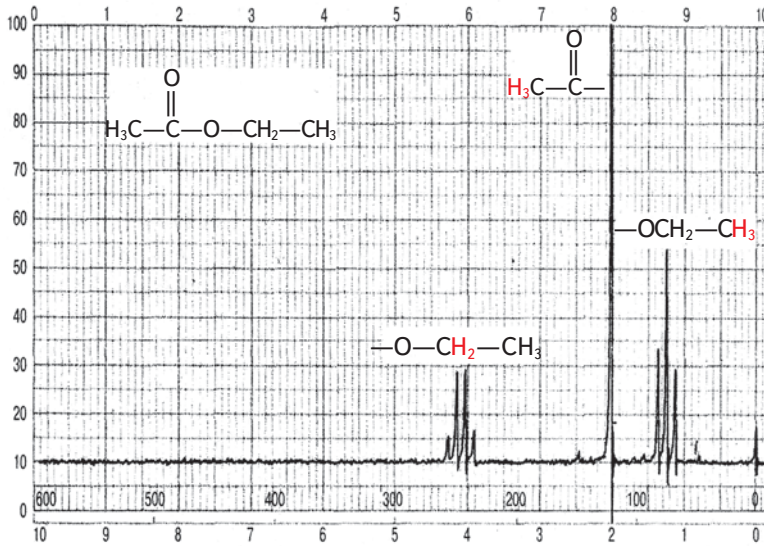
**ІЧ-спектроскопія.** Усі органічні речовини поглинають енергію в ІЧ-ділянці, й кожна має власний ІЧ-спектр, що є ніби «відбитком» цієї речовини. Складено спеціальні каталоги спектрів, за якими можна порівнювати відомі й невідомі сполуки. Якщо ІЧ-спектри двох речовин збігаються, то це доводить їх ідентичність; якщо знято ІЧ-спектр нової, невідомої раніше сполуки, то аналізують смуги поглинання, звертаючи увагу на їх інтенсивність та довжину електромагнітної хвилі, за якої відбуваються коливання. За певними смугами поглинання можна визначити наявність різних груп атомів у молекулі, а отже, отримати інформацію про структуру невідомої речовини.

Кожна група атомів, у якій би сполуці вона не містилася, поглинає хвилі лише певної довжини, що вимірюють у різних одиницях — від метрів до нанометрів. Але у спектроскопії користуються переважно так званим хвильовим числом, що є величиною, оберненою до довжини хвилі (вимірюють в обернених сантиметрах,  $\text{см}^{-1}$ ). Положення смуг поглинання та їхня інтенсивність залежать від хімічного оточення характеристичних груп, тобто атомів чи груп, які до них безпосередньо прилягають.

Розгляньте ІЧ-спектр етилового естеру етанової кислоти (етилетаноату)  $\text{CH}_3\text{—COO—CH}_2\text{—CH}_3$  (мал. 18). Наявність смуги поглинання в ділянці  $1742\text{ см}^{-1}$  свідчить про валентні коливання групи  $\text{>C=O}$ , а в ділянці  $1240\text{ см}^{-1}$  — про валентні коливання зв'язку  $\text{—O—CH}_2\text{—}$ .

Як отримують ІЧ-спектри речовин? Для цього використовують спеціальні прилади — спектрометри. Потік теплових променів у спектрометрі йде від керамічного стержня, який розжарюється електричним струмом. Промені спрямовуються на речовину, вміщену в спеціальну кювету, проходять крізь неї, змінюючи свою інтенсивність за рахунок поглинання речовиною, і фіксуються на виході спеціальними пристроями у вигляді графіка. Процедура триває кілька хвилин.

\*Валентні коливання відбуваються вздовж хімічного зв'язку між атомами. Це можна уявити як скорочення та видовження зв'язку.



Мал. 19. Спектр ЯМР етилового естеру оцтової кислоти (етилетаноату)

**Спектроскопія ядерного магнітного резонансу (ЯМР)** ґрунтується на тому, що речовина, уміщена в сильне магнітне поле, поглинає випромінювання в ділянці радіохвиль. Але це стосується лише речовин, які містять атоми з ядрами, що мають власний магнітний момент і поводяться як маленькі магніти. Магнетизм властивий ядрам атомів  $^1\text{H}$ ,  $^{13}\text{C}$ ,  $^{19}\text{F}$  та деяким іншим. Під час поглинання випромінювання власне магнітне поле ядер входить у резонанс із зовнішнім радіочастотним випромінюванням, якщо частота останнього збігається з власною частотою коливань ядер. У стані резонансу ядра переорієнтовуються в магнітному полі. На це витрачається певна енергія, яка фіксується спектрометром і відтворюється у вигляді графіка — спектра ЯМР. Коли дія зовнішнього магнітного поля закінчується, ядро повертається до початкового стану.

Важливо, що у складі всіх органічних сполук містяться атоми Гідрогену. Вони поглинають радіохвилі різної довжини (частоти) не лише залежно від атомів, з якими безпосередньо сполучені, а й залежно від атомів та груп, не зв'язаних з ними хімічно. Оскільки атомів Гідрогену в молекулі є певна кількість, і всі вони мають різне оточення, спектр ЯМР має кілька піків різної інтенсивності. Причому чим більше атомів Гідрогену в однаковому оточенні, тим більша площа піка на кривій спектра. Отже, за таким спектром можна робити висновок про розподіл та кількість атомів Гідрогену в молекулі речовини, тобто про її структуру. Спектр ЯМР етилового естеру оцтової кислоти, зображений на мал. 19, засвідчує резонанс атомів Гідрогену груп  $-\text{CH}_3$  і  $-\text{CH}_2-$  у фрагменті  $-\text{O}-\text{CH}_2-\text{CH}_3$  і групи  $-\text{CH}_3$  у фрагменті  $\text{CH}_3-\text{CO}-$ .

Сукупна інформація, надана ІЧ- та ЯМР-спектрами, дає змогу зробити висновок, що структура сполуки відповідає етилового естеру оцтової кислоти.

Метод ЯМР прислужився не лише в хімії, його широко використовують у медицині для діагностики захворювань. У спеціальному приладі (ЯМР-томографі) біологічний об'єкт уміщують у сильне постійне магнітне поле. Об'єкт піддають дії радіочастотного поля, яке резонує з магнітним полем атомів Гідрогену, що входять до складу тканин об'єкта. Місця резонансу, його інтенсивність узагальнюються комп'ютером, який створює на моніторі специфічну «картинку», за якою можна встановити патологічні зміни в об'єкті. Цей метод магнітно-резонансної томографії вважають дуже інформативним і водночас неруйнівним для тканин і органів.

Явище ЯМР у конденсованих речовинах вивчали американські фізики Ф. Блох і Е. Пьорсел у 1946 р., за що й отримали Нобелівську премію з фізики в 1952 р.



### Завдання для самоконтролю

1. Яку інформацію треба зібрати, щоб ідентифікувати органічну сполуку?
2. Що таке спектр речовини?
3. Як отримують ІЧ-спектр речовини?
4. Поясніть фізичну суть явища ЯМР.
5. Підготуйте повідомлення про застосування методу ЯМР у медицині.
6. Установіть послідовність визначення Хлору в складі органічної сполуки.
  - А прожарювання мідної дротини до знебарвлення полум'я
  - Б нанесення органічної речовини на мідну дротину
  - В спостереження забарвлення полум'я
  - Г скручування кінця мідної дротини



## § 9. ХІМІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ АЛКАНІВ

За звичайних умов алкани не виявляють помітної активності. Вони **хімічно інертні**, не взаємодіють з кислотами, лугами, з таким сильним окисником, як калій перманганат. У цьому можна переконатися на досліді, діючи на різні насичені вуглеводні розчинами названих речовин. Якщо метан пропускати крізь розчин калій перманганату фіолетового кольору, то забарвлення не змінюється, що свідчить про відсутність будь-яких змін окисника.

Низька реакційна здатність алканів зумовлена порівняно високою енергією зв'язків С—С і С—Н (відповідно 343 і 414 кДж/моль). Для розриву цих зв'язків та ініціювання реакції за їх участю потрібні достатньо жорсткі умови, наприклад висока температура, наявність каталізатора, дія УФ-випромінювання.

## Реакції алканів

### Повне окиснення (горіння)



### Часткове окиснення

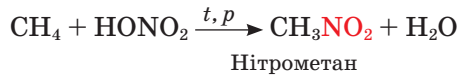
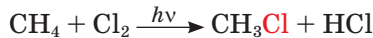
Відбувається важко (каталітичне окиснення)



### Розклад



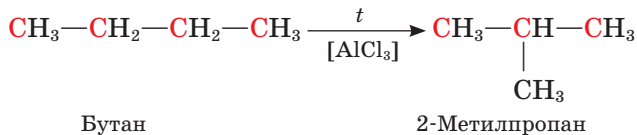
### Заміщення



### Приєднання

Не відбувається

### Ізомеризація

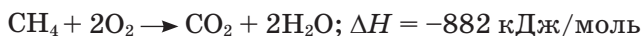


Пригадайте, за яких умов розпочинається робота двигуна внутрішнього згорання, у якому як паливо використовують вуглеводневі продукти.

Саме хімічною стійкістю насичених вуглеводнів, відносно інертністю можна пояснити їхню історичну назву — **парафіни** (від лат. *parum* — мало, *affinis* — причетний).

Підпалені на повітрі або в кисні алкани **горять**. Горіння вуглеводнів — це реакція повного окиснення, продуктами якого є вуглекислий газ і вода. Окрім цього, виділяється велика кількість теплоти.

Продукти реакції можна виявити експериментально. Якщо підпалити метан, зібраний у циліндрі, або опустити газовідвідну трубку з полум'ям метану в скляний циліндр, то через деякий час можна помітити утворення вологи на стінках циліндра. Вапняна вода, налита в циліндр, стає каламутною. Отже, унаслідок згорання метану виділяються вода й вуглекислий газ:



Характер горіння алканів залежить від їх складу. Вищі алкани (ті, що мають високі молекулярні маси) горять кіптявим полум'ям. Запалимо в порцеляновій чашці шматочки твердого вуглеводню, попередньо розплавивши його. Спостерігатимемо утворення кіптяви під час горіння.

Це добре видно, якщо над полум'ям потримати скло.

Оскільки газуваті вуглеводні (у нашому досліді — метан) добре змішуються з повітрям, то їх згоряння (**окиснення**) відбувається **повністю**. Розплавлений вуглеводень згорає за нестачі кисню, отже, окиснення є неповним, частина речовини розкладається, крім вуглекислого газу утворюється вуглець у вигляді сажі.

У разі нестачі кисню метан також згорає не повністю, і в результаті утворюються вуглець (сажа) або карбон(II) оксид.



Карбон(II) оксид — дуже токсична речовина без запаху й кольору. Пам'ятайте, що ознакою неповного окиснення метану в побутових газових приладах є жовте забарвлення полум'я, якого йому надають розжарені часточки вуглецю.

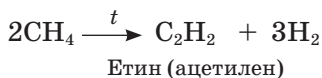
Пригадайте дію чадного газу на організм людини. Як можна вберегтися від отруєння ним?

Суміші метану чи іншого газуватого вуглеводню, а також випари рідких вуглеводнів з киснем або повітрям є вибухонебезпечними. Утворення таких сумішей у кам'яновугільних шахтах, квартирах, на виробництві може призвести до значних руйнувань. Вибух може статися навіть від іскри, якщо концентрація горючої речовини в повітрі досягає критичної. Ось чому слід дотримуватися правил безпеки, постійно провітрювати приміщення, де встановлено газові опалювальні прилади.

**Часткове окиснення** алканів киснем може відбуватися за наявності каталізатора (наприклад, солей Мангану) та за температури 150—200 °С. У результаті утворюється суміш оксигеновмісних органічних сполук, зокрема карбонових кислот, спиртів, альдегідів, кетонів. Такі реакції використовують у промисловості.

Унаслідок нагрівання до високої температури алкани **розкладаються**, при цьому можуть розриватися зв'язки С—С і С—Н.

Енергія зв'язків С—Н більша, ніж зв'язків С—С, тому метан, у якого є лише зв'язки С—Н, найбільш термостійкий серед алканів. Молекула метану розщеплюється за температури понад 1000 °С, а молекули вищих алканів — за значно нижчої температури — близько 450 °С.

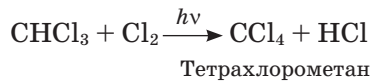
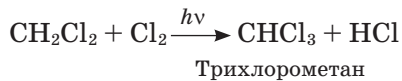
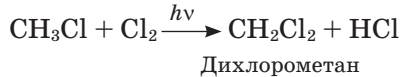
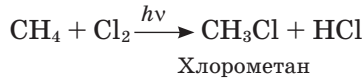


Розщеплення сполук під впливом нагрівання називають **піролізом** (від грец. πύρ — вогонь і λύσις — розкласти). Щодо піролізу алканів, якщо, зокрема, йдеться про переробку нафти, уживають термін **крекінг** (від англ. *cracking* — розщеплювати).

Розрізняють термічний, каталітичний, гідрокрекінг (за наявності водню). Залежно від умов крекінг алканів супроводжується відщепленням

водню, утворенням нижчих вуглеводнів, ізомеризацією, циклізацією тощо. Про все це ви дізнаєтеся під час вивчення процесів переробки нафти.

За нагрівання до 250—400 °С або під дією УФ-випромінювання алкани вступають у реакцію **заміщення** з галогенами (крім йоду). Атоми Гідрогену поступово заміщуються на атоми галогену. На практиці, за умови достатньої кількості хлору, утворюється суміш моно-, ди-, три-, тетразаміщених сполук, які називають **галогенопохідними** насичених вуглеводнів:



Якщо колбу наповнити сумішшю метану і хлору й залишити її в темряві, то жодних ознак реакції не спостерігатимемо. У колбі, винесеній на світло, одразу можна помітити послаблення жовтого забарвлення хлору, що свідчить про початок хімічної реакції. Вона може супроводжуватися вибухом, якщо суміш газів освітити прямим ультрафіолетовим промінням.

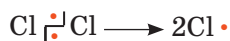
**Механізм реакції галогенування.** Щоб керувати хімічною реакцією, впливати на її результат, вихід продуктів та умови їх утворення, треба знати, яким шляхом ця реакція відбувається, з яких стадій складається, як впливають на неї зовнішні чинники. Такий опис хімічної реакції називають **механізмом реакції**.

Вивчення механізму реакції — дуже складний процес, механізм досліджений не для всіх реакцій. Серед вивчених і доведених — механізм галогенування алканів, зокрема хлорування метану.

Ця реакція відбувається за **радикальним механізмом** і складається з трьох стадій. Виходячи з того, що метан не реагує з хлором у темряві, але легко взаємодіє з ним на світлі, можна вважати, що цей чинник є ініціатором реакції.

**Перша стадія: ініціювання реакції.**

Під дією енергії світла ковалентний зв'язок у молекулі хлору розривається, вона розщеплюється на атоми, що мають по одному неспареному електрону:



Ці частинки, які називають **радикалами**, є дуже реакційноздатними.

Розривання ковалентного зв'язку з утворенням частинок із неспареним електроном називається **гомолітичним** (від грец. ομόζ — однаковий і λύσις — розклад).



**Євген Олексійович  
Шілов  
(1893—1970)**

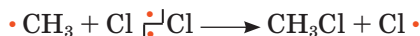
Український хімік, академік, працював у Інституті органічної хімії АН України. Вивчав механізми органічних реакцій, зокрема галогенування. Досліджував також питання теорії і практики вибілювання рослинних волокон.

Друга стадія: *розвиток ланцюга.*

Унаслідок зіткнення з молекулою метану радикал відщеплює від неї атом Гідрогену, при цьому утворюється новий радикал, що має неспарений електрон, — метил:



Стикаючись із молекулою хлору, метильний радикал відщеплює від неї атом Хлору, утворюючи молекулу хлорометану. Натомість залишається радикал Хлору:



Останній може атакувати молекулу хлорометану, внаслідок чого відбувається заміщення ще одного атома Гідрогену:

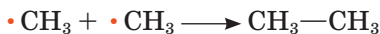


Ланцюг може розвиватися далі:



Третя стадія: *обривання ланцюга.*

У разі зіткнення радикалів між собою ланцюг обривається:



Реакція припиняється, коли зникають усі вільні радикали.

Реакцію, що відбувається з утворенням активної частинки, здатної спричинити утворення інших таких частинок, називають *ланцюговою*.

За вільнорадикальним механізмом відбувається й реакція **нітрування** алканів під дією розбавленої нітратної кислоти й за підвищеного тиску. Унаслідок перебігу такої реакції утворюються *нітросполуки*:







**Михайло Іванович  
Коновалов  
(1858—1906)**

Український і російський хімік, професор, ректор Київського політехнічного інституту. Вивчав дію нітратної кислоти на органічні речовини. Відкрив реакцію нітрування парафінів. Розробив методи добування органічних сполук різних класів на основі нітросполук.



Цю реакцію відкрив М. І. Коновалов у 1888 р., її названо його ім'ям\*.

Під дією підвищеної температури та за наявності каталізатора алкани здатні до **ізомеризації**. Ця реакція має значення для добування потрібних сортів пального. Про це ви дізнаєтеся згодом.

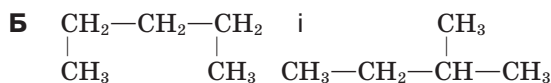
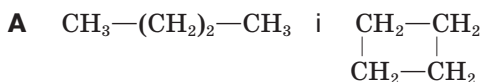


### Завдання для самоконтролю

1. Група вуглеводнів, що розглядалися, має декілька назв. Які?
2. За допомогою яких хімічних проб можна довести хімічну стійкість алканів?
3. Укажіть умови, необхідні для розриву хімічних зв'язків у молекулах алканів.
4. У чому полягають особливості реакцій горіння алканів різного складу? Чим вони зумовлені?
5. Що таке повне та часткове окиснення вуглеводнів? Наведіть приклади.
6. Наведіть приклади реакцій розкладу алканів.
7. Назвіть реакції заміщення, у які вступають алкани. Складіть рівняння реакцій.
8. Що таке механізм реакції? З якою метою вивчають механізми реакцій?
9. Поясніть механізм реакції хлорування метану.

### Додаткові завдання

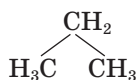
10. Доведіть, що інша назва насичених вуглеводнів (парафіни) є виправданою.
11. Спалили речовини такої будови:



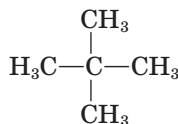
\*В органічній хімії існує традиція називати реакції іменами їх першовідкривачів. Іменні реакції, такі як реакція Коновалова, увійшли до наукової хімічної термінології.

Чи можна розрізнити ці речовини за об'ємом газів (разом із водяною парою), що утворилися в результаті згоряння?

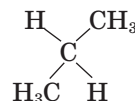
12. Поясніть, чому метан є хімічно найстійкішим з алканів.
13. Поясніть, чому саме УФ-випромінювання ініціює реакцію хлорування метану. Енергія зв'язку  $\text{Cl}-\text{Cl}$  становить 243 кДж/моль, енергія одного кванта УФ-світла — 396 кДж/моль, ІЧ-світла — 3,96 кДж/моль.
14. За влучним висловом М. Зелінського, реакцією нітрування алканів М. Коновалов «оживив хімічних мерців». Поясніть цей вислів.
15. Складіть формулу алкану розгалуженої будови і назвіть його.
16. Укажіть гомологи серед наведених сполук.  
**А** 1, 5, 6    **Б** 1, 3    **В** 3, 4    **Г** 2, 4



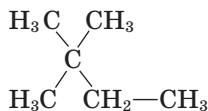
1



2



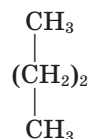
3



4



5



6

17. Визначте об'єм метану (в кубічних метрах, н. у.), на спалювання якого вистачить кисню, що міститься в повітрі кухні (площа — 10 м<sup>2</sup>, висота — 2,5 м)  
**А** 2,5    **Б** 5    **В** 10    **Г** 20
18. Який об'єм кисню потрібно на спалювання суміші газів об'ємом 1 м<sup>3</sup> (н. у.), що складається з 75 % метану та 25 % етану?
19. Спалили алкан кількістю речовини 0,1 моль; добули вуглекислий газ (0,5 моль) і воду (0,6 моль). Укажіть формулу алкану.  
**А**  $\text{CH}_4$     **Б**  $\text{C}_2\text{H}_4$     **В**  $\text{C}_4\text{H}_{10}$     **Г**  $\text{C}_5\text{H}_{12}$
20. Для спалювання суміші метану й пропану об'ємом 10 см<sup>3</sup> затратили кисень об'ємом 41 см<sup>3</sup>. Визначте склад суміші газів (у відсотках).  
**А** 50 і 50    **Б** 30 і 70    **В** 15 і 85    **Г** 55 і 45
21. Визначте об'єм повітря, що затрачається для спалювання суміші пропану і бутану об'ємом 20 л (н. у., об'ємне співвідношення газів 1:1).
22. Чи вистачить кисню об'ємом 400 л для спалювання пропану об'ємом 100 л (н. у.)?
23. Спалили метан об'ємом 100 л у кисні. Який газ буде в залишку, якщо взято 300 л кисню (н. у.)?
24. У результаті спалювання пропан-бутанової суміші (співвідношення об'ємів газів 1:2) утворився вуглекислий газ об'ємом 247 л (н. у.). Теплота згоряння пропану становить 2220 кДж/моль, а бутану — 2878 кДж/моль. Обчисліть і вкажіть об'єм (л) метану, який треба спалити (теплота згоряння 890 кДж/моль), щоб добути таку саму кількість теплоти, як від згоряння пропан-бутанової суміші.
25. Теплота згоряння пропану становить 2220 кДж/моль, а бутану — 2878 кДж/моль. Обчисліть і вкажіть об'єм (л) метану, який треба спалити (теплота згоряння 890 кДж/моль), щоб добути таку саму кількість теплоти, як від згоряння пропан-бутанової суміші (співвідношення об'ємів газів 1:1) об'ємом 448 л.



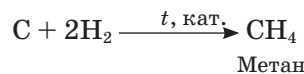
## § 10. ДОБУВАННЯ ТА ЗАСТОСУВАННЯ АЛКАНІВ

**Добування.** Основними джерелами алканів є *природний газ, нафта й кам'яне вугілля*.

До промислових синтетичних методів належить переробка *синтез-газу* (суміш карбон(II) оксиду й водню) за наявності каталізатора:

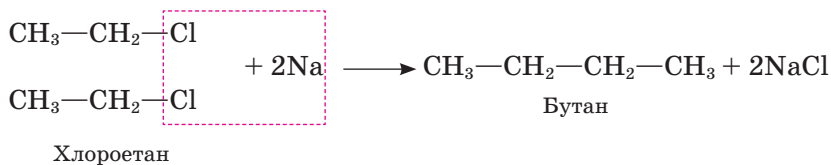


Нагріванням вуглецю з воднем можна *синтезувати* метан:



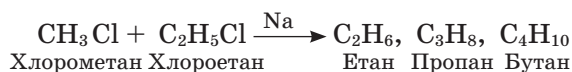
Чому, на вашу думку, ця реакція становить теоретичний інтерес?

У лабораторних умовах алкани можна добути із *галогенопохідних* реакцією з активними металами:

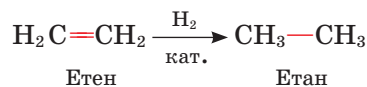


Цю реакцію в 1855 р. відкрив французький хімік Ш. Вюрц, її названо його іменем.

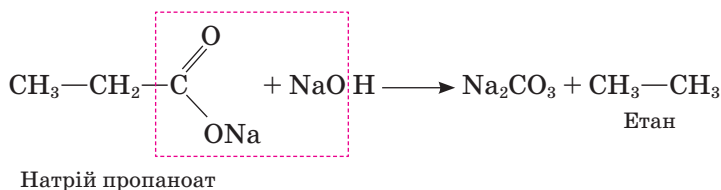
Якщо в реакцію вступають різні галогенопохідні, то утворюється суміш продуктів:



Алкани утворюються також унаслідок *приєднання водню до ненасичених вуглеводнів*, у молекулах яких містяться кратні зв'язки:

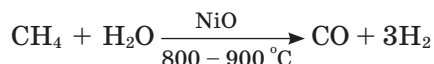


Насичені вуглеводні можна добути *сплавленням солей карбонових кислот із лугом*:



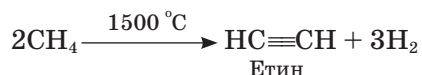
**Застосування.** *Метан.* Оскільки внаслідок згоряння метану виділяється велика кількість теплоти, його використовують як відносно дешеве паливо в побуті й багатьох промислових процесах.

Але метан — це не лише паливо з великою теплотворною здатністю, а й цінна хімічна сировина. З метану добувають вуглець (сажу) — для виготовлення гуми, друкарської фарби. У результаті каталітичної реакції метану з водяною парою утворюється суміш карбон(II) оксиду й водню, відома у промисловості як *синтез-газ*:



Синтез-газ піддають переробці з метою вилучення водню, який використовують у процесі синтезу амоніаку та гідроген хлориду. Унаслідок хімічної переробки синтез-газу добувають метанол, з нього — формальдегід, що є сировиною для виробництва пластичних мас.

З метану добувають етин (ацетилен):



Так само, як і метан, цінними продуктами є *пропан* і *бутан* — гази, що легко скраплюються (мал. 20).

Ці гази є вихідними речовинами для синтезу багатьох органічних речовин.

Із курсу хімії 9 класу вам відомо, що метан — основний складник *біогазу*, який є продуктом розкладу й бродіння органічних залишків. Установки з добування біогазу вже нерідкісні в сільській місцевості, де є багато сільськогосподарських відходів (соломи, бадилля, качанів тощо).

З'ясуйте, як добування біогазу сприяє розв'язуванню енергетичної проблеми й водночас — поліпшенню екологічної ситуації. Складіть доповідь з цього питання.

Природна суміш твердих вуглеводнів з числом атомів Карбону в молекулі від 18 до 35 — це відомий вам *парафін*. Про його використання йшлося в курсі хімії 9 класу. Поновіть свої знання й підготуйте повідомлення на цю тему.

*Озокерит* (гірський воск) — також суміш насичених вуглеводнів переважно ізомерної будови (мал. 21). Про застосування інших алканів ви дізнаєтесь під час вивчення процесів переробки нафти.



Мал. 20. Резервуари для зберігання скрапленого природного газу



Мал. 21. Парафін і озокерит застосовують у медицині



## Завдання для самоконтролю

1. Згрупуйте промислові й лабораторні способи добування алканів.
2. Обґрунтуйте застосування алканів їхніми хімічними властивостями.
3. Для виготовлення свічок використовують парафін, до складу якого входить переважно алкан, що містить у молекулі 25 атомів Карбону. Складіть молекулярну формулу сполуки та рівняння реакції її горіння. Обчисліть кількість речовини води (в молях), що виділяється в результаті згоряння 1 моль сполуки.  
**А 25 моль    Б 26 моль    В 50 моль    Г 38 моль**
4. Яких правил безпеки слід дотримуватися під час використання в побуті метану й інших алканів?

### Додаткові завдання

5. Проаналізуйте дані, наведені в таблиці 4. Як теплота згоряння пов'язана зі складом алканів?
6. Чому, на вашу думку, у побутових газових балонах використовують пропан-бутанову суміш, а не метан?
7. На основі даних таблиці 4 та враховуючи, що теплота згоряння вугілля (в перерахунку на чистий вуглець) становить 394 кДж/моль, поясніть, який продукт — метан чи вугілля — доцільніше (за масою) використовувати як паливо в побуті. Які переваги й недоліки цих видів палива?

Таблиця 4

### Теплота згоряння вуглеводнів

Назва алкану	Формула	Теплота згоряння, кДж/моль
Метан	$\text{CH}_4$	882
Етан	$\text{C}_2\text{H}_6$	1560
Пропан	$\text{C}_3\text{H}_8$	2220
Бутан	$\text{C}_4\text{H}_{10}$	2878
Пентан	$\text{C}_5\text{H}_{12}$	3536
Гексан	$\text{C}_6\text{H}_{14}$	4141
Гептан	$\text{C}_7\text{H}_{16}$	4817
Октан	$\text{C}_8\text{H}_{18}$	5474

### Висновки

- Карбон в органічних сполуках може утворювати чотири ковалентні зв'язки.
- Ковалентні зв'язки характеризують просторовою напрямленістю, довжиною, енергією, полярністю.
- Молекула метану має тетраедричну будову.

- Основні параметри молекул алканів:
  - тип гібридизації електронних орбіталей атомів Карбону —  $sp^3$ -гібридизація;
  - вид зв'язків —  $\sigma$ -зв'язки;
  - довжина зв'язку C—C — 0,154 нм;
  - енергія зв'язку C—C — 348 кДж/моль;
  - валентний кут —  $109,5^\circ$ .
- Алканам властива структурна ізомерія, зумовлена будовою карбонового скелета.
- Молекули алканів можуть існувати в різних конформаціях, зумовлених обертанням атомів навколо C—C-зв'язків. Найімовірніша форма карбонового ланцюга — зигзагоподібна.
- Насичені вуглеводні нормальної будови належать до гомологічного ряду метану.
- Загальна формула насичених вуглеводнів (алканів, парафінів) —  $C_nH_{2n+2}$ .
- В основу систематичної номенклатури алканів покладено назви сполук нормальної будови.
- Алкани неполярні або слабкополярні сполуки, нерозчинні у воді. Температури плавлення й кипіння алканів зростають пропорційно зростанню їхніх відносних молекулярних мас.
- Найпоширеніші фізичні методи встановлення структури органічних речовин — ІЧ- та ЯМР-спектроскопія.
- ІЧ-спектроскопія дає змогу визначити наявність функціональних груп у молекулі речовини.
- Спектроскопія ЯМР надає докладну інформацію про структуру речовини завдяки виявленню типів атомів Гідрогену (їхнього хімічного оточення).
- Ідентичність сполук можна виявити за банком спектральних даних.
- Завдяки значній міцності C—C-зв'язків алкани хімічно стійкі за стандартних умов.
- За певних умов алкани вступають у реакції трьох типів: окиснення, розкладу, заміщення.
- Алкани горять з утворенням вуглекислого газу й води.
- Реакції заміщення в алканах відбуваються за радикальним механізмом.
- Природними джерелами алканів є корисні копалини: природний газ, нафта, кам'яне вугілля.



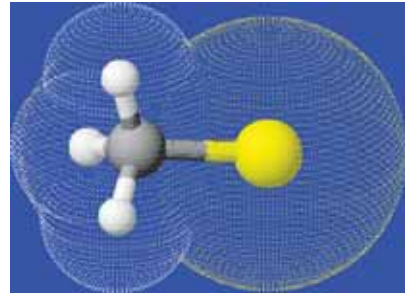
## § 11. ГАЛОГЕНОПОХІДНІ АЛКАНІВ

**Склад і будова молекул. Номенклатура. Ізомерія.** Унаслідок заміщення одного або декількох атомів Гідрогену в молекулах алканів на атоми галогенів утворюються галогенопохідні сполуки — **галогеноалкани**. Відомі флуоро-, хлоро-, бромо-, йодозаміщені алкани.

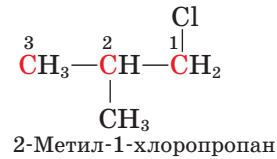
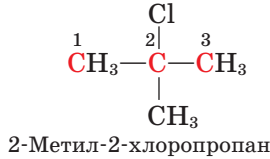
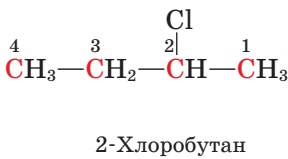
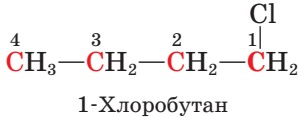
Загальна формула моногалогенопохідних алканів —  $C_nH_{2n+1}X$  ( $X$  — галоген).

Модель молекули хлорометану зображено на мал. 22.

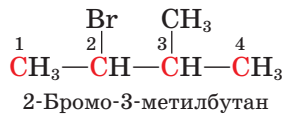
Галогеноалканам властива *структурна ізомерія*, зумовлена будовою карбонового ланцюга та положенням атома галогену в молекулі. Наприклад, сполука складу  $C_4H_9Cl$  має такі ізомери:



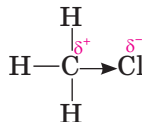
Мал. 22. Модель молекули хлорометану



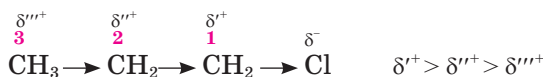
**Назви** галогенопохідних утворюють від назв відповідних алканів із зазначенням цифрами місця галогену й алкільного замісника в абетковому порядку. Нумерують атоми Карбону з того кінця, до якого ближче розташований замісник, назва якого починається з літери, ближчої до початку алфавіту.



**Індукційний ефект.** У молекулах алканів ковалентні зв'язки С—С неполярні, їх дипольний момент дорівнює нулю. Поява в молекулі атома з іншою електронегативністю порушує рівномірний розподіл електронної густини ковалентного зв'язку. Атом галогену, наприклад Хлору, що має більшу електронегативність порівняно з Карбоном, притягує до себе електронну густину  $\sigma$ -зв'язку С—Cl. На атомах С і Cl виникають часткові заряди, молекула поляризується. Напрямок зміщення електронної густини прийнято позначати стрілкою:



Під впливом Хлору відбувається зміщення електронної густини С—С-зв'язків по всьому карбоновому ланцюгу:

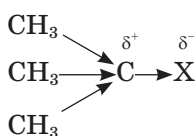


Уплив атома галогену зменшується з віддаленням атомів Карбону від атома галогену, тому частковий позитивний заряд на атомі C<sup>2</sup> менший, ніж на атомі C<sup>1</sup>, а на атомі C<sup>3</sup> — менший, ніж на атомі C<sup>2</sup>.

*Зміщення електронної густини вздовж ланцюга σ-зв'язків, що відбувається в напрямку більш електронегативного атома, називають індукційним ефектом* (від лат. *inductio* — наведення, збудження).

Індукційний вплив атома чи групи атомів найсильніший у зоні найближчих двох σ-зв'язків і поступово згасає.

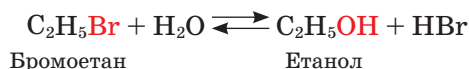
Замісники, що притягують до себе електрони, виявляють *негативний індукційний ефект* (позначають *-I*), а ті, що відштовхують від себе електрони, — *позитивний індукційний ефект* (позначають *+I*). Галогени виявляють негативний індукційний ефект, а вуглеводневі групи (алкільні замісники) — позитивний:



Індукційний ефект є виявом взаємного впливу атомів. Положення про взаємний вплив атомів у молекулі вперше сформулював О. М. Бутлеров у теорії хімічної будови органічних сполук. Проте природу цього явища було пояснено значно пізніше на основі електронної будови атомів і молекул.

**Хімічні властивості.** Завдяки впливові атомів галогенів галогеноалкани є достатньо реакційноздатними сполуками порівняно з алканами. Атоми галогену можуть заміщуватися на інші групи: гідроксильну —OH, нітрогрупу —NO<sub>2</sub>, аміногрупу —NH<sub>2</sub>.

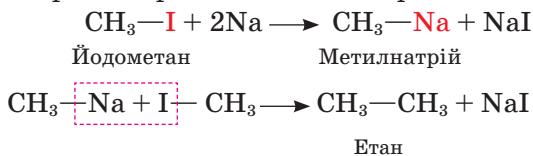
Галогеноалкани вступають у реакцію **гідролізу**, в результаті якої утворюються спирти:



Оскільки ця реакція відбувається повільно, на практиці гідроліз проводять за наявності луку.



У результаті реакції галогеноалканів з **активними металами** утворюються так звані *металоорганічні сполуки*. Відома реакція Вюрца також відбувається через утворення проміжної металоорганічної сполуки:



**Застосування.** Реакції галогенопохідних алканів дають змогу здійснювати генетичні переходи між сполуками різних класів, тому використовуються в органічному синтезі.





Мал. 23. Тетрахлорометан



Мал. 24. Трійодометан (йодоформ)

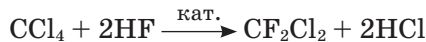
*Дихлорометан*  $\text{CH}_2\text{Cl}_2$  й *трихлорометан*  $\text{CHCl}_3$  — розчинники.

*Трихлорометан* (хлороформ) — безбарвна рідина з характерним запахом. Використовують його для екстрагування (від лат. *extraho* — витягувати, вилучати) речовин із природної сировини. Раніше використовували для наркозу (тепер не використовують через його токсичність).

*Тетрахлорометан*  $\text{CCl}_4$  є засобом гасіння вогню (мал. 23).

*Трійодометан* (йодоформ)  $\text{CHI}_3$  — тверда речовина, його використовують у стоматології як антисептик ( мал. 24).

*Дифлуородихлорометан*  $\text{CF}_2\text{Cl}_2$  (фреон-12) — холодоагент у холодильних установках. Його добувають за реакцією:



*Хлороетан*  $\text{C}_2\text{H}_5\text{Cl}$  — рідина з температурою випаровування нижче від  $12^\circ\text{C}$ . Потрапляючи на шкіру, швидко випаровується, спричиняє охолодження й знеболення, тому його використовують для місцевого знеболення — анестезії (від грец. *ἀναίθησία* — нечутливий).

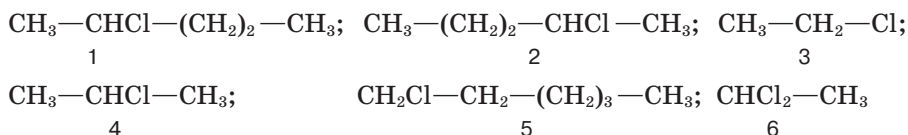
## ВИСНОВКИ

- Галогенопохідні алканів утворюються внаслідок заміщення атомів Гідрогену на атоми галогенів.
- Галогеноалканам властива структурна ізомерія карбонового скелета й положення атома галогену.
- Атоми галогенів як електронегативніші створюють у молекулах негативний індукційний ефект.
- Галогеноалкани виявляють більшу реакційну здатність порівняно з алканами.



## Завдання для самоконтролю

1. Назвіть сполуки за наведеними формулами й укажіть серед них ізомери.

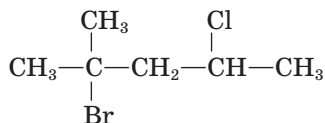


**A** 1, 2   **B** 3, 4   **B** 1, 5   **Г** 3, 6

2. Поясніть суть індукційного ефекту на основі електронних уявлень.  
 3. Який вплив чинить метильна група в молекулі хлорометану?  
 4. Чому на атомах галогену та Карбону виникає частковий, а не повний заряд?  
 5. Поясніть, у чому полягає хімічна активність галогеноалканів.  
 6. У яких галузях застосовуються галогеноалкани?  
 7. Уставте пропущені слова:  
 1) найпростіша органічна сполука — ... ;  
 2) похідна метану ... не містить атомів Гідрогену;  
 3) у  $sp^3$ -гібридизації беруть участь ... $s$ - і ... $p$ -електрони атома ... ;  
 4) 2,2,4-триметилпентан — ізомер ... нормальної будови.

### Додаткові завдання

8. Назвіть сполуку, складіть формулу й назву її ізомеру:



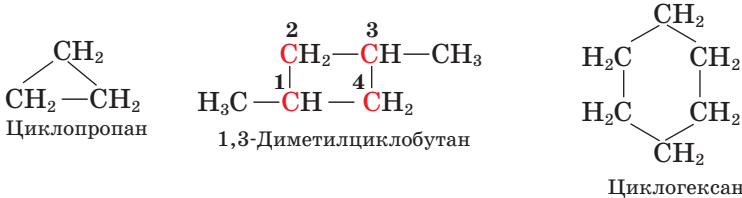
9. Складіть формули сполук за назвами:  
 1) 4-бromo-3-етил-2-метилгексан;  
 2) 2,3-диметил-1,2-дихлоробутан.  
 10. Яка реакція відбувається легше: утворення хлорометану чи дихлорометану? Чому?  
 11. Зв'язки С—Сl полярні, а молекула  $\text{CCl}_4$  неполярна. Поясніть причину цього явища.  
 12. Порівняйте реакційну здатність алканів і галогеноалканів.  
 13. Які продукти утворюються за реакцією Вюрца з бромометану і 2-бромпропану? Складіть рівняння хімічних реакцій.  
 14. 2-Бromo-1,1,1-трифлуоро-2-хлороетан використовують у медицині для інгаляційного наркозу. Складіть структурну формулу цієї сполуки.  
 15. Відбувся процес повного хлорування метану. Визначте об'єм хлору (в літрах), що його потрібно затратити для добування продукту масою 231 г.  
**A** 116 л   **B** 134,4 л   **B** 95 л   **Г** 100 л  
 16. У результаті хлорування етану об'ємом 23,8 л утворилася монохлоропохідна сполука. Визначте масу продукту реакції.

17. Установіть відповідність між речовинами або явищами та їхніми характеристиками
- | Назва речовини або явища | Характеристика речовини або явища                         |
|--------------------------|---|
| 1 хлороформ              | А у перекладі з грецької означає розщеплення вогнем       |
| 2 піроліз                | Б можна добути з простих речовин                          |
| 3 метан                  | В є виявом взаємного впливу атомів у молекулі             |
| 4 індукційний ефект      | Г вибухає від контакту з киснем                           |
|                          | Д утворюється внаслідок реакції за радикальним механізмом |



## § 12. ЦИКЛОАЛКАНИ

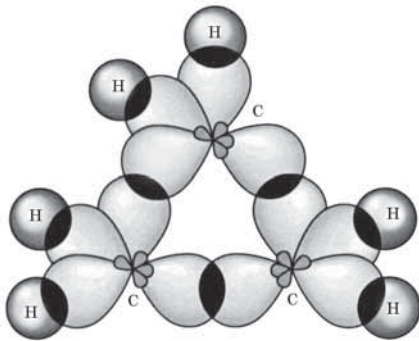
**Склад і будова молекул. Номенклатура.** Атоми Карбону в стані  $sp^3$ -гібридації можуть сполучатися з утворенням не лише ланцюгових, а й циклічних молекул, наприклад:



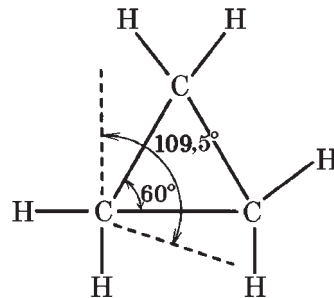
Ці сполуки належать до **циклоалканів**, або **циклопарафінів**. У їх молекулах міститься на два атоми Гідрогену менше, ніж у молекулах алканів; загальна формула циклоалканів —  $\text{C}_n\text{H}_{2n}$ .

**Назви** циклоалканів утворюються від назв алканів з відповідним числом атомів Карбону додаванням префікса **цикло-**. Перед назвою зазначають цифрою місця і назви замісників у алфавітному порядку.

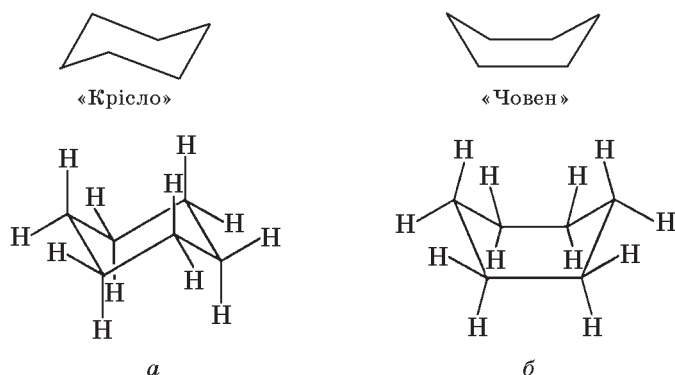
Розглянемо будову молекули циклопропану, що має трикутну форму (мал. 25, 26). Оскільки кути у правильному трикутнику дорівнюють  $60^\circ$ , тобто менші від тетраедричного кута  $109,5^\circ$ , електронні орбіталі атомів Карбону, що перебувають у стані  $sp^3$ -гібридації, не здатні перекриватися мак-



Мал. 25. Схема утворення  $\sigma$ -зв'язків у молекулі циклопропану



Мал. 26. Геометрія молекули циклопропану



Мал. 27. Конформації циклогексану: а — «крісло»; б — «човен»

симально й утворювати міцні С—С-зв'язки. Відхилення від тетраедричного кута створює в молекулі певне напруження, унаслідок чого молекула циклопропану нестійка. Це напруження дістало назву *кутового*, або *байєрівського*, *напруження* за іменем німецького хіміка А. Байєра, який створив так звану теорію напруження циклів (1885 р.).

У правильному п'ятикутнику кути дорівнюють  $105^\circ$ , тобто вони близькі до тетраедричних. Отже, можна припустити, що циклопентан — стійкіша сполука.

За теорією Байєра, молекули циклопарафінів з великими циклами мають бути менш стійкими, оскільки в них збільшується відхилення від тетраедричного кута. Проте експериментальні дані суперечать теоретичним передбаченням, і великі цикли виявляються достатньо міцними.

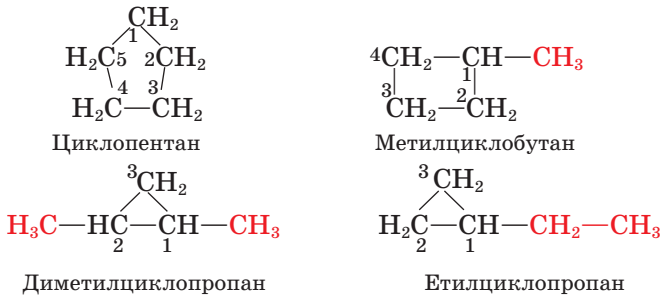
Виходить, що вчений помилявся? Так, і помилка полягала в тому, що Байєр уважав усі цикли плоскими. Сучасна наука довела, що плоскою є лише молекула циклопропану, інші ж циклоалкани існують у різних неплоских конформаціях. При цьому зберігаються валентні кути  $109,5^\circ$  і довжини зв'язків  $0,154$  нм. Якщо ми спробуємо сконструювати молекулу циклогексану з типових моделей тетраедричних атомів Карбону, то виявиться, що молекула циклогексану може мати дві геометричні форми — «човна» і «крісла». Такі назви вони отримали через подібність до цих предметів.

Теоретичні обчислення засвідчують, що форма «човен» має більшу енергетичну напруженість порівняно з формою «крісло», тому маємо усі підстави стверджувати, що для циклогексану переважною є саме конформація «крісло» (мал. 27).

Для циклопентану енергетично найвигіднішою є форма «конверт»:



**Ізомерія** циклоалканів зумовлена будовою циклу та будовою бічних відгалужень. Наприклад, складу  $C_5H_{10}$  відповідають такі ізомерні циклопарафіни:

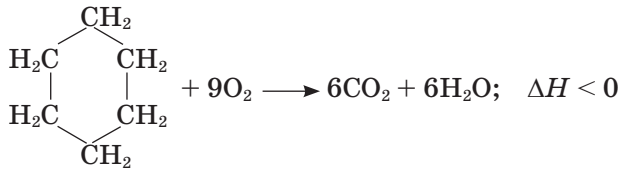


Циклоалкани ізомерні алкенам (про це в наступному параграфі).

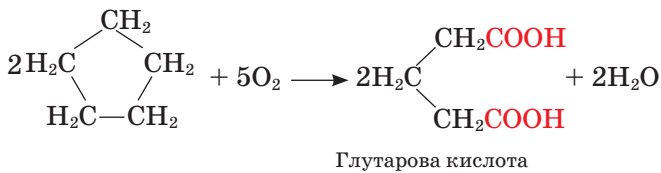
**Хімічні властивості.** Подібно до алканів циклоалкани **горять**, утворюючи вуглекислий газ і воду. У результаті реакції **часткового окиснення** утворюються киснеговмісні органічні сполуки.

### Реакції циклоалканів

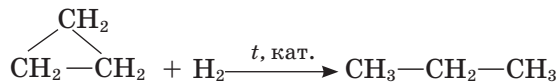
#### Повне окиснення (горіння)



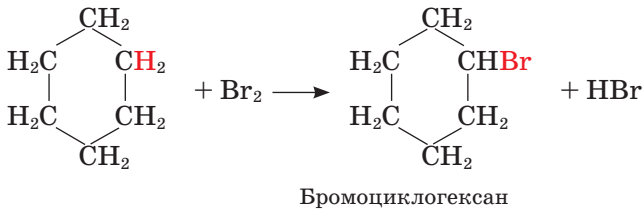
#### Часткове окиснення



#### Приєднання (для три- і чотиричленних циклів)



#### Заміщення (для п'яти- і шестичленних циклів)



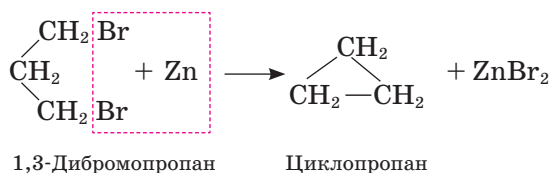
Специфічність реакцій, що залежать від розміру та стійкості циклу, пояснюється особливостями будови циклоалканів.

Циклопропан і циклобутан, молекули яких найменш стійкі, вступають у реакції **приєднання** водню з розкриванням циклу. У результаті реакції «знімається» напруження в циклі й утворюється стійка молекула алкану.

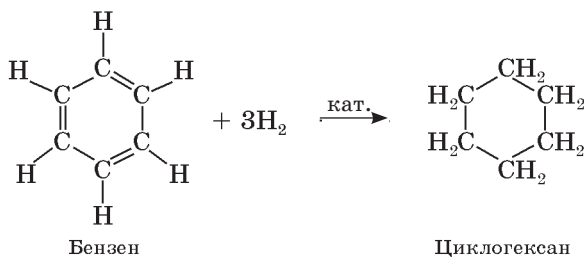
Циклоалкани зі стійкими циклами, такі як циклопентан і циклогексан, подібно до алканів вступають у реакції **заміщення** (галогенування, нітрування).

**Добування.** Циклопентан, циклогексан та їхні гомологи (загальна назва — *нафтени*) входять до складу деяких сортів нафти, зокрема каліфорнійської та бакинської.

Джерелом добування інших циклоалканів у лабораторії є органічний синтез. Три-, чотири-, п'ятичленні цикли добувають з *галогенопохідних* алканів за реакцією Г. Густавсона (1887 р.):



Циклогексан утворюється також унаслідок *приєднання водню* до бензену:

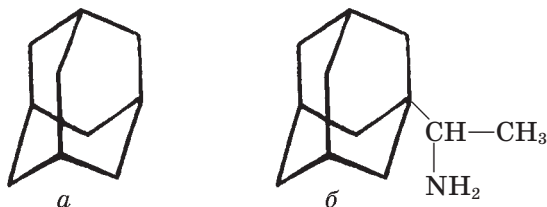


**Застосування.** Циклопропан використовують у медицині як засіб для наркозу (у суміші з киснем).

Циклопентан застосовують у промисловості як розчинник і в органічному синтезі.

Циклогексан — розчинник, а також вихідна речовина для синтезу поліамідних волокон (капрону, нейлону).

Три циклогексанові кільця у формі «крісла» утворюють молекулу *адамтану* (мал. 28, а). Похідні цієї сполуки чинять противірусну дію, тому їх використовують у фармації. Зокрема, це відомий протигрипозний засіб *ремантадин* (мал. 28, б). У його промисловій розробці брали участь українські вчені-хіміки.



Мал. 28. Структури адамтану (а) і ремантадину (б)

## Висновки

- Циклоалкани — насичені вуглеводні циклічної будови.
- Загальна формула циклоалканів —  $C_nH_{2n}$ .
- Циклоалканам властива структурна ізомерія, зумовлена розміром циклу, будовою бічного відгалуження, і міжгрупова ізомерія циклоалкани — алкени.
- Стійкість молекул циклоалканів залежить від будови циклів.
- Молекули циклоалканів мають неплоску будову.
- Для циклогексану енергетично найвигіднішою є конформація «крісло».
- Менш стійкі цикли вступають у реакції приєднання, більш стійкі — у реакції заміщення.
- Природне джерело п'яти- та шестичленних циклоалканів — нафта.



## Завдання для самоконтролю

1. Поясніть назву *циклоалкани*.
2. Наведіть загальну формулу циклоалканів.
3. Наведіть структурні формули декількох ізомерів циклогексану.
4. Опишіть будову молекули циклогексану. Яка конформація є переважною для цієї молекули?
5. У чому полягала помилка А. Байєра?
6. Поясніть, чи зберігаються параметри молекули в різних конформаціях.
7. Які реакції характерні для п'яти- і шестичленних циклоалканів?
8. Як відбувається приєднання водню до циклопропану?
9. Що таке нафтени?
10. Схарактеризуйте значення циклоалканів та їхніх похідних для медицини.

## Додаткові завдання

11. Що зумовлює ізомерію циклоалканів? Наведіть приклади.
12. Поясніть причину стійкості (або нестійкості) молекул циклоалканів.
13. Унаслідок чого «знімається» напруження в молекулі циклогексану?
14. Як будова молекул циклоалканів позначається на хімічних властивостях цих сполук?
15. Порівняйте хімічні властивості алканів і циклоалканів.
16. Чому саме нафтени трапляються у природі у вільному стані?
17. Масова частка Гідрогену у вуглеводні становить 14,3 %, густина пари за воднем — 21. Укажіть правильні твердження щодо цієї сполуки.
  - А приєднує водень
  - Б існує в конформаціях «човен» і «крісло»
  - В атоми Карбону перебувають у стані  $sp^3$ -гібридизації
  - Г є першим членом гомологічного ряду

# Алкени. Алкадієни

## Нові поняття й терміни:

алкени, алкадієни, геометрична (*цис*-, *транс*-) ізомерія, міжгрупова ізомерія,  $sp^2$ -гібридизація,  $\pi$ -зв'язок, делокалізація електронів, спряжена  $\pi$ -електронна система, енергія спряження, гетеролітичний розрив ковалентного зв'язку, правило Марковникова, каучук, вулканізація, дегідрогалогенування.



## § 13. ЕТЕН. ГОМОЛОГИ ЕТЕНУ

**Склад і будова молекул.** Вам відомо про ненасичені вуглеводні та найпростіший серед них — етен (тривіальна назва – етилен), що має склад  $C_2H_4$ . Порівняно з етаном  $C_2H_6$  етену ніби не вистачає двох атомів Гідрогену для насичення чотирьох валентностей атомів Карбону. Виявляється, ця валентність насичується за рахунок подвійного зв'язку між атомами:

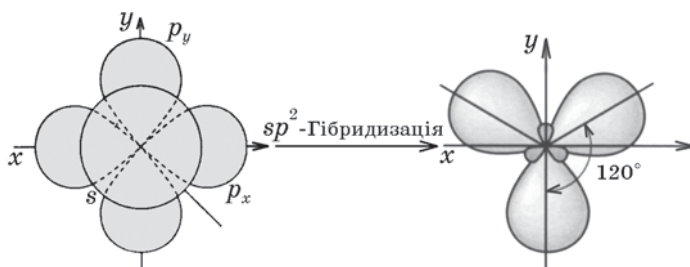


Щоб з'ясувати природу подвійного зв'язку, звернемося до електронної будови атома Карбону. Відомо, що у збудженому стані в його зовнішньому електронному шарі містяться чотири неспарені електрони — один  $s$ - і три  $p$ -електрони. Згідно з гіпотезою гібридизації в момент утворення молекули етену  $s$ -електронна орбіталь атома Карбону гібридизується з двома  $p$ -електронними орбіталями, унаслідок чого утворюються три нові  $sp^2$ -гібридні електронні орбіталі (мал. 29).

Якщо уявити ядро атома Карбону в центрі трикутника, то  $sp^2$ -гібридні орбіталі напрямлені до його вершин, кут між ними становить  $120^\circ$ .

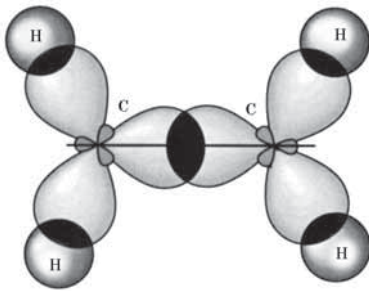
Гібридні електронні орбіталі двох атомів Карбону, перекриваючись, утворюють  $\sigma$ -зв'язок (мал. 30).

Негібридизовані  $p$ -електронні орбіталі двох атомів Карбону, перекриваючись, утворюють так званий  $\pi$ -зв'язок. Оскільки  $p$ -електронні орбіталі мають форму об'ємних вісімок, то перекривання відбувається над і під віссю

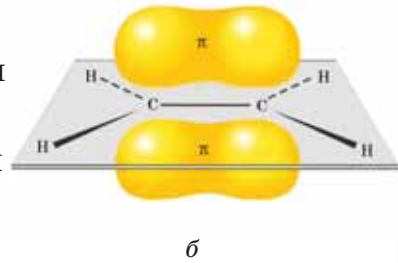
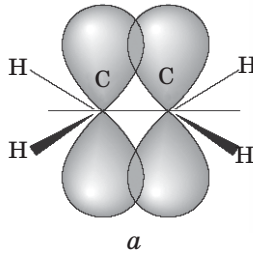


Мал. 29. Схема утворення  $sp^2$ -гібридних електронних орбіталей атома Карбону





Мал. 30. Схема утворення  $\sigma$ -зв'язків у молекулі етену

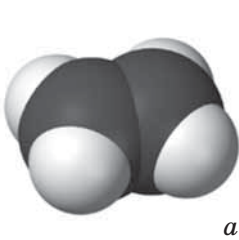


Мал. 31. Схема перекривання  $p$ -електронних орбіталей та утворення  $\pi$ -зв'язку в молекулі етену

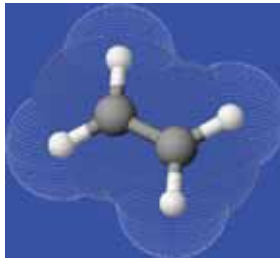
$\sigma$ -зв'язку (мал. 31). Отже, між атомами Карбону в молекулі етену утворюється подвійний зв'язок: один  $\sigma$ -, другий —  $\pi$ -зв'язок (мал. 32).

Порівнюючи характеристики одинарного й подвійного зв'язків між атомами Карбону (див. табл. 1, с. 21), можна помітити, що енергія подвійного зв'язку (614 кДж/моль) більша за енергію одинарного зв'язку (348 кДж/моль), але менша за його подвоєну енергію. Очевидно, що енергія  $\pi$ -зв'язку менша за енергію  $\sigma$ -зв'язку й становить:  $614 - 348 = 266$  (кДж/моль).  $\pi$ -Зв'язок менш міцний, оскільки його електронна густина зосереджена не між атомними ядрами, а вище й нижче від них. Просторово  $\pi$ -зв'язок доступніший для реагентів, під їх впливом він поляризується й розривається.

Довжина подвійного  $C=C$ -зв'язку в молекулі етену (0,134 нм) менша, ніж у молекулі етану, оскільки в утворенні подвійного зв'язку беруть участь чотири електрони (по два від кожного атома Карбону), а в утворенні простого — лише два електрони. Позитивно заряджені ядра атомів Карбону в молекулі етену зв'язуються міцніше, ніж у молекулі етану, оскільки між ними містяться електрони, які мають більший сумарний негативний заряд (мал. 33).

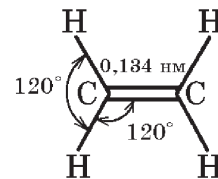


а



б

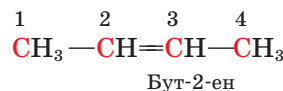
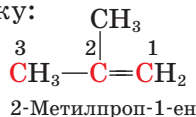
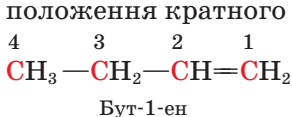
Мал. 32. Моделі молекули етену:  
а — масштабна; б — кулестержнева



Мал. 33. Геометрія молекули етену

Етен започатковує групу ненасичених вуглеводнів **алкенів**, або **етиленових вуглеводнів**. Загальна формула алкенів —  $C_nH_{2n}$ . У таблиці 5 (с. 58) наведено константи деяких вуглеводнів цієї групи.

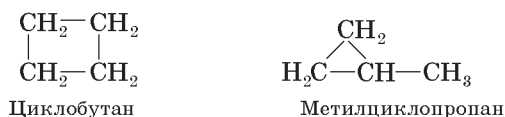
**Ізомерія.** Алкенам властива *структурна ізомерія* карбонового скелета й положення кратного зв'язку:



## Характеристики алкенів

Назва	Формула		Температура, °С	
	молекулярна	скорочена структурна	плавлення	кипіння
Етен	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	CH <sub>2</sub> =CH <sub>2</sub>	-169	-104
Пропен	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub>	CH <sub>2</sub> =CH—CH <sub>3</sub>	-188	-48
Бут-1-ен	C <sub>4</sub> H <sub>8</sub>	CH <sub>2</sub> =CH—CH <sub>2</sub> —CH <sub>3</sub>	-185	-6
Бут-2-ен	C <sub>4</sub> H <sub>8</sub>	CH <sub>3</sub> —CH=CH—CH <sub>3</sub>	-105 ( <i>цис</i> ) -139 ( <i>транс</i> )	3,7 0,9
Пент-1-ен	C <sub>5</sub> H <sub>10</sub>	CH <sub>2</sub> =CH—(CH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> —CH <sub>3</sub>	-138	30
Пент-2-ен	C <sub>5</sub> H <sub>10</sub>	CH <sub>3</sub> —CH <sub>2</sub> —CH=CH—CH <sub>3</sub>	-151	36,9
Гекс-1-ен	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub>	CH <sub>2</sub> =CH—(CH <sub>2</sub> ) <sub>3</sub> —CH <sub>3</sub>	-139,8	63,5
Гепт-1-ен	C <sub>7</sub> H <sub>14</sub>	CH <sub>2</sub> =CH—(CH <sub>2</sub> ) <sub>4</sub> —CH <sub>3</sub>	-119	94
Окт-1-ен	C <sub>8</sub> H <sub>16</sub>	CH <sub>2</sub> =CH—(CH <sub>2</sub> ) <sub>5</sub> —CH <sub>3</sub>	-102	122

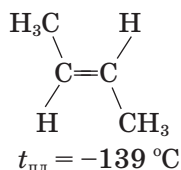
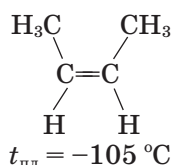
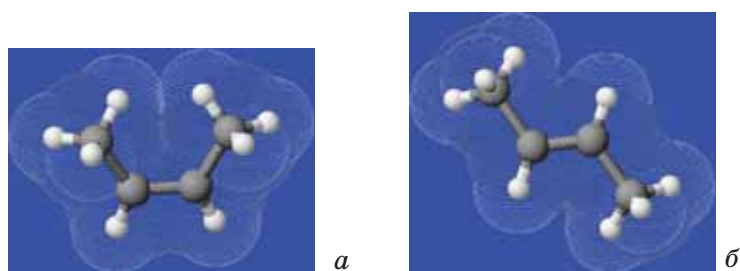
Загальна формула алкенів збігається із загальною формулою циклоалканів, тобто ці групи вуглеводнів мають однаковий склад молекул, але різну будову, а значить є ізомерами. Такий особливий вид структурної ізомерії називають *міжгруповою ізомерією*. Отже, до структурних ізомерів бутену належать і циклобутан, і метилциклопропан:



Поява в молекулі подвійного зв'язку спричиняє збільшення числа можливих ізомерів. Для етенових вуглеводнів характерний ще один вид ізомерії, який вам досі не траплявся. Розглянемо його на прикладі молекули бут-2-ену. На моделях ви можете переконаватися, що можливі два варіанти будови молекули залежно від просторового розміщення атомів (мал. 34). Дві метильні групи розміщуються з одного або з різних боків від подвійного зв'язку.

Щоб першу структуру перетворити на другу, слід повернути атоми Карбону навколо подвійного зв'язку. Оскільки електронна густина  $\pi$ -зв'язку зосереджена над і під площиною молекули, то таке обертання неможливе без розриву зв'язку, тобто без додаткової затрати енергії. Отже, навколо подвійного зв'язку вільне обертання неможливе, і ми маємо справу з молекулами двох різних речовин, ізомерних одна одній. Це підтверджують і наведені константи.

Вид ізомерії, зумовлений взаємним просторовим розміщенням атомів, називають *цис-*, *транс-*ізомерією, або *геометричною ізомерією* (від лат. *cis* — по цей бік, *trans* — по різні боки). Геометрична ізомерія є одним із видів *просторової*, або *стереоізомерії* (від грец. *стереос* — просторовий).

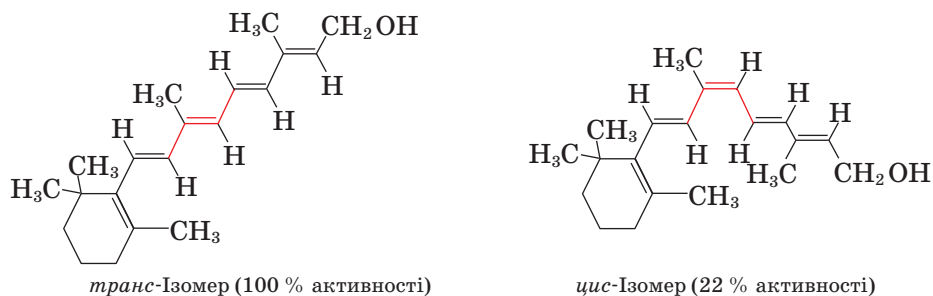


Мал. 34. Моделі просторових ізомерів бут-2-ену: *a* — *цис*-ізомер; *б* — *транс*-ізомер

*Цис*-, *транс*-ізомерія можлива в тому разі, якщо біля атомів Карбону, сполучених подвійним зв’язком, є різні замісники.

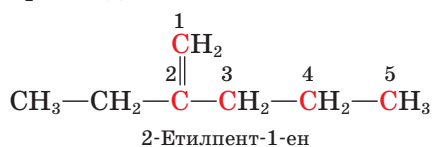
З’ясуйте, чи можлива просторова (*цис*-, *транс*-) ізомерія для сполуки  $(\text{CH}_3)_2\text{C}=\text{C}(\text{CH}_3)_2$ .

*Цис*-, *транс*-ізомерія відіграє важливу роль у природі. Деякі біологічно важливі речовини виявляють свої функції, перебуваючи в якійсь одній формі — *цис*- або *транс*-. Наприклад, вітамін А є *транс*-ізомером (мал. 35).



Мал. 35. Вітамін А належить до *транс*-ізомерів

**Номенклатура.** За правилами систематичної номенклатури назви алкенів утворюють від назв алканів заміною суфікса *-ан* на *-ен*. Насамперед слід визначити найдовший карбоновий ланцюг, у якому є подвійний зв’язок, і пронумерувати атоми з кінця, ближчого до подвійного зв’язку; перед назвою зазначити цифрою місце замісників та їхні назви в алфавітному порядку; перед суфіксом цифрою вказати атом Карбону, після якого слідує подвійний зв’язок. Наприклад:



Використовують також традиційні назви найпростіших алкенів: етилен, пропілен, бутілен.

**Фізичні властивості.** Алкени легші за воду й нерозчинні у воді сполуки, розчиняються в неполярних розчинниках — хлороформі, бензені, етері. Так само, як у алканів, їхні температури плавлення й кипіння зростають зі збільшенням довжини карбонового ланцюга (див. табл. 5, с. 58). Алкени розгалуженої будови мають нижчі температури плавлення порівняно зі сполуками нормальної будови.

Пригадайте фізичні властивості алканів і поясніть причину цього явища.

**Хімічні властивості.** Рівняння реакцій алкенів наведено на с. 61. Етен та інші алкени **згоряють** з утворенням вуглекислого газу й води.

Добудемо етен за допомогою приладу, зображеного на мал. 36. Підпалимо газ, що виділяється, біля кінця газовідвідної трубки спостерігатимемо світне полум'я.

Ви знаєте, що метан горить майже безбарвним полум'ям. Поясніть цю відмінність, спираючись на знання з курсу хімії 9 класу.

Пригадайте, що хімічну активність насичених вуглеводнів ми досліджували, виконуючи (віртуально) дослід із розчином калій перманганату. На відміну від алканів, алкени виявляють значну активність у цій реакції, у чому можна переконатися на досліді.

Пропустимо етен крізь розчин калій перманганату: фіолетове забарвлення зникає. Отже, відбувається реакція **часткового окиснення** етену.

У результаті часткового окиснення алкенів утворюються різні оксигеновмісні сполуки. Цю реакцію (реакцію Вагнера) використовують для *аналітичного виявлення* ненасичених вуглеводнів: зміна кольору калій перманганату свідчить про наявність сполуки з кратним зв'язком.

Оскільки подвійний зв'язок є комбінацією міцнішого  $\sigma$ -зв'язку і слабшого  $\pi$ -зв'язку, то під час реакцій насамперед розривається  $\pi$ -зв'язок.

Він доступніший для реагентів, бо його електронна густина зосереджена не між ядрами атомів Карбону, а над і під лінією  $\sigma$ -зв'язку.  $\pi$ -Зв'язок є донором електронів, і це визначає характер реакцій алкенів з *електрофільними* (від *електро-* і грец. *філіа* — любов, схильність — ті, що люблять електрони) реагентами.

Алкени вступають у реакції електрофільного **приєднання**. За наявності каталізатора (Pt, Pd, Ni) за місцем подвійного зв'язку приєднується водень, унаслідок чого алкени перетворюються на алкани.

Реакцію приєднання атомів Гідрогену називають реакцією **гідрування** (гідрогенізації).

Важливою є реакція алкенів із водою, у результаті якої утворюються спирти.



Мал. 36. Прилад для добування етену в лабораторії

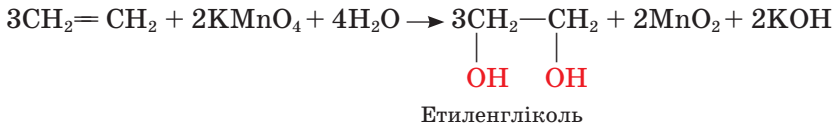
## Реакції алкенів

### Повне окиснення (горіння)



### Часткове окиснення

Відбувається легко (розчин калій перманганату знебарвлюється)



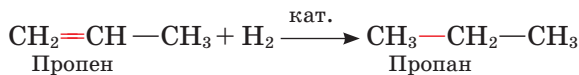
### Заміщення

За місцем кратного зв'язку неможливе

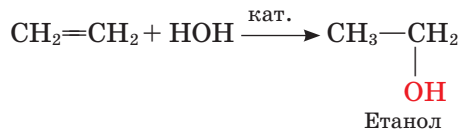
### Приєднання

Відбувається легко

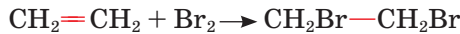
#### ВОДНЮ:



#### ВОДИ:

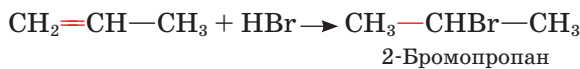


#### галогенів:

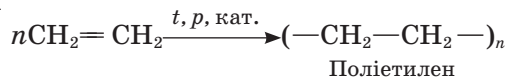


#### гідроген галогенідів:

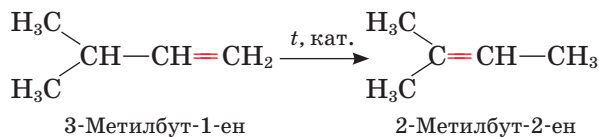
1,2-Дибромоетан



### Полімеризація



### Ізомеризація



Етен, приєднуючи воду, перетворюється на етанол.

Реакцію приєднання води до речовини називають реакцією *гідратації*.

Хлор і бром приєднуються за місцем подвійного зв'язку з утворенням галогенопохідних алканів.

Якщо пропустити етен крізь розчин бромної води, забарвлення бромну зникає.

Цю реакцію також використовують для *аналітичного виявлення* ненасичених вуглеводнів.

Молекули алкенів здатні сполучатися між собою з утворенням **полімерів**. У результаті реакції **полімеризації** етену (етилену) утворюється **поліетилен**.

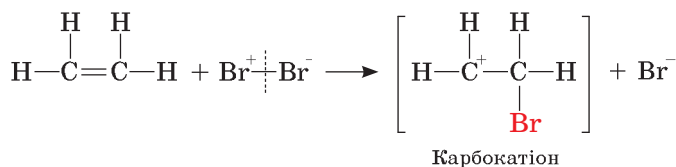
Пригадайте, яку реакцію називають полімеризацією. Що таке мономер, полімер, ступінь полімеризації етену?

Алкени можуть **ізомеризуватися** під впливом високої температури й каталізатора. У цьому разі подвійний зв'язок переміщується від кінцевої групи  $\text{—CH}_2$  до центра молекули.

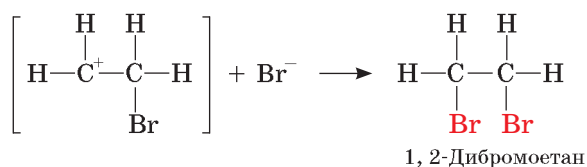
**Механізм реакції приєднання за місцем подвійного зв'язку.** Реакцію приєднання галогену до етену розглядають як двостадійну. На першій стадії відбувається електростатична взаємодія між молекулою галогену й електронною хмарою  $\pi$ -зв'язку. Унаслідок цього зв'язок між атомами розривається з утворенням йонів, тобто **гетеролітично** (від грец. ἕτεροζ — інший і λύσις — розпад):



Позитивно заряджений йон Броду приєднується до одного з атомів Карбону й відтягує на себе електронну густину  $\text{C}=\text{C}$ -зв'язку, а сусідній атом Карбону набуває позитивного заряду, перетворюючись на так званий **карбокатион\***:



На другій стадії карбокатион взаємодіє з негативно зарядженим йоном Броду, при цьому утворюється кінцевий продукт реакції:

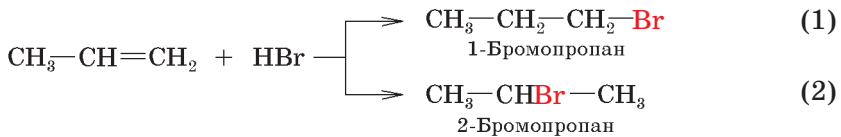


Отже, реакція електрофільного приєднання до алкенів відбувається за **йонним механізмом**.

Поясніть механізм приєднання полярної молекули гідроген галогеніду до етену.

**Правило Марковникова.** Алкени здатні приєднувати також гідроген галогеніди з утворенням галогенопохідних. Реакція етену відбувається за наведеною вище схемою, а якщо реагує пропен, то можна припустити утворення двох продуктів реакції:

\*У квадратні дужки беруться формули нетривких проміжних сполук, існування яких припускається за механізмом реакції.



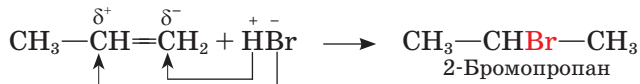
У результаті дослідження подібних реакцій російський хімік В. В. Марковников (1869 р.) сформулював правило, згідно з яким *у разі приєднання гідроген галогенідів до несиметричних алкенів атом Гідрогену приєднується за місцем подвійного зв'язку до того атома Карбону, що сполучений із більшою кількістю атомів Гідрогену*. Цю закономірність названо **правилом Марковникова**. Отже, з пропеном реакція приєднання гідроген броміду відбувається за схемою (2).

Пояснити дію правила Марковникова можна з позицій взаємного впливу атомів у молекулі. Під впливом подвійного зв'язку метильна група —  $\text{CH}_3$  виявляє позитивний індукційний ефект, тобто відштовхує від себе електрони  $\sigma$ -зв'язку. У результаті вздовж ланцюга спряжених між собою  $\sigma$ - і  $\pi$ -зв'язків електронна густина рухливого  $\pi$ -зв'язку зміщується до більш гідрогенізованого атома Карбону, на якому виникає частковий негативний заряд; подвійний зв'язок поляризується:



Зміщення електронів за подвійним зв'язком прийнято позначати зігнутою стрілкою.

Позитивно заряджений атом Гідрогену спрямовується до негативно зарядженого атома Карбону, а негативно заряджений атом Брому — до позитивно зарядженого атома Карбону:



Згідно із правилом Марковникова відбувається і приєднання води до алкенів.

Складіть схему цієї реакції для пропену.



**Володимир  
Васильович  
Марковников  
(1837—1904)**

Російський учений. Закінчив Казанський університет, працював у Новоросійському університеті в Одесі, у Московському університеті. Учень О. М. Бутлерова. Наукові праці стосуються галузі органічного синтезу. Розвивав учення про взаємний вплив атомів у молекулі, відкрив правило про напрямок реакції приєднання за місцем подвійного зв'язку. Вивчав склад нафти, виявив у ній новий клас сполук — циклопарафіни (нафтени), започаткував нафтохімію.

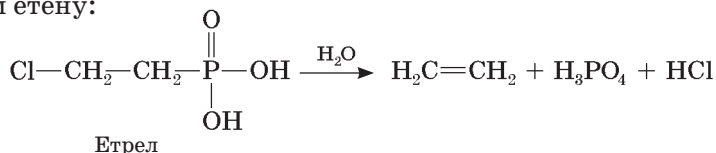
**Застосування.** З алкенів добувають багато різних продуктів. Це насамперед поліетилен і поліпропілен, що їх використовують у виробництві пластмас, а останні — для виготовлення виробів для потреб промисловості й побуту.

Пригадайте галузі застосування поліетилену, його переваги й недоліки.

Гідратацією етену добувають етанол (етиловий спирт) для застосування у виробництві багатьох цінних речовин.

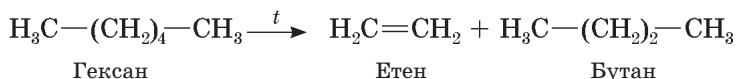
Продукт приєднання хлору до етену — 1,2-дихлороетан  $\text{CH}_2\text{Cl}-\text{CH}_2\text{Cl}$  є розчинником і засобом боротьби зі шкідниками сільськогосподарських культур.

Етен використовують для прискорення досягання овочів і фруктів. Достатньо 0,08 мл етену, щоб протягом 24 год перетворити 1 кг зелених помідорів на червоні. Є сполуки, здатні гідролізувати з утворенням етену, наприклад етрел. Якщо під час досягання помідорів увести його в рослину разом із іншими поживними речовинами, то він розкладеться в ній з виділенням етену:



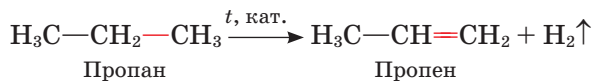
Обґрунтуйте застосування алкенів їхніми хімічними властивостями.

**Добування.** Алкени утворюються у процесі переробки насичених вуглеводнів, що містяться в нафті:

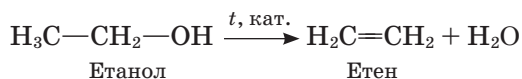


У дуже малих кількостях алкени трапляються у природному газі, їх виділяють також з продуктів переробки кам'яного вугілля.

Промисловим методом добування алкенів є *дегідрування* (відщеплення водню) алканів за підвищеної температури й наявності каталізатора:



Алкени можна добути *дегідратацією* (відщепленням води) спиртів, пропускаючи пару останніх над каталізатором за температури 300—400 °С (у промисловості) або нагріваючи спирти із сильними неорганічними кислотами (у лабораторії):



Алкени утворюються також у результаті *дегідрогалогенування галогеноалканів* (відщеплення галогену й Гідрогену):





## Висновки

- Алкени — ненасичені вуглеводні, у молекулах яких є один подвійний зв'язок.
- Загальна формула алкенів —  $C_nH_{2n}$ .
- Основні параметри молекули етену:
  - тип гібридизації електронних орбіталей атомів Карбону —  $sp^2$ ;
  - довжина зв'язку  $C=C$  — 0,134 нм;
  - енергія зв'язку  $C=C$  — 614 кДж/моль;
  - валентний кут —  $120^\circ$ .
- Подвійний зв'язок  $C=C$  є комбінацією двох зв'язків:  $\sigma$ - і  $\pi$ -, з яких  $\pi$ -зв'язок є менш міцним і легше поляризується.
- Алкенам властиві: структурна ізомерія карбонового скелета, положення кратного зв'язку, міжгрупова ізомерія (алкени—циклоалкани); просторова (*цис*-, *транс*-) ізомерія.
- *Цис*-, *транс*-ізомерія виникає внаслідок неможливості вільного обертання атомів навколо подвійного зв'язку.
- Фізичні властивості алкенів змінюються зі зміною числа атомів Карбону в молекулі подібно до алканів.
- Хімічна активність алкенів визначається наявністю подвійного зв'язку.
- Подвійний зв'язок має підвищену електронну густину, тому типовими реакціями алкенів є реакції електрофільного приєднання, що відбуваються за йонним механізмом.
- До несиметричних молекул алкенів гідроген галогеніди й вода приєднуються згідно з правилом Марковникова.
- У промисловості алкени добувають переважно з нафтопродуктів.
- Застосування алкенів пов'язано насамперед з виробництвом продуктів полімеризації — поліетилену й поліпропілену.

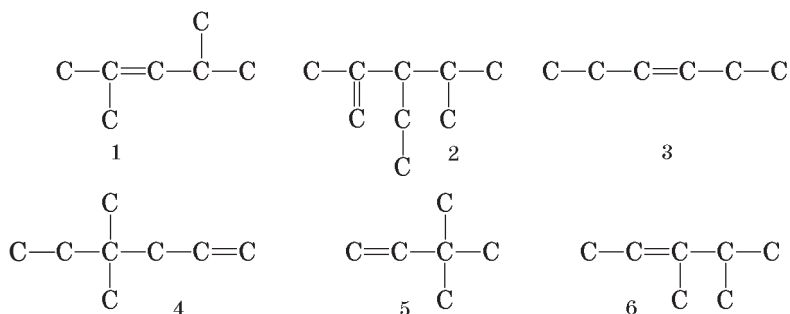


## Завдання для самоконтролю

1. Поясніть утворення подвійного  $C=C$ -зв'язку.
2. Порівняйте характеристики одинарного й подвійного зв'язків. Чи є подвійний зв'язок сумою двох одинарних? Відповідь поясніть.
3. Чи можливе вільне обертання атомів (груп атомів) навколо подвійного зв'язку? До чого це призводить?
4. Складіть структурні формули *цис*-, *транс*-ізомерів для  $C_2H_3Cl$ .
5. Наведіть рівняння реакцій, за допомогою яких виявляють подвійні зв'язки.
6. Які реакції характерні для алкенів? Складіть рівняння реакцій.
7. За яким механізмом відбуваються реакції приєднання до алкенів? Поясніть правило Марковникова.

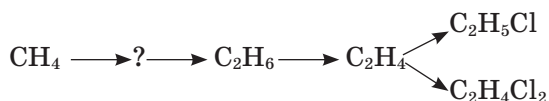
## Додаткові завдання

8. Напишіть структурні формули алкенів, що мають такі карбонові скелети:



Назвіть сполуки.

9. Укажіть серед наведених у попередньому завданні сполук ізомери.  
**А** 3, 5    **Б** 1, 2    **В** 4, 6    **Г** 1, 6
10. Укажіть розчини, що їх використовують для аналітичного визначення алкенів.  
**А** гідроген бромід    **Б** бромна вода  
**В** калій перманганат    **Г** сульфатна кислота
11. Порівняйте хімічну активність алканів і алкенів. Зробіть висновок.
12. Як зміниться просторова будова молекули етену в результаті його гідрування?
13. Поясніть механізм приєднання молекули води до пропену згідно з правилом Марковникова.
14. Яке положення теорії будови органічних сполук підтверджує правило Марковникова?
15. До сполуки  $F_3C-CH=CH_2$  гідроген хлорид приєднується проти правила Марковникова. Поясніть причину цього явища, зважаючи на взаємний уплив атомів у молекулі.
16. Запропонуйте спосіб добування етену з метану.
17. Складіть рівняння реакцій, що відбуваються за схемою:



18. Виберіть правильні твердження.  
**А** циклобутан — ізомер бут-1-ену  
**Б** енергія подвійного зв'язку менша за енергію одинарного  
**В** енергія  $\pi$ -зв'язку менша за енергію  $\sigma$ -зв'язку  
**Г** геометрична ізомерія — один із видів просторової ізомерії  
**Д** алкенам властиві реакції заміщення  
**Е**  $\pi$ -зв'язок — донор електронів  
**Є** реакція приєднання бромиду до етену відбувається за радикальним механізмом  
**Ж** із пропену можна добути пропан за допомогою реакції дегідрування
19. Обґрунтуйте галузі застосування етену його хімічними властивостями.
20. Спалили вуглеводень, отримали вуглекислий газ (0,88 г) і воду (0,36 г). Визначте формулу вуглеводню.

21. Суміш метану й етену об'ємом 44,8 л (н. у.) пропустили крізь бромну воду. Маса склянки збільшилася на 16 г. Визначте об'єм метану в суміші.
22. Відносна густина вуглеводню за воднем становить 28. Визначте формулу вуглеводню.
23. Відносна густина вуглеводню за повітрям становить 0,97. Визначте формулу вуглеводню.

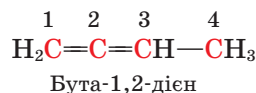
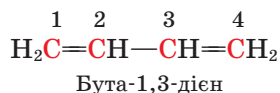


## § 14. АЛКАДІЄНИ

**Склад і будова молекул. Номенклатура. Ізомерія.** Вуглеводні, у молекулах яких є два подвійні карбон-карбонові зв'язки, належать до **дієнових вуглеводнів**, або **алкадієнів**. Загальна формула алкадієнів —  $C_nH_{2n-2}$ .

З практичного боку найважливішими є дієнові вуглеводні зі *спряженими* подвійними зв'язками, тобто розділеними простим зв'язком.

За систематичною номенклатурою **назви** алкадієнів утворюють *від назв відповідних алканів додаванням суфіксів -а та -дієн до кореня назви; перед назвою зазначають місце і назви замісників у алфавітному порядку, а перед суфіксом -дієн зазначають місце подвійних зв'язків*.

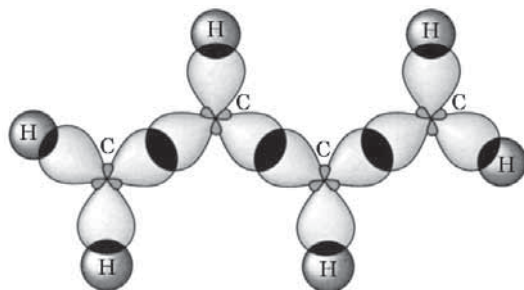


Бута-1,3-дієн називається ще *дивінілом*, оскільки до складу його молекули входять дві вільні групи  $CH_2=CH-$ .

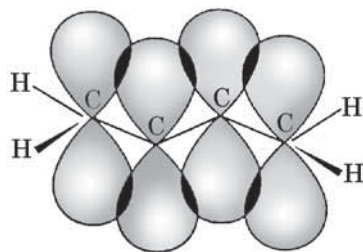
Наведені вище сполуки бута-1,3-дієн та бута-1,2-дієн є *структурними ізомерами*, що зумовлено взаємним положенням кратних зв'язків. Для алкадієнів можлива також ізомерія карбонового скелета й міжгрупова ізомерія алкадієни—алкіни (про останні ви дізнаєтеся згодом).

Складіть формули структурних ізомерів складу  $C_5H_8$ , назвіть їх.

Будова дієнових вуглеводнів зі спряженими зв'язками має деякі особливості. Розглянемо їх на прикладі бута-1,3-дієну. У цій молекулі всі чотири атоми Карбону перебувають у стані  $sp^2$ -гібридизації. Гібридні електронні орбіталі, перекриваючись, утворюють  $\sigma$ -зв'язки (мал. 37). Негібридизовані



Мал. 37. Схема утворення  $\sigma$ -зв'язків у молекулі бута-1,3-дієну



Мал. 38. Схема перекривання  $p$ -електронних орбіталей у молекулі бута-1,3-дієну

*p*-електронні орбіталі перекриваються не лише між атомами C<sup>1</sup>—C<sup>2</sup> і C<sup>3</sup>—C<sup>4</sup>, а й частково між C<sup>2</sup>—C<sup>3</sup> (мал. 38, с.67). У результаті утворюється спільна π-електронна хмара, що охоплює всі атоми Карбону (мал. 39). У цьому разі говорять про *спряжену π-електронну систему* і *делокалізацію* (від лат. *de* — скасування, усунення чогось і *localis* — обмеження місця дії) *електронів* по всій системі, тобто їх розосередження.

Зв'язок між другим і третім атомами Карбону скорочується порівняно з простим зв'язком, а зв'язки між першим і другим, третім і четвертим атомами дещо видовжуються порівняно з подвійним зв'язком (мал. 40).

Зменшення довжини зв'язку супроводжується виділенням енергії, при цьому система стабілізується. Цю енергію називають *енергією спряження*. Для бута-1,3-дієну вона становить 12,6 кДж/моль.

**Хімічні властивості.** Повне окиснення дієнів відбувається з виділенням теплоти й утворенням вуглекислого газу й води.

Дієнові вуглеводні як ненасичені сполуки вступають у реакції електрофільного приєднання. Якщо етеніві вуглеводні здатні приєднувати по одній молекулі водню, галогенів чи гідроген галогенідів, то дієнові можуть приєднувати по дві молекули цих речовин.

### Реакції алкадієнів

#### Повне окиснення (горіння)

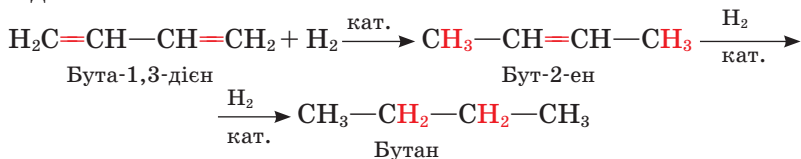


#### Заміщення

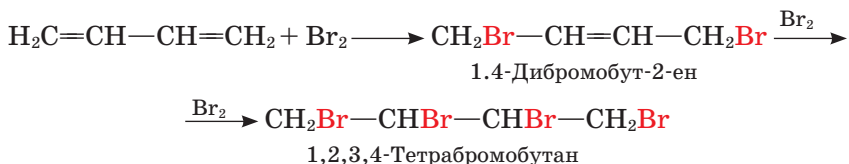
За місцем кратного зв'язку неможливе

#### Приєднання

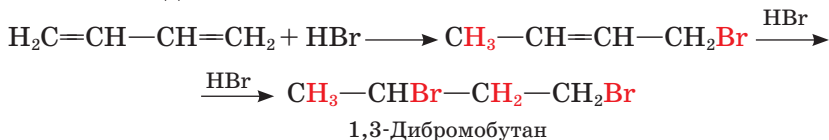
водню:



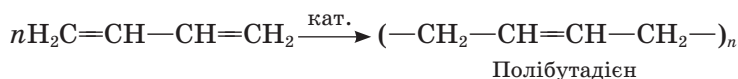
галогенів:

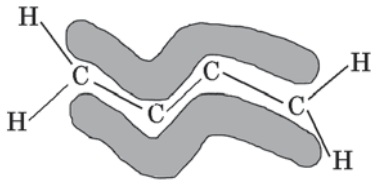


галогеноводнів:

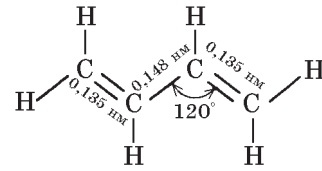


#### Полімеризація



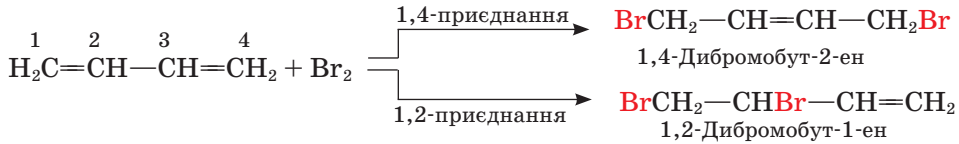


Мал. 39. Схема утворення π-електронної системи в молекулі бута-1,3-дієну



Мал. 40. Геометрія молекули бута-1,3-дієну

Галогени можуть приєднуватися до спряжених алкадієнів у двох напрямках: 1,4- і 1,2-приєднання:



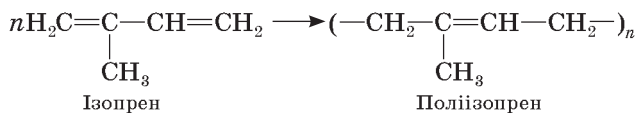
За низької температури переважає продукт 1,2-приєднання, а за підвищеної — 1,4-приєднання.

Дуже важлива властивість дієнових вуглеводнів – здатність до реакцій полімеризації. За цим способом добувають синтетичні каучуки.

**Натуральний (природний) каучук.** Каучук був здавна відомий аборигенам Центральної та Південної Америки: вони виготовляли з нього еластичні кульки для гри та водонепроникні вироби. Добували каучук з молочного соку (латексу) каучукового дерева, або гевеї (мал. 41). Латекс є суспензією каучуку у воді, його збирають через V-подібні надрізи на корі дерев. У результаті підкислення суспензії каучук коагулює (осаджується). З добутого в такий спосіб продукту можна формувати різні вироби.

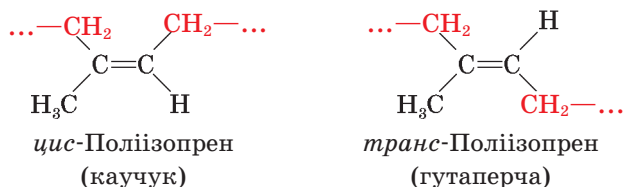
Каучук міститься й у деяких інших рослинах, наприклад у стеблах кульбаби, молочаю, кок-сагізу. У вигляді білого соку він проступає на зрізі стебла.

Лише в 1910 р. було встановлено хімічну природу натурального каучуку. Це полімер дієнового вуглеводню 2-метилбута-1,3-дієну, або *ізопрену*:

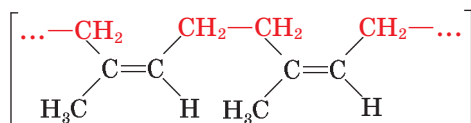


Мал. 41. Збирання соку каучукового дерева *Hevea brasiliensis*. Латекс виділяється на зрізі

Мономерні ланки поліізопрену можуть мати *цис*- або *транс*-форму:



*Каучук* є полімером *цис*-орієнтованих мономерних ланок; у ньому групи  $-\text{CH}_2-$  розміщені по один бік від подвійного зв'язку:

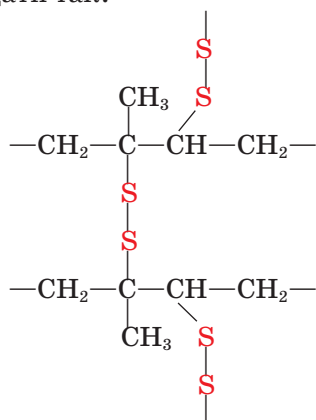


Полімер, утворений *транс*-формою, називають *гутаперчею*. Вона відрізняється від каучуку тим, що має значно нижчу порівняно з ним еластичність.

Природний каучук утрачає еластичність за низької температури, стаючи твердим і крихким, а за високої температури — липким. Свого часу це обмежувало його використання, наприклад для виготовлення водонепроникного одягу.

Проблему було розв'язано після відкриття процесу *вулканізації* каучуку. Виявилось, що внаслідок нагрівання каучуку із сіркою утворюється продукт, позбавлений цих вад: міцний, еластичний, витривалий до змін температури в широкому діапазоні.

Під час вулканізації сірка приєднується за місцем подвійних зв'язків, утворюючи дисульфідні містки, що ніби «зшивають» полімерні ланцюги між собою з утворенням полімеру просторової будови. Схематично процес можна подати так:



Фрагмент будови вулканізованого каучуку (гуми)

З вулканізованого каучуку виготовляють *гуму*, добавляючи наповнювачі для поліпшення якості матеріалу. Наповнювачем можуть бути сажа, кремнезем  $\text{SiO}_2$  або алюміній оксид, що надають гумі пружності та стійкості проти стирання.

Залежно від вмісту сірки, тобто від кількості місць «зшивання» ланцюга, можна добувати полімери різного ступеня еластичності й твердості. Високовулканізований каучук відзначається високими твердістю і міцністю, відомий під назвою *ебоніт*.

Про застосування синтетичних каучуків різних видів ви дізнаєтеся згодом в окремому розділі підручника.

## Висновки

- У молекулах дієнових вуглеводнів є два подвійні зв'язки.
- Загальна формула дієнових вуглеводнів —  $C_nH_{2n-2}$ .
- Алкадієнам властива структурна ізомерія карбонового скелета, взаємного положення подвійних зв'язків, міжгрупова ізомерія алкадієни—алкени.
- Особливістю електронної будови алкадієнів зі спряженими подвійними зв'язками є утворення спільної  $\pi$ -електронної системи.
- Для алкадієнів характерні реакції електрофільного приєднання.
- Найважливіші з практичного боку — дієнові вуглеводні зі спряженими подвійними зв'язками, оскільки з них добувають синтетичні каучуки.
- Натуральний каучук є полімером дієнового вуглеводню ізопрену (*цис*-форма мономерних ланок).
- Гума — це матеріал, який виробляють із вулканізованого каучуку.



## Завдання для самоконтролю

1. Які вуглеводні належать до дієнових?
2. Укажіть, які атоми в молекулі бута-1,3-дієну перебувають у стані  $sp^2$ -гібридизації.  
**А**  $C^1$  і  $C^3$     **Б** усі    **В** усі атоми Карбону    **Г**  $C^1$  і  $C^4$
3. Поясніть механізм утворення  $\pi$ -електронної системи в молекулі дивінілу.
4. Як делокалізація електронів позначається на геометрії молекули дивінілу?
5. Які хімічні властивості виявляють дієнові вуглеводні?
6. Чи відомі вам вироби з ебоніту або гутаперчі? Де їх використовують?
7. Чому автомобільна гума чорного кольору?

## Додаткові завдання

8. Порівняйте прості й подвійні зв'язки в алкенах і алкадієнах.
9. Поясніть на прикладі дивінілу, що таке енергія спряження.
10. Як зміниться електронна будова молекули в результаті реакції:  
 $H_2C=CH-CH=CH_2 + 2H_2 \longrightarrow H_3C-CH_2-CH_2-CH_3?$
11. Порівняйте реакції приєднання до алкенів і алкадієнів.
12. Поясніть залежність фізичних властивостей каучуку від просторової будови молекул.
13. Як впливає процес вулканізації на властивості каучуку?

14. Що таке гума, ебоніт, гутаперча? Зробіть висновок щодо впливу складу й будови молекул на властивості речовин.
15. Обчисліть об'єм кисню (н. у.), необхідного для спалювання пропадієну, що вступає в реакцію з бромом масою 320 г.

## Алкіни

### Нові поняття й терміни:

алкіни, *sp*-гібридизація, ацетиленіди, полієни.

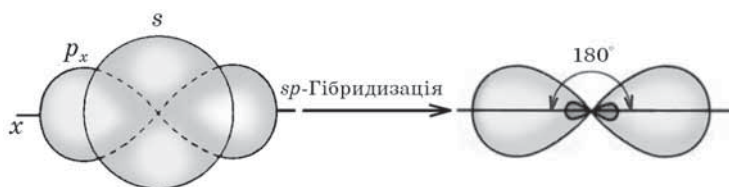


### § 15. ЕТИН. ГОМОЛОГИ ЕТИНУ

**Склад і будова молекул.** Найпростіший із алкінів — етин (тривіальна назва — ацетилен) має склад  $C_2H_2$ . Молекула етину містить на два атоми Гідрогену менше, ніж молекула етену, що формально засвідчує ще більш ненасичений характер цієї сполуки. Атоми Карбону сполучені в молекулі етину потрійним зв'язком:



Розглянемо електронну природу потрійного зв'язку. Згідно з гіпотезою гібридизації атоми Карбону в молекулі етину перебувають у стані *sp*-гібридизації. Це означає, що *s*-електронна орбіталь «зміщується» з однією із трьох *p*-електронних орбіталей, утворюючи дві *sp*-гібридні електронні орбіталі, а дві інші *p*-електронні орбіталі залишаються негібридизованими (мал. 42).



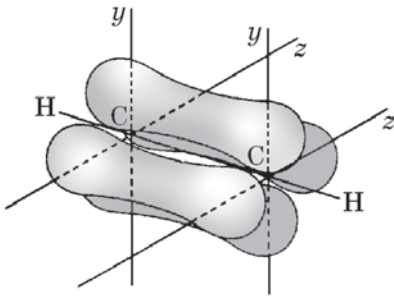
Мал. 42. Схема утворення *sp*-гібридних електронних орбіталей атома Карбону

*sp*-Гібридні електронні орбіталі двох атомів Карбону, перекриваючись, утворюють  $\sigma$ -зв'язок між собою та з атомами Гідрогену (мал. 43). Валентний кут у цьому разі становить  $180^\circ$ .

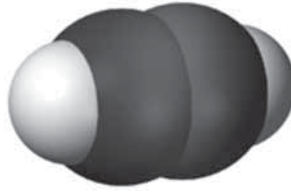


Мал. 43. Схема утворення  $\sigma$ -зв'язків у молекулі етину

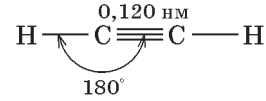




Мал. 44. Схема утворення  $\pi$ -зв'язків у молекулі етину



Мал. 45. Модель молекули етину



Мал. 46. Геометрія молекули етину

За рахунок перекривання негібризованих  $p$ -електронів утворюються два  $\pi$ -зв'язки (мал. 44). Ділянки перекривання  $p$ -електронів лежать поза віссю  $\sigma$ -зв'язку. Електронна густина двох  $\pi$ -зв'язків зливається, набуваючи циліндричної форми, усередині якої зосереджується  $\sigma$ -зв'язок.

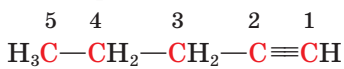
Отже, у молекулі етину між атомами Карбону існує потрійний зв'язок, що є поєднанням одного  $\sigma$ - і двох  $\pi$ -зв'язків (мал. 45).

Геометрію молекули етину наведено на мал. 46. Довжина потрійного зв'язку (0,120 нм) менша порівняно з подвійним, а його енергія — більша (839 кДж/моль).

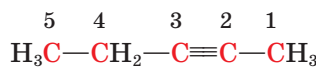
Пригадайте, як електронна теорія пояснює зменшення довжини подвійного зв'язку в молекулі етену порівняно з одинарним зв'язком у молекулі етану. Дайте аналогічне пояснення щодо потрійного зв'язку в молекулі етину.

Етин започатковує групу ненасичених вуглеводнів **алкінів (ацетиленових вуглеводнів)**. Загальна формула сполук —  $C_nH_{2n-2}$ .

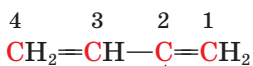
**Ізомерія, номенклатура.** Як ви вже, напевно, помітили, алкіни та алкадієни мають однакову загальну формулу, отже, вони ізомерні між собою. Окрім того, алкінам властива *структурна ізомерія* карбонового скелета і положення кратного зв'язку. Наприклад, для сполуки складу  $C_5H_8$  можливі такі ізомери:



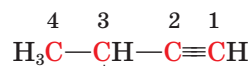
Пент-1-ин



Пент-2-ин



2-Метилбута-1,3-дієн



3-Метилбут-1-ин

З'ясуйте, чи можливі інші структурні ізомери складу  $C_5H_8$ .

Оперуючи структурними формулами та моделями, з'ясуйте, чи можлива *цис-*, *транс-*ізомерія алкінів.

За правилами систематичної номенклатури **назви** алкінів *утворюють від назв алканів заміною суфікса -ан на -ин (-ін)*. Спершу треба визначити найдовший карбоновий ланцюг, у якому є потрійний зв'язок, і пронумерува-

ти атоми з кінця, ближчого до потрібного зв'язку; перед назвою зазначити цифрою місце замісників і їхні назви в абетковому порядку; перед суфіксом цифрою вказати атом Карбону, після якого слідує потрібний зв'язок.

**Фізичні властивості.** Етин — безбарвний газ, без запаху, малорозчинний у воді, трохи легший за повітря. Неприємний запах, що поширюється під час добування етину з кальцій карбїду, належить зовсім не етину, а домішкам сірководню і фосфінів, що утворюються як побічні продукти.

Фізичні властивості алкінів закономірно змінюються зі зростанням числа атомів Карбону в їхніх молекулах (табл. 6).

Таблиця 6

### Характеристики алкінів

Назва	Формула		Температура, °С	
	молекулярна	скорочена структурна	плавлення	кипіння
Етин	$C_2H_2$	$HC\equiv CH$	-81	-83,8
Пропін	$C_3H_4$	$HC\equiv C-CH_3$	-102,7	-23,2
Бут-1-ин	$C_4H_6$	$HC\equiv C-CH_2-CH_3$	-126	-8,6
Бут-2-ин	$C_4H_6$	$H_3C-C\equiv C-CH_3$	-32	27
Пент-1-ин	$C_5H_8$	$HC\equiv C-(CH_2)_2-CH_3$	-98	40
3-Метил-бут-1-ин	$C_5H_8$	$\begin{array}{c} H_3C \\   \\ CH-C\equiv CH \\   \\ H_3C \end{array}$	—	29,3
Гекс-1-ин	$C_6H_{10}$	$HC\equiv C-(CH_2)_3-CH_3$	-132	72
Гепт-1-ин	$C_7H_{12}$	$HC\equiv C-(CH_2)_4-CH_3$	-81	100
Окт-1-ин	$C_8H_{14}$	$HC\equiv C-(CH_2)_5-CH_3$	-80	128



Мал. 47. Добування етину в лабораторії

Складіть графік зміни температур плавлення та кипіння алкінів залежно від складу їхніх молекул. Порівняйте цей графік із аналогічним для алканів і алкенів. Зробіть узагальнення.

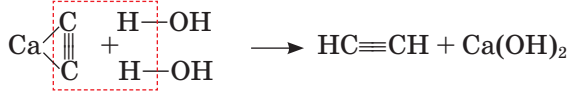
У природі етин не трапляється через високу хімічну активність молекул, у чому ви можете переконатися на наведених нижче дослідах.

**Хімічні властивості.** Як і інші вуглеводні, алкіни **горять** з утворенням карбон(IV) оксиду та води й виділенням великої кількості теплоти.

Пригадайте, метан горить майже безбарвним полум'ям, а етен — світним. Яскравість полум'я залежить від відносного вмісту Карбону в молекулах цих сполук. Можна припустити, що етин горітиме

ще яскравішим полум'ям, оскільки масова частка Карбону в його молекулі становить 92 %. Переконаємося в цьому на досліді.

Добудемо етин, скориставшись приладом, зображеним на мал. 47 (с. 74). Етин утворюється в результаті взаємодії кальцій карбіду з водою за реакцією:



Підпалимо етин біля газовідвідної трубки — газ горітиме кіптявим полум'ям:



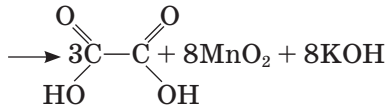
### Реакції алкінів

#### Повне окиснення (горіння)



#### Часткове окиснення

Відбувається легко (розчин калій перманганату знебарвлюється)



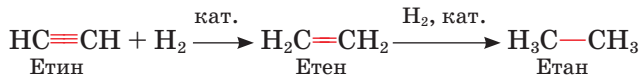
Щавлева кислота

#### Заміщення

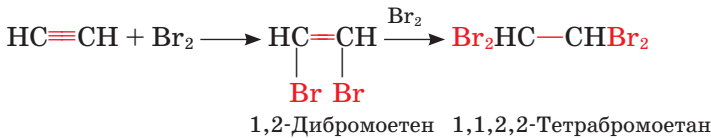


#### Приєднання

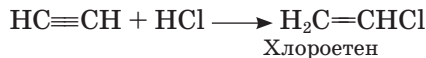
водню:



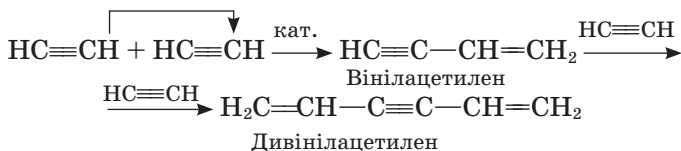
галогенів:



галогеноводнів:



#### Ди-, тримеризація



Для повного згоряння етину, наприклад, під час зварювання металів у полум'я додатково подають повітря або кисень. Слід пам'ятати, що суміші етину з повітрям або киснем вибухонебезпечні!

Ненасичений характер хімічних зв'язків зумовлює характерні хімічні реакції алкінів. Подібно до алкенів вони легко **окиснюються** розчином калій перманганату в кислому, лужному й нейтральному середовищі з утворенням оксигеновмісних сполук. Пропускаючи етин крізь цей розчин, можна спостерігати його знебарвлення.

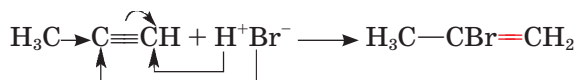
Алкіни вступають у реакції електрофільного **приєднання** за місцем кратного зв'язку. За наявності каталізатора вони приєднують водень, відновлюючись при цьому до алканів. Як проміжні продукти утворюються відповідні алкени.

У результаті приєднання до молекули алкіну однієї молекули хлору чи броду утворюються дигалогенопохідні алкенів, а якщо в реакцію вступають дві молекули галогену, — тетрагалогенопохідні алканів.

Ці реакції відбуваються за йонним механізмом подібно до реакцій алкенів.

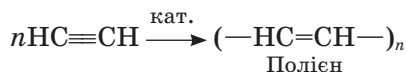
Спробуйте скласти схему механізму реакції приєднання броду до пропіну.

Алкіни приєднують гідроген галогенідів з утворенням галогенопохідних сполук. Приєднання гідроген галогенідів до несиметричних молекул алкінів (у яких кратний зв'язок розміщений не посередині молекули) відбувається згідно з правилом Марковникова:



Молекули алкінів здатні сполучатися між собою з утворенням сполук різної будови. З двох молекул етину утворюється важлива для практики сполука вінілацетилен  $\text{H}_2\text{C}=\text{CH}-\text{C}\equiv\text{CH}$ .

У результаті **полімеризації** етину утворюються *полієни*, що їх використовують як напівпровідники:



Можлива також полімеризація з утворенням *карбіну*  $(=\text{C}=\text{C})_n$ , який вважають алотропною видозміною вуглецю.

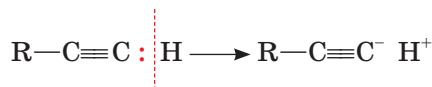
Порівняно з іншими ненасиченими вуглеводнями хімічна поведінка алкінів має особливості, зумовлені електронною будовою молекул. Розглянемо ці особливості.

Гібридні електронні орбіталі трьох типів —  $sp^3$ ,  $sp^2$ ,  $sp$  — різняться часткою, що припадає на  $s$ -компоненту: вона найбільша за  $sp$ -гібридизації, оскільки одна  $s$ -орбіталь «змішується» з однією  $p$ -орбіталлю. Теоретичними обчисленнями доведено, що збільшення частки  $s$ -орбіталі приводить до підвищення електронегативності атома Карбону. Отже, його найвища електронегативність спостерігається у стані  $sp$ -гібридизації (табл. 7).

## Порівняння електронегативностей атома Карбону в різних станах

Гібридизація	Частка s-орбіталі	Відносна електронегативність
$sp^3$	1/4	2,50
$sp^2$	1/3	2,62
$sp$	1/2	2,75

Зв'язок С—Н у молекулах алкінів з кінцевим потрійним зв'язком виявляється настільки поляризованим, що може розриватися за гетеролітичним механізмом з утворенням протона:



Такі сполуки виявляють слабкі кислотні властивості й здатні вступати в реакції **заміщення**, зокрема заміщувати атом Гідрогену на атом металічного елемента. Наприклад, етин у реакції з амоніаковим розчином аргентум(I) оксиду утворює аргентум(I) ацетиленід  $\text{Ag}-\text{C}\equiv\text{C}-\text{Ag}$ . Цікаво, що кальцій карбід також належить до ацетиленідів.

Утворення аргентум(I) ацетиленіду білого кольору та купрум(I) ацетиленіду  $\text{Cu}-\text{C}\equiv\text{C}-\text{Cu}$  червоно-бурого кольору є характерною реакцією на етин. Ці ацетиленіди вибухають від удару або нагрівання, під дією хлоридної кислоти вони розкладаються з виділенням алкіну.

Складіть рівняння останньої реакції.

**Застосування.** Найважливішим серед алкінів є *етин* (ацетилен). Унаслідок високої питомої теплоти згоряння його використовують для газового різання та зварювання металів. Із цією метою ним наповнюють спеціальні балони. Ацетилено-кисневе полум'я має температуру 2800 °С і легко плавить сталь (мал. 48).



а



б

Мал. 48. Для ацетилено-кисневого зварювання металу (а) використовують спеціальне обладнання (б)

Вам відомо, що в XIX ст. ацетилен використовували для освітлення.

Пригадайте, чому ця галузь використання не набула поширення.

Нині етин є важливим промисловим продуктом. З нього добувають вихідні речовини для виготовлення пластмас (хлорвініл  $\text{H}_2\text{C}=\text{CHCl}$ , вінілацетат  $\text{H}_2\text{C}=\text{CH}-\text{OCOCH}_3$ ) та каучуків (вінілацетилен  $\text{HC}\equiv\text{C}-\text{CH}=\text{CH}_2$ ). Етин є сировиною для добування альдегіду етаналу.

**Добування.** Етин, що його використовують для зварювальних робіт, добувають часто на місці змішуванням *кальцій карбиду й води*.



Донедавна саме так добували етин і в промисловості.

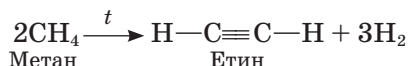
Якщо ви спостерігали цю реакцію під час спорудження чи ремонту будівель, опишіть (усно) апарати, в яких вона відбувається. Порівняйте цей спосіб з лабораторним способом добування етину.

Кальцій карбід утворюється внаслідок нагрівання в електродіафрагмах суміші негашеного вапна  $\text{CaO}$  та коксу до температури  $2500^\circ\text{C}$ :

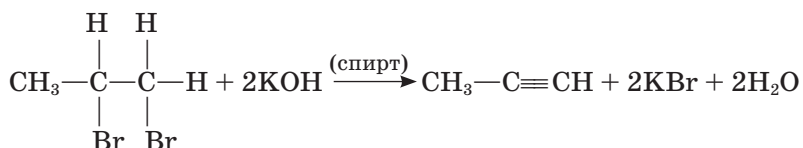


Карбідний спосіб добування етину дуже енергоємний (поясніть, чому), у цьому полягає його основний недолік.

Економічно вигідніше добувати етин з *метану* нагріванням його до температури  $1500^\circ\text{C}$  (*піролізом*). Реакція відбувається за схемою:



У лабораторних умовах алкіни можна добути з дигалогенопохідних алканів у результаті реакції *дегідрогалогенування*:



## Висновки

- Алкіни — ненасичені вуглеводні, у молекулах яких є потрійний карбон—карбонів зв'язок.
- Загальна формула алкінів —  $\text{C}_n\text{H}_{2n-2}$ .
- Потрійний зв'язок є поєднанням одного  $\sigma$ - і двох  $\pi$ -зв'язків.
- Основні параметри молекули етину:
  - тип гібридизації електронних орбіталей атомів Карбону —  $sp$ ;
  - види зв'язків —  $\sigma$ -,  $\pi$ -зв'язки;
  - довжина зв'язку  $\text{C}\equiv\text{C}$  —  $0,120$  нм;

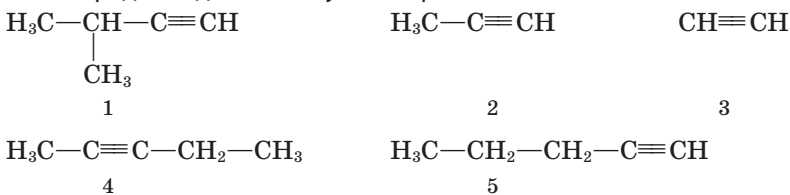
енергія зв'язку  $C\equiv C$  — 839 кДж/моль;  
валентний кут —  $180^\circ$ .

- Алкінам властива структурна ізомерія карбонового ланцюга, положення кратного зв'язку та міжгрупова ізомерія алкіни—алкадієни.
- Для алкінів характерні реакції електрофільного приєднання за місцем потрійного зв'язку.
- Етин — найважливіший серед алкінів. Його використовують у промисловості для добування синтетичних каучуків і пластмас, а також для газового зварювання і різання металів.
- Етин добувають піролізом метану або реакцією кальцій карбід з водою.



### Завдання для самоконтролю

1. Поясніть утворення *sp*-гібридних електронних орбіталей атома Карбону.
2. Поясніть утворення потрійного зв'язку в молекулі етину.
3. Укажіть серед наведених сполук ізомери й гомологи.



Ізомери **А** 1, 4, 5      **Б** 1, 2, 3  
Гомологи **В** 2, 3, 5      **Г** 2, 3, 4

4. Установіть послідовність складання структурної формули сполуки, яка називається гекс-3-ин.
  - А** пронумерувати атоми Карбону
  - Б** доповнити структуру атомами Н
  - В** сполучити атоми  $C^3$  і  $C^4$  потрійним зв'язком
  - Г** скласти карбоновий скелет із шести атомів
5. Чому метан горить безбарвним полум'ям, а етин — кіптявим?
6. Складіть рівняння реакції приєднання двох молекул гідроген галогеніду до молекули етину.
7. На якій хімічній властивості етину ґрунтується його застосування для зварювання металів?
8. Виберіть правильні твердження.
  - А** потрійний зв'язок є сумою трьох одинарних
  - Б** кальцій карбід має запах ацетилену
  - В** зв'язки  $C-H$  у молекулі етину належать до  $\sigma$ -зв'язків
  - Г** алкіни горять кіптявим полум'ям
  - Д** алкіни й алкадієни — ізомери

- Е алкінам властива *цис-*, *транс-*ізомерія
- Є алкіни — насичені вуглеводні
- Ж дегідрогалогенування — промисловий спосіб добування алкінів

## Додаткові завдання

9. Порівняйте будову молекул етену й етину.
10. Як змінюватиметься геометрія молекули етину в результаті його поступового гідратування?
11. Наведіть структурні формули й назви ізомерів складу  $C_6H_{10}$ .
12. Чим різняться між собою реакції приєднання, у які вступають алкени й алкіни? Наведіть приклади.
13. Реакція калій перманганату відбувається швидше з етеном, ніж з етином. Поясніть це явище.
14. Поясніть причину появи слабких кислотних властивостей в етину.
15. Обґрунтуйте галузі застосування етину його хімічними властивостями.
16. Схарактеризуйте способи добування етину з погляду їх економічності.
17. Складіть рівняння послідовних реакцій добування бромоетану з етину.
18. Установіть послідовність використання речовин для добування 1,1,2,2-тетрабромоетану.
  - А 1,2-дибромоетен
  - Б кальцій карбід
  - В етин
  - Г кальцій оксид
  - Д 1,1,2,2-тетрабромоетан
19. Обчисліть масу кальцій карбїду, якщо внаслідок розчинення його у воді виділився етин об'ємом 12,6 л.
20. Відносна густина вуглеводню за повітрям становить 0,9. Визначте формулу вуглеводню.
21. Для повного гідратування ненасиченого вуглеводню масою 2,8 г (відносна молекулярна маса 140) використали водень об'ємом 448 мл (н. у.). До якої групи належить вуглеводень?

# Арени

## Нові поняття й терміни:

**ароматичні вуглеводні, арени, бензен, толуен, нафтален, орто-, мета-, пара-орієнтація замісників, ароматизація, дегідроциклізація, пестициди.**

Вам уже відомі вуглеводні ланцюгової та циклічної форми, з простими й кратними зв'язками між атомами Карбону. Окрему групу сполук зі специфічними будовою і властивостями становлять так звані **ароматичні вуглеводні**, або **арени**. Перша назва, як і багато інших в органічній хімії, є даниною історії, оскільки перші серед добутих речовин цього ряду справді мали приємний запах. Термін *ароматичний* у сучасному розумінні стосується не запаху, а будови й хімічних властивостей цих сполук.

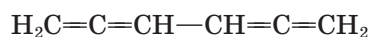




## § 16. БЕНЗЕН

**Склад і будова молекули.** Найпростіший серед ароматичних вуглеводнів — **бензен** (традиційна назва — бензол). Молекулярна формула бензену —  $C_6H_6$ . Хоча бензен був відкритий М. Фарадеєм у 1825 р., елементний склад сполуки було визначено лише через двадцять років, а будова молекули ще упродовж двадцяти років становила теоретичну проблему, оскільки жодна з пропонованих ученими структурних формул не відповідала повною мірою властивостям речовини, що вона їх виявляла.

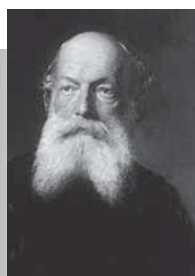
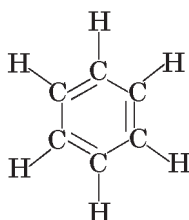
Спробуймо записати структурну формулу цієї сполуки, дотримуючись чотиривалентності атомів Карбону. Можливі, наприклад, такі варіанти:



Проте ці формули є неприйнятними, оскільки хімічні властивості бензену засвідчують рівноцінність атомів Карбону, а в наведених формулах одні з них зв'язані простими, а інші — кратними зв'язками. Для бензену пропонували й інші структури, наприклад такі:

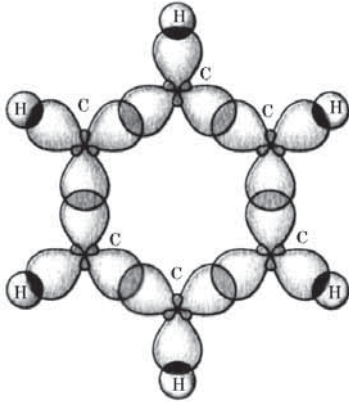


У 1865 р. німецький хімік А. Кекуле запропонував зображати структурну формулу бензену у вигляді шестичленного циклу з атомів Карбону, між якими чергуються прості й подвійні зв'язки:

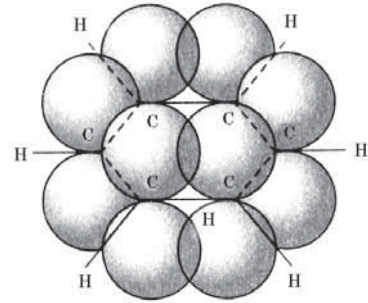


Німецький хімік. Праці вченого сприяли становленню теоретичних основ органічної хімії. Висловив думку про чотиривалентність атомів Карбону та їх здатність сполучатися між собою, утворюючи ланцюги. Запропонував циклічну формулу бензену. Синтезував чимало органічних сполук.

**Фрідріх Август  
Кекуле  
(1829—1896)**



Мал. 49. Схема утворення  $\sigma$ -зв'язків у молекулі бензену

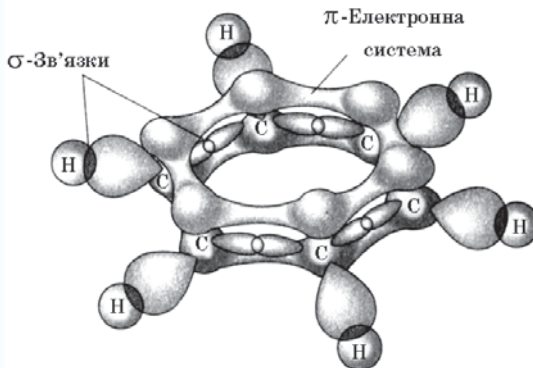


Мал. 50. Схема перекривання  $p$ -електронних орбіталей у молекулі бензену

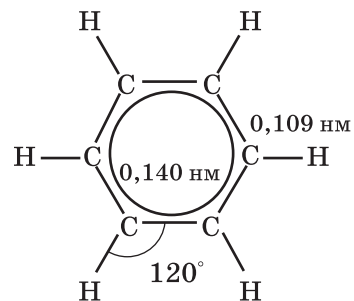
За такої будови очевидно, що всі атоми Карбону є рівноцінними. Але ця формула не повністю відповідає хімічним властивостям бензену. Будучи формально ненасиченим, він виявляє певну хімічну інертність. Наприклад, бензен не вступає в типові для ненасичених сполук реакції.

Реальну будову молекули бензену було пояснено на основі електронної теорії. Згідно із сучасними уявленнями молекула бензену є плоским правильним шестикутником, у вершинах якого розміщуються атоми Карбону, що перебувають у стані  $sp^2$ -гібридизації. Кожен атом утворює по три  $\sigma$ -зв'язки (два — із сусідніми атомами Карбону й один — з атомом Гідрогену) за рахунок гібридних електронних орбіталей (мал. 49). Негібридизовані  $p$ -електронні орбіталі сусідніх атомів Карбону, перекриваючись між собою з обох боків, утворюють спільну  $\pi$ -електронну хмару, густина якої локалізована над і під площиною молекули (мал. 50, 51). У цьому разі кажуть про *спряжену  $\pi$ -електронну систему*, в якій електронна густина рівномірно розподілена (делокалізована) між усіма атомами Карбону.

Завдяки цьому  $C-C$ -зв'язки вирівняно, їхня довжина є проміжною між довжинами простих і подвійних зв'язків і становить 0,140 нм (їх називають



Мал. 51. Схема утворення  $\pi$ -електронної системи в молекулі бензену



Мал. 52. Геометрія молекули бензену

полупторними й позначають  $C \equiv C$ ). Енергія зв'язків дорівнює 412 кДж/моль. Валентний кут у молекулі бензену становить  $120^\circ$  (мал. 52, 53).

Електронна карта, отримана за допомогою фізичного методу дослідження (рентгенографії), засвідчує рівномірність розподілу електронної густини в молекулі бензену (мал. 54).



Мал. 53. Модель молекули бензену

Пригадайте, у молекулі якої сполуки утворюється спільна  $\pi$ -електронна система. Як це позначається на довжині карбон—карбонних зв'язків?

$\pi$ -Електронна система стабілізує плоску молекулу бензену, що підтверджують наведені нижче міркування. Припустимо, що молекула бензену згідно з формулою Кекуле справді містить три подвійні зв'язки, тобто бензен є циклогексатрієном.

У результаті згоряння такої сполуки мало б виділитися 3 453 кДж/моль теплоти. Насправді ж виділяється лише 3 303 кДж/моль, тобто молекула бензену містить на 150 кДж/моль енергії менше. Цю різницю називають *енергією спряження*, завдяки їй молекула бензену набуває більшої стабільності.

Щоб показати, що в молекулі бензену немає простих і кратних зв'язків у чистому вигляді, було запропоновано зображувати структурну формулу як правильний шестикутник із кільцем усередині, що символізує рівномірний розподіл густини  $\pi$ -зв'язків між усіма атомами Карбону:



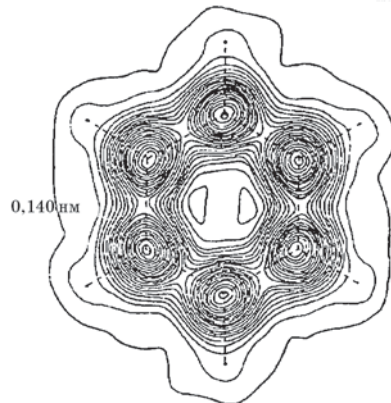
На практиці хіміки найчастіше користуються формулою Кекуле як найзручнішою, однак пам'ятають про її недосконалість.

**Фізичні властивості.** За стандартних умов бензен — безбарвна рідина з характерним запахом, температурою кипіння  $80^\circ\text{C}$ , майже нерозчинна у воді, але сама є розчинником багатьох органічних речовин. У цьому можна переконатися на досліді.

В одну пробірку наллємо бензену, в іншу — води. Додавимо в обидві пробірки по декілька краплин жиру і збовтаємо їх. Жир розчиняється в бензені, але спливає над водою.

Бензен — отруйна речовина, вдихати його випари небезпечно, тому працювати з ним треба обов'язково у витяжній шафі.

**Хімічні властивості.** Рівняння реакцій бензену наведено на с. 84. Реакції бензену зумовлені наявністю  $\pi$ -електронної системи, що стабілізує ядро. Через це бензен **стійкий проти дії окисників**, він не знебарвлює розчин калій перманганату, якщо су-



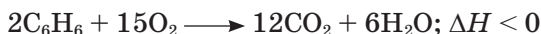
Мал. 54. Розподіл електронної густини в молекулі бензену (за даними рентгенографії)

міш цього розчину з бенzenом збовтати у пробірці, хоча за жорстких умов (каталізатор, висока температура, дія кисню) його все-таки вдається окиснити. Цим бензен нагадує насичені вуглеводні.

У результаті згоряння бензену утворюються вуглекислий газ і вода.

## Реакції бензену

### Повне окиснення (горіння)



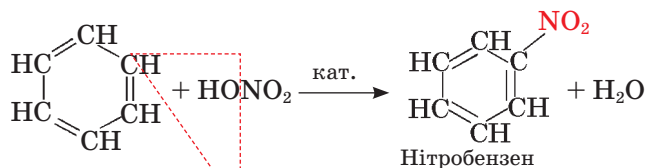
### Часткове окиснення

Бензенове ядро стійке проти дії окисників (розчин калій перманганату не знебарвлюється)

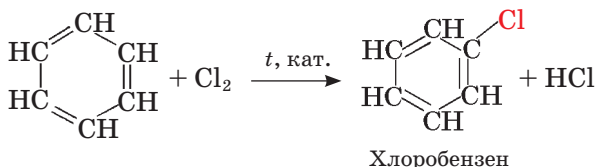
### Заміщення

Відбувається легше, ніж у насичених вуглеводнів

#### нітрування:



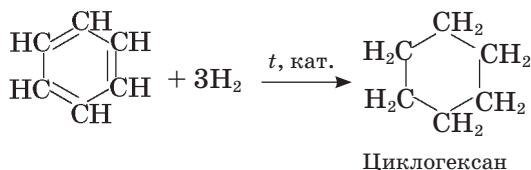
#### хлорування:



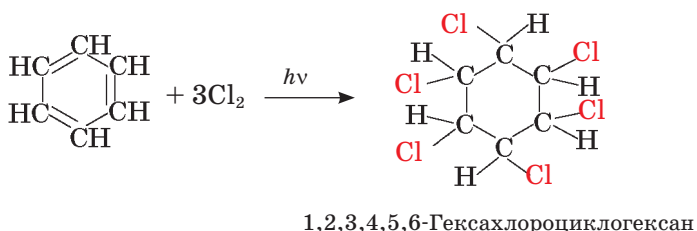
### Приєднання

Відбувається важче, ніж у ненасичених вуглеводнів (бромна вода не знебарвлюється)

#### водню:



#### галогенів:



Пригадайте характер горіння метану, етену, етину. У чому полягають відмінності цих реакцій?

Оскільки у складі молекули бензену вміст Карбону є значним, можна припустити, що горіння бензену на повітрі супроводжуватиметься утворенням кіптяви, як і в разі етину. Переконаємося в цьому на досліді, підпаливши у витяжній шафі в порцеляновій чашці декілька мілілітрів бензену — він справді горить кіптявим полум'ям з утворенням сажі. У кисні бензен згорає повністю.

Зважаючи на формальну ненасиченість складу бензену, можна припустити, що йому властиві реакції **приєднання**, наприклад брому.

Якщо у пробірку з бензеном додати трохи бромної води і збовтати суміш, бромна вода не знебарвлюється, бром переходить у верхній шар, отже, реакція не відбувається.

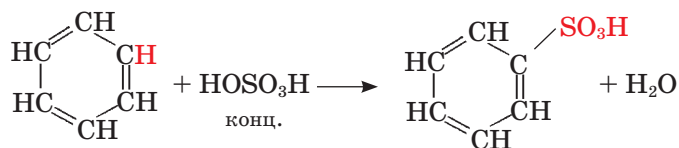
На відміну від ненасичених вуглеводнів бензен вступає в реакції приєднання за особливих умов. Наприклад, до молекули бензену, активованої дією УФ-випромінювання, можуть приєднатися три молекули хлору, при цьому утворюється гексахлороциклогексан, або гексахлоран, відомий як засіб боротьби зі шкідниками сільськогосподарських культур.

Приєднання водню до бензену відбувається за підвищених температур й тиску, а також за наявності каталізатора. У результаті реакції утворюється циклогексан.

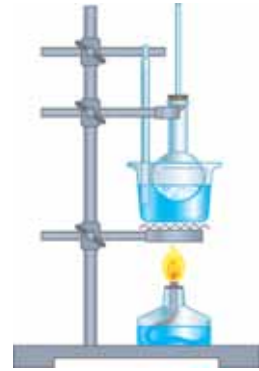
Однак бензен порівняно легко вступає в реакції електрофільного **заміщення**. Завдяки наявності  $\pi$ -електронної системи з підвищеною електронною густиною бензен є джерелом електронів для електрофільних реагентів. До таких реакцій належать реакції нітрування, галогенування, сульфування та ін.

**Нітрування** бензену відбувається під дією суміші нітратної та сульфатної кислот — так званої *нітрувальної суміші*. Для проведення цієї реакції (віртуально) скористаємося приладом, зображеним на мал. 55. До нітрувальної суміші додано бензену й нагріємо колбу до  $50^\circ\text{C}$ , періодично струшуючи її. Спостерігатимемо утворення нітробензену у верхньому шарі. Уміст колби вилеємо в хімічний стакан з водою — нітробензен (жовта рідина із запахом гіркого мигдалю) збереться на дні.

**Сульфування** бензену відбувається за наявності концентрованої сульфатної кислоти:

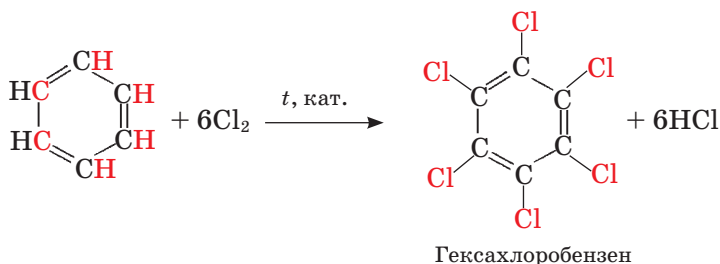


Бензенсульфокислота



Мал. 55. Добування нітробензену в лабораторії

**Галогенування** бензену за типом заміщення відбувається під дією катализатора, при цьому можуть заміщуватися всі шість атомів Гідрогену з утворенням гексахлоробензену:

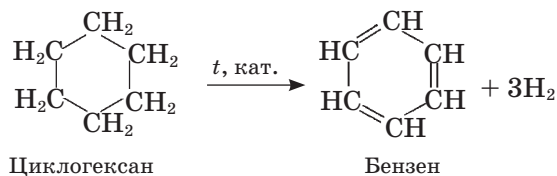
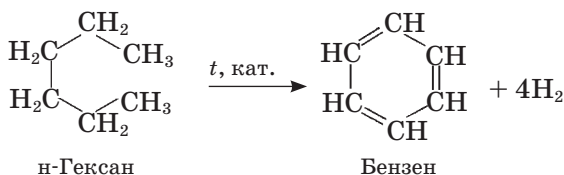


Отже, бензен вступає як у реакції заміщення, так і в реакції приєднання. Однак бензену більше властиві реакції заміщення.

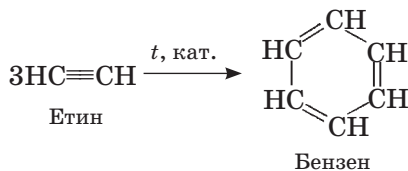
**Добування.** У минулому столітті бензен добували із продуктів переробки кам'яного вугілля, цей метод і досі використовують у промисловості.

Бензен добувають також із нафти за допомогою процесів *ароматизації*, тобто перетворення неароматичних сполук на ароматичні, наприклад, дегідруванням гексану й циклогексану за наявності катализатора.

Процес одночасного дегідрування і циклізації називають *дегідроциклізацією*:



Цікавим є спосіб добування бензену, запропонований М. Д. Зелінським: етин пропускають над активованим вугіллям за температури 600 °С:



**Застосування.** Бензен є вихідною речовиною для синтезу величезної кількості органічних речовин. З бензену добувають напівпродукти, які далі використовують для виробництва барвників, лікарських засобів, полімерів, пестицидів, вибухових речовин. Отже, бензен — базова сировина для



**Микола Дмитрович  
Зелінський  
(1861—1953)**

Хімік-органік, академік. Закінчив Новоросійський університет у Одесі, працював там деякий час. Наукові праці стосуються органічного каталізу, хімії амінокислот і білків. Досліджував склад нафти й продуктів її переробки, синтезував чимало органічних сполук, зокрема бензен з етину. Винайшов вугільний протигаз.

промислового органічного синтезу. Використовують його як розчинник і як екстрагент у виробництві лаків і фарб.

Бензен — високотоксична речовина, потребує обережного поводження.



### Завдання для самоконтролю

1. До якої групи вуглеводнів належить бензен? Чому їх так називають?
2. Поясніть утворення  $\sigma$ -зв'язків у молекулі бензену.
3. Поясніть утворення  $\pi$ -електронної системи в молекулі бензену.
4. Що таке енергія спряження?
5. Назвіть параметри молекули бензену.
6. У чому полягає умовність формули Кекуле?
7. Бензен стійкий проти дії окисників. Чому?
8. На мал. 56, *а*, *б*, *в* зображено полум'я бензену, метану й етену. Яке зображення відповідає кожній з цих речовин? Відповідь поясніть.
9. Чи знебарвлює бензен бромну воду? Поясніть, чому.
10. Які реакції характерні для бензену? Складіть рівняння реакцій.
11. За хімічними властивостями бензен не належить ні до насичених, ні до ненасичених вуглеводнів. Поясніть цей факт.
12. Як можна добути бензен із природної сировини?
13. Як ви розумієте термін *дегідроциклізація*?
14. Виберіть твердження, що стосуються бензену.
  - А гомолог циклогексану
  - Б відносна густина пари за воднем становить 39
  - В атоми  $C^1-C^2$  і  $C^4-C^5$  зв'язані подвійними зв'язками
  - Г розчинник жиру
  - Д горить блакитним полум'ям
  - Е стійкий проти дії окисників
  - Є залежно від умов вступає в реакції заміщення або приєднання з хлором



Мал. 56. Полум'я вуглеводнів

15. Визначте, яку кількість речовини (у молях) бензену можна добути з етину кількістю речовини 1 моль.

А 1    Б  $\frac{1}{3}$     В 6    Г 3

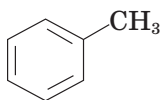
### Додаткові завдання

16. Поясніть, як впливає  $\pi$ -електронна система в молекулі бензену на її стабільність.
17. Як позначається вплив  $\pi$ -електронної системи на параметрах молекули бензену порівняно з алканами й алкенами?
18. Чи адекватна формула Кекуле хімічним властивостям бензену?
19. Як зміниться хімічна, електронна й просторова будова молекули бензену в результаті його гідрування?
20. Поясніть вплив умов на перебіг реакції бензену із хлором.
21. Зробіть висновок про реакційну здатність бензену порівняно з насиченими й ненасиченими вуглеводнями.
22. Складіть рівняння послідовних перетворень: а) вугілля на бензен; б) метану на нітробензен.
23. Унаслідок нітрування бензену, що утворився дегідруванням гексану масою 129 г, добули нітробензен. Обчисліть його масу.
24. У результаті реакції бензену з бромом утворився бромобензен масою 235,5 г. Вкажіть масу (г) бромоводню, необхідного за рівнянням реакції.
25. Із бензену масою 156 г добули хлоробензен. Визначте масу продукту реакції.
26. Яку кількість речовини бензену можна добути з етину кількістю речовини 1 моль?

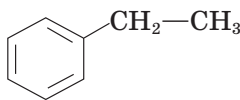


## § 17. ГОМОЛОГИ БЕНЗЕНУ

**Склад молекул, ізомерія, номенклатура.** Унаслідок заміщення в молекулі бензену атомів Гідрогену на алкільні групи утворюються гомологи бензену, наприклад:



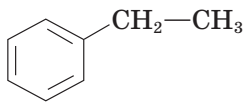
Метилбензен (толуен)



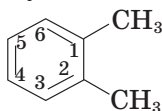
Етилбензен

Загальна формула гомологів бензену —  $C_nH_{2n-6}$ , де  $n > 6$ .

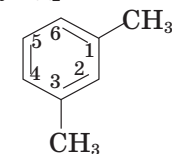
Гомологам бензену властива *структурна ізомерія*, зумовлена числом і положенням замісників у бензеновому ядрі:



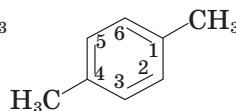
Етилбензен



1,2-Диметилбензен  
(орто-ксилол)



1,3-Диметилбензен  
(мета-ксилол)



1,4-Диметилбензен  
(пара-ксилол)

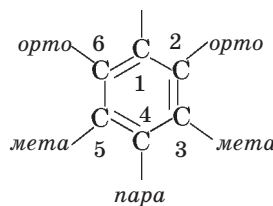


У назвах гомологів бензену місце замісника позначають цифрою, причому відлік ведуть від замісника, який за абеткою називають раніше. У традиційних назвах двозаміщених похідних бензену використовують також префікси *орто*-, *мета*- й *пара*-.

У загальному вигляді арени позначають як **Ar-H** (арил-аш). Найпростіший структурний фрагмент  $C_6H_5-$ , що утворюється відщепленням одного атома Гідрогену від бензенового кільця, називають **феніл** і позначають **Ph-**.

**Орієнтація замісників у бензеновому ядрі.** Реакції заміщення в бензеновому ядрі мають істотні особливості, якщо в цьому ядрі вже є замісник. Продукт реакції залежить від того, який це замісник та яка його електронна природа.

У симетричній молекулі бензену під впливом замісника порушується рівномірний розподіл  $\pi$ -електронної густини, відбувається її перерозподіл так, що одні атоми Карбону стають активнішими, інші — пасивнішими в реакціях подальшого заміщення. Тому нова група-замісник займає не будь-яке, а цілком визначене положення щодо наявного замісника (у положенні 1): *орто*-, *мета*- або *пара*-положення:

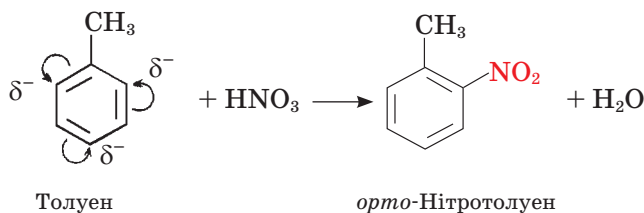


За орієнтувальною дією замісники поділяють на замісники *I роду* (вони орієнтують в *орто*- і *пара*-положення) і *II роду* (вони орієнтують у *мета*-положення). Наприклад:

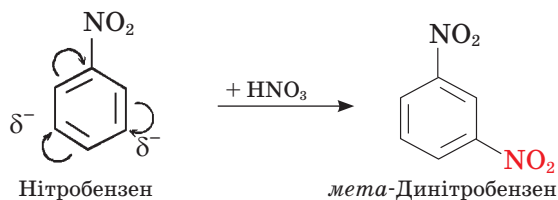
замісники *I роду*:  $-CH_3$ ,  $-OH$ ,  $-NH_2$ ;

замісники *II роду*:  $-NO_2$ ,  $-SO_3H$ ,  $-COOH$ ,  $-CHO$ .

Замісники *I роду* є донорами електронів, за рахунок яких електронна густина бензенового ядра зростає, зокрема в *орто*- й *пара*-положеннях. Саме в цих положеннях відбуваються реакції електрофільного заміщення:



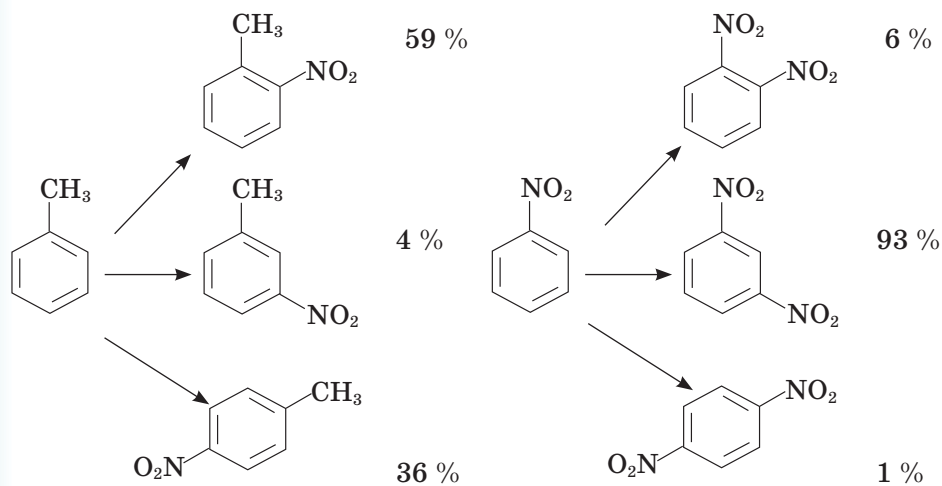
Замісники *II роду* є акцепторами електронів, вони відтягують до себе електронну густина бензенового ядра, зменшуючи її в *орто*- й *пара*-положеннях. У *мета*-положенні вона виявляється вищою, тому електрофільне заміщення відбувається саме тут:



Замісники I роду посилюють реакційну здатність бензенового ядра, а II роду — дезактивують його. Звідси можна припустити, що толуен буде активнішим, ніж бензен, а нітробензен — менш активним у реакціях електрофільного заміщення.

Справді, нітрування бензену відбувається за нагрівання із сумішшю сульфатної та нітратної кислот, а толуен нітрується розбавленою нітратною кислотою. Водночас увести ще одну нітрогрупу до нітробензену важче, ніж добути сам нітробензен.

Слід пам'ятати, що правила орієнтування неоднозначні. Замісники I і II роду визначають лише переважний напрямок реакції, оскільки разом із основним продуктом утворюються ізомерні сполуки. У разі нітрування толуену й нітробензену *o*-, *m*-, *p*-ізомери утворюються в такому співвідношенні:

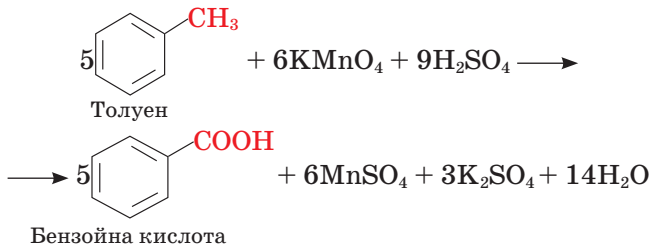


Згідно з теорією будови органічних сполук у молекулах має місце взаємний вплив атомів. Орієнтувальна дія замісників у бензеновому ядрі є лише одним із виявів цього взаємного впливу. Зі свого боку, бензенове ядро впливає на заміщувальну групу. Розглянемо на прикладі толуену вплив бензенового ядра на метильну групу.

Молекулу толуену можна розглядати як похідну сполуку метану, в якому один атом Гідрогену заміщений на фенільну групу.

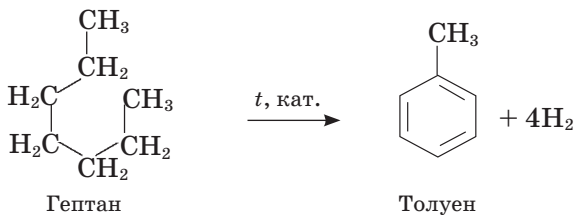
Як відомо, метан стійкий проти дії окисників, зокрема не знебарвлює розчин калій перманганату, отже, не окиснюється ним. Проведемо (віртуально) подібний дослід із толуеном: до толуену добавимо підкислений розчин калій перманганату фіолетового кольору, нагріємо суміш і переконає-

мося, що вона поступово знебарвлюється. Це засвідчує окиснення толуену. Метильна група перетворюється на карбоксильну —COOH:



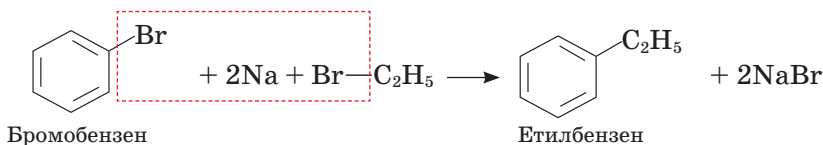
Отже, бензенове ядро впливає на метильну групу, через це толуен легко окиснюється.

**Добування.** Основну кількість ароматичних вуглеводнів у світі добувають з нафти. Оскільки в сирій нафті міститься мало цих сполук, то щоб збільшити вихід цінних продуктів, нафтові фракції піддають процесу *ароматизації*, у результаті чого алкани й циклоалкани перетворюються на бензен, толуен, ксилени тощо. Відбувається реакція *дегідроциклізації*:



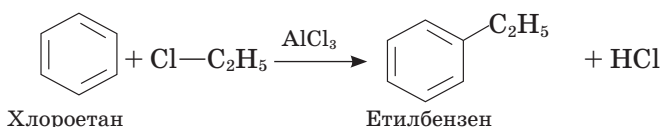
Як і бензен, його гомологи добувають також із продуктів переробки *кам'яного вугілля*.

До синтетичних методів належить один із варіантів реакції Вюрца: суміш галогенопохідних алканів і аренів обробляють металічним натрієм (*реакція Вюрца—Фіттига*):



Які ще продукти можуть утворитися внаслідок цієї реакції? Складіть відповідні рівняння реакцій.

Гомологи бензену утворюються також за *реакцією Фріделя—Крафтса*, названою на честь її відкривачів. Реакція полягає в дії галогеналканів на бензен за наявності каталізатора:

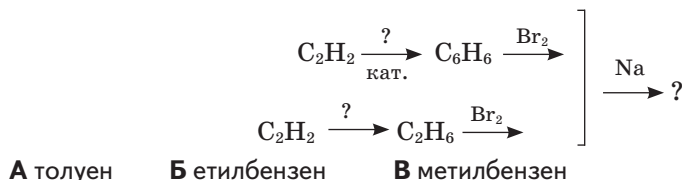


**Застосування.** *Толуен* застосовують для виробництва лаків, вибухових речовин (тринітротолуену), лікарських засобів, інших органічних сполук.



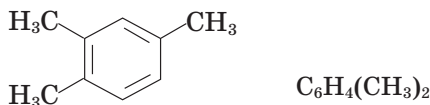
## Завдання для самоконтролю

1. Наведіть декілька формул гомологів бензену.
2. Який вид ізомерії властивий гомологам бензену?
3. Напишіть формули ізомерів пропілбензену. Назвіть їх.
4. Як поділяються замісники за їхньою орієнтувальною дією?
5. Як впливає метильна група на розподіл електронної густини в молекулі толуену?
6. Як впливає бензенове ядро на метильну групу в молекулі толуену?
7. Поясніть вплив нітрогрупи на бензенове ядро.
8. Наведіть приклад реакції дегідроциклізації.
9. Наведіть рівняння синтезу толуену за реакціями Вюрца—Фіттіга, Фріделя—Крафтса.
10. Укажіть кінцевий продукт перетворень за схемою.



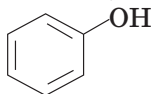
## Додаткові завдання

11. Складіть формули ізомерів наведених нижче сполук:

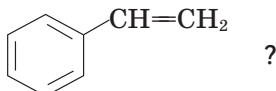


Назвіть ізомери.

12. У чому полягає відмінність між замісниками (орієнтантами) I та II роду? Поясніть їхній вплив на конкретних прикладах.
13. Яка сполука нітрується легше: а) бензен чи толуен; б) бензен чи нітробензен?
14. Зробіть припущення щодо будови продукту нітрування фенолу, формула якого



15. Чи є гомологом бензену сполука стирен (стирол)

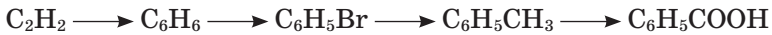


Як відбуватиметься гідрування цієї сполуки? Складіть відповідне рівняння реакції.

16. Складіть схему генетичних зв'язків між групами вуглеводнів, що ви їх вивчали.
17. У результаті дії на бензен масою 39 г надлишку хлороетану за наявності каталізатора утворився етилбензен. Визначте масу продукту реакції у грамах.

А 70
Б 53
В 80
Г 85,5

18. Обчисліть об'єм водню, що виділиться внаслідок каталітичного дегідрування метилциклогексану масою 196 г.
19. Складіть рівняння реакцій за такою схемою хімічних перетворень:



## § 18. ХІМІЧНІ ЗАСОБИ ЗАХИСТУ РОСЛИН

Однією з важливих галузей застосування похідних бензену є сільське господарство. Тут використовують речовини, що захищають рослини від комах, паразитичних грибів, бур'янів — так звані **пестициди** (від лат. *pestis* — зараза і *caedo* — вбиваю). Ознайомимося з найпростішими з них.

З'ясуйте за словником значення термінів: *гербициди*, *зооциди*, *фунгіциди*, *інсектициди*.

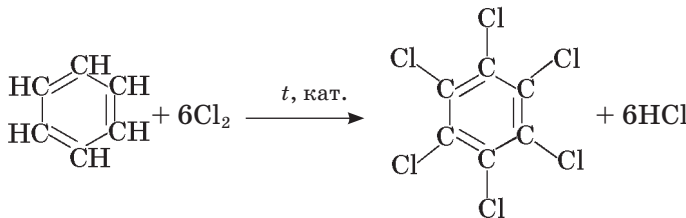
Якщо суміш бензену й хлору освітити УФ-промінням, то атоми Хлору приєднуються до бензенового ядра з утворенням сполуки гексахлороциклогексану  $\text{C}_6\text{H}_6\text{Cl}_6$ , що має промислову назву *гексахлоран*:



1,2,3,4,5,6-Гексахлороциклогексан

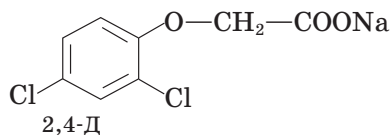
Цю сполуку протягом тривалого часу використовували проти бавовникового довгоносика, але нині через токсичність її використання скорочують.

Продукт заміщення шести атомів Гідрогену на атоми Хлору — *гексахлоробензен*  $\text{C}_6\text{Cl}_6$  — використовують для протруювання (знезараження) насіння зернових культур перед висіванням у ґрунт:



Гексахлоробензен

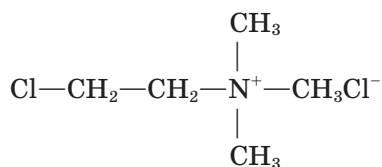
Серед засобів захисту рослин є речовини, що належать до різних класів органічних сполук. Наприклад, для знищення бур'янів у посівах зернових культур використовують *натрієві солі*: *трихлороетанової (трихлорооцтової) кислоти*  $\text{CCl}_3\text{COONa}$ , *2,2-дихлоропропанової кислоти*  $\text{CH}_3\text{CCl}_2\text{COONa}$  та *2,4-дихлорофеноксіетанової кислоти* (технічна назва 2,4-Д):



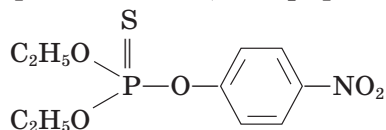
Для знезараження зерносовищ і проти шкідника винограду філоксери використовують хлоропохідну сполуку *1,2-дихлороетан*:  $\text{Cl}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{Cl}$ .

Як пестицид, зокрема, використовують *гексахлоробутадієн*  $\text{Cl}_2\text{C}=\text{CCl}-\text{CCl}=\text{CCl}_2$ .

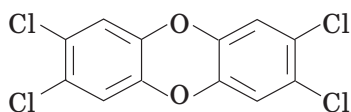
Хлороетилтриметиламонійхлорид (технічна назва *хлорохолінхлорид*) використовують проти полягання зернових культур:



Ефективними засобами боротьби з комахами є фосфорорганічні сполуки, тобто такі, що містять зв'язок Карбон — Фосфор. До них належить відомий інсектицид *тіофос* — *діетил-(p-нітрофеніл) тіофосфат*:



Побічними продуктами виробництва хлоровмісних гербіцидів є вкрай токсичні речовини — *діоксини*, до яких належить ціла група речовин. Наприклад:



Діоксини утворюються під час вибілювання хлором целюлози, у результаті спалювання хлоровмісних пластмас.

Хлоровмісні органічні сполуки, що містяться у продуктах і відходах металургійної, хімічної промисловості, енергетики, становлять потенційну небезпеку для довкілля й організму людини. Вони належать до *стійких органічних забруднювачів*, оскільки не розкладаються у природних умовах, здатні мігрувати крізь ґрунтові води, у земній корі та атмосфері. Потрапивши до організму людини, вони накопичуються, знижують імунітет, спричинюють онкологічні захворювання, мутації.

Щоб запобігти отруєнню довкілля діоксинами та іншими стійкими органічними забруднювачами, важливо контролювати процеси виробництва хлорорганічних сполук й утилізації відходів.



**Олександр  
Васильович  
Кірсанов  
(1902—1992)**

Український хімік-органік, академік. Працював у Дніпропетровському металургійному інституті, очолював Інститут органічної хімії АН України. Основні наукові праці стосуються хімії фосфор- та сульфурорганічних сполук. Низку добутих під його керівництвом речовин використовують у сільському господарстві як пестициди.

Наша держава приєдналася до Стокгольмської конвенції про стійкі органічні забруднювачі (2001 р.) й виконує всі вимоги щодо її реалізації на теренах України.

До хімічних засобів захисту рослин існують жорсткі вимоги щодо їх безпечності для людини, тварин і загалом для довкілля. Ці сполуки мають легко розкладатися на нешкідливі речовини, щоб після закінчення терміну їхньої дії вони не забруднювали ґрунт і водойми, не потрапляли в їжу. Використання речовин як пестицидів можливе лише з дозволу державних органів нагляду.



### Завдання для самоконтролю

1. Яких правил безпеки слід дотримуватися в разі використання різних хімічних засобів у побуті?
2. Чому, на вашу думку, не можна використовувати на присадибних ділянках несертифіковані хімічні засоби захисту рослин?
3. Як, на вашу думку, реагуватиме гексахлоробутадиєн із воднем? Напишіть відповідне рівняння реакції.
4. Схарактеризуйте значення хімічних засобів захисту рослин для сільського господарства. Які речовини використовують з цією метою у вашій місцевості?

### Додаткові завдання

5. Стокгольмська конвенція про стійкі органічні забруднювачі стосується державної політики щодо виробництва, використання й утилізації цих продуктів. Чи пов'язано це зі стратегією сталого розвитку суспільства? Наведіть власні аргументи.
6. Поцікавтеся складом тютюнового диму. Чи можна віднести його до стійких органічних забруднювачів? Зробіть висновок.



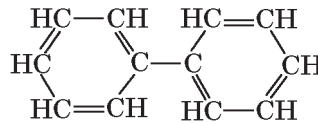
## § 19. БАГАТОЯДЕРНІ АРОМАТИЧНІ ВУГЛЕВОДНІ

Існують ароматичні вуглеводні, у молекулах яких два або більше бензенових ядер сполучені між собою так:



Це сполуки з так званими конденсованими бензеновими ядрами.

До сполук із ізольованими бензоліними ядрами належить дифеніл:



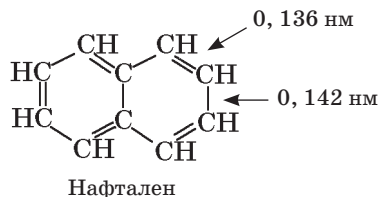
Дифеніл

**Нафтаден (нафталін)  $C_{10}H_8$**  — це безбарвна кристалічна речовина з характерним запахом, відома в побуті як засіб відлякування і знищення молі. Під час нагрівання нафтаден легко сублимується. Цим користуються для його очищення на коксохімічних заводах і в лабораторіях.

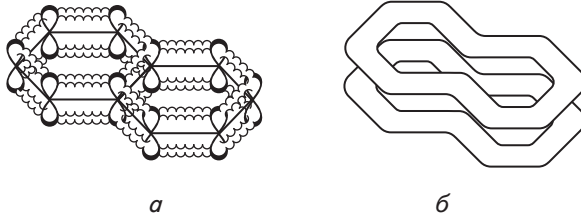
Про які особливості кристалічної будови свідчить наявність запаху в нафталену?

У молекулі нафталену, як і в молекулі бензену, атоми Карбону перебувають у стані  $sp^2$ -гібридизації. За рахунок перекривання негібридизованих  $p$ -електронних орбіталей утворюється  $\pi$ -електронна система (мал. 57).

Проте в молекулі нафталену на відміну від бензену не всі  $C-C$ -зв'язки однакові, а саме:  $C^1-C^2$  коротші (0,136 нм), а  $C^2-C^3$  довші (0,142 нм) порівняно з молекулою бензену (0,140 нм):



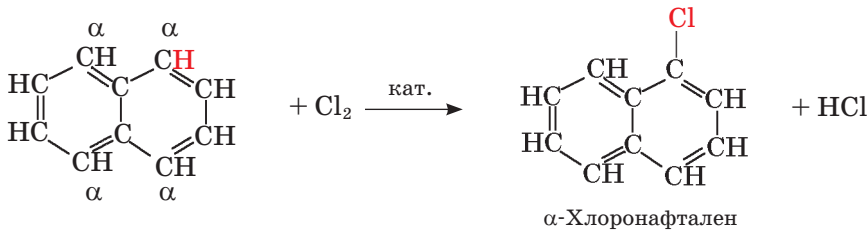




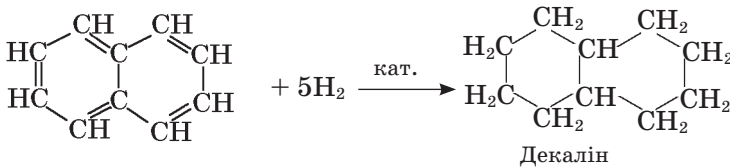
Мал. 57. Схема перекивання  $p$ -електронних орбіталей (*a*) та утворення  $\pi$ -електронної системи (*b*) у молекулі нафталену

$\pi$ -Електронна густина в ядрах розподілена нерівномірно: біля  $\alpha$ -атомів Карбону вона вища, ніж біля  $\beta$ -атомів. Така нерівномірність порушує стабільність молекули, тому нафтален активніший у хімічних реакціях порівняно з бенzenом. Він легше вступає в реакції окиснення, відновлення, заміщення та приєднання.

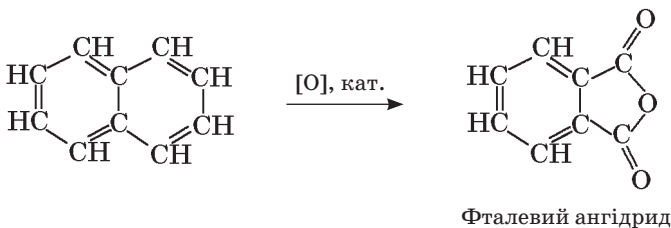
Реакції **заміщення** відбуваються переважно в  $\alpha$ -положенні:



Нафтален **приєднує** водень, перетворюючись на насичений вуглеводень декалін:



**Окиснення** нафталену супроводжується руйнуванням одного з бенzenових ядер:



Промисловим джерелом нафталену є продукти переробки *кам'яного вугілля*.

Нафтален використовують як сировину для синтезу різноманітних хімічних продуктів, у тому числі барвників, лікарських засобів.




## Завдання для самоконтролю

1. Яку ознаку молекулярної будови кристалів нафталену ви можете назвати?
2. У чому полягають подібність і відмінність будови бензену й нафталену?
3. Схарактеризуйте основні реакції нафталену.
4. Поясніть, чому нафтален виявляється активнішим порівняно з бенzenом у реакціях заміщення та приєднання.
5. Викресліть у наведеному нижче тексті слова, що не стосуються нафталену.  
Нафтален, як антрацен, фенантрен і бензен, належить до багатоядерних насичених ароматичних сполук. Вступає в реакції повного й часткового окиснення, заміщення — з хлором та натрієм, приєднання — з воднем, етеном, етином. Використовують у побуті для привабливання молі, в органічному синтезі. У промисловості нафтален добувають у результаті переробки кам'яного вугілля й перегонки нафти.
6. Яка кількість речовини водню приєднається до нафталену кількістю речовини 1 моль, якщо утворюється сполука складу  $C_{10}H_{10}$ ?

## Висновки

- Ароматичні вуглеводні (арени) містять бензенове ядро у складі молекул.
- Молекула бензену має форму правильного плоского шестикутника.
- Зв'язки між атомами Карбону є рівноцінними й проміжними між простими та подвійними.
- Основні параметри молекули бензену:
  - тип гібридизації електронних орбіталей атомів Карбону —  $sp^2$ ;
  - види зв'язків —  $\sigma$ - і  $\pi$ -, наявність спряженої  $\pi$ -електронної системи;
  - енергія зв'язків  $C \cdots C$  — 412 кДж/моль;
  - довжина зв'язків  $C \cdots C$  — 0,140 нм;
  - валентний кут —  $120^\circ$ .
- $\pi$ -Електронна система стабілізує бензенове ядро.
- Гомологам бензену властива структурна ізомерія карбонового скелета, зумовлена будовою та розташуванням замісників у бензеновому ядрі.
- Реакційна здатність бензену вища, ніж насичених вуглеводнів, але нижча, ніж ненасичених.
- Типовими реакціями аренів є реакції електрофільного заміщення.
- У похідних бензену виявляється орієнтувальна дія замісників.
- Замісники I роду (донори електронів) спрямовують заміщення в *орто*- й *пара*-положення; замісники II роду (акцептори електронів) — у *мета*-положення.
- У молекулах багатоядерних вуглеводнів порушується рівномірний розподіл електронної густини, тому вони легше вступають у реакції порівняно з бенzenом.

- Промисловим джерелом добування ароматичних вуглеводнів є кам'яне вугілля.
- Ароматичні вуглеводні є сировиною для виробництва барвників, ліків, вибухових речовин, засобів захисту рослин тощо.



## § 20. ВЗАЄМОЗВ'ЯЗОК І ВЗАЄМОПЕРЕТВОРЕННЯ ВУГЛЕВОДНІВ

Вивчаючи вуглеводні, ви переконалися в їхній різноманітності, зумовленій здатністю атомів Карбону утворювати молекули лінійної та циклічної будови, сполучатися між собою за допомогою простих і кратних зв'язків, утворювати гомологічні ряди й ізомери.

Назвіть загальні формули гомологів метану, етену, бензену.

Незначна зміна складу молекули (на групу  $-\text{CH}_2-$ ) спричиняє зміну фізичних властивостей гомолога, а незначна зміна порядку сполучення атомів приводить до утворення ізомеру, тобто нової сполуки з притаманними їй властивостями. У цьому виявляється дія закону залежності властивостей органічних речовин від складу й хімічної будови молекул.

Наведіть приклади цієї залежності, підтвердіть їх фізичними константами речовин та хімічними рівняннями.

За складом молекул вуглеводні різних груп різняться між собою числом атомів Гідрогену, що припадають на певне число атомів Карбону. Отже, унаслідок приєднання або відщеплення атомів Гідрогену сполуки однієї групи перетворюються на сполуки іншої групи (реакції гідрування і дегідрування).

Наведіть приклади таких реакцій.

Послідовними хімічними перетвореннями з неорганічної сполуки кальцій карбиду можна отримати етин, а з нього — бензен, останній перетворити на інші сполуки.

Складіть рівняння цих хімічних перетворень.

Наведені приклади засвідчують генетичний взаємозв'язок між вуглеводнями, а також між органічними та неорганічними речовинами. Знання цих взаємозв'язків відкриває величезні можливості для добування багатьох цінних сполук за допомогою хімічного синтезу.



## Завдання для самоконтролю

1. Складіть схему генетичних зв'язків між вуглеводнями різних груп. Наведіть рівняння хімічних реакцій за цією схемою.
2. Складіть хімічні рівняння послідовних перетворень кальцій карбонату на поліетилен.  
У завданнях 3—5 установіть відповідність між лівою та правою колонками таблиць.

3.

Загальна формула групи вуглеводнів	Назва групи вуглеводнів
1 $C_nH_{2n+2}$	А ацени
2 $C_nH_{2n-2}$	Б алкани
3 $C_nH_{2n}$	В алкени
4 $C_nH_{2n-6}$	Г алкадієни

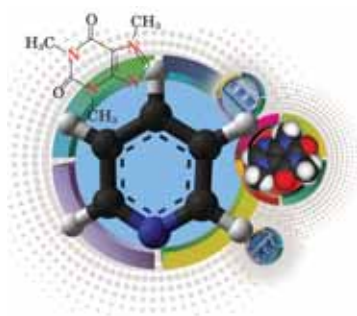
4.

Назва сполуки	Вид ізомерії, властивий сполуці
1 етин	А <i>цис-, транс-</i>
2 етилбензен	Б структурна (карбонового скелета)
3 ізопрен	В структурна (положення кратного зв'язку)
4 бут-1-ен	Г міжгрупова
5 пентан	
6 циклобутан	
7 1,2-дихлоретен	

5.

Реакція	Формула реагента
1 полімеризація	А $CH_3Br$
2 піроліз	Б $C_2H_4$
3 бромовання (приєднання і заміщення)	В $C_6H_6$
	Г $CH_4$

6. Установіть послідовність речовин у ланцюзі перетворення неорганічних речовин на полімер.  
А етин    Б кальцій оксид    В кальцій карбід    Г етен



# Гетероциклічні сполуки

**Нові поняття й терміни:**

**гетероциклічні сполуки, карбоциклічні сполуки, піридин.**



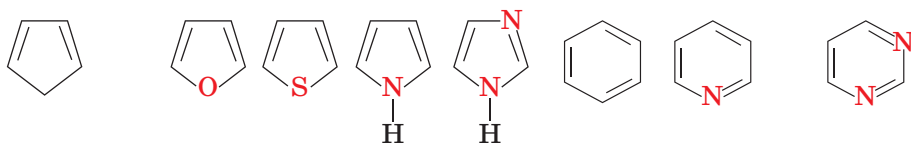
## § 21. ПІРИДИН

**Загальна характеристика гетероциклічних сполук.** Циклічну будову молекул мають уже відомі вам циклоалкани й арени. Ці сполуки називають **карбоциклічними сполуками**. Окрім атомів Карбону в утворенні органічних речовин циклічної будови можуть брати участь атоми Нітрогену, Оксигену, Сульфуру та деяких інших елементів, тобто гетероатоми (від грец. ἕτερος — частина слова, що означає *інший*). Такі сполуки називають **гетероциклічними**.

За розміром циклу найпоширенішими є п'яти- й шестичленні гетероцикли, а за видом гетероатома — нітрогено- й оксигеновмісні системи. Число гетероатомів у циклі може бути різним, а в деяких випадках навіть переважати число атомів Карбону. У природі поширені сполуки з п'яти- й шестичленними циклами, що містять один-два гетероатоми.

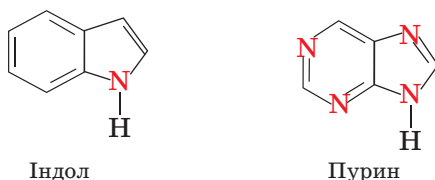
Зіставте стійкість і поширеність у природі циклоалканів та гетероциклічних сполук.

Нижче наведено структурні формули найпростіших п'яти- й шестичленних гетероциклів, а для порівняння — карбоциклічні (циклопентадієн і бензен).



Циклопентадієн   Фуран   Тіофен   Пірол   Імідазол   Бензен   Піридин   Піримідин

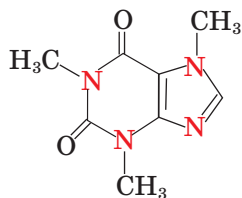
Подібно до того як бензенові ядра можуть утворювати нафталенову систему, гетероциклічні кільця можуть об'єднуватися з бензеновими або між собою:



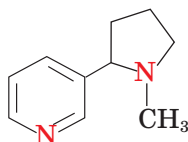
Індол

Пурин

Гетероцикли входять до складу багатьох природних біологічно активних речовин. Наприклад, ядро пурину входить до складу молекули кофеїну, ядро піридину — до складу молекули нікотину:



Кофеїн



Нікотин

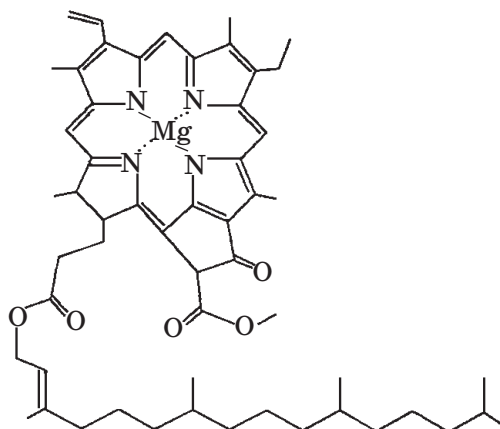


Мал. 58. Модель молекули кофеїну

Кофеїн належить до речовин, що стимулюють роботу центральної нервової системи (мал. 58). Він міститься в листках чаю, зернах кави, какао, горіхах кола. Екстракт цих горіхів раніше використовували для виготовлення напою «Кока-кола», нині його замінено на кофеїн.

Нікотин — надзвичайно отруйна речовина, що виділяється з тютюну й укорочує віку не лише курцям, а й тим, хто перебуває поруч.

Гетероциклічні ядра входять до складу молекул багатьох речовин, що відіграють вирішальну роль у життєдіяльності організмів — білків, вітамінів, ферментів. Похідні пурину й піримідину містяться в нуклеїнових кислотах, ядро піролу виявлено в структурі важливих рослинних і тваринних пігментів хлорофілу, геміну, білірубіну.

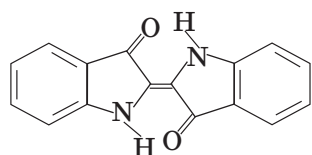


Хлорофіл  $C_{55}H_{72}MgN_4O_5$

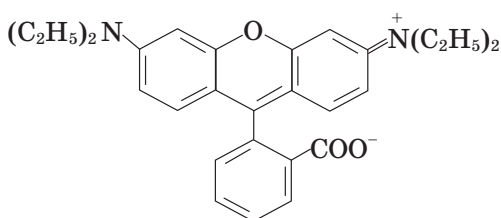
Велику групу гетероциклічних сполук становлять синтетичні барвники, що їх у великих кількостях виробляє промисловість. Зокрема, барвником індиго фарбують джинси в красивий синій колір (мал. 59).



Мал. 59. Природне індиго добувають із рослин, а джинси фарбують синтетичним індиго



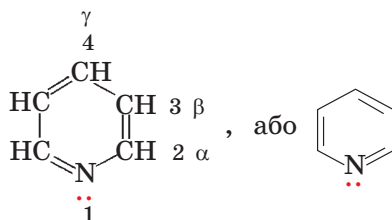
Індиго — синій барвник



Родамін С — червоний барвник

До гетероциклічних сполук належить велика кількість фармацевтичних препаратів, у тому числі антибіотиків.

**Піридин.** Молекула піридину, як і молекула бензену, має плоску будову:

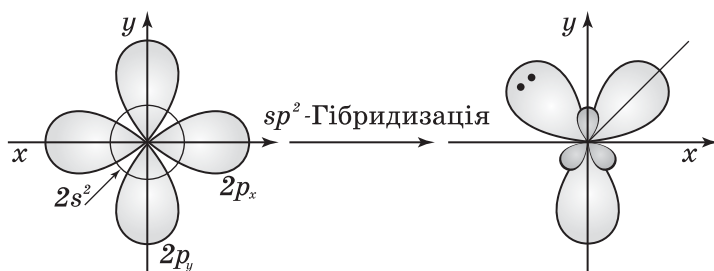


Атоми Карбону й атом Нітрогену перебувають у стані  $sp^2$ -гібридизації. Гібридизація електронних орбіталей атома Нітрогену має деякі особливості порівняно з Карбоном. Розглянемо їх.

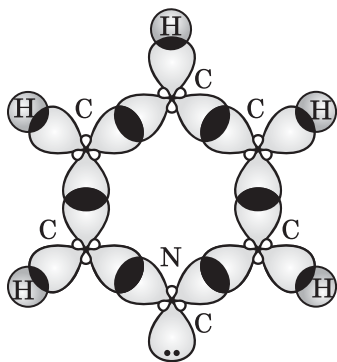
Електронна конфігурація атома Нітрогену —  $1s^2 2s^2 2p^3$ . У його зовнішньому електронному шарі міститься 5 електронів. У  $sp^2$ -гібридизації беруть участь орбіталі чотирьох з них: двох  $s$ - і двох  $p$ -електронів. Третій  $p$ -електрон залишається на негібридизованій орбіталі, як у атомів Карбону.

Одна з гібридних електронних орбіталей атома Нітрогену належить парі електронів, що не бере участі в утворенні зв'язків (мал. 60, с. 104). Дві інші гібридні орбіталі, що містять по одному електрону, перекриваються з подібними орбіталями атомів Карбону з утворенням  $\sigma$ -зв'язків (мал. 61, с. 104).

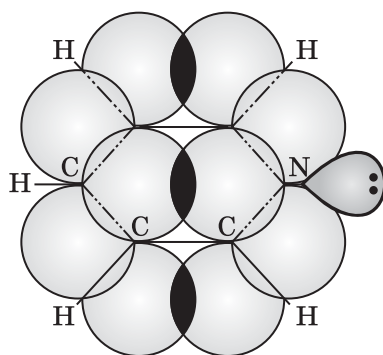
Негібридизовані  $p$ -електронні орбіталі атомів Нітрогену й Карбону перекриваються між собою над і під площиною молекули піридину й утворюють спільну  $\pi$ -електронну систему, як у молекулі бензену (мал. 62, 63, с. 104).



Мал. 60. Схема утворення  $sp^2$ -гібридних електронних орбіталей атома Нітрогену



Мал. 61. Схема утворення  $\sigma$ -зв'язків у молекулі піридину

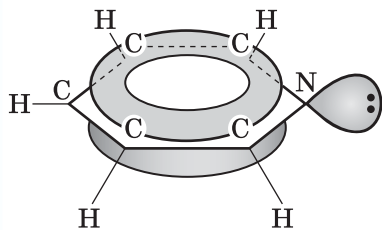


Мал. 62. Схема перекривання  $p$ -електронних орбіталей у молекулі піридину

У формулі піридину прийнято позначати неподілену пару електронів біля атома Нітрогену.

Пригадайте, що в молекулі бензену всі  $C-C$ -зв'язки однакові й мають довжину  $0,140$  нм. З появою гетероатома параметри молекули змінюються: у молекулі піридину довжина  $C-C$ -зв'язків становить  $0,139$  нм, а довжина  $C-N$ -зв'язків —  $0,134$  нм.

**Фізичні властивості піридину.** Піридин — безбарвна рідина з характерним запахом. Отруйний, вдихання пари спричиняє тяжкі ураження центральної нервової системи. Добрий розчинник, у тому числі й неорганічних сполук, оскільки через наявність неподіленої пари електронів атома Нітрогену молекула піридину є полярною.



Мал. 63. Схема утворення  $\pi$ -електронної системи в молекулі піридину

**Хімічні властивості піридину.** Рівняння реакцій піридину наведено на с. 105. Подібно до бензену піридин **стійкий проти дії окисників** (нітратна, нітритна, хромова кислоти не чинять дії на нього навіть під час кип'ятіння). Піридин горить з виділенням вуглекислого газу, води й азоту.

Подібність до бензену виявляється і під час взаємодії піридину з відновниками: за



наявності каталізатора він легко **приєднує** три молекули водню, перетворюючись на насичену сполуку піперидин.

Як і бензен, піридин уступає в реакції електрофільного **заміщення** (нітрування, галогенування), що відбуваються значно важче, ніж у бензену. У них піридин поводить як сильно дезактивована похідна бензену. Електрофільні частинки ( $\text{NO}_2^+$ ,  $\text{Br}^+$ ) атакують атом Карбону в положення 3.

Якщо в бензеновому ядрі  $\pi$ -електронна хмара розподілена рівномірно між атомами Карбону, то в піридиновому під впливом електронегативного гетероатома вона певною мірою деформована, тобто спостерігається індукційний ефект. Саме впливом останнього можна пояснити дезактивацію молекули піридину в реакціях заміщення, характерних для ароматичних сполук.

### Реакції піридину

#### Повне окиснення (горіння)

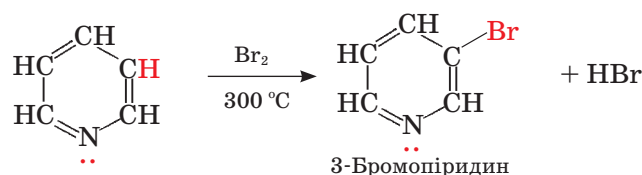
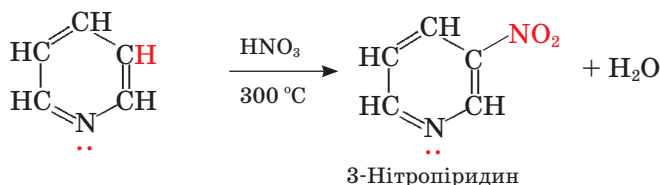


#### Часткове окиснення

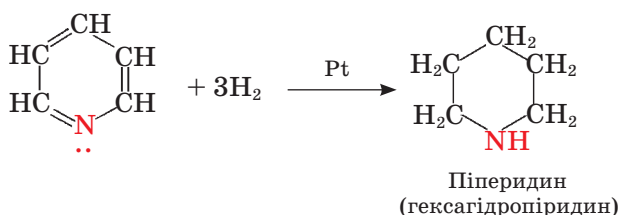
Стійкий проти дії окисників

#### Заміщення

Відбувається важче, ніж у бензену



#### Приєднання водню (відновлення)



#### Утворення солей



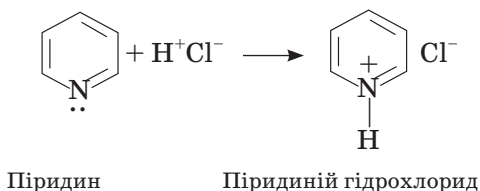


**Олексій  
Всеволодович  
Богатський  
(1929—1983)**

Український учений, академік АН України. Організатор науки в Україні. Життя і праця пов'язані з Одесою, де він народився, закінчив університет, працював у ньому. Очолював Фізико-хімічний інститут АН України. Наукові праці стосуються стереохімії, конформаційного аналізу гетероциклічних сполук. Відкрив реакцію синтезу гетероциклів.

Оскільки вплив атомів є взаємним, то цикл певним чином має впливати на гетероатом.

Із сильними мінеральними кислотами піридин може утворювати солі.



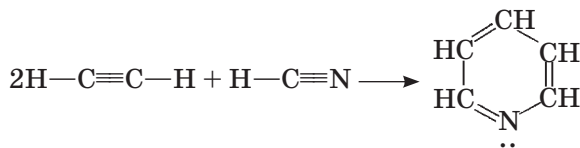
Пригадайте, що бензен такої властивості не має.

**Застосування піридину.** Піридин застосовують у синтезі барвників, лікарських засобів, пестицидів, як розчинник, домішку до етанолу для його денатурації.

Серед лікарських препаратів, розроблених на основі синтетичних похідних піридину, є засоби від серцевих хвороб, підвищеного кров'яного тиску. Відомі ліки фтивазид використовують як протитуберкульозні, піроксикам — як протизапальні.

**Добування піридину.** Піридин добувають із кам'яновугільної смоли, до складу якої він входить разом з іншими похідними, а також виділяють із продуктів перегонки деревини, кісток, торфу.

Цікавим є синтез піридину за методом В. Рамзая, що полягає в пропусканні суміші етину й гідроген ціаніду над розжареним активованим вугіллям:



## Висновки

- В утворенні органічних сполук циклічної будови можуть брати участь гетероатоми. Такі сполуки називають гетероциклічними.
- Найважливіші з гетероциклічних сполук — нітрогеновмісні. Такі гетероцикли входять до складу біологічно важливих речовин, ліків, барвників тощо.
- У молекулі піридину атоми Карбону й Нітрогену перебувають у стані  $sp^2$ -гібридизації.
- За хімічними властивостями піридин подібний до бензену, проте через наявність гетероатома його активність у реакціях заміщення нижча.
- Наявність неподіленої електронної пари в атомі Нітрогену зумовлює основні властивості піридину.
- Піридин використовують в органічному синтезі.



## Завдання для самоконтролю

1. Поясніть термін *гетероциклічні сполуки*.
2. Наведіть приклади гетероциклів із різними гетероатомами.
3. Які природні сполуки містять у своєму складі гетероцикли?
4. Поясніть розподіл електронної густини в молекулі піридину.
5. Як відбувається реакція горіння піридину? У чому полягає її особливість порівняно з вуглеводнями?
6. Поясніть основні властивості піридину.
7. У яких галузях застосовують піридин?
8. Виберіть правильне твердження.
  - А нітроген — гетероатом у молекулі піридину
  - Б молекула піридину руйнується під дією окисників
  - В піридин виявляє кислотні властивості
  - Г піридин відновлюється до бензену
  - Д піридин і піперидин — ізомери
  - Е піридину, як і бензолу, властиві реакції заміщення

## Додаткові завдання

9. Карбон, Нітроген, Оксиген, Сульфур і деякі інші елементи називають *елементами-органогенами*. Доведіть, що ця назва є виправданою.
10. Порівняйте будову молекул бензену й піридину. Що є між ними спільного? Чим вони різняться між собою?
11. Складіть порівняльну таблицю хімічних властивостей піридину й бензену за такими реакціями: повне окиснення, часткове окиснення, відновлення, заміщення, утворення солей.
12. У чому виявляється взаємний вплив атомів у молекулі піридину?
13. Схарактеризуйте значення нітрогеновмісних гетероциклічних сполук.



# Природні джерела вуглеводнів

## Нові поняття й терміни:

нафтова фракція, ректифікаційна колона, крекінг, риформінг, коксування, коксовий газ, кам'яновугільна смола, детонаційна стійкість, октанове число, фотохімічний смог, нафтохімія.

У природі вуглеводні трапляються переважно у вигляді природного газу, нафти, кам'яного вугілля. Є два напрями використання цих горючих копалин: як джерела енергії та як сировини для подальшої переробки. Перший означає звичайне спалювання, другий — це шлях органічного синтезу. З вуглеводнів, виділених із нафти, природного газу й вугілля, можна добути багато різних речовин, а з них виробити ще більше корисних матеріалів.

Природний газ, нафта, кам'яне вугілля належать до невідновлюваних природних ресурсів. Ця обставина змушує розвідувати нові родовища й разом із тим експлуатувати вже відкриті так, щоб максимально вилучати з них копалини й раціонально, з найбільшою користю переробляти їх.

Не важко зрозуміти, що доцільніше піддавати нафту, вугілля й газ хімічній переробці, ніж спалювати їх у котельнях, двигунах, промислових і побутових печах тощо.

## Які альтернативні джерела енергії вам відомі?

Існують різні погляди на походження горючих копалин. Як вважають прихильники теорії органічного походження, поклади утворилися із решток вимерлих рослинних і тваринних організмів, що перетворилися на суміші вуглеводнів у товщі Землі під дією бактерій, високих тиску й температури.

Згідно з теорією мінерального (вулканічного) походження нафти, природного газу та кам'яного вугілля на первісній стадії формування планети Земля метали сполучалися з вуглецем з утворенням карбідів. У результаті реакції карбідів з водою (водяною парою) у надрах планети виділялися газуваті вуглеводні, зокрема метан і етин:



Під дією нагрівання, радіації та каталізаторів із цих сполук утворювалися інші вуглеводні, що входять до складу нафти. У верхніх шарах літосфери рідкі нафтові компоненти випаровувалися, рідина загусала, перетворювалася на асфальт і далі на вугілля.

Теорію мінерального походження нафти вперше запропонував Д. І. Менделєєв. А на початку ХХ ст. французький учений П. Сабатьє змодельював процес і добув суміш вуглеводнів, подібну до нафти.



## § 22. ПРИРОДНИЙ ГАЗ

Газуватими за стандартних умов є вуглеводні з низькими відносними молекулярними масами, саме вони містяться у природному газі. Переважає в цій суміші метан — його масова частка становить 80–90 %. Решта — гомологи метану: етан, пропан, бутан та інші гази (сірководень, гелій тощо).

Природні горючі гази, що виділяються в деяких місцевостях із тріщин земної кори, були відомі людині з давніх-давен. Подекуди ці гази займалися, наприклад під час грози. Деякі народи вважали священним вогонь у місцях постійного виходу природного газу.

Полум'я природного газу, що пробивається з-під землі, можна спостерігати в наш час на горі Янарташ у Греції (мал. 64).

На теренах України є родовища природного газу. Назвіть їх.

У товщі земної кори природний газ перебуває у стисненому стані. Через свердловини газ під тиском виходить на поверхню. Спрямувавши газ у газопровід, його можна транспортувати на великі відстані.

З газопроводів газ потрапляє на промислові підприємства та в житлові приміщення, де його використовують як паливо. Використання газу в побуті замість дров і кам'яного вугілля є поступом, хоча при цьому згоряють цінні речовини.

Зважаючи на це, який висновок ви можете зробити щодо економного використання газу в побуті?

Природний газ широко використовують у промисловості. У доменних печах метан згоряє до вуглекислого газу, який, реагуючи з коксом, утворює карбон(II) оксид, останній відновлює оксиди Феруму. Під час виробництва



Мал. 64. Полум'я природного газу в природних умовах (Греція)



а



б

Мал. 65. Використання скрапленого природного газу: а — горіння балонного газу; б — повітряні кулі наповнюють повітрям, нагрітим унаслідок спалювання газу

сталі мартенівським способом природний газ використовують як джерело теплоти. Із цією метою його застосовують і в скловарних печах.

Чи є, на вашу думку, раціональним використання природного газу в доменних печах?

Природний газ не лише спалюють, а й переробляють на різні цінні хімічні продукти. Він є сировиною для добування етину, водню, що їх використовують у хімічному синтезі, наприклад водень — у синтезі амоніаку. Сажу, добуту з метану, використовують для виготовлення друкарської фарби, гумових виробів (як наповнювач). Застосування природного газу — це, по суті, застосування метану (табл. 8).

Таблиця 8

### Склад і галузі застосування природного і супутнього нафтового газів

Горючі копалини	Склад, %		Галузь застосування
	Метан	Гомологи метану та інші гази	
Природний газ	80 — 98	2—20	Паливо для мартенівських, доменних, скловарних печей, побутових потреб; вихідна сировина для добування етину, водню, сажі, галогенопохідних
Супутній нафтовий газ	30 — 90	10—70	Газовий бензин (пентан, гексан) — добавка до бензинів Пропан-бутанова суміш — паливо Сухий газ (метан) — паливо, сировина для органічного синтезу

Пригадайте, на яких властивостях метану ґрунтується добування згаданих вище продуктів.

**Супутній нафтовий газ.** Є поклади природного газу, що залягає разом із нафтою і разом із нею виходить на поверхню із свердловин. Це так званий

супутній нафтовий газ. Він є сумішшю летких вуглеводнів, хоча, на відміну від природного газу, містить менше метану й більше — його гомологів та інших газів.

Суміш газів розділяють і використовують як паливо та як хімічну сировину. Суміш пропану й бутану скраплюють і зберігають під тиском у балонах (мал. 65). Це дає змогу транспортувати газ у місця, не під'єднані до мережі газопроводів. Японія, що не має власних родовищ природного газу, 90 % необхідної його кількості отримує в скрапленому вигляді.



## Завдання для самоконтролю

1. Які родовища горючих корисних копалин в Україні вам відомі? Покажіть їх на мапі.
2. Укажіть, які речовини входять до складу природного газу.  
**А** метан    **В** гексан  
**Б** етен    **Г** етан
3. Наведіть хімічні рівняння, що підтверджують використання природного газу.
4. Визначте, який об'єм повітря (у літрах) затрачається для спалювання суміші пропану й бутану об'ємом 20 л (н. у., об'ємне співвідношення газів 1 : 1).  
**А** 100    **В** 575  
**Б** 143,75    **Г** 20  
 Вважайте, що об'ємна частка кисню в повітрі становить 20 %.
5. Яких запобіжних заходів слід уживати під час користування природним газом у побуті?



## § 23. НАФТА Й ПРОДУКТИ ЇЇ ПЕРЕРОБКИ

**Склад і властивості нафти.** За фізичними властивостями нафта — густа оліїста рідина зі специфічним запахом, темно-бурого або чорного кольору, легша за воду й не розчинна в ній. Нафта різних родовищ різниться за складом, густиною, кольором, запахом тощо.

Нафта не є індивідуальною речовиною, це суміш близько 1000 різних сполук, серед яких переважають рідкі насичені вуглеводні. У ній також містяться домішки сульфуро-, нітрогено-, оксигеновмісних сполук, водний розчин неорганічних солей.

Нафта відома людям здавна. Її почали використовувати близько 5 000 років тому в місцях, де вона просочувалася на поверхню ґрунту. Горючість нафти помітити було неважко, тому й застосовували її переважно як паливо, для освітлення, а також як мастило. Сирою нафтою обробляли днища кораблів для гідроізоляції. Нафтопродукти використовувала стародавня медицина у вигляді мазей, для бальзамування мумій тощо. Стародавні шумери



Мал. 66. Грецький вогонь у дії (з візантійської хроніки XI ст.)

застосовували нафтовий бітум як будівельний матеріал, у Китаї нафту використовували з військовою метою.

Нафта входила до складу відомого у стародавні часи так званого грецького вогню, що займався від контакту з водою і спалив не один військовий корабель. Погасити цей вогонь можна було лише піском (мал. 66).

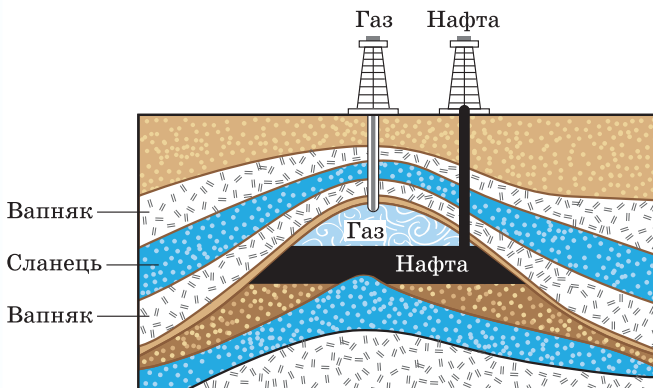
Як ви думаєте, чому? Пригадайте умови гасіння полум'я.

Нафту видобувають із надр Землі через свердловини (мал. 67, 68). Іноді під час буріння вона спершу викидається на поверхню під тиском, потім у свердловину закачують повітря, вуглекислий газ чи воду, за допомогою яких нафта витискується.

З районів видобутку до місць переробки нафту транспортують сухоходом (у залізничних цистернах), морем чи річкою (у танкерах) або перекачують нафтопроводами (мал. 69).

Запаси нафти є не лише на суходолі, а й під морським дном. Бурові нафтові установки в морі встановлюють на спеціальних платформах (мал. 70).

**Перегонка нафти.** Не всі ви бачили сиру нафту, але всі знаєте, що таке бензин, гас, парафін, вазелін, мазут. Ці продукти є *нафтовими фракціями*



Мал. 67. Геологічний розріз нафтоносної місцевості



Мал. 68. Видобування нафти біля м. Борислав Львівської області





Мал. 69. Ділянка нафтопроводу

(від лат. *fraction* — розламування), що утворюються внаслідок перегонки нафти.

У чому полягає цей процес? Як суміш речовин нафта не має певної температури кипіння, а переходить у газуватий стан у широкому інтервалі температур. Нафту можна розділити на складові частини (фракції) із значно вужчими інтервалами температур кипіння за допомогою методу фракційної перегонки.

Нафтові фракції — також не індивідуальні речовини, хоча й містять близькі за складом і властивостями сполуки.

Цей процес можна відтворити в лабораторії. Нагріємо нафту в колбі з приєднаним водяним холодильником (мал. 71, с. 114). При цьому низькокиплячі її компоненти переходять у газуватий стан, охолоджуються, конденсуються. Подальшим нагріванням до вищої температури можна виділити іншу фракцію і т. д.

Виробничу перегонку нафти здійснюють в установці безперервної дії, що складається з печі для нагрівання сирової нафти, ректифікаційної колони (від лат. *rectificatio* — випрямлення) і холодильника (мал. 72, с. 114; мал. 73, 74, с. 115).



Мал. 70. Видобування нафти з платформи в морі



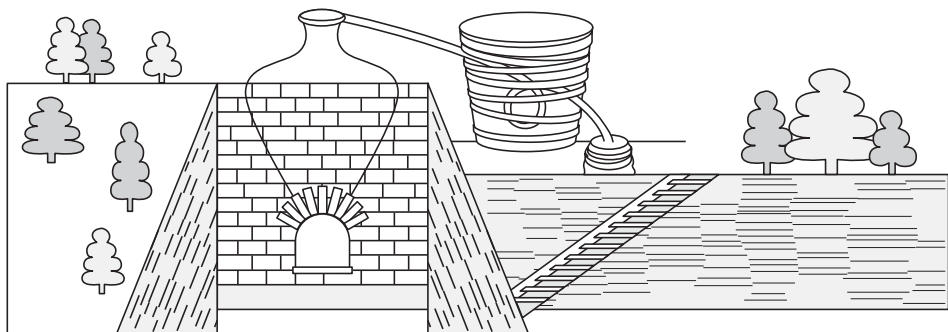
Мал. 71. Перегонка нафти в лабораторії

Суть процесу полягає в тому, щоб нагріти нафту, перетворивши її частково на пару, і потім поступово сконденсувати вже у вигляді окремих рідких фракцій.

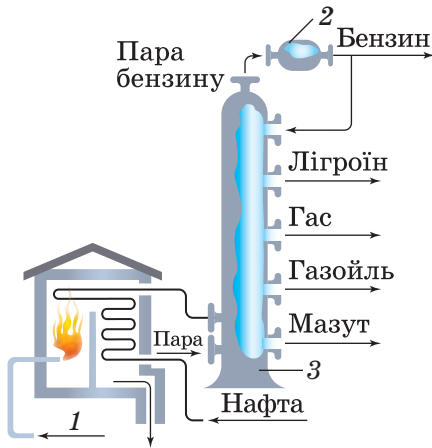
Нафта нагрівається, проходячи змійовиком, розміщеним у печі, яка опалюється мазутом або газом. Після цього рідину (частково в суміші з паром) направляють до сталевій ректифікаційній колоні. Усередині цієї колони розміщено декілька десятків полиць, або так званих тарілок, — це горизонтальні перегородки з отворами (мал. 75, с. 116).

Нафтові фракції випаровуються, проходять крізь отвори вгору колони, де охолоджуються й конденсуються, причому менш леткі — на нижніх тарілках, а більш леткі — на верхніх. Отже, залежно від температур кипіння на різних рівнях скраплюються різні нафтові фракції і відразу ж відводяться з колони трубами. Бензин частково повертається в колону для поліпшення її роботи.

Важка фракція — мазут — містить багато цінних речовин, тому його переробляють додатково у вакуумних установках. Зниження тиску дає змогу проводити перегонку мазуту за значно нижчої температури й тим самим запобігти розкладу речовин. Урешті-решт залишається гудрон, що є цінним будівельним матеріалом (табл. 9).



Мал. 72. Схема нафтоперегонного заводу (1823 р.)



Мал. 73. Схема промислової установки для перегонки нафти: 1 — піч; 2 — ректифікаційна колона; 3 — холодильник



Мал. 74. Промислові ректифікаційні колони

Під час перегонки нафти жодних хімічних змін із продуктами не відбувається, спосіб ґрунтується на різних фізичних властивостях, а саме різних температурах кипіння речовин, що входять до складу нафти.

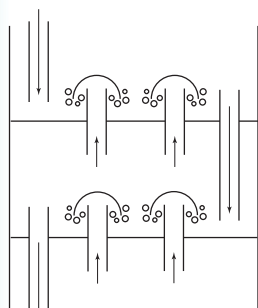
Водночас є способи переробки нафти, під час яких відбуваються хімічні реакції зі зміною складу й будови компонентів нафти. Ці способи ми розглянемо нижче.

**Крекінг нафтопродуктів.** Серед продуктів перегонки нафти в побуті до недавня найширше використовували гас: для освітлення (гасові лампи), приготування їжі (примуси). Потім його було замінено в багатьох випадках на електроенергію і природний газ. Водночас розвиток автомобільної промисловості потребував дедалі більшої кількості пального для двигунів.

Т а б л и ц я 9

### Продукти перегонки нафти

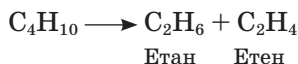
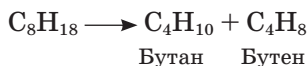
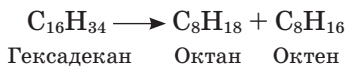
Нафтова фракція	Кількість атомів Карбону в молекулі	Інтервал температур кипіння, °С	Галузь застосування
Гази	$C_1—C_4$		Паливо
Бензин	$C_5—C_{12}$	40 — 80	Пальне для двигунів внутрішнього згорання
Гас	$C_{12}—C_{15}$	180 — 240	Пальне для дизельних і реактивних двигунів
Газойль	$C_{15}—C_{25}$	240 — 260	Пальне для дизельних двигунів і котлоустановок
Мазут	Залишок перегонки		Переробка на мастила, котельне паливо, вазелін, гудрон



Мал. 75.  
Схема будови  
ректифікаційної  
колони

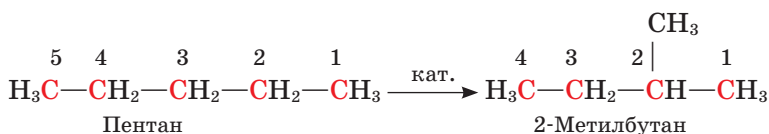
Зрослі потреби не задовольняла перегонка нафти, у результаті якої залишається значна частина продуктів з високими температурами кипіння. Проблему було розв'язано завдяки переробці висококиплячих фракцій на низькокиплячі, що становлять основу автомобільного пального.

Було з'ясовано, що під час нагрівання до 400 °С і вище вуглеводні, що входять до складу мазуту, газойлю, розкладаються на вуглеводні з низькими відносними молекулярними масами:



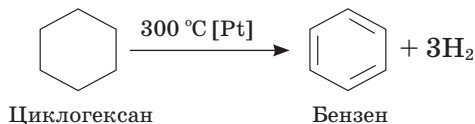
Цей процес називають **крекінгом** (від англ. *crack* — розщеплювати). Крекінг здійснюють за високої температури (термічний крекінг) або наявності каталізатора (каталітичний крекінг), що дає змогу дещо знизити температуру процесу й добути бензин вищої якості. Як каталізатор використовують алюмосилікати.

Під час крекінгу відбувається не лише розщеплення вуглеводнів, а й їх **ізомеризація**, наприклад:



Значення процесу ізомеризації полягає в тому, що вуглеводні розгалуженої будови поліпшують якість пального.

Важливим є також процес **риформінгу** (англ. *reforming*, від лат. *refor-mo* — перетворюю) бензину, під час якого насичені вуглеводні перетворюються на ароматичні. Ароматизація відбувається в результаті нагрівання бензину за наявності каталізатора. Цим методом добувають також бензен та його похідні.



**Застосування нафтопродуктів.** Нафта відіграє надзвичайно велику роль у житті людства, розвитку цивілізації. Насамперед це одне із найпотужніших і найпоширеніших джерел енергії, що вивільняється внаслідок спалювання нафтопродуктів. Крім того, хімічною переробкою з нафти добувають безліч речовин, які використовують, без перебільшення, повсюдно.



Мал. 76. Загальний вигляд сучасного нафтопереробного заводу

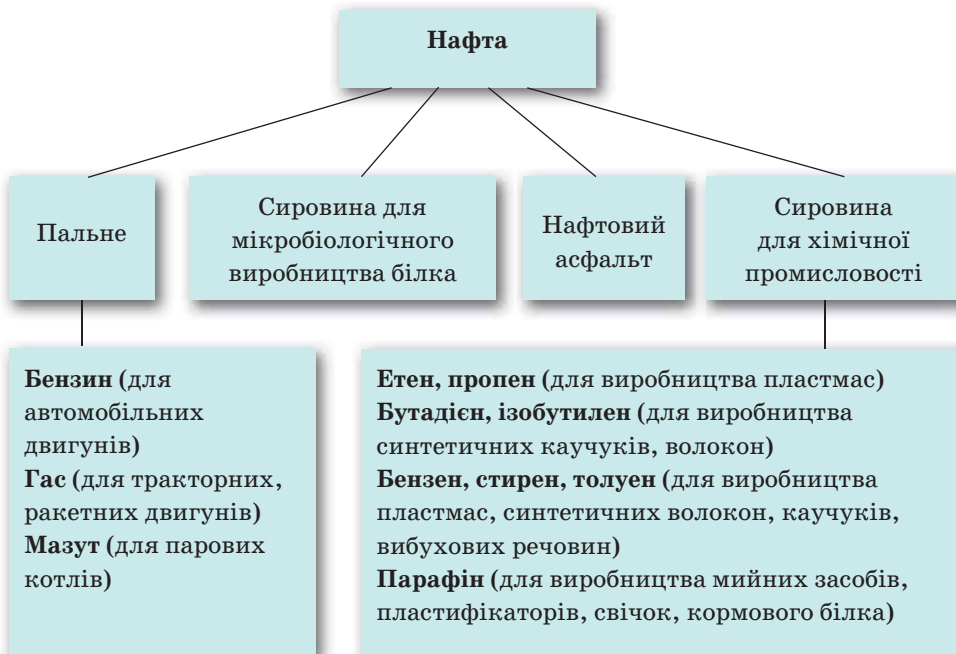
У результаті хімічної переробки чорна оліїста рідина перетворюється на волокна й пластмаси, запашні й вибухові речовини, ліки і барвники. Не даремно нафту називають «чорним золотом». Чим глибша переробка нафти, тим більше корисних продуктів можна добути з неї.

Галузь промисловості, що займається переробкою нафтопродуктів, називають *нафтохімією* (мал. 76).

Схарактеризуйте застосування нафтопродуктів за схемою 1.

Схема 1

### Застосування нафтопродуктів

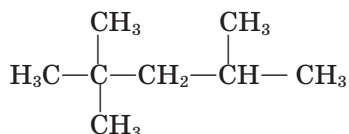


Порівняйте малюнки 77, а і 77, б. Які зміни відбулися б, якби вилучили всі предмети, що їх виготовлено із застосуванням нафтопродуктів?

Можна сказати, що ми залежимо від нафти, оскільки поки що вона незамінна як сировина для органічного синтезу й виробництва пального. На жаль, ще й сьогодні у вигляді пального більшу частину нафтопродуктів спалюють (до 87 % видобутку) і лише решту піддають хімічній переробці.

**Детонаційна стійкість бензину.** Пальне для двигунів внутрішнього згоряння буває різних сортів, які характеризують так званим *октановим числом* — 76, 92, 95, 98 тощо. Що означають ці числа?

З'ясовано, що швидкість згоряння пального залежить від того, які вуглеводні входять до його складу. Бензин, що складається переважно з гексану  $C_6H_{14}$ , гептану  $C_7H_{16}$  і октану  $C_8H_{18}$  лінійної будови, згоряє надто швидко і спричиняє детонацію (від лат. *detonation* — вибух). Найліпші антидетонаційні характеристики мають вуглеводні розгалуженої будови, зокрема ізооктан:



Ізооктан



а



б

Мал. 77. Інтер'єр з предметами, виготовленими з нафтопродуктів (а) і без них (б)

За умовною шкалою ізооктану надано «октанове число» 100, а гептану — 0. Суміші вуглеводнів, що входять до складу бензину різних сортів, мають проміжні октанові числа, причому тим більші, чим вищий сорт бензину, вища його детонаційна стійкість.

Очевидно, для поліпшення якості пального доцільно застосовувати такі процеси переробки нафти, у результаті яких утворюються вуглеводні розгалуженої будови.

Назвіть ці процеси. Дайте назву ізооктану (с. 118) за систематичною номенклатурою.

Людство давно усвідомило, що нафта — надто цінна хімічна сировина, щоб спалювати її у вигляді пального. До того ж ресурси цієї копалини на планеті швидко скорочуються. У зв'язку з цим постає питання про заміну нафти як джерела енергії та сировини.

Принципово ця проблема може бути розв'язана за рахунок використання вугілля, запаси якого у природі значно більші, ніж запаси нафти. У вугіллі міститься вільний вуглець, який можна перетворювати на різні речовини хімічним способом. Однак таке перетворення потребує значних матеріальних витрат, а отже, продукт, добутий із вугілля, буде дорожчим, ніж добутий з нафти.

У промисловості розроблено технологію виробництва рідкого пального з вугілля. Під час Другої світової війни в Німеччині, де немає власних джерел нафти, саме з вугілля виробляли пальне, мастила тощо. Однак поки що використання цього методу є економічно недоцільним.

На думку фахівців, проблема переробки кам'яного вугілля на пальне може постати перед промисловістю України, де є великі запаси кам'яного вугілля, якого вистачить на кількасот років.

Крім виробництва синтетичного пального є й інші шляхи заміни нафтопродуктів: використання метану, водню, біоенергетичних джерел. До останніх належать біоетанол, який утворюється в результаті переробки органічних відходів та біомаси, основною складовою якої є целюлоза; біодизель, що його добувають із дешевих жирів. Про ці способи ви дізнаєтеся докладніше в наступних розділах підручника.



### Завдання для самоконтролю

1. Чи можна описати хімічний склад нафти однією формулою? Чому?
2. Який хімічний склад нафти?
3. Які властивості нафти зумовили її використання у стародавні часи?
4. Назвіть основні нафтові фракції.
5. За якою властивістю речовин, що входять до складу нафти, її розділяють на фракції?
6. Яка властивість речовин лежить в основі крекінгу нафти?
7. Які технічні винаходи сприяли зростанню видобутку й широкому використанню нафти?

8. Назвіть дві основні галузі застосування нафти.
9. Установіть відповідність між назвою процесу та продуктом, що утворюється в результаті.

Назва процесу	Назва продукту
1 крекінг	А мазут
2 риформінг	Б ізооктан
3 перегонка	В кокс
4 ізомеризація	Г етен
	Д ароматичні вуглеводні

10. З якою метою використовують: вакуумну перегонку нафти, ізомеризацію, риформінг?
11. У чому полягає сенс відомого висловлювання Д. І. Менделєєва, що спалювати природне паливо, усе одно, що палити асигнаціями?
12. Складіть розповідь про використання метану й водню у двигунах автомобілів.
13. Обчисліть масу бромю, що приєднався до етену (н. у.), який утворився в результаті крекінгу гептану масою 18 г.



## § 24. КАМ'ЯНЕ ВУГІЛЛЯ І ПРОДУКТИ ЙОГО ПЕРЕРОБКИ

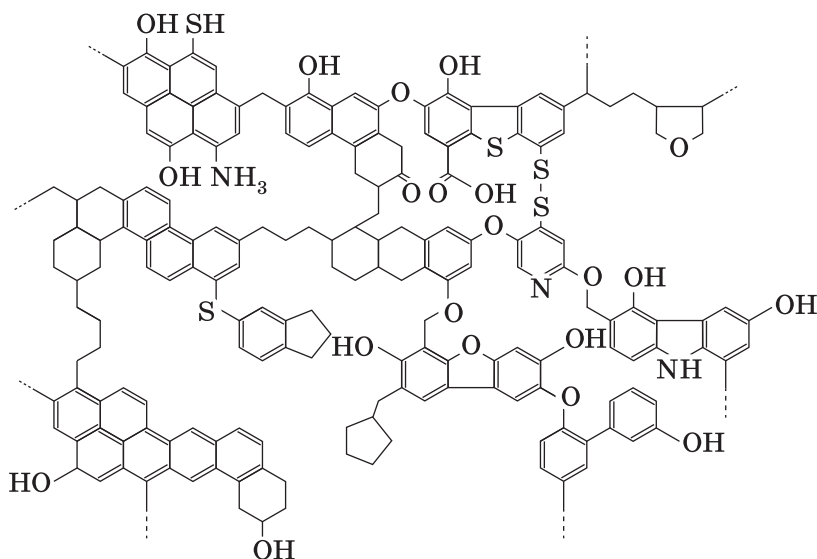
Кам'яне вугілля, як і нафта, є сумішшю речовин і має складну структуру (мал. 78). До його складу входять вільний вуглець (масова частка — до 10 %), органічні речовини, що містять Карбон, Гідроген, Оксиген, Сульфур, Нітроген, неорганічні речовини (вони залишаються у вигляді шлаку після спалювання вугілля).

Вам відомо, що вугілля використовують як паливо, але не менше значення має хімічна переробка вугілля з метою добування великої кількості цінних речовин.

Унаслідок нагрівання кам'яного вугілля в коксовій печі до температури 1 000 °С без доступу повітря воно перетворюється на **кокс**. Цей продукт на 96—98 % складається з вуглецю. Основні галузі його застосування — металургія та хімічна промисловість.

Коксова піч побудована з довгих вузьких камер, розділених вертикальними опалювальними каналами. У камеру через верхні отвори завантажують подрібнене вугілля (мал. 79). Декілька десятків таких камер утворюють батарею коксових печей. В опалювальних каналах камер згорає газувате паливо, нагріваючи вугілля до температури розкладу. Кокс утворюється у вигляді «коксового пирога», що «випікається» протягом 14 год. Після цього він виштовхується з камери, а в неї завантажують нову порцію вугілля.





Мал. 78. Фрагмент молекулярної структури кам'яного вугілля

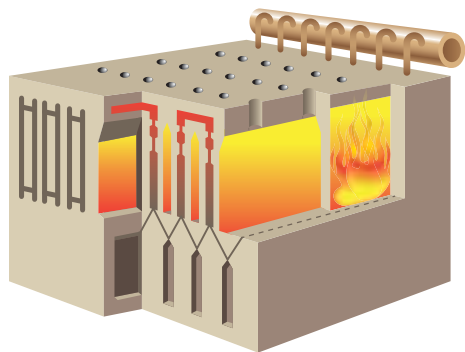
Разом із коксом утворюються *амоніакова вода*, *коковий газ* і *кам'яновугільна смола* (дьоготь). До складу кокового газу входять органічні й неорганічні речовини (схема 2, с. 122). Їх розділяють і використовують як паливо або як сировину для хімічного синтезу.

Кам'яновугільна смола є багатим джерелом різноманітних речовин — з неї їх виділено близько 500. Перегонкою й хімічною обробкою кам'яновугільної смоли добувають толуен, нафтаген, піридин, антрацен, феноли, інші цінні речовини.

Кам'яновугільну смолу й коковий газ переробляють на коксохімічних заводах.

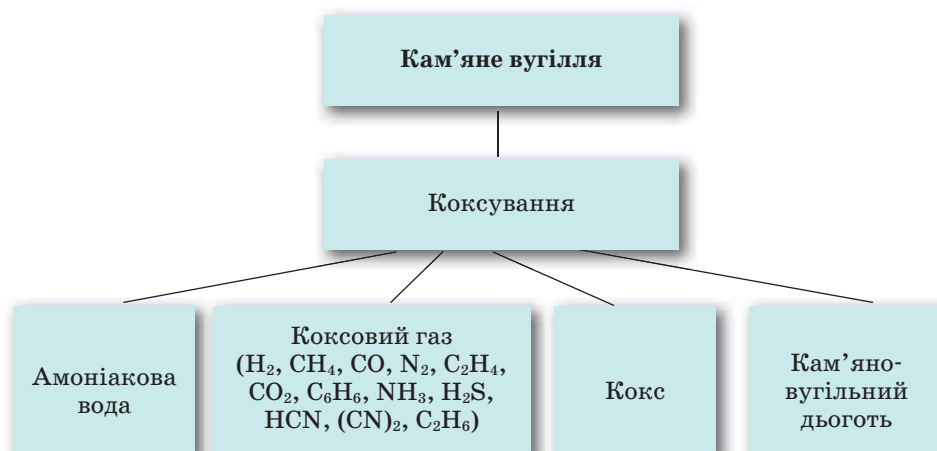
У розвитку органічної хімії кам'яновугільна смола відіграла особливу роль. Як джерело хімічних сполук кам'яне вугілля почали використовувати раніше, ніж природний газ і нафту. На основі продуктів, виділених із кам'яновугільної смоли, виникли цілі галузі хімічної промисловості — виробництво синтетичних барвників, лікарських засобів, засобів захисту рослин, вибухових речовин тощо.

Кам'яновугільна смола виявилася доступною сировиною для виробництва всіх цих продуктів, що уможливило їх багатотоннажне виробництво. Отже, кам'яне вугілля — цінна хімічна сировина, яку вигідніше переробляти, ніж спалювати.



Мал. 79. Схема будови кокової печі

## Продукти коксування кам'яного вугілля



### Лабораторний дослід 1

#### Ознайомлення зі зразками нафтопродуктів і продуктів коксування кам'яного вугілля

Розгляньте видані вам колекції продуктів переробки нафти і продуктів коксування кам'яного вугілля. Опишіть (усно) їх зовнішній вигляд. Що ви можете сказати про застосування цих речовин?



#### Завдання для самоконтролю

1. Який хімічний склад має кам'яне вугілля?
2. Чому коксування вугілля проводять без доступу повітря?
3. Схарактеризуйте продукти коксування кам'яного вугілля за схемою 2. Де їх використовують?
4. Як саме переробка кам'яного вугілля пов'язана із розвитком синтетичної органічної хімії?
5. Теплота згоряння вугілля (в перерахунку на чистий вуглець) становить 394 кДж/моль, а бензину (октану) — 5 474 кДж/моль. Обчисліть, що вигідніше використовувати (за масою) як паливо: вугілля чи октан.



## § 25. ВУГЛЕВОДНЕВА СИРОВИНА Й ОХОРОНА ДОВКІЛЛЯ

Життя людини повсякчас пов'язане зі спалюванням горючих речовин у побуті, на транспорті, у промисловості.

Крім очевидної користі застосування нафтопродуктів, вугілля і природного газу створює ряд проблем, пов'язаних із виживанням людства. З'ясуємо їх.

Тепловий баланс нашої планети підтримується завдяки тому, що вуглекислий газ і вода, які містяться в атмосфері, убирають енергію сонячного випромінювання (інфрачервону частину спектра), а потім віддають її. Так на планеті зберігається теплота.

Убирання і випромінювання енергії вуглекислим газом та іншими речовинами створює *парниковий ефект*. Можна стверджувати, що ми живемо в умовах парникового ефекту, і це відповідає нормальному станові атмосфери, комфортному для нас. Проте посилення цього ефекту може мати згубні наслідки, а саме: глобальне підвищення температури й у зв'язку з цим — зміну клімату.

До цього може призвести підвищення концентрації вуглекислого газу внаслідок спалювання горючих речовин. Протягом останніх 100 років у результаті техногенної діяльності людини вміст вуглекислого газу в атмосфері невпинно зростає.

Учені розробляють так звані технології проектування клімату, однією з яких є технологія «морського обілення хмар». З кораблів розпилюють краплини морської води в хмари над океаном, аби вони відбивали більше сонячного світла назад у космос, тим самим зменшуючи нагрівання Землі.

Подумайте, як саме підвищення температури на планеті може позначитися на природних умовах Північної півкулі. Чим це загрожує людству?

Окрім парникового ефекту в результаті переробки й використання горючих корисних копалин атмосфера забруднюється шкідливими речовинами, такими як карбон(II) оксид CO (унаслідок неповного згоряння пального у двигунах), сульфур(IV) оксид SO<sub>2</sub> (утворюється з сірки, що міститься у вугіллі, бензині, поліметалічних рудах), метан CH<sub>4</sub> (витікання газу), сірководень H<sub>2</sub>S (виділяється під час переробки нафти), оксиди Нітрогену (утворюються під час високотемпературного горіння) та ін.

Усі ці речовини спричиняють *фотохімічний смог*, кислотні дощі тощо.

Фотохімічний смог (від англ. *smoke* — курити і *fog* — туман) утворюється в результаті реакцій, що відбуваються під впливом сонячного світла (фотохімічні реакції) (мал. 80). При цьому крім наявних у повітрі забруднювачів додатково утворюються нітроген(IV) оксид і озон. Останній реагує з вуглеводнями, що виділяються в повітря від неповного згоряння пального. У результаті утворюються сполуки, небезпечні для здоров'я людей і шкідливі для довкілля.

Фотохімічний смог уперше спостерігався в Лос-Анджелесі, де яскраві сонячні дні та багато автомобілів.

Крім того, під час згоряння палива утворюються дим, у якому містяться дрібні часточки вуглецю і твердих вуглеводнів, що не згоріли, а також сполуки



Мал. 80. Фотохімічний смог над містом

Кадмію, Плюмбуму, Меркурію та інших елементів, надзвичайно шкідливі для здоров'я.

Зважаючи на те, що атмосфера не має кордонів, поясніть глобальні наслідки її забруднення.

Як можна позбутися шкідливих забруднювачів, що утворюються в результаті використання палива й пального? По-перше, можна ощадливо використовувати ці продукти й тим самим зменшувати кількість шкідливих викидів. По-друге, можна вилучати з палива сірку ще до його використання. По-третє, створювати технологічні умови для повного згоряння вугілля в котельнях, на теплоелектростанціях та бензину — у двигунах автомобілів. По-четверте, можна вловлювати відходи згоряння палива за допомогою фільтрів. По-п'яте, можна замінити джерела енергії: замість енергії палива використовувати енергію сонця, вітру, води, ядерну та геотермальну.

Які із зазначених чинників мають, на вашу думку, більше й менше значення? Розгляньте їх з погляду переваг і недоліків.



## Лабораторний дослід 2

### Ознайомлення з різними видами палива

Розгляньте видану вам колекцію видів палива. Як класифікують види палива: за агрегатним станом; за походженням? Назвіть ці види. Які переваги й недоліки кожного виду? Схарактеризуйте види палива з погляду екології.



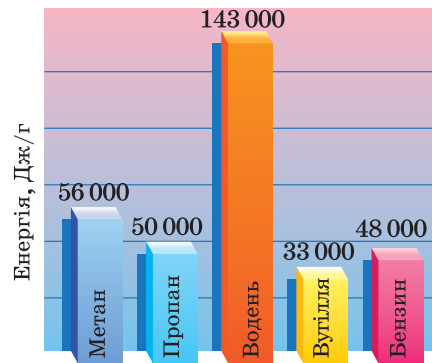
### Завдання для самоконтролю

1. Пригадайте, як створюється парниковий ефект у теплиці. Порівняйте його з парниковим ефектом на планеті.
2. Як зелені насадження і вирубування лісів позначаються на парниковому ефекті?
3. Що таке фотохімічний смог?
4. Які речовини забруднюють довкілля внаслідок використання горючих копалин? Як можна запобігти шкідливим викидам у атмосферу?

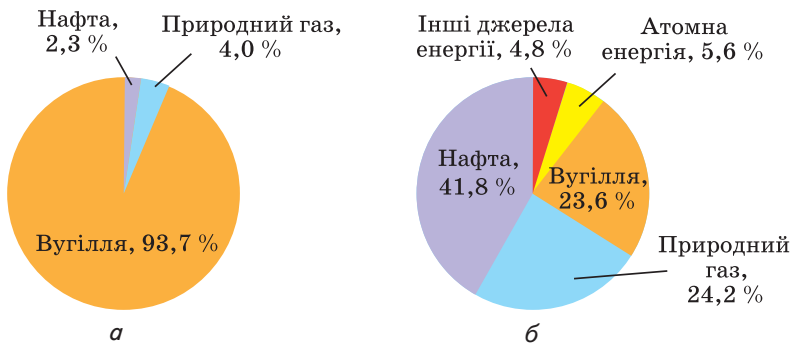
### Додаткові завдання

5. Природний газ, кам'яне вугілля, нафта належать до *енергохімічних ресурсів*. Як ви розумієте цей термін?
6. Чому, на вашу думку, у побуті надають перевагу як паливу кам'яному вугіллю над дровами, природному газу — над вугіллям, електричному струму — над газом?
7. Чому важливо знати про походження нафти? Як це пов'язано з дефіцитом нафтопродуктів?
8. Як позначається густина нафти на екологічній безпеці під час її транспортування, зокрема, водним шляхом?
9. Чому, на вашу думку, можна добувати з нафти таку велику кількість речовин?
10. Які зміни відбулися в житті останніх поколінь у результаті використання продуктів переробки нафти?

11. Природний газ — екологічно безпечніше пальне порівняно з бензином. Чому? Яке значення має його використання в автомобілях замість бензину?
12. Які, на вашу думку, перспективи використання альтернативних джерел енергії?
13. Поясніть значення екологічного контролю за роботою двигунів автомобілів.
14. Коефіцієнт корисної дії автомобіля становить 25 % (тобто пальне використовується на 25 %). На вашу думку, на що даремно затрачаються 75 % енергії пального?
15. У результаті ароматизації циклогексану виділився водень об'ємом 33,6 л (н. у.). Якої маси бензен утворився?
16. Для добування електроенергії на тепловій електростанції упродовж 1 год згоряє вугілля масою 1 т, у якому масова частка сірки становить 2,5 %. Яка маса сульфур(IV) оксиду потрапить в атмосферу протягом доби?
17. Для вбирання сульфур(IV) оксиду в промисловості використовують вапно  $\text{CaO}$ . Яку масу цієї речовини треба взяти, щоб нейтралізувати сульфур(IV) оксид, що утворюється за умовою попередньої задачі?
18. Поцікавтеся, звідки надходить паливо у вашу місцевість, з яких родовищ. Знайдіть їх на мапі.
19. Сорти пального для дизельних двигунів характеризують так званими цетановими числами. Цетанове число 100 має вуглеводень цетан складу  $\text{C}_{16}\text{H}_{34}$ . З'ясуйте за довідковою літературою, який ізомер цетану є еталоном дизельного пального.
20. Проаналізуйте дані, наведені на діаграмах (мал. 81, 82). Зробіть висновки.
21. Розгляньте й проаналізуйте схему 3 (с. 126). Які існують альтернативні джерела добування пального? Користуючись додатковими джерелами інформації, підготуйте повідомлення про переваги й недоліки замінників традиційних видів пального.
22. Розгляньте таблицю 10 (с. 126) і проаналізуйте склад деяких видів палива. Дайте відповіді на такі запитання.
  - Які продукти утворюються в результаті спалювання різних видів палива?
  - Які складники палива негативно впливають на довкілля?

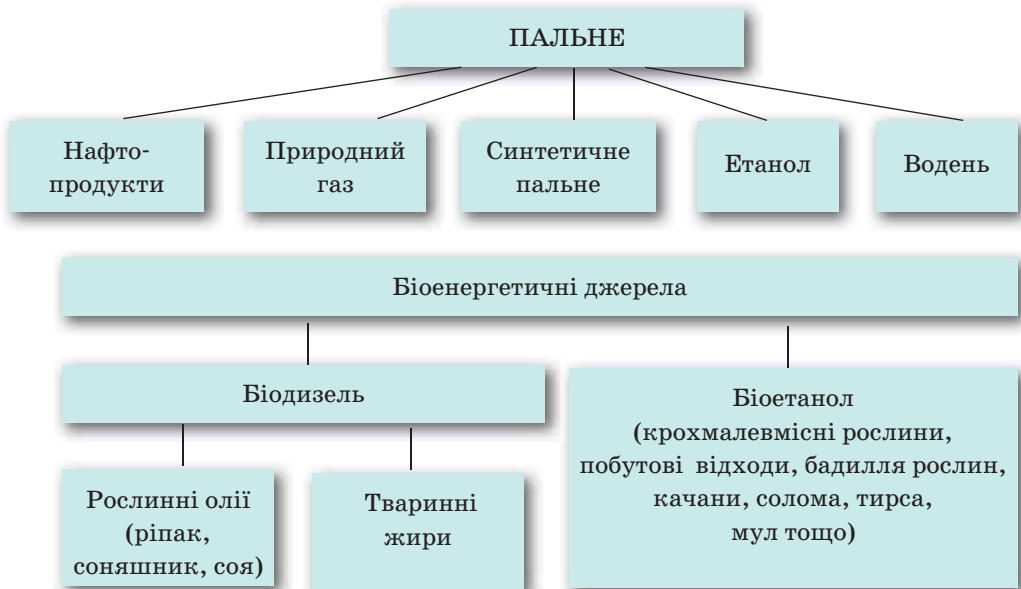


Мал. 81. Порівняння кількості енергії, що виділяється в результаті спалювання палива різних видів



Мал. 82. Загальні запаси джерел енергії (а) і частки різних джерел у загальній кількості енергії, що її споживає людство (б)

## Сировина для виробництва пального



- які переваги й недоліки використання різного палива?

Запропонуйте варіанти зменшення шкоди від спалювання горючих матеріалів.

23. За даними таблиці 10 складіть кілька запитань і розрахункових задач. Запропонуйте їх однокласникам.
24. «У Кіото лідери країн домовилися про скорочення викидів вуглеводу до 2010 р. на 5,2 % порівняно з 1990 р.» (3 газети). «Кошти, які планується використати на скорочення викидів вуглецю, могли б піти на фінансування наукових досліджень технологічних альтернатив» (Там само). Знайдіть хімічні помилки в цих повідомленнях і запропонуйте своє формулювання.
25. Складіть загальні висновки до розділу «Природні джерела вуглеводнів» (за зразком рубрики «Висновки» до попередніх параграфів).

Таблиця 10

Склад деяких видів палива  
(усереднені дані)

Вид палива	Склад горючої маси, %				Волога, %	Зола, %
	С	Н	О + N	S		
Кам'яне вугілля Донбасу	82,0	5,0	13,0	2—6	3—8	14,5
Буре вугілля	70,0	5,5	24,5	2—3	50	4,0
Горючі сланці	75,0	10,0	15,0	3,5	13,5	50,0
Торф	59,0	6,0	35,0	0,4	25	4,5
Деревина	40—50	6,0	42,0	0,1	30—40	0,4



# Оксигеновмісні сполуки

## Нові поняття й терміни:

**фенол, альдегіди, кетони, етери, естери, жири, мило**

Оксигеновмісні сполуки відіграють визначальну роль у функціонуванні живих організмів — рослин і тварин, уходять до складу їжі (це відомі вам жири й вуглеводи), є основою деревини, з них виготовляють папір, штучні волокна, вони входять до складу мила та інших мийних засобів, ліків тощо. Відомі вам із курсу хімії 9 класу терміни *спирт, етанова кислота, естер, глюкоза, сахароза* — це назви оксигеновмісних органічних речовин. Саме їх та багато інших сполук ви докладно вивчатимете в цьому розділі органічної хімії.

Для класифікації оксигеновмісних сполук визначальною є наявність певних груп атомів, що зумовлюють поведінку (функції) цих сполук. Ці групи називають *функціональними*, або *характеристичними* групами. З курсу хімії 9 класу вам відомі деякі оксигеновмісні органічні речовини, до складу молекул яких входять гідроксильна й карбоксильна функціональні групи, які належать, відповідно, до спиртів і карбонових кислот. У цьому розділі ви вивчатимете й інші класи оксигеновмісних сполук: *феноли, альдегіди, кетони, етери*, а також сполуки зі змішаними функціями — *вуглеводи*.

Розгляньте наведену нижче таблицю і наведіть формули й назви сполук із відомими вам функціональними групами.

## Оксигеновмісні органічні сполуки

Клас	Загальна формула	Функціональна група
Спирти Феноли	$R-OH$	$-OH$
Етери	$R-O-R^1$	$-O-R^1$
Альдегіди	$R-\overset{\text{O}}{\parallel}{C}-H$	$-\overset{\text{O}}{\parallel}{C}-H$
Кетони	$R-\overset{\text{O}}{\parallel}{C}-R$	$-\overset{\text{O}}{\parallel}{C}-$
Карбонові кислоти	$R-\overset{\text{O}}{\parallel}{C}-OH$	$-\overset{\text{O}}{\parallel}{C}-OH$
Естери	$R-\overset{\text{O}}{\parallel}{C}-O-R^1$	$-\overset{\text{O}}{\parallel}{C}-O-R^1$

# Спирти й фенол

## Нові поняття й терміни:

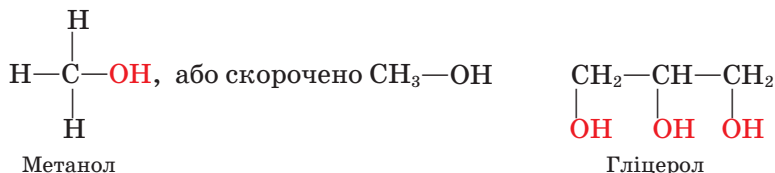
первинні, вторинні, третинні спирти, діоли, тріоли, етери, фенол, внутрішньо- і міжмолекулярна дегідратація, ректифікат, антифриз, правило Зайцева.



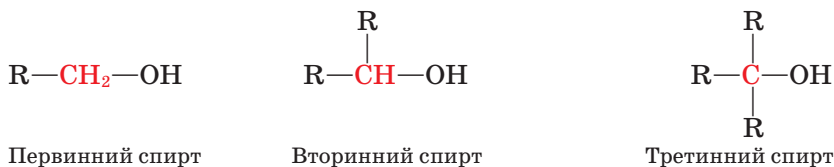
## § 26. НАСИЧЕНІ ОДНОАТОМНІ СПИРТИ

**Склад і будова молекул.** Наявність у молекулі однієї (або декількох) функціональної гідроксильної групи (її ще називають *гідроксигрупою*), сполученої з вуглеводневою групою, є ознакою класу органічних речовин, що їх називають **спиртами**. Насичені одноатомні спирти можна розглядати як сполуки, похідні насичених вуглеводнів (алканів), у яких один атом Гідрогену заміщений гідроксильною групою. Міжнародна назва цих сполук — **алканоли**, іноді застосовують тривіальну назву — **алкоголі**.

Залежно від будови вуглеводневої групи розрізняють спирти *насичені, ненасичені, ароматичні*, а за кількістю гідроксильних груп — *одно- і багатоатомні*. Вам відомі насичені одноатомні спирти **метанол** і **етанол**, що містять насичену вуглеводневу групу й одну гідроксильну групу, а також триатомний спирт **гліцерол**. Пригадаймо їхні формули:



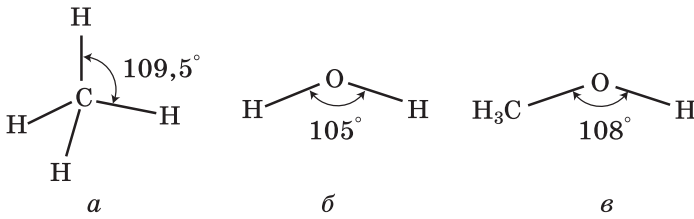
Залежно від того, з яким атомом Карбону сполучена гідроксигрупа — одно-, дво- чи тризаміщеним, — спирти поділяють на *первинні, вторинні й третинні*:



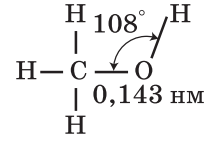
Між атомами в молекулах спиртів устанавлюються ковалентні зв'язки. Щоб з'ясувати, як вони утворюються, порівняємо будову молекул метану, води й метанолу. Як видно з мал. 83 і 84, валентні кути в цих молекулах близькі й становлять відповідно  $109,5^\circ$ ,  $105^\circ$  і  $108^\circ$ . Можна припустити, що атом Оксигену, так само як і атом Карбону, перебуває у стані  $sp^3$ -гібридизації.

Дві з чотирьох гібридних електронних орбіталей зайнято електронними парами, а дві інші — **одноелектронні** й можуть утворювати  $\sigma$ -зв'язки з інши-





Мал. 83. Валентні кути в молекулі метану (а), води (б) і метанолу (в)



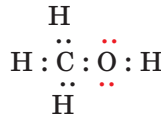
Мал. 84. Геометрія молекули метанолу

ми атомами (мал. 85). Унаслідок відштовхування електронних пар відбувається зменшення тетраедричного валентного кута порівняно з метаном, у молекулі якого всі гібридні орбіталі — одноелектронні.

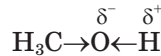
У молекулі метанолу Оксиген утворює  $\sigma$ -зв'язки в результаті перекривання  $sp^3$ -гібридних електронних орбіталей із  $s$ -електронною орбіталлю атома Гідрогену та  $sp^3$ -гібридною електронною орбіталлю атома Карбону.

Моделі молекул метанолу й етанолу наведено на мал. 86.

Наявність вільних електронних пар у атома Оксигену позначають в електронних формулах спиртів:

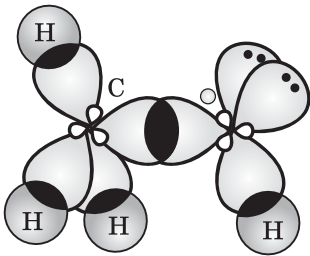


Зв'язок O—H полярний, оскільки атом більш електронегативного Оксигену відтягує до себе електронну густину зв'язку. Унаслідок поляризації на атомі Гідрогену виникає частковий позитивний заряд, а на атомі Оксигену — частковий негативний:

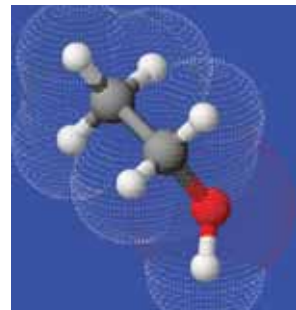
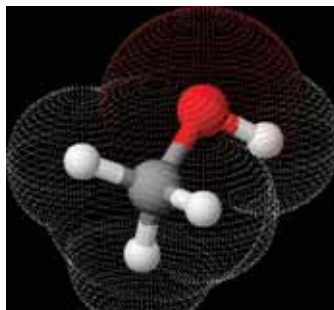


Полярність спиртів позначається на їхніх фізичних і хімічних властивостях.

Метанол — найпростіший з *насичених одноатомних спиртів*. Константи його гомологів наведено в табл. 11.



Мал. 85. Схема утворення  $\sigma$ -зв'язків у молекулі метанолу

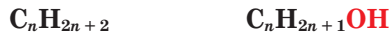


Мал. 86. Моделі молекул метанолу (а) й етанолу (б)

## Характеристики насичених одноатомних спиртів

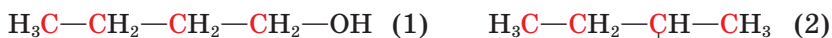
Назва спирту	Формула		Температура, °С		Густина, г/см <sup>3</sup>	Розчинність, г/100г Н <sub>2</sub> О
	молекулярна	скорочена структурна	плавлення	кипіння		
Метанол	CH <sub>3</sub> OH	CH <sub>3</sub> —OH	-94	64,5	0,792	Необмежена
Етанол	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH	CH <sub>3</sub> —CH <sub>2</sub> —OH	-114	78,4	0,789	»
Пропан-1-ол	C <sub>3</sub> H <sub>7</sub> OH	CH <sub>3</sub> —CH <sub>2</sub> —CH <sub>2</sub> —OH	-127	97,4	0,804	»
Бутан-1-ол	C <sub>4</sub> H <sub>9</sub> OH	CH <sub>3</sub> —(CH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> —CH <sub>2</sub> —OH	-90,2	117,4	0,810	7,9
Пентан-1-ол	C <sub>5</sub> H <sub>11</sub> OH	CH <sub>3</sub> —(CH <sub>2</sub> ) <sub>3</sub> —CH <sub>2</sub> —OH	-78,5	137,8	0,814	2,4
Гексан-1-ол	C <sub>6</sub> H <sub>13</sub> OH	CH <sub>3</sub> —(CH <sub>2</sub> ) <sub>4</sub> —CH <sub>2</sub> —OH	-52	157	0,821	0,6
Гептан-1-ол	C <sub>7</sub> H <sub>15</sub> OH	CH <sub>3</sub> —(CH <sub>2</sub> ) <sub>5</sub> —CH <sub>2</sub> —OH	-34	176	0,822	0,1
Октан-1-ол	C <sub>8</sub> H <sub>17</sub> OH	CH <sub>3</sub> —(CH <sub>2</sub> ) <sub>6</sub> —CH <sub>2</sub> —OH	-17	194	0,825	0,05
Нонан-1-ол	C <sub>9</sub> H <sub>19</sub> OH	CH <sub>3</sub> —(CH <sub>2</sub> ) <sub>7</sub> —CH <sub>2</sub> —OH	-5	215	0,827	Нерозчинний
Декан-1-ол	C <sub>10</sub> H <sub>21</sub> OH	CH <sub>3</sub> —(CH <sub>2</sub> ) <sub>8</sub> —CH <sub>2</sub> —OH	7	230	0,829	»

Загальну формулу насичених одноатомних спиртів можна вивести із загальної формули насичених вуглеводнів заміщенням атома Гідрогену на гідроксильну групу:



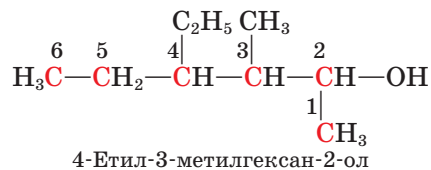
Якщо вуглеводневу групу позначити літерою R, то загальна формула спиртів матиме вигляд R—OH.

**Ізомерія. Номенклатура.** Насиченим одноатомним спиртам властива *структурна ізомерія*, зумовлена будовою карбонового скелета й положенням гідроксильної групи. Для спирту складу C<sub>4</sub>H<sub>9</sub>OH можливі такі ізомери:



За систематичною номенклатурою **назви** насичених одноатомних спиртів (алканолів) нерозгалуженої будови *утворюють від назв алканів додаванням до назв суфікса -ол* (метан – метанол, пропан – пропанол). *Щоб назвати спирт розгалуженої будови, треба пронумерувати найдовший карбоновий ланцюг, починаючи від атома Карбону, найближчого до гідроксильної групи; перед назвою вказати місця і назви алкільних замісників у абетковому порядку; після назви головного ланцюга цифрою вказати місце гідроксильної групи й додати суфікс -ол.*

Наприклад:



Складіть назви наведених на с. 130 ізомерів бутанолу. Визначте серед них первинний, вторинний і третинний спирт.

**Фізичні властивості. Водневий зв'язок.** Насичені одноатомні спирти — рідкі або кристалічні (вищі спирти) речовини, безбарвні, зі специфічним запахом. Наприклад, метанол, етанол і пропанол мають спиртовий запах, бутаноли й пентаноли — сивушний.

Серед спиртів, на відміну від вуглеводнів, немає газуватих речовин. Температури плавлення і кипіння спиртів значно вищі, ніж вуглеводнів із близькою відносною молекулярною масою (табл. 12).

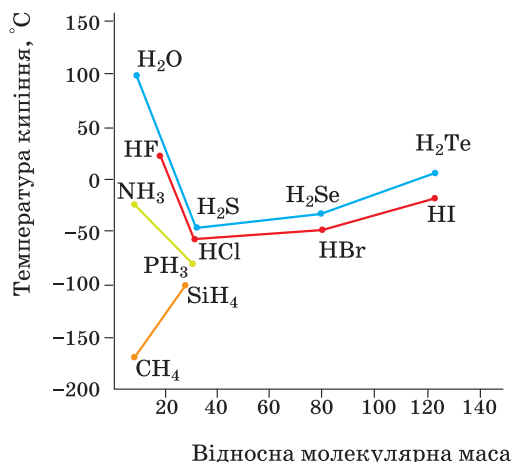
Таблиця 12

Температури кипіння вуглеводнів і спиртів

Формула вуглеводню	$t_{\text{кип}}, ^\circ\text{C}$	Формула спирту	$t_{\text{кип}}, ^\circ\text{C}$
$\text{C}_2\text{H}_6$	-89	$\text{CH}_3\text{OH}$	64,5
$\text{C}_3\text{H}_8$	-42	$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$	78,4
$\text{C}_4\text{H}_{10}$	-0,5	$\text{C}_3\text{H}_7\text{OH}$	97,4
$\text{C}_5\text{H}_{12}$	36	$\text{C}_4\text{H}_9\text{OH}$	117,4
$\text{C}_6\text{H}_{14}$	69	$\text{C}_5\text{H}_{11}\text{OH}$	137,8

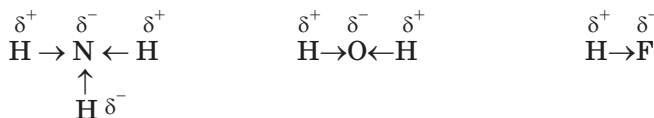
Таку відмінність констант можна пояснити наявністю додаткової взаємодії між молекулами спирту. Щоб з'ясувати природу цієї взаємодії, звернемося до неорганічної хімії та розглянемо температури кипіння сполук Гідрогену з деякими елементами IV—VII груп Періодичної системи (мал. 87).

Зверніть увагу, що зі збільшенням відносної молекулярної маси цих сполук їхні температури кипіння підвищуються. Виняток становлять гідроген флуорид, вода й амоніак, константи яких дуже різняться значеннями з константами сполук сусідніх елементів у підгрупі. Маючи найнижчі відносні молекулярні маси, вони мають найвищі температури кипіння. З якої причини молекули цих сполук міцніше зв'язані між собою?

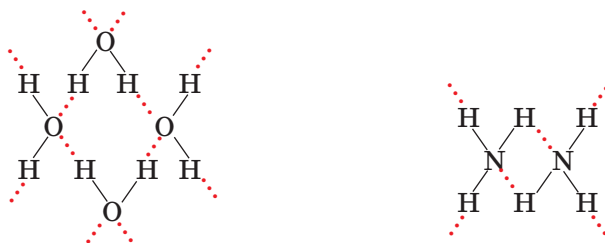


Мал. 87. Залежність температур кипіння сполук неметалічних елементів з Гідрогеном від їхньої відносної молекулярної маси

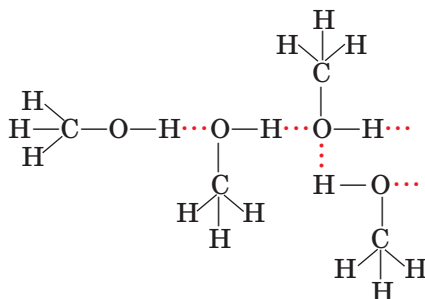
Зв'язки між атомами Гідрогену й електронегативними атомами N, O, F полярні, на атомах Гідрогену виникає частковий позитивний заряд:



За рахунок притягання позитивно зарядженого атома Гідрогену однієї молекули й негативно зарядженого атома Оксигену, Нітрогену чи Флуору іншої молекули утворюється так званий *водневий зв'язок* (позначають трьома крапками). Гідроген є ніби містком між двома електронегативними атомами:



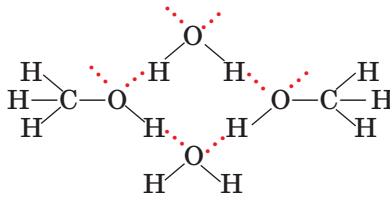
Так само утворюються водневі зв'язки між полярними молекулами спирту:



Водневий зв'язок належить до слабких зв'язків, його енергія становить близько 20 кДж/моль (порівняйте з енергією ковалентних зв'язків). Однак для того, щоб рідина, у якій молекули асоційовані за рахунок водневих зв'язків, перетворилася на пару (закипіла), потрібно затратити додаткову енергію на руйнування цих зв'язків.

Отже, порівняно високі температури кипіння спиртів (а також води, амоніаку, гідроген флуориду) пояснюються наявністю водневих зв'язків між їхніми молекулами.

Унаслідок утворення водневих зв'язків між молекулами води й спиртів останні розчиняються у воді:



Проте це характерно лише для нижчих спиртів, у яких гідроксильна група становить значну частину молекули. Перші три члени гомологічного ряду необмежено розчинні; у наступних гомологів зі зростанням довжини карбонового ланцюга його частка в молекулі збільшується, тому розчинність спиртів зменшується.

У цьому можна перекопатися на досліді. У чотири пробірки з водою добавимо метанол, етанол, бутанол, пентанол в однакових об'ємах. Спостерігається повне розчинення перших двох спиртів і значно менша розчинність двох інших.

**Хімічні властивості.** Рівняння реакцій спиртів наведено на с. 134. Як і всі органічні речовини, спирти **горять** із виділенням теплоти. Підпалимо зразки метанолу, етанолу, пропанолу, пентанолу в порцелянових чашках. Помітна відмінність у характері горіння спиртів: від майже не світлого синюватого полум'я метанолу до кіптявого — пентанолу.

Поясніть характер горіння спиртів різного складу, спираючись на знання характеру горіння вуглеводнів.

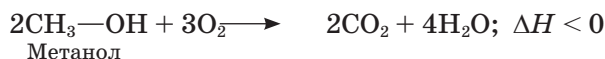
**Частково окиснюють** спирти калій дихромат або калій перманганат у кислотному середовищі, при цьому утворюються альдегіди й карбонові кислоти.

Наявність у молекулах спиртів функціональної (характеристичної) гідроксильної групи зумовлює характерні хімічні властивості (хімічні функції) цих сполук.

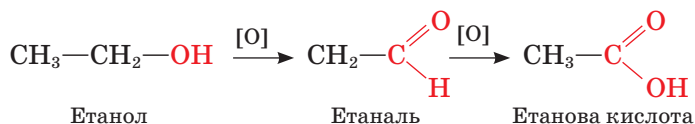
Оскільки електронна густина зв'язку  $O \leftarrow H$  зміщена до Оксигену, можна припустити, що для спиртів можливі реакції з **відщепленням Гідрогену**. Проте проба спирту на електропровідність дає негативний результат; майже не спостерігається й електролітична дисоціація спирту у воді. Отже, Гідроген хоча й набуває рухливості, але хімічний зв'язок  $O-H$  за таких умов не розривається.

## Реакції насичених одноатомних спиртів

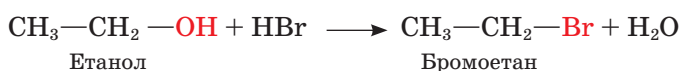
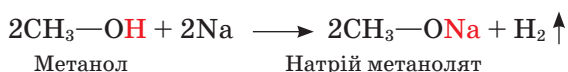
### Повне окиснення (горіння)



### Часткове окиснення

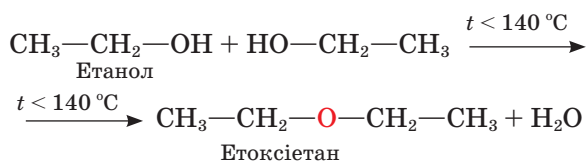


### Заміщення

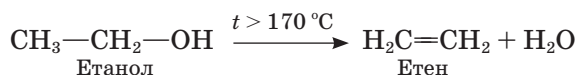


### Дегідратація

#### міжмолекулярна:



#### внутрішньомолекулярна:

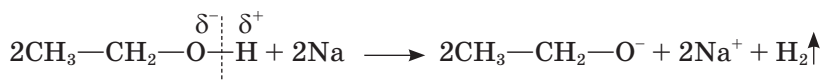


Спробуємо провести реакцію з активнішими реагентами. У пробірку з 2 мл етанолу вмістимо шматочок металічного натрію і закриємо її пробкою зі скляною трубкою, відтягнутою на кінці. Відбувається реакція заміщення з виділенням водню.



Як можна переконатися, що це справді водень?

У цій реакції виявляються слабкі кислотні властивості спирту. Зв'язок O—H розривається за йонним механізмом:



Загальна назва аніонів у продуктах заміщення Гідрогену на металічний елемент — *алканоліати* (алкоголіати). Добутий нами *натрій етаноліят* можна виділити у твердому вигляді.

Пригадайте, що реакція натрію з водою відбувається бурхливо, водень виділяється значно енергійніше, ніж у реакції натрію з етанолом. Очевид-



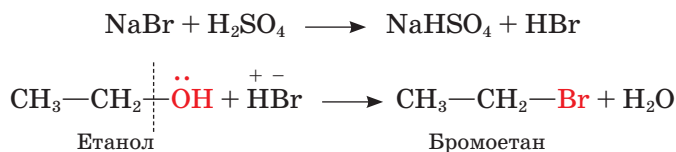
Мал. 88. Добування бромоетану в лабораторії

но, позначається вплив карбонового ланцюга: Гідроген стає менш рухливим і відщеплюється важче порівняно з Гідрогеном води.

Зі зростанням довжини карбонового ланцюга активність спиртів у реакції з натрієм знижується. У цьому можна переконатися на досліді. У три пробірки наллємо по 2 мл метанолу, етанолу й бутан-1-олу. У кожену вмістимо однакові шматочки натрію. Реакції відбуваються з різними швидкостями, причому тим повільніше, чим довший карбоновий ланцюг у молекулі спирту.

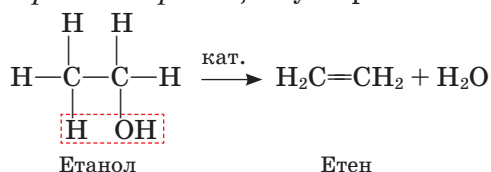
Сформулюйте висновок щодо залежності активності спиртів у реакції з натрієм від довжини карбонового ланцюга.

Спирти вступають також у реакції з **відщепленням гідроксильної групи**, до яких належить реакція з *гідроген бромідом*. Зберемо прилад, зображений на мал. 88 (віртуально). Умістимо в колбу суміш етанолу, натрій броміду й сульфатної кислоти, нагріємо її. Через деякий час помітимо, що під шаром льоду в колбі-приймачі збирається густа рідина — бромоетан. Відбуваються реакції:



У цій реакції виявляються слабкі основні властивості спиртів завдяки взаємодії протона кислоти з вільною електронною парою атома Оксигену.

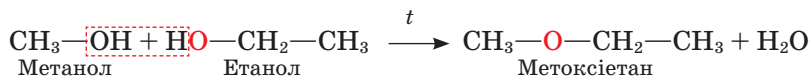
Спирти вступають у реакцію **дегідратації**. Перебіг цієї реакції визначається зовнішніми умовами. Якщо етанол нагрівати до температури понад 170 °С із сильною кислотою, наприклад концентрованою сульфатною, або пропускати пару спирту над каталізатором (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), то відбувається реакція *внутрішньомолекулярної дегідратації* з утворенням етену:



Складіть рівняння реакції дегідратації пропанолу. Назвіть речовину, що утворюється.

Якщо ж температура нагрівання не перевищує 140 °С і спирт узято в надлишку, то відбувається *міжмолекулярна дегідратація* з утворенням сполуки, що належить до класу *етерів* загальної формули  $R^1-O-R^2$  (тривіальна назва — *проті ефіри*).

Із етанолу утворюється *етоксіетан* (тривіальна назва — *діетиловий ефір, медичний ефір*). Якщо ж реагує суміш спиртів, наприклад метанол та етанол, то утворюється несиметричний етер — *метоксіетан*):



У результаті цієї реакції утворюються також два симетричні етери. Складіть відповідні рівняння реакцій.



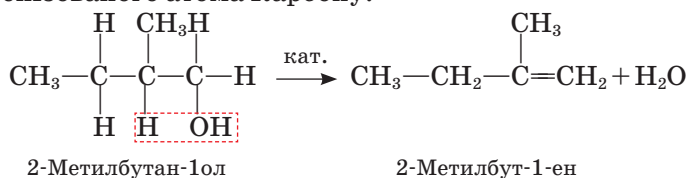
Мал. 89. Анестезія діетиловим ефіром (1885 р.)

Із середини ХІХ ст. діетиловий ефір відомий як засіб для знеболення (мал. 89). Першу операцію під ефірним наркозом провів бостонський хірург Дж. Уоррен у 1846 р. У воєнно-польовій хірургії його вперше застосував видатний хірург М. І. Пирогов.

Порівнюючи склад *метоксиметану*  $\text{CH}_3-\text{O}-\text{CH}_3$  й етанолу  $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ , можна помітити, що вони мають однакову брутто-формулу:  $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$ . Ці сполуки — ізомери. Отже, існує ще один вид структурної ізомерії — *між класами органічних сполук*.

Складіть формулу спирту, ізомерного етоксіетану.

Відщеплення води від молекули спирту розгалуженої будови відбувається переважно в такий спосіб, що атом Гідрогену відщеплюється від найменш гідрогенізованого атома Карбону:



Цю особливість поведінки спиртів виявив у 1875 р. російський учений О. М. Зайцев (*правило Зайцева*).

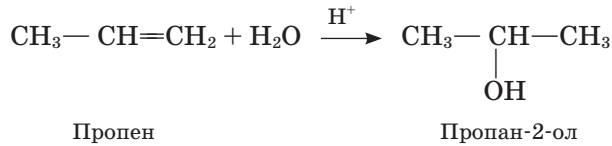
**Добування.** Загальним методом добування спиртів є *гідроліз галогенопoxidних вуглеводнів*:





На практиці використовують водний розчин натрій гідроксиду або карбонату.

Спирти утворюються в результаті реакції *гідратації алкенів*:



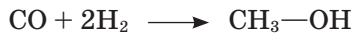
Реакція відбувається за правилом Марковникова.

Поясніть механізм цієї реакції.

Поширеним способом добування спиртів є *відновлення альдегідів*, про які дізнається згодом.

**Окремі представники.** **Метанол** (метиловий спирт) уперше був добутий Р. Бойлем у 1661 р., а вивчений лише в першій половині XIX ст. Найдавнішим методом добування метанолу є суха перегонка деревини (звідси походить його інша назва — деревний спирт).

Нині метанол добувають із синтез-газу (суміш CO і H<sub>2</sub>). За температури 250 °C і тиску 5 МПа та наявності каталізатора (CuO, ZnO) ці газу взаємодіють між собою:



Метанол широко використовують в органічному синтезі, а також як розчинник. Великі кількості його переробляють на формальдегід — сполуку, що є сировиною для виробництва пластмас.

Метанол — отрута. Уживання навіть невеликої кількості цієї сполуки спричиняє сліпоту, а доза понад 25 мл — навіть смерть.

Метанол дуже подібний до етанолу за смаком і запахом, розрізнити ці сполуки можна лише в хімічній лабораторії. Трапляються випадки отруєння метанолом, коли його помилково приймають за етанол.

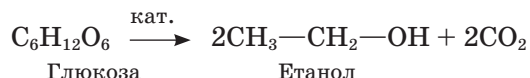
**Етанол** (синоніми — етиловий спирт, винний спирт, алкоголь) відомий переважно як основа алкогольних напоїв, про які людство знає з найдавніших часів (мал. 90).

Перша літературна згадка про етиловий спирт як «горючу воду», добуту перегонкою вина, датована VIII ст., а елементний склад етанолу з'ясував швейцарський учений Т. Соссюр у 1814 р.



Мал. 90. Апарати для перегонки спирту (XVI ст.)

Отже, найдавніший метод добування етанолу — це *спиртове бродіння глюкози*, що міститься у винограді, інших фруктах. Процес відбувається під впливом природних каталізаторів — *ензимів (ферментів)*, що виробляються деякими видами дріжджів. У загальному вигляді процес спиртового бродіння можна подати рівнянням:



Насправді утворюється суміш спиртів та інших речовин, у якій усього 12 % етанолу. Для його виділення використовують метод *дистиляції*, або перегонки (мал. 91). У результаті утворюється так званий *ректифікат*, що містить 96 % етанолу та 4 % води.

Етанол добувають також *гідратацією етену*. Добутий у такий спосіб спирт використовують для технічних потреб.

Використання етанолу надзвичайно широке. Це розчинник для виготовлення фармацевтичних препаратів (настоюнок, екстрактів тощо), парфумерних і косметичних виробів, есенцій, лаків (політура для меблів). Етанолом як бактерицидним засобом обробляють рани. У харчовій промисловості з нього виготовляють алкогольні напої.

Із етанолу в промислових масштабах виробляють оцтову кислоту, хлороформ, медичний ефір та ін. У багатьох країнах суміш бензину з етанолом (до 10 %) використовують як паливо.

Схарактеризуйте переваги використання такої суміші з погляду зменшення шкідливих викидів у атмосферу.

Етанол, призначений для технічних цілей, відомий під назвою *денатурат*. Цей продукт містить домішки, що змінюють запах, смак і колір етанолу, — це робить його непридатним для споживання.

**Дія етанолу на організм.** За своїми фармакологічними властивостями етанол належить до наркотичних засобів. Уживаний у вигляді алкогольних



Мал. 91. Сучасні перегонні куби для добування етанолу

напоїв у малих дозах він послаблює гальмівні процеси в корі головного мозку, а в разі збільшення дози — знижує й рівень збуджувальних процесів, з'являється сонливість, свідомість затьмарюється і, нарешті, людина не-притомніє.

Із етанолом пов'язана одна з найстрашніших хвороб — алкоголізм. Унаслідок систематичного вживання алкоголю в людини виникає спершу психічна, а потім і фізична залежність. Вона полягає в тому, що спершу такі ознаки алкогольного отруєння, як головний біль, серцебиття, тремтіння рук швидко минають від прийняття дози алкоголю. Цим самим створюється замкнене коло, що не розірвати та яке призводить до незворотних змін у органах, до психічних порушень, а в результаті — до деградації особистості.

Слід пам'ятати, що причиною переважної кількості нещасних випадків, дорожньо-транспортних пригод, побутових травм є вживання алкоголю.

Особливо небезпечний алкоголь для молодого організму. Навіть невеликі дози впливають на швидкість реакцій, здатність зосереджуватися, виконувати розумову роботу. Спожитий у великих дозах, він діє як отрута на всі системи людського організму. Специфічна зміна настрою одразу після вживання алкоголю, похвального є дуже оманливими, оскільки згодом настає фаза пригнічення центральної нервової системи, фізичної й психічної загальмованості.

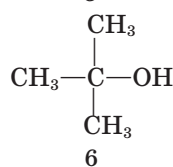
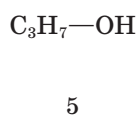
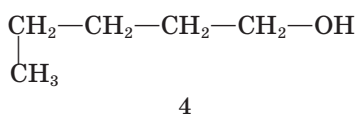
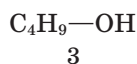
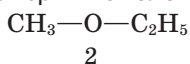
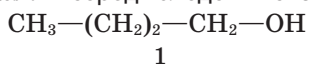
У молодих людей захворювання на алкоголізм розвивається швидше, оскільки в них інтенсивніше відбуваються процеси обміну.



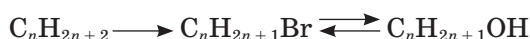
## Завдання для самоконтролю

1. Що таке функціональна (характеристична) група?
2. Які сполуки називають спиртами?
3. Скориставшись мал. 85, поясніть утворення хімічних зв'язків у молекулі метанолу.
4. Як позначається вплив атома Оксигену на розподілі електронної густини в молекулі спирту?
5. Як електронна будова атома Оксигену впливає на геометрію молекули метанолу?
6. Чим зумовлена ізомерія насичених одноатомних спиртів? Наведіть приклади.
7. Визначте первинні, вторинні й третинні спирти серед наведених: 3-метилбутан-1-ол; 3-метилбутан-2-ол; 2-метилбутан-2-ол; 2-метилбутан-1-ол; 2,2-диметилпропан-1-ол.
8. Поясніть причину аномально високої температури кипіння води.
9. Чи є серед спиртів газуваті речовини? Поясніть вплив водневих зв'язків на фізичні властивості спиртів.
10. Наведіть рівняння хімічних реакцій спиртів, що відбуваються з розриванням зв'язків C—OH і CO—H.
11. Поясніть вплив умов на перебіг реакції дегідратації етанолу.

12. Укажіть серед наведених сполук ізомери й гомологи.



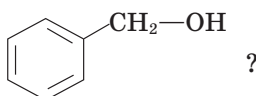
- А** ізомери — 1 і 6, 2 і 5; гомологи — 1, 4, 5  
**Б** ізомери — 1 і 4; гомологи — 5 і 2  
**В** ізомери — 2 і 3; гомологи — 4 і 6
13. Укажіть продукти міжмолекулярної дегідратації метанолу й пропанолу.  
**А** етоксіетан **Б** метоксипропан **В** пропоксипропан **Г** метоксиметан
14. Складіть рівняння реакцій за схемою перетворень:



15. Назвіть сучасні промислові способи добування спиртів.  
 16. Поясніть глибоку дію алкоголю на організм людини.

### Додаткові завдання

17. До класу спиртів належать циклогексанол (має запах камфори) і 2-фенілетанол (має запах троянд). Складіть структурні формули цих сполук.
18. Скільком речовинам відповідає формула  $\text{C}_5\text{H}_{11}\text{O}$ ? Складіть їхні структурні формули і назвіть сполуки.
19. Етин — газ, гідроген ціанід — рідина (н. у.), хоча молекулярні маси цих сполук приблизно однакові. Поясніть це.
20. У якої речовини міцніші водневі зв'язки: у води чи в метанолу? Відповідь поясніть.
21. Гідроксиди лужних металічних елементів і спирти містять гідроксигрупу. Чому перші є електролітами, а другі — ні?
22. Які хімічні властивості етанолу підтверджують, що його формула —  $\text{C}_2\text{H}_5-\text{OH}$ , а не  $\text{CH}_3-\text{O}-\text{CH}_3$ ?
23. Які етери можуть утворитися в результаті нагрівання суміші метанолу й етанолу із сульфатною кислотою?
24. Як треба змінити склад етанолу, щоб атом Гідрогену гідроксильної групи набув більшої рухливості?
25. Порівняйте властивості метанолу з властивостями води й метану. Зробіть узагальнювальний висновок.
26. Сполука загальної формули  $\text{C}_4\text{H}_8$  реагує з воднем із утворенням метилпропану, а в результаті реакції з бромоводнем утворюється бромпохідна сполука, що, у свою чергу, в реакції з натрій гідроксидом утворює третинний спирт. Визначте цю сполуку. Складіть рівняння вказаних реакцій.
27. Як трьома способами добути хлоретан? Складіть відповідні рівняння реакцій.
28. Які хімічні властивості матиме, на вашу думку, бензиловий спирт (фенілметанол)



29. У яких напрямках може відбуватися реакція часткового окиснення алілового спирту  $\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CH}_2-\text{OH}$ ?

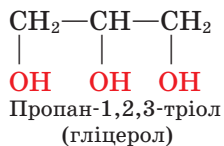
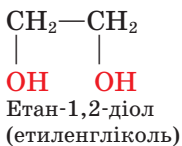
30. Складіть рівняння реакцій, у результаті яких можна добути хлорометан, маючи метанол, натрій хлорид і сульфатну кислоту.
31. Напишіть рівняння послідовних перетворень: етанолу на етан; метану на метанол; вуглецю на метанол.
32. Із яких джерел використовують етен для синтезу етанолу?
33. Визначте молекулярну формулу речовини, якщо внаслідок її повного згоряння масою 13,8 г утворилося 26,4 г вуглекислого газу та 16,2 г води. Густина пари речовини за воднем дорівнює 23. Складіть формули ізомерів.
34. Продуктами горіння газуватої органічної сполуки **A**, що знебарвлює бромну воду, є сполуки **B** і **B**. Після розчинення першої у другій утворюється кислота. Сполука **B** за певних умов може взаємодіяти зі сполукою **A**. Продукт цієї реакції — сполука **Г** не взаємодіє з натрій гідроксидом, але взаємодіє з металічним натрієм. Одним із продуктів останньої реакції є газ **Д** без кольору й запаху, здатний до реакції зі сполукою **A**, в результаті якої утворюється газуватий вуглеводень **Е**, що не знебарвлює бромну воду. Визначте речовини, складіть рівняння реакцій.
35. Надмірне вживання алкоголю руйнує психіку людини. Поясніть причину цього.
36. У результаті реакції метанолу з металічним натрієм виділився газ кількістю речовини 1,5 моль. Обчисліть масу (г) спирту, що прореагував.
37. У результаті хлорування метану об'ємом 35,7 л (н. у.) (домішки становлять 6 %) утворилася дихлоропохідна метану масою 76,5 г. Обчисліть і вкажіть вихід (%) продукту реакції.



## § 27. ЕТИЛЕНГЛІКОЛЬ. ГЛІЦЕРОЛ

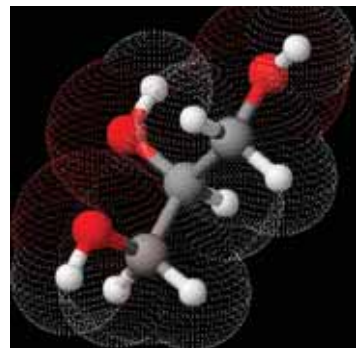
**Склад молекул.** Молекули спиртів можуть містити дві, три й більше гідроксильних груп біля різних атомів Карбону. Такі спирти називають відповідно *двохатомними*, *трьохатомними*, *багатоатомними* (коли таких груп понад три). Щодо двухатомних уживають також загальну назву **гліколі**, а щодо трьохатомних — **гліцероли**. За систематичною номенклатурою двухатомні спирти називають *діолами*, трьохатомні — *тріолами*.

Найпростіший двухатомний спирт — **етиленгліколь**, трьохатомний — **гліцерол** (тривіальна назва — гліцерин):



Модель молекули гліцеролу зображено на мал. 92.

**Фізичні властивості.** Етиленгліколь і гліцерол — безбарвні в'язкі рідини, добре розчинні у воді. Особливістю цих та багатоатомних спиртів є солодкий смак, що посилюється зі збільшенням числа гідроксильних груп у



Мал. 92. Модель молекули гліцеролу

молекулі. Ця властивість гліцеролу відбита в його назві, що походить від грецького γλυκύς — солодкий. У XVIII ст., коли гліцерол було виділено з маслинової олії, його називали ще олійним цукром.

Через наявність гідроксильних груп можна припустити, що між молекулами багатоатомних спиртів утворюються водневі зв'язки, як і між молекулами одноатомних спиртів. У правильності такого припущення переконає порівняння констант гліцеролу й близьких до нього за відносними молекулярними масами гексану й пентан-1-олу (табл. 13).

Т а б л и ц я 13

### Характеристика гліцеролу, пентан-1-олу й гексану

Назва сполуки	Формула	Відносна молекулярна маса	Температура кипіння, °С	Густина, г/см <sup>3</sup>
Гліцерол	CH <sub>2</sub> (OH)CH(OH)CH <sub>2</sub> (OH)	92	290	1,30
Пентан-1-ол	C <sub>5</sub> H <sub>11</sub> OH	88	138	0,80
Гексан	C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	86	69	0,66

Зростання температури кипіння і густини гліцеролу порівняно з пентан-1-олом засвідчує, що молекули першого більшою мірою асоційовані між собою, оскільки в утворенні водневих зв'язків беруть участь три гідроксильні групи.

Складіть схему утворення водневих зв'язків між молекулами етиленгліколю.

Утворенням водневих зв'язків між молекулами води й багатоатомних спиртів пояснюють і добру розчинність останніх.

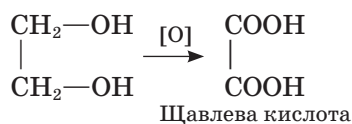
Етиленгліколь і гліцерол гігроскопічні (від грец. ὑγρός — волога й σκωλεω — спостерігати), гліцерол убирає з повітря до 40 % вологи (за об'ємом).

**Хімічні властивості.** Для багатоатомних спиртів характерні реакції одноатомних спиртів, причому вони відбуваються за участі однієї або кількох гідроксильних груп.

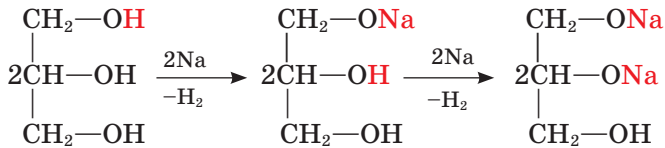
Реакція **повного окиснення**, як і в інших органічних речовин, відбувається з утворенням вуглекислого газу й води.

Складіть рівняння реакції повного окиснення гліцеролу.

У результаті **часткового окиснення** утворюється суміш продуктів, у кінцевому результаті — поліфункціональні сполуки:

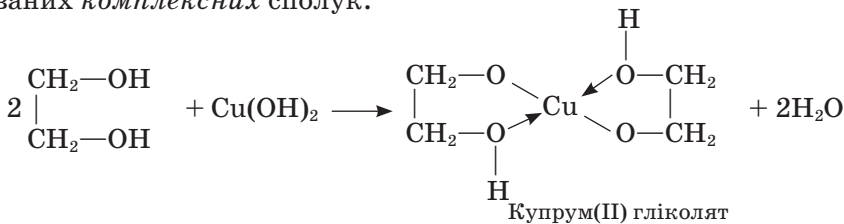


Багатоатомні спирти вступають у реакцію **заміщення** з металічним *натрієм*. У пробірку з гліцеролом опустимо шматочок металічного натрію, нагріємо її вміст. Відбувається реакція з виділенням водню:



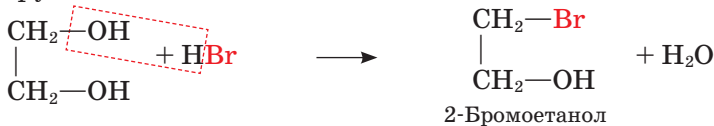
Наявність декількох гідроксильних груп позначається на хімічній активності сполуки, зокрема посилюються **кислотні властивості**: якщо одноатомні спирти утворюють алканолати лише з лужними металами, то етиленгліколь і гліцерол реагують також з *лугами та гідроксидами важких металічних елементів*.

*Характерною реакцією* багатоатомних спиртів, яку використовують для їх виявлення, є утворення розчину синього кольору з купрум(II) гідроксидом. Продукт реакції — сполука складної будови, що належить до так званих *комплексних* сполук:

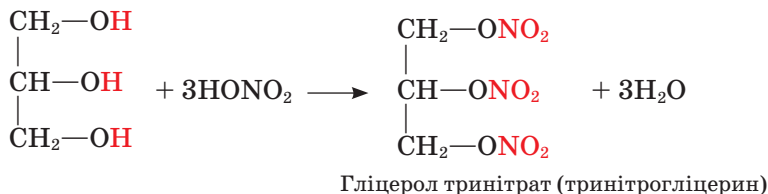


Лабораторний дослід взаємодії гліцеролу з купрум(II) гідроксидом ви проводили в 9 класі. Пригадайте, як утворювався осад купрум(II) гідроксиду. Що спостерігали під час його реакції з гліцеролом?

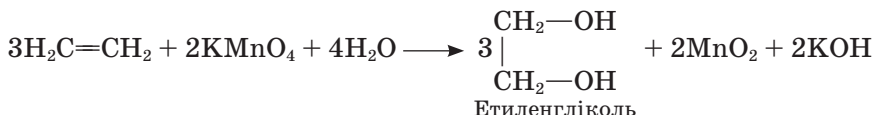
Взаємодією багатоатомних спиртів із *гідроген галогенідами* (HCl, HBr) можна добути галогенопохідні внаслідок **заміщення** однієї або двох гідроксильних груп:



Багатоатомні спирти взаємодіють із *мінеральними кислотами*. Важливою є реакція гліцеролу з концентрованою нітратною кислотою (за наявності сульфатної кислоти). Продуктом реакції є гліцерол тринітрат (тринітрогліцерин):

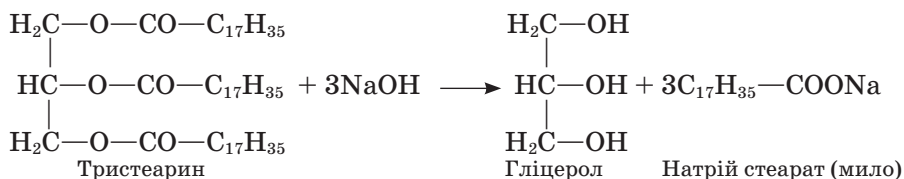


**Добування.** Одну реакцію добування гліколів ви знаєте — це *окиснення етену* калій перманганатом (реакція Вагнера):

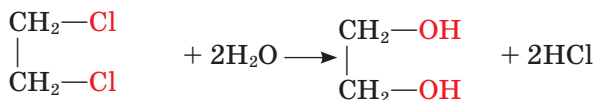


Пригадайте, де використовують реакцію Вагнера.

Гліцерол добувають *омиленням жирів*:



Як і одноатомні спирти, багатоатомні можна добути *гідролізом галогенопохідних алканів*:



1,2-Дихлороетан

**Застосування.** Суміш етиленгліколю з водою має низьку температуру замерзання, тому її використовують для виготовлення антифризу (від англ. *freeze* — замерзати) — рідини для охолодження двигунів, які працюють за низьких температур (мал. 93).

На відміну від гліцеролу етиленгліколь — дуже отруйна речовина, що спричиняє параліч дихального центру, «вимикає» нирки. Протиотрутою етиленгліколю є етанол.

**Гліцерол** широко застосовують передусім завдяки його гігроскопічності. У парфумерії та фармацевтиці — як пом'якшувальний засіб або основа мазей, добавка до мила, зубної пасти (щоб запобігти її висиханню); у харчовій промисловості — як добавка до напоїв, кондитерських виробів. Шкіряне виробництво й текстильна промисловість послуговуються гліцеролом для обробки пряжі й шкіри з метою пом'якшення та надання еластичності. Продукт нітрування гліцеролу — тринітрогліцерин — вибухова речовина, з якої виготовляють динаміт (мал. 94). А спиртовий розчин цієї сполуки має судинорозширювальну дію і під назвою *нітрогліцерин* використовують як ліки при серцевих захворюваннях.



Мал. 93. Етиленгліколь — основна складова автомобільного антифризу



Мал. 94. Динаміт використовують для демонтажу будівель





## Завдання для самоконтролю

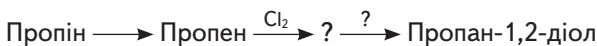
1. До якого класу сполук належать етиленгліколь і гліцерол?
2. Які властивості гліколів пояснюють утворенням водневих зв'язків?
3. Порівняйте хімічні властивості етанолу й етиленгліколю. Складіть рівняння відповідних реакцій.
4. У двох пробірках містяться гліцерол і етанол. Як хімічним способом розрізнити ці сполуки?
5. Чи відомо вам про застосування гліцеролу в побуті? Розкажіть про це.

### Додаткові завдання

6. Поясніть причину різноманітності сполук, що належать до класу спиртів.
7. Чи є гомологами етиленгліколь і гліцерол? Відповідь поясніть.
8. Яка сполука має, на вашу думку, більшу густину — етиленгліколь чи гліцерол? Відповідь поясніть. Для підтвердження свого припущення скористайтеся довідником.
9. Поясніть, чому пентанол малорозчинний у воді, а пентантріол — добре розчинна сполука.
10. Поясніть, у чому полягає вплив гідроксильних груп на реакції діолів і тріолів.
11. Складіть формули спиртів, назви яких наведено нижче. Поясніть розчинність спиртів різного складу.

Назва спирту	Розчинність
Етанол	Необмежено розчинний
Пентан-1-ол	Слабкорозчинний
Пентан-1,2-діол	Розчинний
Гексан-2-ол	Дуже слабкорозчинний
Гексан-2,3-діол	Розчинний
Декан-1-ол	Нерозчинний

12. Складіть рівняння реакцій за схемою перетворень:



13. У результаті вибуху динаміту утворюється суміш вуглекислого газу, азоту, кисню та води, на які розкладається тринітрат гліцерол. Визначте суму коефіцієнтів у рівнянні реакції розкладу. **А 34      Б 33      В 12**
14. Трускавецька мінеральна вода «Юзя» містить гліцерол. Здавна дівчата вмивалися нею «для краси». На яких властивостях ґрунтується дія цієї води?

## ВИСНОВКИ

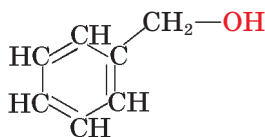
- Молекули спиртів містять функціональну (характеристичну) гідроксильну групу, сполучену з вуглеводневою групою. Багатоатомні спирти містять декілька гідроксильних груп біля різних атомів Карбону.
- У гідроксильній групі атом Оксигену перебуває в стані  $sp^3$ -гібридизації.

- Спирти — полярні сполуки. Електронна густина зв'язку  $O \leftarrow H$  зміщена до більш електронегативного атома Оксигену.
- За хімічною будовою розрізняють первинні, вторинні й третинні спирти.
- Насиченим одноатомним спиртам властива структурна ізомерія, зумовлена будовою карбонового скелета, положенням гідроксильної групи й міжкласова ізомерія спирти — етери.
- Спирти мають вищі порівняно з вуглеводнями температури плавлення й кипіння, більшу густину внаслідок утворення водневих зв'язків між молекулами. У багатоатомних спиртів значення цих констант ще більші.
- Унаслідок утворення водневих зв'язків спирти розчинні у воді.
- Повне окиснення спиртів відбувається до вуглекислого газу й води; часткове окиснення одноатомних спиртів — до альдегідів і карбонових кислот, а діоли й тріоли окиснюються до поліфункціональних сполук.
- Спирти вступають у реакції заміщення з розривом зв'язку  $O-H$  (з металічним натрієм) або зв'язку  $C-OH$  (із гідроген галогенідами).
- Дегідратація насичених одноатомних спиртів відбувається, залежно від умов, із утворенням алкенів або етерів.
- Між вуглеводневою групою і гідроксигрупою спостерігається взаємний вплив. Порівняно з водою спирти менш енергійно взаємодіють із металічним натрієм, а порівняно з насиченими вуглеводнями – легше окиснюються.
- Багатоатомні спирти реагують за однією або кількома гідроксигрупами.
- Одноатомні, зокрема метанол і етанол, та багатоатомні, такі як гліцерол і етиленгліколь, спирти широко застосовують, тому їх виробляють у промислових масштабах.
- Уживання алкоголю справляє отруйний вплив на організм людини. Це може врешті-решт призвести до хвороби, що супроводжується деградацією особистості.

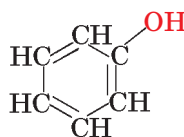


## § 28. ФЕНОЛ

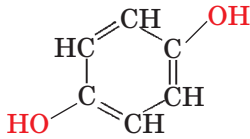
**Склад і будова молекули.** Ароматичні вуглеводні також мають гідроксильні похідні. Сполуки, у молекулах яких гідроксильна група міститься в бічному ланцюзі, належать до спиртів, а ті, в яких вона безпосередньо сполучена з бензеновим ядром, — до **фенолів**. Назву **фенол** має також найпростіший із фенолів — одноатомний —  $C_6H_5OH$ :



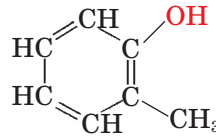
Фенілметанол  
(ароматичний бензиловий спирт)



Фенол



Гідрохінон (фенол)

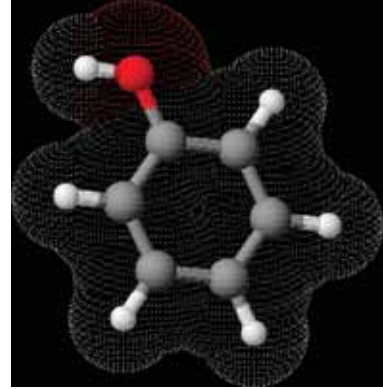


Орто-крезол (фенол)

Модель молекули фенолу наведено на мал. 95.

**Фізичні властивості.** Фенол — кристалічна речовина, безбарвна, має характерний запах. У разі зберігання в нещільно закритій посудині внаслідок окиснення набуває рожевого кольору. Фенол — низькоплавка речовина ( $t_{\text{пл}} = 40,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ ).

Помістимо пробірку з фенолом у посудину з гарячою водою: речовина розплавиться. У холодній воді фенол розчиняється погано, з утворенням емульсії. Проте якщо додати до пробірки з фенолом гарячої води, спостерігається швидке розчинення. Фенол утворює водневі зв'язки з молекулами води.



Мал. 95. Модель молекули фенолу

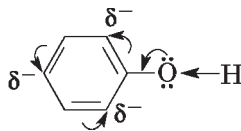
Складіть схему утворення водневих зв'язків між молекулами води й фенолу.

**Хімічні властивості.** Рівняння реакцій фенолу наведено на с. 148. За наявності в молекулі фенолу гідроксильної групи можна припустити його подібність до одноатомних спиртів, а за наявності бензенового ядра — подібність до бензену. З'ясуємо це.

Пригадайте, як взаємодіє етанол з металічним натрієм. Складіть відповідне рівняння реакції.

Нагріємо фенол у пробірці до плавлення й помістимо в нього шматочки металічного натрію. Спостерігається виділення водню, утворюється також натрій фенолят у результаті реакції **заміщення** атома Гідрогену гідроксильної групи на Натрій.

Отже, фенол реагує з натрієм так само, як спирти. Проте гідроксильна група у спиртах і фенолі зазнає впливу різних вуглеводневих груп: алкільної й ароматичної. У фенолі неподілена пара електронів атома Оксигену відтягується бензеновим ядром і взаємодіє з його електронною системою. У свою чергу, атом Оксигену відтягує до себе електронну густину зв'язку O—H:



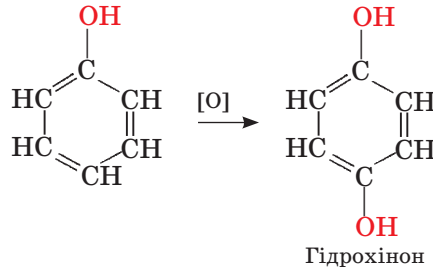
Як наслідок, зв'язок O—H послаблюється, атом Гідрогену набуває рухливості більшої, ніж у спиртах. У цьому разі можна припустити, що фенол *виявлятиме властивості кислоти* сильніше порівняно зі спиртами.

## Реакції фенолу

### Повне окиснення (горіння)

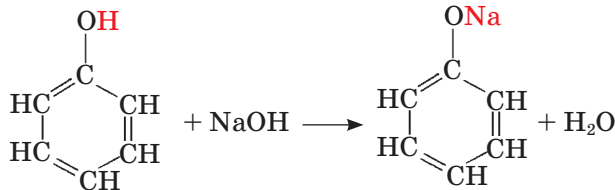
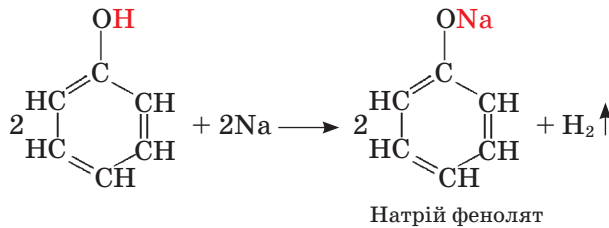


### Часткове окиснення

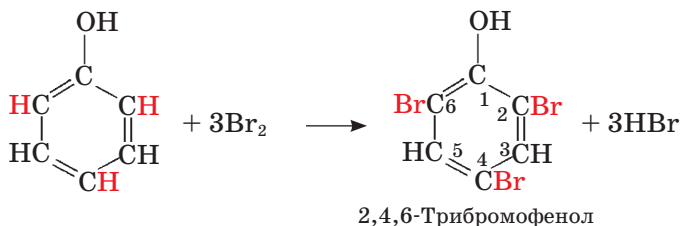


### Заміщення

у гідроксильній групі:



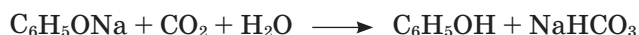
у бензеновому ядрі:



Справді, етанол не реагує з розчином лугу, а фенол вступає в цю реакцію як кислота з утворенням феноляту.

Зважаючи на кислотні властивості фенолу, його називають ще *карболовою кислотою*, хоча це дуже слабка кислота. У цьому можна переконатися на досліді.

До емульсії фенолу добавлятимемо по краплинах розчин лугу — утвориться розчин феноляту. Крізь порцію феноляту в пробірці пропустимо вуглекислий газ — розчин знову стає каламутним, бо виділяється вільний фенол:



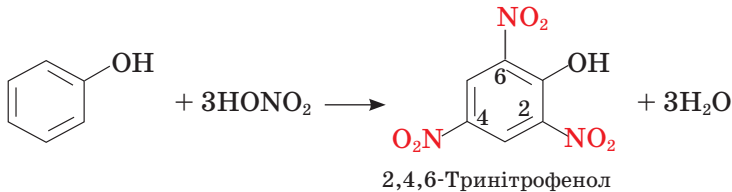
Отже, фенол — слабкіша кислота, ніж карбонатна, оскільки остання витісняє його з феноляту.

У реакціях фенолу з натрієм і лугом виявляється вплив бензенового ядра на гідроксильну групу. З'ясуємо, як впливає гідроксигрупа на бензенове ядро. У результаті спряження вільних електронних пар атома Оксигену з  $\pi$ -електронною системою бензенового ядра підвищується його електронна густина в *орто*- та *пара*-положеннях. Фенол легко вступає в реакції **електрофільного заміщення**, наприклад із бромом.

Пригадайте, чи взаємодіє бензен із бромною водою.

До розчину фенолу у воді додано бромної води. Вона знебарвлюється, розчин каламутніє і згодом випадає білий осад 2,4,6-трибромофенолу. Відбувається реакція бромовання.

Легко відбувається і реакція нітрування фенолу. Якщо бензен нітрується за допомогою нітрувальної суміші (суміш нітратної та сульфатної кислоти), то фенол утворює однозаміщену похідну в результаті дії розбавленої нітратної кислоти, а тризаміщену — під дією концентрованої кислоти:

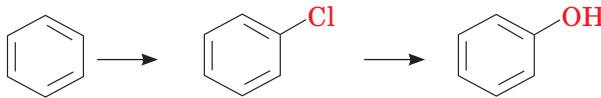


Зробіть самостійно висновок про взаємний вплив гідроксигрупи і бензенового ядра в молекулі фенолу.

*Характерною реакцією фенолу*, за якою його можна виявити серед інших речовин, є реакція з розчином ферум(III) хлориду.

Приготуємо розчин фенолу у воді, додаючи її доти, доки емульсія перетвориться на розчин. Додаємо декілька краплин розчину ферум(III) хлориду. Спостерігаємо забарвлення рідини в темно-фіолетовий колір. У результаті реакції утворюється комплексна сполука (її формулу не наводимо через складність будови).

**Добування.** Фенол видобувають із кам'яновугільної смоли. Інший спосіб — *переробка бензену* за такою схемою:



Складіть рівняння хімічних реакцій за цією схемою.

**Застосування.** Фенол було вперше виділено з кам'яновугільної смоли в першій половині XIX ст. Його застосування тісно пов'язане з розвитком синтетичної органічної хімії. Фенол є вихідною речовиною для виробництва барвників, лікувальних засобів, пластичних мас, вибухових речовин. До останніх належить розглянутий вище тринітрофенол, або *пiкринова кислота*.

Фенол має антисептичні властивості, що їх було виявлено ще у другій половині XIX ст. Завдяки цьому розчин фенолу (5% -й) використовують для знезаражування приміщень, хірургічних інструментів, його добавляють до деяких сортів мила, ним протрують деревину, щоб запобігти її гниттю.

Дезінфікувальна дія фенолу полягає в тому, що під його впливом відбувається руйнування білків (вони згортаються), а через це припиняється життєдіяльність бактерій.

Фенол — токсична речовина, він може спричинити опік шкіри. Оскільки фенол використовують у різних галузях промисловості, то разом з іншими промисловими викидами він потрапляє у стічні води, тим самим забруднюючи довкілля та впливаючи на екологічну рівновагу. Щоб запобігти цьому, фенол окиснюють до нешкідливих речовин або видаляють за допомогою розчинників.

## Висновки

- У молекулах фенолів функціональні гідроксильні групи сполучені безпосередньо з бензеновим ядром.
- Фенол розчиняється у воді завдяки утворенню водневих зв'язків.
- Вільні електронні пари атома Оксигену гідроксильної групи спряжені з  $\pi$ -електронною системою бензенового ядра.
- Фенол вступає в реакції за гідроксильною групою і бензеновим ядром.
- Гідроксильна група так впливає на бензенове ядро, що зростає його активність у реакціях з електрофільними реагентами, зокрема полегшується заміщення атомів Гідрогену переважно в положеннях 2-, 4-, 6-.
- Під впливом бензенового ядра послаблюється зв'язок O—H у гідроксильній групі, і фенол виявляє кислотні властивості.
- Фенол виявляють за реакцією з ферум(III) хлоридом.
- Основне промислове джерело фенолу — кам'яновугільна смола.
- Фенол — антисептик, але він отруйний для людини.

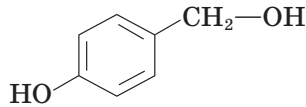


## Завдання для самоконтролю

1. У чому полягає відмінність хімічної будови ароматичних спиртів і фенолів?
2. Поясніть розчинність фенолу у воді.
3. Згрупуйте хімічні реакції фенолу за гідроксильною групою та бензеновим ядром.
4. Які реакції доводять, що фенол має кислотні властивості?
5. До якого типу належить реакція фенолу з лугом?
6. У чому полягає вплив гідроксильної групи на бензенове ядро (порівняйте з бензеном)?
7. Поясніть вплив бензенового ядра на гідроксильну групу (порівняйте з метанолом).
8. Який вплив чинить фенол на довкілля? Для відповіді скористайтеся допоміжною літературою.

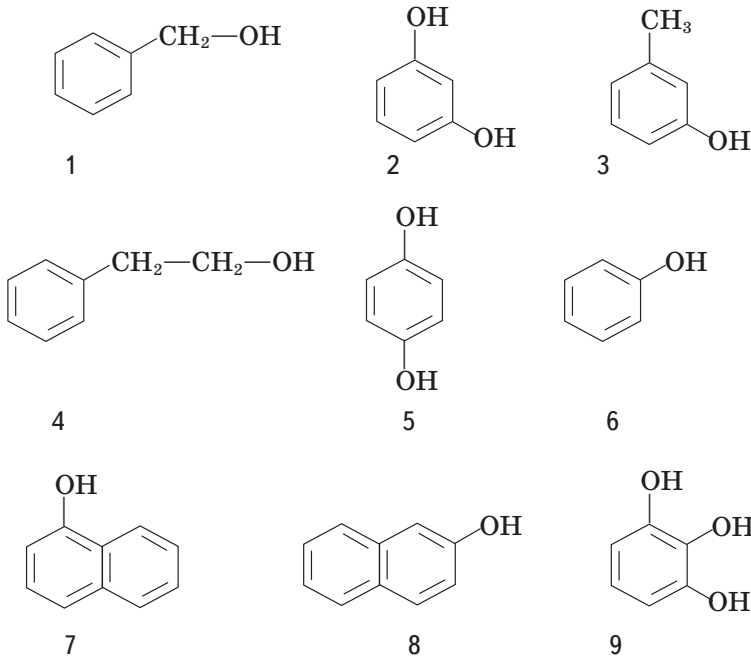
## Додаткові завдання

10. Поясніть орієнтувальну дію гідроксильної групи в молекулі фенолу.  
 11. Складіть хімічну схему, що пояснює взаємний вплив атомів у молекулі фенолу.  
 12. Складіть рівняння реакцій за наведеною схемою перетворень:  
 Етин  $\longrightarrow$  Бензен  $\longrightarrow$  Хлоробензен  $\longrightarrow$  Фенол  $\longrightarrow$  2,4,6-Трибромфенол.  
 13. У трьох пробірках містяться етанол, гліцерол і розчин фенолу. Як розрізнити вміст пробірок за фізичними й хімічними властивостями цих сполук?  
 14. Зробіть припущення щодо хімічних властивостей сполуки такої будови:



Складіть рівняння відповідних хімічних реакцій.

15. До яких класів належать сполуки такої будови?



16. Укажіть серед наведених вище сполук ізомери й гомологи.  
 А ізомери — 1 і 6, 2 і 5; гомологи — 1 і 5  
 Б ізомери — 1 і 3, 2 і 5, 7 і 8; гомологи — 1 і 4  
 В ізомери — 1 і 2; гомологи — 4 і 6
17. Обчисліть масу 60 %-го розчину натрій гідроксиду, потрібного для взаємодії з фенолом, що утворився з бензену об'ємом 100 мл (густина бензену становить 0,8 г/см<sup>3</sup>).
18. Обчисліть масу фенолу, який треба взяти, щоб виготовити 2 %-й розчин карболової кислоти масою 10 кг, якщо масова частка домішок у фенолі становить 6 %?

# Альдегіди й кетони. Карбонові кислоти

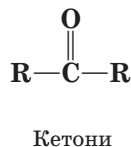
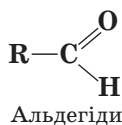
## Нові поняття й терміни:

альдегід, кетон, карбонільна, альдегідна функціональні групи, формалін, реакція «срібного дзеркала», реакція Кучерова.



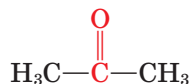
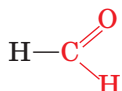
## § 29. АЛЬДЕГІДИ Й КЕТОНИ

**Склад і будова молекул.** Альдегіди й кетони належать до так званих **карбонільних сполук**, тобто таких, що містять функціональну **карбонільну групу**  $\text{—C=O}$ . У альдегідах ця група сполучена з атомом Гідрогену та з вуглеводневою групою, а в кетонах — з двома вуглеводневими групами. Загальні їх формули такі:



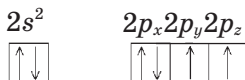
Функціональну групу  $\text{—CHO}$  називають **альдегідною**. Назва походить від слів *алкоголь* і *дегідрування* (тобто дегідрований алкоголь).

Найпростіший альдегід — **метаналь** (*мурашиний*, або *формальдегід*), найпростіший кетон — **пропанон** (*ацетон*).



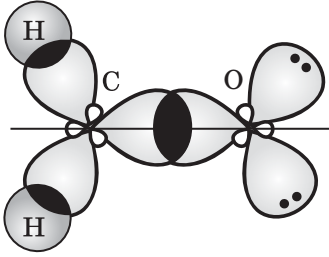
У карбонільній групі атом Карбону утворює три  $\sigma$ -зв'язки, розміщені під кутом  $120^\circ$  один до одного. Тому цілком імовірно, що атоми Карбону й Оксигену перебувають у стані  $sp^2$ -гібридизації, і  $\sigma$ -зв'язок між ними утворюється за рахунок перекривання гібридних електронних орбіталей.

Як саме відбувається  $sp^2$ -гібридизація електронних орбіталей атома Оксигену? Його електронна формула  $1s^2 2s^2 2p^4$ .

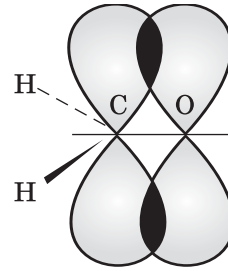


У момент утворення молекули в результаті «змішування» двох  $s$ - і трьох  $p$ -електронних орбіталей (разом п'ять) утворюються три гібридні електронні орбіталі, з яких дві несуть по два електрони, а одна — один електрон. Одноелектронна орбіталь перекривається із такою атома Карбону з утворенням  $\sigma$ -зв'язку (мал. 96).





Мал. 96. Схема утворення  $\sigma$ -зв'язків у молекулі метаналю



Мал. 97. Схема утворення  $\pi$ -зв'язку в молекулі метаналю

Негібридизовані  $p$ -електронні орбіталі атомів Карбону й Оксигену перекриваються з утворенням  $\pi$ -зв'язку (мал. 97). Так між атомами Карбону й Оксигену встановлюється подвійний зв'язок. Із подібною схемою утворення зв'язку ви ознайомилися під час вивчення будови етену.

Варто зазначити, що проблему гібридизації для атомів Оксигену в науці остаточно не розв'язано.

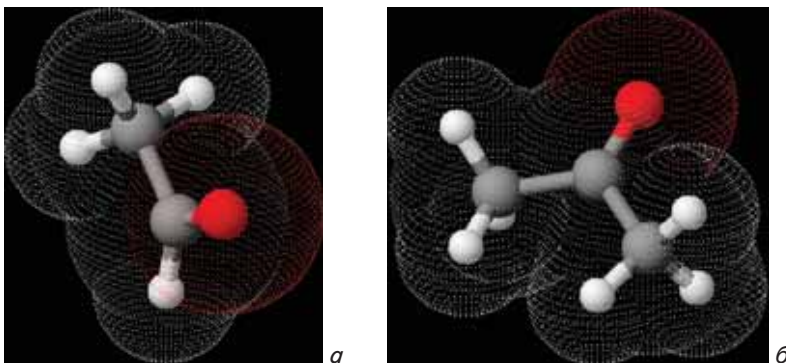
**Ізомерія. Номенклатура.** Насиченим альдегідам і кетонам властива структурна ізомерія карбонового скелета.

Складіть декілька формул структурних ізомерів альдегідів і кетонів, наведених у таблиці 14 (с. 154).

Систематичні **назви** альдегідів *утворюють від назв алканів із відповідним числом атомів Карбону додаванням суфікса -аль, назви кетонів — додаванням суфікса -он. Положення карбонільної групи в кетонах позначають цифрою перед суфіксом, пронумерувавши карбоновий ланцюг від кінця, до якого ближче розміщена ця група.*

Формули й назви деяких інших карбонільних сполук наведено в таблиці 14, масштабні моделі молекул — на мал. 98.

**Фізичні властивості.** Альдегіди й кетони — леткі рідини (метаналь — газ). Переважна більшість їх має характерний запах. Температури кипіння цих сполук нижчі порівняно зі спиртами, що засвідчує відсутність міжмолекулярних водневих зв'язків.

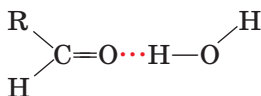


Мал. 98. Моделі молекул етаналю (а) і пропанону (б)

## Характеристики альдегідів і кетонів

Назва		Структурна формула	Температура кипіння, °C
систематична	тривіальна		
Метаналь	Мурашиний альдегід (формальдегід)	$\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{H}-\text{C}-\text{H} \end{array}$	-21
Етаналь	Оцтовий альдегід (ацетальдегід)	$\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{H}_3\text{C}-\text{C}-\text{H} \end{array}$	21
Пропаналь	Пропіоновий альдегід	$\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{H}_3\text{C}-\text{CH}_2-\text{C}-\text{H} \end{array}$	49
Бутаналь	Масляний альдегід	$\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{H}_3\text{C}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{C}-\text{H} \end{array}$	79
Пропан-2-он	Ацетон	$\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{H}_3\text{C}-\text{C}-\text{CH}_3 \end{array}$	56
Бутан-2-он	Метилетилкетон	$\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{H}_3\text{C}-\text{C}-\text{CH}_2-\text{CH}_3 \end{array}$	80
Пентан-3-он	Діетилкетон	$\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{H}_3\text{C}-\text{CH}_2-\text{C}-\text{CH}_2-\text{CH}_3 \end{array}$	102

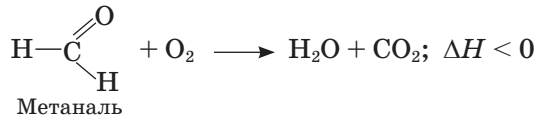
Нижчі альдегіди й кетони, у яких переважає полярна частина над неполярною (вуглеводневою групою), добре розчинні у воді, інші — розчиняються в органічних розчинниках. Між молекулами альдегідів і води утворюються водневі зв'язки:



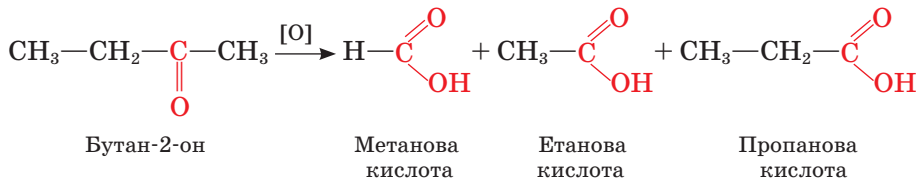
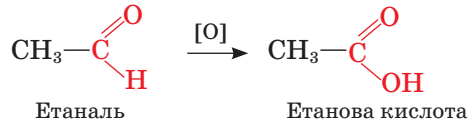
**Хімічні властивості.** Рівняння реакцій альдегідів і кетонів наведено на с. 155.

## Реакції альдегідів і кетонів

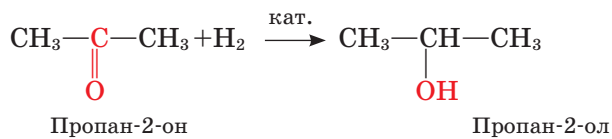
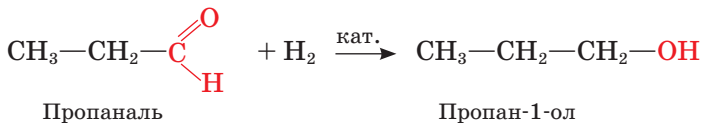
## Повне окиснення (горіння)



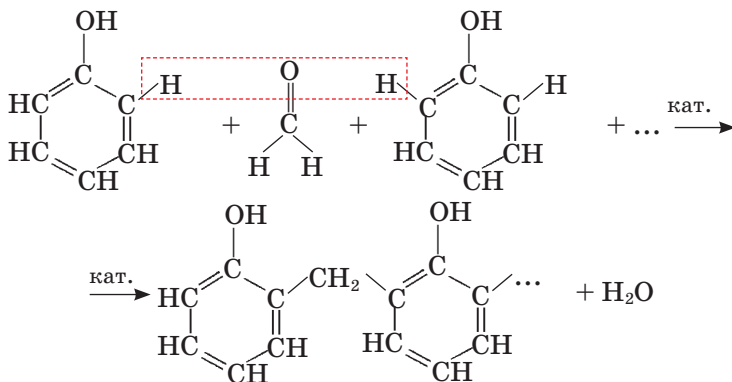
## Часткове окиснення



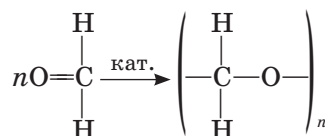
## Приєднання водню (відновлення)



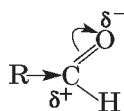
## Поліконденсація фенолу й формальдегіду



## Полімеризація



У карбонільній групі електронна густина подвійного зв'язку зміщена до електронегативного атома Оксигену, тому молекула поляризується:



Альдегіди більш полярні, ніж кетони, оскільки вуглеводневі групи кетонів зменшують частковий позитивний заряд на атомі Карбону карбонільної групи. Унаслідок цього альдегіди є хімічно активнішими сполуками порівняно з кетонами.

Альдегіди легко **окиснюються** різними окисниками до карбонових кислот. Кетони окиснюються лише сильними окисниками, причому з розривом карбон-карбонових зв'язків з обох боків карбонільної групи. У результаті утворюється суміш карбонових кислот.

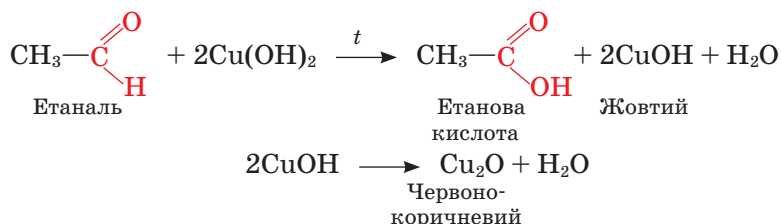
Альдегіди вступають у реакції окиснення з купрум(II) гідроксидом й амоніаковим розчином аргентум(I) оксиду.



### Лабораторний дослід 3

#### Окиснення етаналю купрум(II) гідроксидом

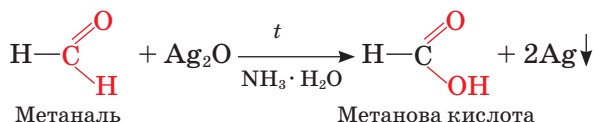
У пробірці добудьте купрум(II) гідроксид, додавши до кількох краплин розчину купрум(II) сульфату розчин натрій гідроксиду. До осаду, що утворився, додайте 1 мл розчину етаналю, суміш нагрійте. У пробірці утворюється жовтий осад купрум(I) гідроксиду, що відразу розкладається на купрум(I) оксид червоного кольору й воду:



Мал. 99. Реакція «срібного дзеркала»

#### Альдегід можна окиснити й аргентум(I) оксидом

Ретельно вимиємо пробірку содою і водою. Наллємо в неї 1 мл амоніакового розчину аргентум(I) оксиду й обережно добавимо декілька краплин розчину метаналю. Нагріємо пробірку в стакані з гарячою водою. На стінках посудини осідає металічне срібло:



Цю реакцію називають реакцією «срібного дзеркала» (мал. 99).

Проведені реакції *характерні для альдегідів*, їх використовують для аналітичного визначення цих сполук.

Зважаючи на наявність подвійного зв'язку, можна припустити, що карбонільні сполуки легко вступають у реакції **приєднання**. Приєднуючи водень, альдегіди перетворюються на первинні спирти, а кетони — на вторинні.

Отже, альдегіди й кетони відновлюються до спиртів. З іншого боку, спирт можна окиснити до альдегіду.

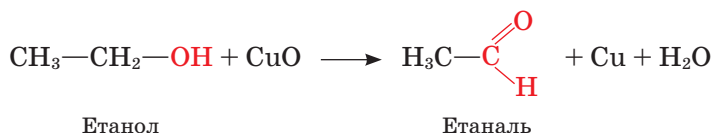


#### Лабораторний дослід 4

#### Окиснення спирту до альдегіду

Мідний дріт розжарте в полум'ї спиртівки. Коли він вкриється мідною окалиною (CuO), опустіть його у пробірку з етанолом. Відчувається характерний запах етаналю.

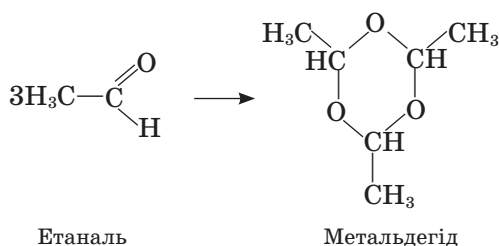
Зверніть увагу на колір мідного дроту — окалина відновилася до металічної міді:



Доповніть свої записи в темі «Спирти» інформацією про властивість спиртів окиснюватися до альдегідів, запишіть відповідне рівняння реакції.

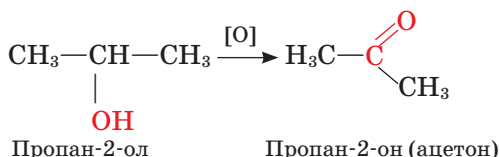
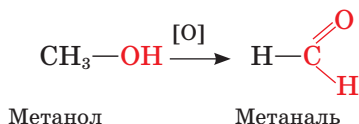
Розглянуті реакції окиснення й відновлення важливі для здійснення взаємних перетворень речовин різних класів.

Альдегіди можуть вступати в реакції **полімеризації** та **поліконденсації**. Якщо сполучаються три молекули етаналю, то утворюється тример, так званий *метальдегід*, що використовують як сухе паливо під назвою «сухий спирт»:

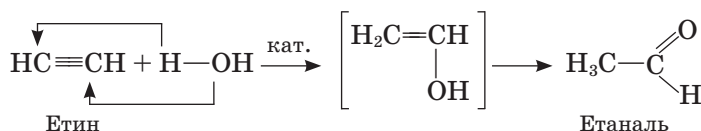


На відміну від полімеризації внаслідок реакції поліконденсації не лише утворюється полімер, а й виділяється низькомолекулярна речовина, наприклад вода. Значний практичний інтерес становить реакція поліконденсації формальдегіду й фенолу, в результаті якої утворюється цінний полімер — *феноло-формальдегідна смола*.

**Добування.** Загальний метод добування альдегідів і кетонів — *окиснення спиртів*: первинних — до альдегідів, вторинних — до кетонів. Метаналь утворюється окисненням метанолу, етаналь — окисненням етанолу, ацетон — окисненням пропан-2-олу:

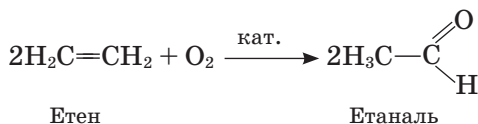


Етаналь добувають також *гідратацією етину* за наявності каталізатора — суміші сульфатної кислоти й меркурій(II) сульфату. Цю реакцію відкрив російський учений М. Г. Кучеров у 1881 р.:



Реакція відбувається через утворення проміжного продукту — вінілового спирту. Проте сполука з гідроксигрупою біля атома, сполученого подвійним зв'язком, нестійка, тому відбувається її ізомеризація в альдегід.

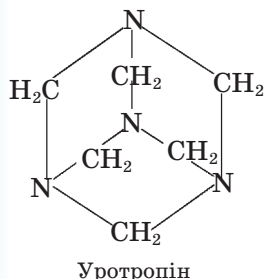
Оскільки сполуки Меркурію токсичні, було розроблено інший спосіб добування етаналю — окисненням етену, що є доступнішою сировиною:



**Застосування.** Водний розчин метаналю (формальдегіду) (36 — 37 % -й) із домішкою метанолу називають *формаліном* і застосовують як засіб для дезінфекції та консервант анатомічних препаратів.

Формальдегід є також сировиною для виробництва фенолоформальдегідних пластмас.

Із метаналю й амоніаку добувають уротропін (гексаметилентетрамін), який використовують у виробництві пластмас, вибухівки та як лікарський засіб. Сполука є харчовою добавкою (консервант Е 239), використання її в Україні заборонено.



**Етаналь** (оцтовий альдегід) використовують для добування етанової (оцтової) кислоти. У невеликих кількостях він утворюється під час обміну речовин в організмі людини, зокрема в результаті метаболізму алкоголю. Надлишок ацетальдегіду дуже шкідливий і викликає неприємні відчуття, це використовується для лікування від алкоголізму.

**Пропан-2-он** (ацетон) — добрий розчинник лаків і нітроцелюлози; використовують його також у синтезі лікарських засобів.



Мал. 100. Кетон гептан-2-он зумовлює запах сиру



Мал. 101. У складі деяких плодів є бензальдегід

Альдегіди й кетони зумовлюють запах і смак деяких харчових продуктів: наприклад, гептан-2-он — запах сиру, а бензальдегід (похідна бензену) — деяких фруктів (мал. 100, 101). Складіть формули цих сполук.

## Висновки

- Альдегіди й кетони містять функціональну карбонільну групу.
- У карбонільній групі атоми Карбону й Оксигену перебувають у стані  $sp^2$ -гібридизації.
- Подвійний зв'язок карбонільної групи поляризований за рахунок зміщення електронної густини до атома Оксигену.
- Нижчі альдегіди й кетони утворюють водневі зв'язки з водою.
- Наявність полярної карбонільної групи й подвійного зв'язку визначає хімічну активність альдегідів і кетонів, причому альдегіди значно активніші за кетони.
- Альдегіди легко окиснюються до карбонових кислот, відновлюються до первинних спиртів, здатні до реакцій полімеризації.
- Кетони відновлюються до вторинних спиртів і окиснюються з розриванням хімічних зв'язків і утворенням сумішей карбонових кислот.
- Реакції з купрум(II) гідроксидом та амоніаковим розчином аргентум(I) оксиду використовують для аналітичного визначення альдегідів.
- Загальний спосіб добування альдегідів і кетонів — окиснення спиртів. Ацетальдегід добувають також гідратацією етину.
- Формальдегід є сировиною для виробництва пластмас; етаналь — сировина для виробництва етанової кислоти; пропанон використовують як розчинник.



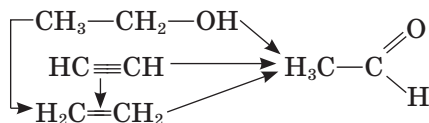
## Завдання для самоконтролю

1. Яку функціональну групу називають карбонільною?
2. Що таке альдегідна група?
3. У чому полягає відмінність хімічної будови альдегідів і кетонів?
4. Поясніть утворення  $sp^2$ -гібридних електронних орбіталей атома Оксигену.

5. Поясніть утворення подвійного зв'язку в карбонільній групі.
6. Чи можливі водневі зв'язки між молекулами: альдегідів; кетонів; альдегідів і води; кетонів і води?
7. Чим зумовлена хімічна активність альдегідів?
8. Чому кетони менш активні порівняно з альдегідами?
9. Наведіть рівняння реакцій приєднання за місцем подвійного зв'язку в карбонільній групі.
10. До яких сполук відбувається окиснення: альдегідів; кетонів?
11. Які реакції використовують для розпізнавання альдегідів?
12. Що таке реакція Кучерова? Як вона відбувається?
13. Який спосіб добування етанолу є найбільш перспективним?

### Додаткові завдання

14. Чому в назвах альдегідів, на відміну від кетонів, не зазначають місце функціональної групи?
15. Поясніть причину відмінності температур кипіння сполук з близькими відносними молекулярними масами:  
пентан +36 °С, бутаналь +79 °С, бутан-1-ол +117,4 °С.
16. Укажіть продукти часткового окиснення пропан-2-ону.  
  - А метанова кислота
  - Б етанова кислота
  - В пропанова кислота
  - Г етанол
17. Які продукти утворюються в результаті поступового гідрування альдегіду акролеїну  $\text{H}_2\text{C}=\text{CH}-\text{CHO}$ ? Складіть рівняння реакцій, назвіть продукти. Які властивості речовин виявляються в цих реакціях?
18. Складіть рівняння реакцій за схемою:



19. Як хімічним способом розрізнити гліцерол і етаналь?
20. Як хімічним способом розпізнати етанол?
21. Як двома способами добути етанол з етину?
22. Складіть рівняння реакцій за наведеною схемою перетворень:  
Етаналь  $\rightarrow$  А  $\rightarrow$  Етен  $\rightarrow$  Б  $\rightarrow$  Бутан.
23. Альдегід масою 2,4 г прореагував із амоніаковим розчином аргентум(І) оксиду, при цьому виділилося срібло масою 14,4 г. Визначте хімічний склад альдегіду і напишіть його структурну формулу, а також формулу ізомеру.
24. У реакції «срібного дзеркала» з розчину етанолу масою 10 г було відновлено срібло масою 7,2 г. Визначте відсотковий уміст розчину.
25. У результаті окиснення пропан-2-олу утворився пропан-2-он. Визначте суму коефіцієнтів у рівнянні реакції.  
  - А 20
  - Б 30
  - В 14
  - Г 7



26. Альдегіди — токсичні сполуки, завдають шкоди нервовій системі, здатні накопичуватись в організмі. Водночас вони містяться в автомобільних вихлопних газах, а етанол є продуктом анаболізму алкоголю. Підготуйте повідомлення про користь і шкоду альдегідів.



## § 30. НАСИЧЕНІ ОДНООСНОВНІ КАРБОНОВІ КИСЛОТИ

### Нові поняття й терміни:

димер, ангідрид, хлорангідрид.

**Склад і будова молекул. Номенклатура.** Вам відомо, що до **карбонових кислот** належать сполуки, у молекулах яких вуглеводнева група з'єднана з

функціональною **карбоксильною групою**  $\text{—C} \begin{matrix} \text{O} \\ \parallel \\ \text{OH} \end{matrix}$ . Пригадайте, що її назва походить від назв двох груп, із яких вона склада-

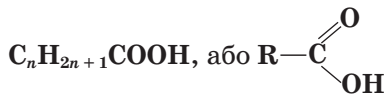
ється: **карбонільної**  $\text{—C} \begin{matrix} \text{O} \\ \parallel \end{matrix}$  та **гідроксильної**  $\text{—OH}$ .

Схему утворення  $\sigma$ -зв'язків у карбоксильній групі представлено на мал. 102, а  $\pi$ -зв'язку в карбонільній — на мал. 103.

Порівняйте ці схеми з подібними для спиртів і альдегідів. Відповідь поясніть.

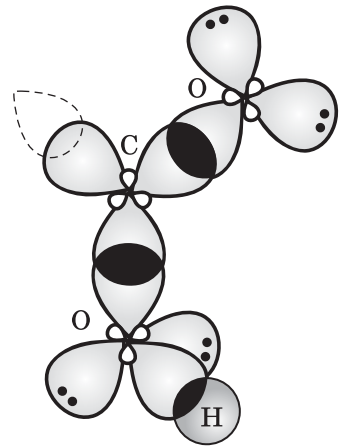
Залежно від кількості карбоксильних груп у молекулі розрізняють *одно-, дво-, багатоосновні карбонові кислоти*, залежно від будови вуглеводневого ланцюга — *насичені, ненасичені, ароматичні кислоти*. Розглянемо *насичені одноосновні карбонові кислоти* (їх характеристики наведено в таблиці 15 (с. 163), модель молекули етанової кислоти — на мал. 104 на с. 162).

Загальна формула цих сполук:

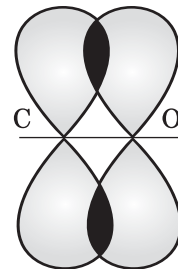


У найпростішій карбоневій кислоті — **метановій** (мурашиній) — карбоксильна група сполучена з атомом Гідрогену (порівняйте хімічну будову метанолу й метанової кислоти).

Тривіальні **назви** карбонових кислот часто



Мал. 102. Схема утворення  $\sigma$ -зв'язків у карбоксильній групі



Мал. 103. Схема утворення  $\pi$ -зв'язку в карбонільній групі



Мал. 104. Модель молекули етанової кислоти



Мал. 105. Чиста («льодяна») етанова кислота замерзає за температури 16,7 °С

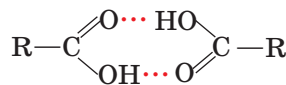
відбивають їх походження, а за систематичною номенклатурою *назви утворюють від назв вуглеводнів додаванням суфікса -ов, закінчення -а та слова кислота*.

Із деякими карбоновими кислотами вам доводилося стикатися. Пекучий біль від укусу мурашки спричинений мурашиною кислотою, яка входить до складу отрути, що її виділяє комаха. Столовий оцет — це розчин етанової (оцтової) кислоти. Масляна кислота надає неприємних запаху і смаку згірклому вершковому маслу, вона виділяється також потовими залозами людини.

**Фізичні властивості.** Перші три кислоти в гомологічному ряду за стандартних умов — рідини з різким кислим запахом, добре розчинні у воді; наступні шість — оліїсті рідини з неприємним запахом; починаючи з кислоти з десятьма атомами Карбону в молекулі — тверді речовини (див. табл. 15, мал. 105). Розчинність карбонових кислот у воді зменшується зі зростанням відносної молекулярної маси, вищі карбонові кислоти нерозчинні у воді.

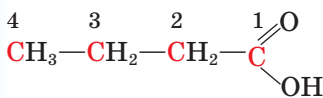
Порівнюючи температури кипіння карбонових кислот і близьких за відносними молекулярними масами спиртів, можна виявити, що кислоти киплять за значно вищих температур, отже, вони ще більше асоційовані, ніж спирти. Справді,

водневі зв'язки між молекулами карбонових кислот устанавлюються за двома центрами, унаслідок чого утворюються димери:

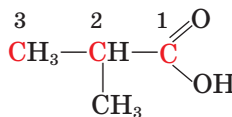


На розрив таких зв'язків і руйнування асоціатів треба затратити додаткову енергію, що спричиняє підвищення температур кипіння цих сполук.

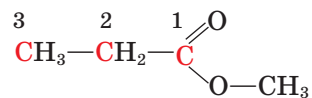
**Ізомерія** карбонових кислот зумовлена *структурною ізомерією* вуглеводневого ланцюга та *міжкласовою ізомерією* карбонові кислоти — естери:



Бутанова кислота



2-Метилпропанова кислота



Метильовий естер пропанової кислоти (метилпропаноат)

**Хімічні властивості.** Рівняння реакцій карбонових кислот наведено на с. 164. Їхні хімічні властивості визначаються наявністю функціональної карбоксильної групи, яка формально поєднує в собі дві групи — карбоніль-

Таблиця 15

## Характеристики насичених одноосновних карбонових кислот

Назва		Структурна формула	Температура, °С		K <sub>дис</sub> · 10 <sup>5</sup> (25 °С)
систематична	тривіальна		плавлення	кипіння	
Метанова	Мурашина (форміатна)		8	101	17,7
Етанова	Оцтова		17	118	1,8
Пропанова	Пропіонова		-21	141	1,3
Бутанова	Масляна		-5—8	164	1,5
Пентанова	Валеріанова		-35	185	1,6
Гексанова	Капронова		3—4	205	1,4
Гептанова	Енантова		7—10	223	1,4
Гексадеканова	Пальмітинова		62—64	215	—
Октадеканова	Стеаринова		69—70	232	—

ну й гідроксильну. Проте це якісно нова група, властивості якої не є сумою властивостей карбонільної та гідроксильної груп, оскільки вони впливають одна на одну.

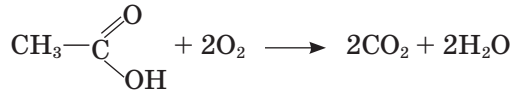
Цей вплив виявляється в тому, що в карбоксильній групі електронна густина хімічного зв'язку зміщується до карбонільного атома Оксигену, внаслідок цього зв'язок O—H поляризується, і атом Гідрогену набуває здатності відщеплюватись у вигляді протона:

## Реакції насичених одноосновних карбонових кислот

### Електролітична дисоціація



### Повне окиснення



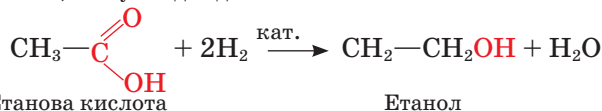
Етанова кислота

### Часткове окиснення

Стойкі проти дії окисників (крім мурашиної кислоти)

### Відновлення

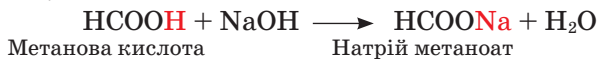
Відбувається важче, ніж у альдегідів



Етанова кислота

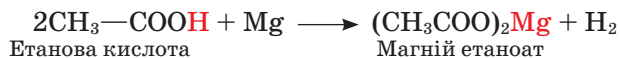
Етанол

### Нейтралізація



### Заміщення

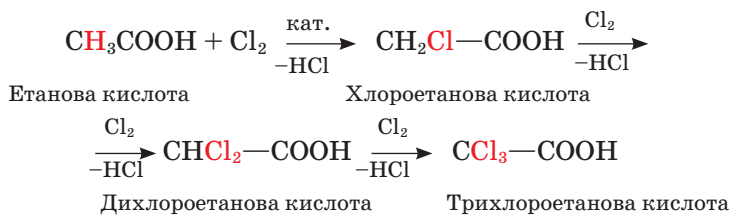
за карбоксильною групою:



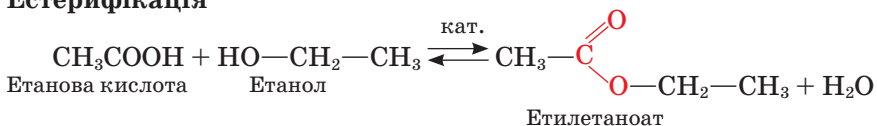
Етанова кислота

Магній етаноат

за вуглеводневою групою:

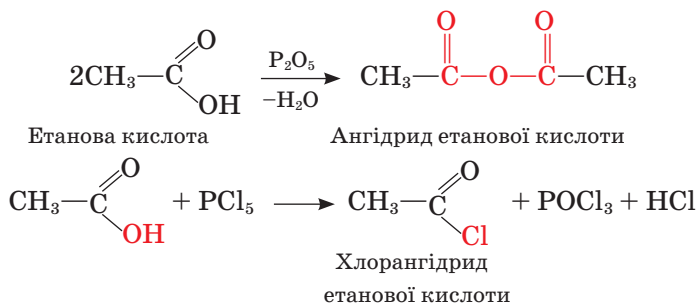


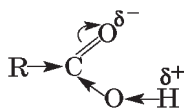
### Естерифікація



Етилetanoat

### Утворення ангідридів і хлорангідридів



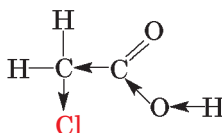


Це зумовлює **кислотні** властивості карбонових кислот. Їхні розчини мають кислий смак, змінюють забарвлення індикаторів, що засвідчує перебіг електролітичної дисоціації.

Перевіримо дію етанової кислоти на індикатори. У дві пробірки наллємо розчин етанової кислоти об'ємом 1—2 мл. В одну з них добавимо кілька краплин розчину лакмусу, в іншу — розчин метилового оранжевого. Спостерігаємо зміну забарвлення індикаторів.

Проте карбонові кислоти (крім метанової) — слабкі електроліти, мають низькі ступені дисоціації (див. табл. 15). Через це в рівняннях йонних реакцій формули карбонових кислот записують у молекулярному вигляді.

Кислотність карбонових кислот зростає, якщо у вуглеводневій групі з'являється замісник, здатний притягувати до себе електронну густину (створювати негативний індукційний ефект), наприклад атом галогену:

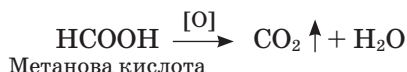


Хлороетанова кислота

Хлороетанова кислота значно сильніша за етанову, а трихлороетанова кислота належить до сильних кислот, подібна до сульфатної.

Складіть схему зміщення електронної густини в молекулі трихлороетанової кислоти.

Як вам уже відомо, карбонові кислоти можуть утворюватися в результаті окиснення вуглеводнів, спиртів, альдегідів, проте самі вони (за винятком мурашиної) **стійкі проти дії окисників**. Метанова кислота окиснюється (наприклад, калій перманганатом) до карбонатої кислоти, що розкладається на вуглекислий газ і воду:



**Відновлюються** карбонові кислоти до спиртів у жорстких умовах (за участі каталізаторів).

Карбонові кислоти подібно до неорганічних взаємодіють із активними металами, основними оксидами й основами, солями слабших кислот і утворюють сполуки з йонним зв'язком — солі.

Якщо до розчину етанової кислоти у пробірці добавити порошок магнію або ошурки магнію, можна спостерігати виділення газу.

Як довести, що цей газ — водень? Складіть рівняння реакції.

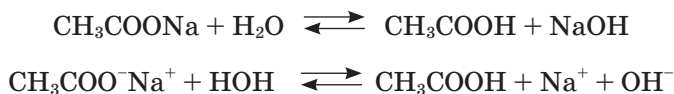
У пробірку з розчином натрій гідроксиду об'ємом 1—2 мл добавимо декілька краплин розчину фенолфталеїну. До забарвленого розчину по краплях добавимо розчин етанової кислоти до знебарвлення вмісту пробірки.

Що засвідчує цей дослід? Складіть рівняння реакції.

Із побуту вам відома взаємодія питної соди з оцтом. Поясніть реакцію, що відбувається. Складіть рівняння реакції.

Загальна назва солей етанової (оцтової) кислоти — *етаноати* (традиційна — *ацетати*).

Солі карбонових кислот, як солі слабких кислот, здатні до гідролізу:



Визначте експериментально, яку реакцію мають розчини солей етанової кислоти.

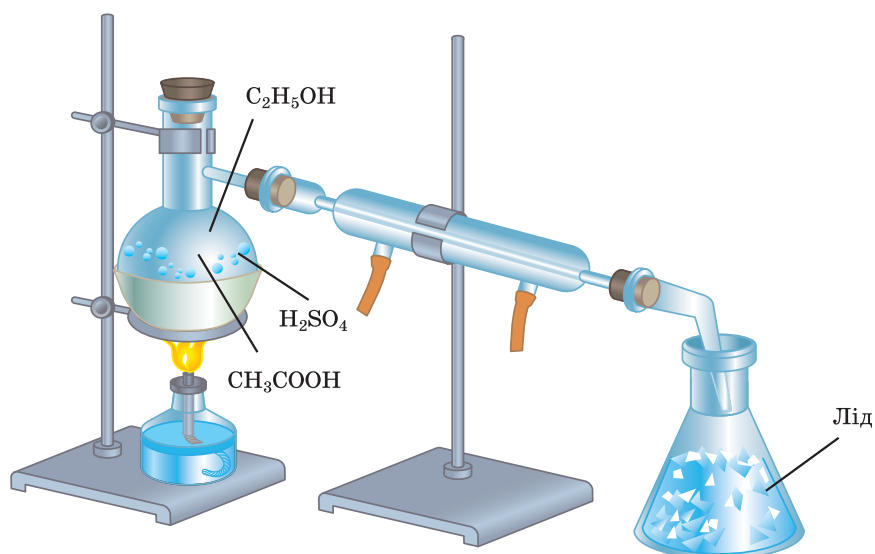
Карбонові кислоти вступають і в специфічні реакції. Унаслідок зміщення електронної густини до карбоксильної групи атоми Гідрогену біля найближчого атома Карбону також набувають рухливості. Під дією хлору чи броду та за наявності каталізатора вони **заміщуються** на атоми галогену.

Карбонові кислоти реагують зі спиртами. За нагрівання та наявності каталізатора (сульфатної кислоти) відбувається реакція **естерифікації**.

До суміші етанолу із сульфатною кислотою додамемо етанової кислоти й суміш нагріємо. Пошириться приємний запах, це засвідчує утворення речовини, що належить до класу *естерів*.

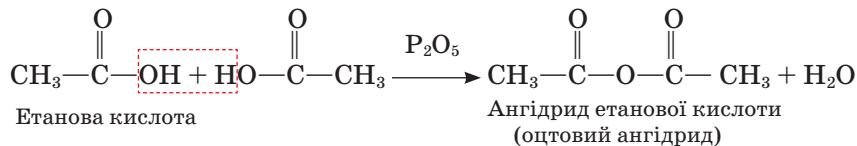
Якщо реакцію проводити у приладі, зображеному на мал. 106, продукт реакції, як летку сполуку, можна зібрати під шаром льоду. Про естери йтиметься в наступній темі.

Своєрідними реакціями карбонових кислот є їхня здатність утворювати ангідриди й хлорангідриди.



Мал. 106. Добування естеру в лабораторії

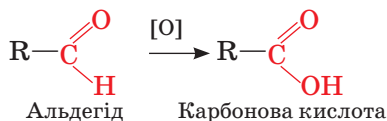
Утворення **ангідридів** (від **ан...** і грец. ύδωρ — вода) — це реакція міжмолекулярної дегідратації, що відбувається за наявності водопоглинальних засобів, наприклад фосфор(V) оксиду:



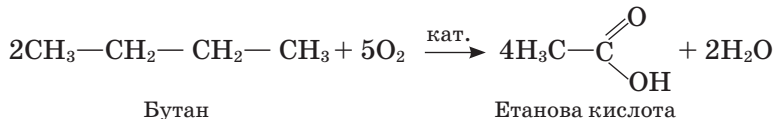
Інакше діє на карбонові кислоти фосфор(V) хлорид — у результаті утворюються **хлорангідриди** карбонових кислот. У цій реакції гідроксильна група кислоти заміщується на атом Хлору.

Ангідриди й хлорангідриди належать до хімічно активних речовин. Це зумовлює їх застосування в органічному синтезі.

**Добування.** Загальний спосіб добування карбонових кислот — *окиснення первинних спиртів та альдегідів* такими окисниками, як калій перманганат, калій дихромат, нітратна кислота:



Існують промислові способи добування карбонових кислот *окисненням алканів* киснем повітря за наявності каталізаторів. Під час реакції розриваються карбон-карбонів зв'язки, і в результаті утворюється суміш оксигеновмісних сполук, з якої виділяють карбонові кислоти:



Доступність вуглеводневої сировини забезпечує перспективність цього способу.

Які ще карбонові кислоти можуть утворитися в результаті наведеної реакції? Складіть відповідні рівняння реакцій.



### Завдання для самоконтролю

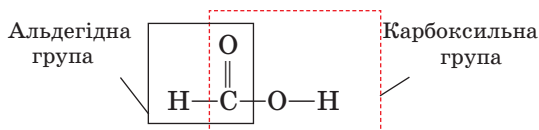
1. Які сполуки належать до класу карбонових кислот?
2. Поясніть за мал. 102 і 103 утворення хімічних зв'язків у карбоксильній групі.
3. Поясніть розподіл електронної густини в карбоксильній групі.
4. Складіть формули ізомерів масляної кислоти.
5. Чому карбонові кислоти мають вищі температури кипіння порівняно зі спиртами близької відносної молекулярної маси?
6. Поясніть утворення водневих зв'язків між молекулами карбонових кислот.
7. Чому хлороетанова кислота сильніша за етанову? Відповідь поясніть.
8. Назвіть типи хімічних зв'язків у натрії етаноаті.

9. Натрієву сіль трихлороетанової кислоти використовують як гербіцид. Складіть формулу цієї сполуки.
10. Плюмбум(II) етаноат — отруйну речовину — називають ще «свинцевим цукром» за солодкий смак. Складіть формулу сполуки.
11. У яких реакціях карбонові кислоти поведуться подібно до неорганічних? Складіть рівняння реакцій.
12. Етанова кислота витискує карбонатну кислоту з її солей. Про що це свідчить? Складіть рівняння реакції.
13. Назвіть специфічні реакції карбонових кислот. Складіть рівняння реакцій.
14. Поясніть відношення карбонових кислот до окисників і відновників.
15. Укажіть способи добування карбонових кислот.
  - А гідрування етену    В дегідратація спиртів
  - Б окиснення парафінів    Г окиснення альдегідів
16. Складіть рівняння за такою схемою хімічних перетворень:  
 Етанол → Етаналь → Етанова кислота → Цинк етаноат.

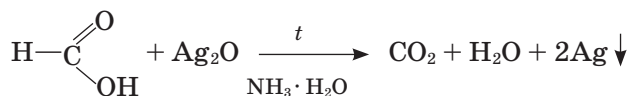


## § 31. ОКРЕМІ ПРЕДСТАВНИКИ КАРБОНОВИХ КИСЛОТ

**Метанова** (форміатна, мурашина) кислота. Ця сполука має особливості порівняно з іншими карбоновими кислотами, оскільки в її молекулі поєднані альдегідна й карбоксильна групи:



Альдегідна група зумовлює відновні властивості метанової кислоти. Наприклад, вона відновлює срібло з амоніакового розчину аргентум(I) оксиду, а сама окиснюється при цьому до карбонатної кислоти, що відразу розкладається на вуглекислий газ і воду:



Проведемо цю реакцію. У ретельно вимиту колбу чи пробірку наллємо амоніаковий розчин аргентум(I) оксиду, до нього обережно по стінках посудини доллємо 1 мл розчину метанової кислоти й злегка нагріємо суміш. Утвориться «срібне дзеркало» на стінках колби або випаде чорний осад металічного срібла.

Складіть рівняння реакцій метанової кислоти за карбоксильною групою.

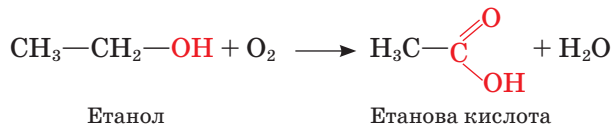
Мурашину кислоту використовують як відновник у техніці, як протраву під час фарбування тканин. Хворі на невралгію використовують 1 %-й



розчин мурашиної кислоти в етиловому спирті (мурашиний спирт) для розтирання; бджолярі використовують мурашину кислоту для боротьби з хворобами бджіл. Завдяки бактерицидним властивостям мурашина кислота є консервантом зелених кормів для худоби. Широко застосовують мурашину кислоту в органічному синтезі.

**Етанова** (ацетатна, оцтова) кислота — найвідоміша з карбонових кислот, що пов'язано передусім з її застосуванням у харчовій промисловості як консерванту й смакової приправи (9 %-й розчин). У вигляді винного оцту вона відома людям здавна, оскільки утворюється внаслідок бродіння (скисання) вина.

Який хімізм цього процесу? Вам уже відомо, що внаслідок реакції бродіння глюкози утворюється етанол. Але за умови доступу кисню процес на цьому не припиняється, й етанол окиснюється до етанової кислоти:



Отже, за наявності кисню спиртове бродіння переходить у оцтовокисле.

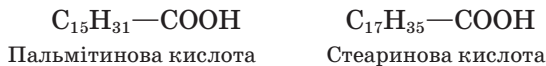
Незважаючи на широке застосування, оцтову кислоту було виділено майже в чистому вигляді лише у XVIII ст., на початку XIX ст. визначено її хімічний склад, а структурну формулу — в середині XIX ст.

Етанову кислоту для технічних потреб добувають окисненням етанолу, бутану, виділяють із продуктів переробки деревини (термічний розклад).

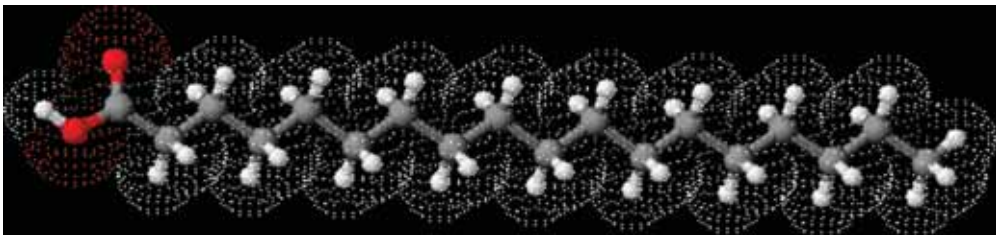
Складіть рівняння згаданих реакцій окиснення.

Галузі застосування етанової кислоти — органічний синтез, виробництво штучного шовку, лікарських засобів, засобів захисту рослин, харчова промисловість.

**Пальмітинова** й **стеаринова** кислоти належать до вищих насичених карбонових кислот. Вуглеводневі ланцюги становлять значну частину їхніх молекул. У пальмітиновій кислоті в цьому ланцюзі міститься п'ятнадцять послідовно сполучених атомів Карбону, в стеариновій — сімнадцять:



Модель молекули стеаринової кислоти наведено на мал. 107.



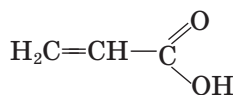
Мал. 107. Модель молекули стеаринової кислоти

Складіть структурні формули цих кислот.

Вищі карбонові кислоти становлять інтерес тому, що беруть участь в утворенні жирів, а натрієві та калієві солі є основою мила (відповідно твердого й рідкого).

Складіть формулу солі натрій стеариноату (твердого мила).

**Ненасичені** карбонові кислоти містять у вуглеводневій частині кратні зв'язки. Найпростіша з таких кислот — **акрилова**:



Акрилова кислота

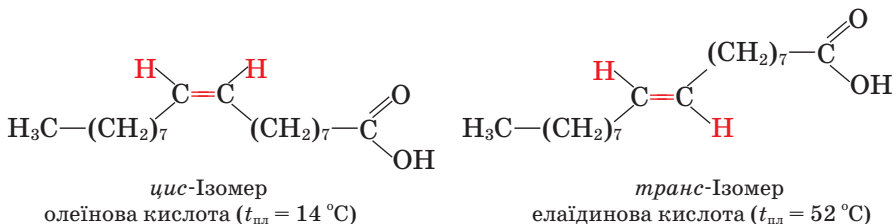
**Олеїнова кислота** належить до вищих ненасичених карбонових кислот:



Олеїнова кислота

Складіть загальну формулу олеїнової кислоти, порівняйте її з формулою стеаринової кислоти.

Олеїнова кислота існує у вигляді двох геометричних ізомерів: *цис*-ізомер — це власне *олеїнова* кислота, а *транс*-ізомер — *елаїдинова*:



За карбоксильною групою ненасичені кислоти вступають у такі самі реакції, як і насичені, з утворенням солей, естерів, ангідридів тощо.

За кратним зв'язком ці кислоти здатні до реакцій приєднання й окиснення.



### Лабораторний дослід 5 (проводиться віртуально)

#### Відношення олеїнової кислоти до бромної води й розчину калій перманганату

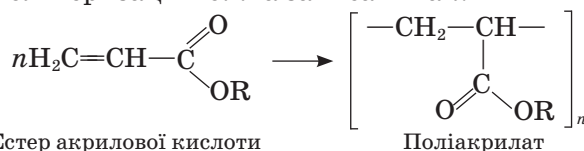
У дві пробірки налейте по декілька мілілітрів олеїнової кислоти, додайте в одну з них такий самий об'єм бромної води, у другу — розчин калій перманганату. Спостерігайте зміну забарвлення.

Що засвідчують ці досліді?

Складіть рівняння реакції олеїнової кислоти з бромом.

Ненасичені кислоти можуть утворювати полімери. Важливими поліме-

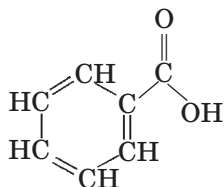
рами на основі естерів акрилової кислоти є поліакрилати. У загальному вигляді реакцію полімеризації можна записати так:



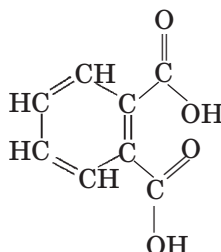
Естер акрилової кислоти

Поліакрилат

До **ароматичних** карбонових кислот належать **бензойна і фталева**:



Бензойна кислота



Фталева кислота

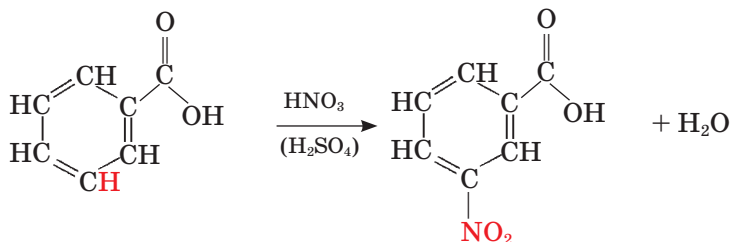
Це безбарвні кристалічні речовини. Бензойна кислота цікава тим, що легко сублимує. Складемо прилад для сублимації. На дно великої пробірки покладемо невелику кількість кристалів бензойної кислоти. Усередині закріпимо через пробку малу пробірку з холодною водою. Під час нагрівання бензойна кислота сублимує і кристалізується на поверхні малої пробірки (мал. 108).



Мал. 108. Сублимація бензойної кислоти

За карбоксильною групою бензойна і фталева кислоти вступають у типові реакції карбонових кислот: нейтралізації, естерифікації тощо.

Ароматичне вуглеводневе ядро також бере участь у хімічних реакціях, а саме в реакціях заміщення. Карбоксильна група як орієтант II роду спрямовує заміщувальну групу в *мета*-положення відносно себе:

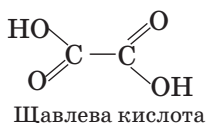


Бензойна кислота

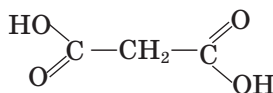
*мета*-Нітробензойна кислота

Бензойна кислота у вигляді естерів міститься в деяких оліях. Застосовують її для виробництва ароматичних речовин, барвників, ліків, як антисептичний і протигрибковий засіб у медицині, як харчову добавку (консервант Е 210).

**Щавлева та маленова** кислоти — найпростіші серед **дикарбонових** кислот:



Щавлева кислота



Маленова кислота

Ці кислоти утворюють функціональні похідні подібно до монокарбонових кислот як за однією, так і за двома карбоксильними групами. Наприклад, існують два ряди солей — кислі й середні:



Цікавим із хімічного погляду є відношення дикарбонових кислот до нагрівання: щавлева й маленова кислоти розкладаються з утворенням монокарбонових кислот і вуглекислого газу:



Солі щавлевої (оксалатної) кислоти — оксалати містяться в багатьох рослинах, зокрема у щавлі, салаті. Нерозчинні у воді оксалати Кальцію в разі порушеного обміну речовин в організмі можуть відкладатися в нирках, спричиняючи нирково-кам'яну хворобу.

Щавлеву кислоту використовують для знищення іржі та накипу на металевих виробках, а також як протраву в шкіряному виробництві.

Деякі карбонові кислоти і їхні солі використовують як харчові добавки (консерванти й регулятори кислотності) у процесах виготовлення рибних пресервів, повидла, мармеладу, вина й безалкогольних напоїв, соусів, борошна та ін. Їх позначають так: метанова кислота та її солі — Е 236—238, етанова — Е 260—264, пропанова — Е 280—283, бензойна — Е 210—213.



## Завдання для самоконтролю

1. Поясніть, як саме хімічна будова молекули метанової кислоти позначається на її властивостях.
2. Що таке оцет із погляду хімії?
3. За яких умов відбувається оцтовокисле бродіння?
4. Установіть відповідність між кислотою та її характеристикою.

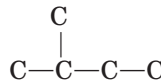
Назва кислоти	Характеристика кислоти
	А вступає в реакцію «срібного дзеркала»
1 олеїнова	Б ненасичена
2 щавлева	В ароматична
3 бензойна	Г дикарбонова
4 стеаринова	Д утворює мило

- У чому полягає відмінність між олеїною та елаїдиною кислотами?
- Які реакції відбуваються внаслідок нагрівання дикарбонових кислот?
- Доведіть на прикладах різноманітність карбонових кислот. Чим вона зумовлена?
- Обґрунтуйте галузі застосування карбонових кислот їхніми властивостями.
- Диметиловий естер фталевої кислоти (диметилфталат) використовують як засіб для відлякування комах. Складіть формулу цієї сполуки.
- Фталева кислота має *para*-ізомер. Складіть формулу цієї сполуки.
- Наведіть приклади органічних сполук, що містять йонні зв'язки.
- Установіть відповідність між формулами речовин і класами, до яких вони належать.

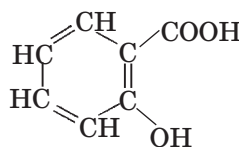
Формула речовини	Клас речовин
1 $C_2H_5CHO$	А гліколи
2 $C_6H_5COOH$	Б естери
3 $C_4H_9OH$	В карбонові кислоти
4 $C_2H_5COOCH_3$	Г спирти
	Д альдегіди

### Додаткові завдання

- Складіть формули монокарбонових кислот з таким скелетом:



- Вищі карбонові кислоти нерозчинні у воді, хоча це полярні сполуки. Поясніть причину явища.
- Чи є карбоксильна група сумою двох функціональних груп — карбонільної та гідроксильної? Відповідь обґрунтуйте.
- Порівняйте хімічні властивості спиртів, альдегідів і карбонових кислот. У чому полягає взаємний вплив атомів у карбоксильній групі?
- Яка кислота сильніша: хлороетанова чи дихлороетанова; хлороетанова чи флуороетанова?
- Яка речовина більшою мірою виявляє кислотні властивості: бензойна чи *meta*-хлоробензойна кислота? Поясніть на основі взаємного впливу атомів у молекулі.
- Яка реакція відбуватиметься швидше — між магнієм і сульфатною кислотою чи між магнієм і етановою кислотою? Відповідь поясніть.
- Як відбуватиметься реакція саліцилової кислоти



з лугом? Складіть рівняння реакції та поясніть відповідь.

21. Складіть рівняння послідовних хімічних перетворень: від метану до етанової кислоти; від етену до етанової кислоти.
22. Запропонуйте спосіб добування бензойної кислоти.
23. Чи можлива *цис*-, *транс*-ізомерія акрилової кислоти?
24. Складіть рівняння реакцій акрилової кислоти: повне окиснення; приєднання водню, хлору; полімеризація; нейтралізація; естерифікація (утворення акрилату).
25. Складіть рівняння хімічних реакцій бензойної кислоти.
26. Парафін — це суміш вищих насичених вуглеводнів, стеарин — суміш стеаринової, пальмітинової та незначної кількості олеїнової кислот. Запропонуйте хімічний спосіб розпізнавання парафіну й стеарину.
27. Ангідрид фталевої кислоти утворюється внаслідок відщеплення молекули води від двох карбоксильних груп. Складіть схему утворення цієї сполуки. Перевірте правильність відповіді за довідником.
28. Складіть рівняння реакцій за такою схемою перетворень:
 
$$\text{C}_2\text{H}_5\text{Br} \rightarrow \text{C}_2\text{H}_5\text{OH} \rightarrow \text{CH}_3\text{CHO} \rightarrow \text{CH}_3\text{COOH} \rightarrow \text{CH}_3\text{COCl}$$
29. Обчисліть масу безводної етанової кислоти та її 10 %-го розчину, що їх треба використати для приготування 80 %-го розчину етанової кислоти масою 225 г.

## Висновки

- Молекули карбонових кислот містять функціональну карбоксильну групу.
- За кількістю карбоксильних груп розрізняють моно-, ди-, полікарбонові кислоти, за характером вуглеводневої групи — насичені, ненасичені, ароматичні карбонові кислоти.
- Загальна формула одноосновних карбонових кислот  $\text{C}_n\text{H}_{2n+1}\text{COOH}$ .
- Одноосновні карбонові кислоти ізомерні естерам.
- Карбонові кислоти утворюють асоціати (димери) внаслідок установаження водневих зв'язків.
- Карбоксильна група полярна, через це полегшується відщеплення Гідрогену гідроксильної групи, тобто сполука набуває кислотних властивостей.
- Карбонові кислоти належать до слабких кислот (метанова — середньої сили).
- Карбонові кислоти взаємодіють із металами, основами, основними оксидами, солями, індикаторами, спиртами, утворюють ангідриди і галогенангідриди.
- Мило — це натрієва або калієва сіль вищої карбонової кислоти.
- Одноосновні карбонові кислоти добувають окисненням альдегідів, спиртів, алканів.

# Естери. Жири. Мило

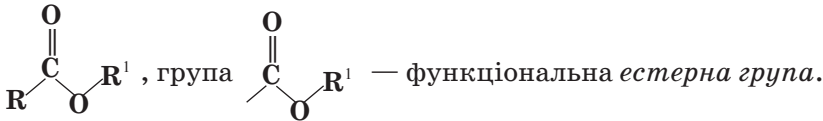
## Нові поняття й терміни:

функціональна естерна група, тригліцерид, реакція омилення, синтетичні мийні засоби, детергенти, поверхнево-активні речовини, біодизель.

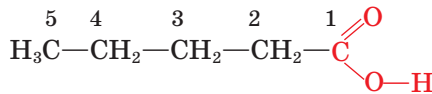
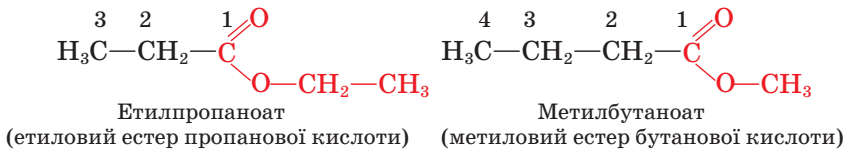


## § 32. ЕСТЕРИ

**Склад і будова молекул. Ізомерія. Номенклатура.** Загальна формула естерів



Естерам властива структурна ізомерія карбонового скелета й міжкласова ізомерія естери—карбонові кислоти. Наприклад:



Пентанова кислота

**Назви** естерів за систематичною номенклатурою *утворюють від назви карбонового ланцюга, що містить естерну групу (нумерація — від естерної групи), додаванням назви алкільної групи (префікс) і суфікса -оат*. Інакше кажучи, префікс походить від назви спирту, а корінь — від назви карбонової кислоти, з якої уворився естер.

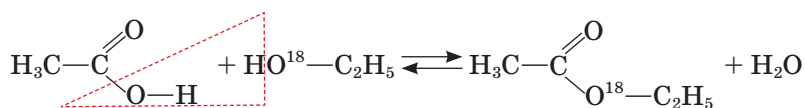
**Фізичні властивості.** Естери — переважно рідини, безбарвні, мають приємний запах, зазвичай малорозчинні у воді. Порівняно з карбоновими кислотами близьких відносних молекулярних мас естери киплять за значно нижчих температур. Це засвідчує відсутність у них міжмолекулярних водневих зв'язків. Характеристики деяких естерів наведено в таблиці 16 (с. 176).

Запах фруктів, квітів зумовлюється переважно естерами. Деякі рослини, наприклад ясенець, виділяють таку велику кількість естерів, що навколо рослини утворюється естерна хмаринка. Естери — легкозаймисті речовини. Якщо піднести полум'я до цієї хмаринки, вона швидко займеться і згорить, не встигнувши підпалити саму рослину. Подібне явище описане в біблійній оповіді про неопалиму купину — кущ, який горить і не згорає.

## Характеристики естерів

Назва		Структурна формула	Температура, °C	
систематична	тривіальна		плавлення	кипіння
Метил-метаноат	Метилловий естер мурашиної кислоти		-99	31
Етил-метаноат	Етиловий естер мурашиної кислоти		-80	54
Пропіл-метаноат	Пропіловий естер мурашиної кислоти		-93	81
Метил-етаноат	Метилловий естер оцтової кислоти		-98	57
Етил-етаноат	Етиловий естер оцтової кислоти		-84	77

**Реакція естерифікації.** Ви вже знаєте про реакцію між карбоновими кислотами й спиртами, у результаті якої утворюються естери й виділяється вода. Це реакція *естерифікації*:



Методом мічених атомів було доведено, що молекула води утворюється за рахунок гідроксильної групи кислоти й атома Гідрогену спирту: атом Оксигену-18, уведений у молекулу спирту, переходить до молекули естеру, отже, він не бере участі в утворенні молекули води.

Реакція естерифікації відбувається в кислотному середовищі та є оборотною — одночасно з естерифікацією відбувається **гідроліз** естеру до спирту й кислоти. Після встановлення рівноваги в суміші містяться кислота, спирт, естер і вода.

Пригадайте, що таке хімічна рівновага. За яких умов вона встановлюється? Як можна змістити її в бік утворення потрібного продукту?

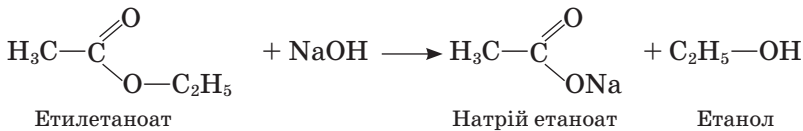


Оборотність реакції — небажане явище під час добування естерів. Щоб збільшити вихід продукту реакції, рівновагу слід змістити в потрібному напрямку. Для цього можна збільшувати концентрацію однієї з вихідних речовин, видаляти із зони реакції один із продуктів, тим самим стимулюючи його утворення. Естер можна відганяти, а воду видаляти за допомогою осушувальних засобів.



Мал. 109. Естери належать до речовин, які зумовлюють запах фруктів

Тепер уявімо, що наша мета — добути кислоту з естеру за реакцією гідролізу. Для цього треба хімічно зв'язати кислоту або спирт, щоб вони не вступали в реакцію естерифікації, тим самим змістити рівновагу реакції вліво. Для зв'язування кислоти можна використати луг, із яким кислота реагуватиме з утворенням солі:



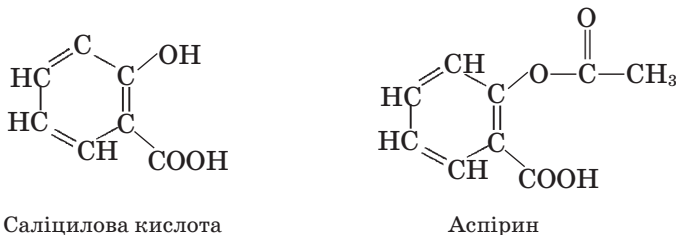
Спирт можна відокремити відгонкою, а кислоту добути із солі дією сильнішої кислоти, що витісняє оцтову з її солей:

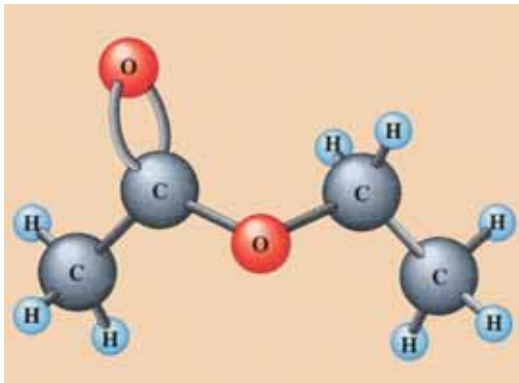


На цьому прикладі ви переконалися, як можна скеровувати синтез у потрібному напрямку.

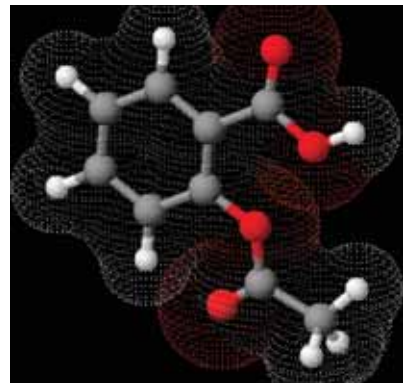
**Застосування.** Естери, що мають приємний фруктовий чи квітковий запах, використовують у парфумерній і харчовій промисловості (мал. 109). Есенції, виготовлені з синтетичних естерів, додають до прохолоджувальних напоїв, кондитерських, парфумерних і косметичних виробів. Якщо засіб для миття посуду має запах яблук, це означає, що до його складу входить метиловий естер масляної кислоти, а от етиловий естер цієї кислоти має запах ананасів. Етиловий естер бензойної кислоти має запах м'яти. Етиловий естер етанової кислоти використовують не лише як ароматизатор мила, а й як розчинник полімерів, жирів тощо (мал. 110, с. 178).

До естерів належить відомий жарознижувальний препарат *аспірин* (ацетилсаліцилова кислота), що є похідною саліцилової кислоти (мал. 111, с. 178):





Мал. 110. Модель молекули етилетаноату



Мал. 111. Модель молекули аспірину



## Завдання для самоконтролю

1. Назвіть функціональну групу естерів.
2. Складіть структурні формули п'яти ізомерів складу  $C_5H_{10}O_2$ .
3. Яку реакцію називають реакцією естерифікації?
4. Поясніть, як утворюється молекула води в результаті реакції естерифікації.
5. Етилметаноат використовують як ароматизатор у виробництві мила. Складіть рівняння реакції утворення цього естеру.
6. Складіть рівняння реакцій, у результаті яких утворюються естери, наведені в таблиці 16.
7. Установіть відповідність між лівою і правою частинами завдання.

Зміщення рівноваги реакції естерифікації	Умови зміщення рівноваги
1 у бік утворення естеру	А збільшення концентрації кислоти
2 у бік утворення кислоти й спирту	Б хімічне зв'язування кислоти
	В відгонка спирту
	Г відгонка естеру

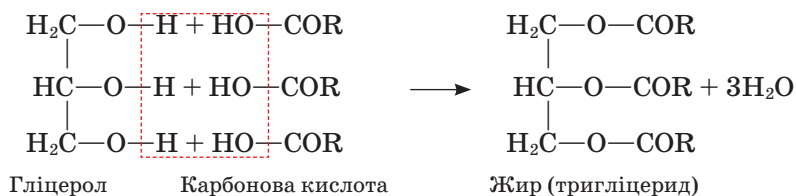
8. Складіть рівняння реакцій за наведеною схемою перетворень:  
 Пропан-1-ол  $\longrightarrow$  Пропаналь  $\longrightarrow$  Пропанова кислота  $\longrightarrow$  Бутилпропаноат  
 $\longrightarrow$  Бутан-1-ол.
9. Обчисліть масу естеру, що утвориться в результаті взаємодії етанолу масою 69 г з етановою кислотою.



## § 33. ЖИРИ. МИЛО

**Склад і будова молекул.** Серед естерів найбільше значення мають *тригліцериди*, утворені трьохатомним спиртом гліцеролом і вищими (жирними) карбоновими кислотами — пальмітиною, стеариною, олеїною, лінолевою та ін. Рослинні й тваринні жири на 98 % складаються з тригліцеридів.

Ці сполуки утворюються за реакцією естерифікації:



Модель молекули тристеарину наведено на мал. 112.

У першій чверті XIX ст. французький учений М. Шеврель установив хімічний склад жирів, а перший синтез жироподібної речовини здійснив його співвітчизник М. Бергто (1854 р.), нагріваючи гліцерол зі стеариною кислотою.

**Фізичні властивості.** Жири легші за воду, нерозчинні в ній, але розчиняються в неполярних органічних розчинниках.



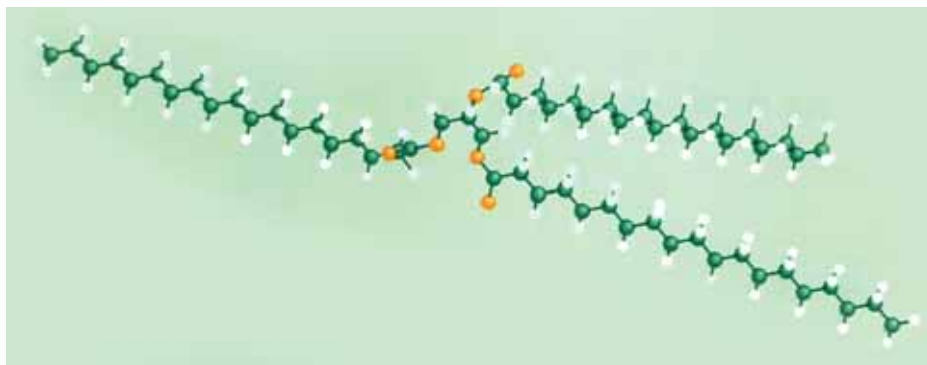
### Лабораторний дослід 6

#### Розчинність жирів

У 4 пробірки налийте по 1 мл води, етанолу, бензину, діетилового (медичного) етеру й додайте в кожену з них по кілька краплин рідкого жиру. Збовтайте вміст пробірок. У якій пробірці жир розчинився?

Нагрійте пробірку з водою. Чи розчинився жир?

Зробіть висновок.



Мал. 112. Модель молекули тристеарину



Французький хімік, член Паризької АН. Один із фундаторів синтетичної органічної хімії. Синтезував нафтаден, ацетилен, бензен, фенол, метан, жири та чимало інших сполук. Автор праць у галузі термохімії, хімічної кінетики, агрохімії, історії хімії. Громадський діяч, педагог.

**П'єр Ежен Марселен  
Бертло  
(1827—1907)**

Склад і будова карбонових ланцюгів тригліцеридів впливають на властивості жирів. Ось як, наприклад, змінюються температури плавлення деяких жирів:

Вуглеводнева група	Жир	$T_{пл}, ^\circ\text{C}$
$-\text{C}_{15}\text{H}_{31}$	Трипальмітин	72
$-\text{C}_{17}\text{H}_{35}$	Тристеарин	65
$-\text{C}_{17}\text{H}_{33}$	Триолеїн	-4

Як бачимо, жири, утворені насиченими пальмітиноюю і стеариноюю кислотами, тверді, а жир, утворений ненасиченою олеїноюю кислотою, — рідкий. Більшість натуральних жирів складаються із суміші гліцеридів, тому не мають точки плавлення, а плавляться в певному інтервалі температур, тобто поступово розм'якшуються під дією нагрівання.

Рідкі рослинні жири називають *оліями*. Соняшникова, кукурудзяна, маслинова та інші олії складаються переважно з тригліцеридів ненасичених кислот. До складу твердих тваринних жирів (яловичого, баранячого, свинячого та ін.) і деяких твердих рослинних жирів (пальмового, какао тощо) входять залишки переважно насичених кислот. Цікаво, що жир морських тварин містить залишки ненасичених карбонових кислот.

Ненасичений характер рідких жирів доведемо на досліді. Наллємо у дві пробірки по декілька мілілітрів бензинових розчинів рослинного й тваринного жирів. Додамо до них бромної води. Спостерігаємо її знебарвлення. Що засвідчують спостереження?

Давно помічено, що деякі рослинні олії, наприклад лляна, перебуваючи на відкритому повітрі, згущуються і, швидко висихаючи, утворюють на поверхні тонку плівку. Цю властивість було використано для захисного покриття дерев'яних поверхонь. Термічно оброблені (варені) олії з додаванням спеціальних речовин відомі під назвою *оліфи*.

**Біологічне значення жирів.** Жири входять до складу рослинних і тваринних клітин і виконують в організмах роль енергетичного резерву: у результаті окиснення жиру масою 1 г виділяється 37,7 кДж енергії, що вдвічі більше, ніж під час окиснення такої самої маси білка чи вуглеводу. Якщо до орга-

нізму людини разом із їжею потрапляє енергії більше, ніж витрачається, утворюються жироподібні речовини, що відкладаються у тканинах організму. У такий спосіб він акумулює енергію. Рослини містять жири переважно в насінні й використовують їх як джерело поживних речовин під час проростання насіння. Основна кількість жирів, що їх споживає людина, міститься у м'ясі, рибі, молочних і зернових продуктах (мал. 113).



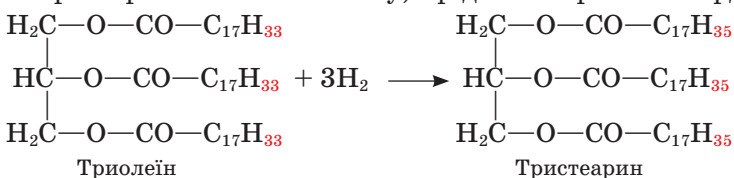
Мал. 113. Ці продукти містять жири

Тривалий час у медицині обговорюють питання про необхідність зменшення вживання насичених жирів у складі харчових продуктів. Під час засвоєння організмом жири частково розщеплюються у дванадцятипалій кишці з утворенням жирних кислот. Жири, тверді за кімнатної температури, такі як вершкове масло, «постачають» організму насичені кислоти, які він може використовувати для синтезу холестерину — складника жовчі. Надлишок холестерину може відкладатися на стінках артерій і звужувати їх, тим самим обмежуючи доступ збагаченої киснем крові до серця і мозку. Отже, насичені жири спричиняють небажане збільшення рівня холестерину в крові. Тому дієтологи вважають, що кориснішими є жири, утворені ненасиченими кислотами, тобто олії (маслинова, кукурудзяна, соняшникова та ін.). У складі соняшникової олії, наприклад, масова частка ненасичених карбонових кислот становить 91%. Ненасичені жирні кислоти містять також жирні сорти риби, печінка тріски (з неї добувають риб'ячий жир — його використовують як лікарський засіб).

Насіння рослин є промисловим джерелом добування олій. Їх виділяють методом холодного, гарячого пресування сировини або екстракцією за допомогою розчинників. За першим способом утворюється найцінніша олія, зокрема для медичних потреб; другим способом — гарячого пресування — добувають переважну кількість харчової олії. У разі екстрагування жиру, наприклад гексаном, розчинник після цього видаляють упаруванням.

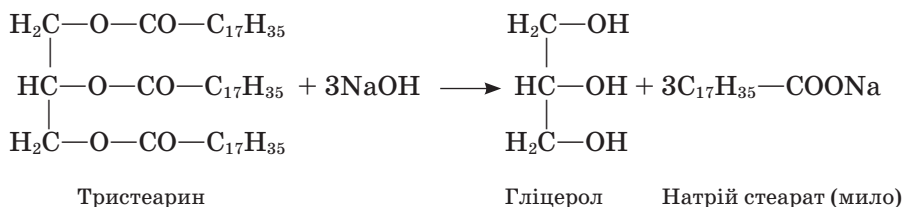
**Хімічні властивості.** Під час тривалого зберігання на повітрі під дією тепла, світла, ферментів, що виробляються мікроорганізмами, які містяться в повітрі, жири гіркнуть, у них з'являються неприємні запах і смак. Це результат процесів **окиснення** та **гідролізу** жирів, що супроводжуються утворенням вільних жирних кислот, альдегідів, кетонів. Щоб уповільнити процес окиснення жирів у харчових продуктах, до них додають антиоксиданти.

У молекулах рідких жирів на відміну від твердих є подвійні карбон-карбонів зв'язки. Як вам добре відомо, за місцем подвійного зв'язку можлива реакція **присднання**, зокрема Гідрогену. У результаті цієї реакції ненасичена сполука перетворюється на насичену, а рідкий жир — на твердий:



Процес тверднення (*гідрування*) жирів покладено в основу виробництва маргарину (від грец. *μαργαροζ* — перламутр). На маргарин переробляють олії, риб'ячий і китовий жири. Гідруванням цих дешевих продуктів добувають тверді жири, подібні до вершкового масла. Щоб зробити гідрований жир придатним до вживання, до нього додають смакові, ароматичні речовини, барвники.

Жири як естери піддаються **гідролізу**, внаслідок якого утворюються гліцерол і карбонові кислоти. Якщо проводити гідроліз тригліцериду за наявності лугу, то утворюються солі вищих карбонових кислот, відомі під назвою *мила*:



Оскільки лужним гідролізом жиру добувають *мило*, цю реакцію називають **омиленням** жиру.

Натрієві солі вищих карбонових кислот — основна складова твердого мила, солі Калію — рідкого мила.

Для добування мила з жиру в промисловості замість лугу використовують соду  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ . Мило, добуте безпосередньо внаслідок реакції жиру із содою, називається *ядровим*, воно відоме як господарське. Туалетне мило відрізняється від господарського наявністю добавок: барвників, ароматизаторів, антисептиків тощо.

Процес виготовлення мила відомий людям здавна (мал. 114, 115). Милотваріння полягало в нагріванні тваринного жиру (сала) з поташем ( $\text{K}_2\text{CO}_3$ ), який вимивали з рослинного попелу. Повторити цей стародавній процес ви зможете в лабораторії, спостерігаючи демонстраційний дослід.

**Мийна дія мила. Синтетичні мийні засоби.** Мийна дія мила — це складний фізико-хімічний процес. Щоб з'ясувати його суть, звернемося до відомого вам з курсу фізики явища поверхневого натягу. Якщо рідина



Мал. 114. Так виготовляли мило на початку XVII ст.



Мал. 115. Сучасна милотварня



Мал. 116. Рідина не змочує поверхню



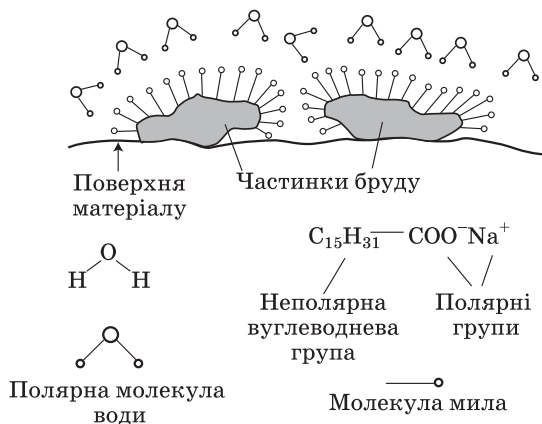
Мал. 117. Комаха тримається на поверхні води завдяки поверхневому натягу рідини

прилипає до поверхні й розтікається по ній, то відбувається змочування поверхні рідиною. Якщо ж вона збирається в кульку, то кажуть, що рідина не змочує поверхню (мал. 116, 117).

Частинки бруду і вода мають різну хімічну природу: вода — полярна сполука, частинки бруду (жиру) — зазвичай неполярні. Вода не змочує їх, отже, бруд не змивається. Для поліпшення змочування використовують речовини-посередники, такі як мило. Молекули мила розміщуються між полярними молекулами води і неполярними частинками забруднення і тим самим полегшують змочування бруду водою.

Запишемо формулу мила в загальному вигляді:  $\mathbf{R-COONa}$ . За хімічною природою — це сіль, йонна сполука. Окрім полярної частини  $-\text{COO}^- \text{Na}^+$  вона містить неполярну групу  $-\mathbf{R}$ , до складу якої можуть входити від 12 до 17 атомів Карбону.

Під час миття молекули мила орієнтуються на забрудненій поверхні так, що полярні групи звернені до полярних молекул води, а неполярні вуглеводневі групи — до неполярних частинок бруду. Останні ніби потрапляють в оточення молекул мила і легко змиваються з поверхні водою (мал. 118).



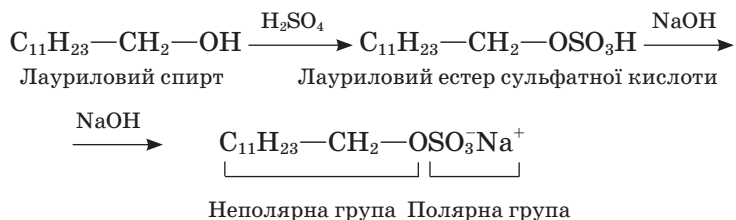
Мал. 118. Мийна дія мила

У воді, яка містить багато розчинених солей (таку воду називають твердою), мило частково втрачає свою мийну дію, оскільки утворюються нерозчинні солі Магнію та Кальцію, що осідають на поверхні:



Цього недоліку позбавлені **синтетичні мийні засоби (СМЗ)**, або *детергенти* (від англ. *detergent* — мийний засіб). Основу їх складають речовини, що мають подібну до мила будову молекул: вони містять полярну (йонну) та неполярну (вуглеводневу) частини.

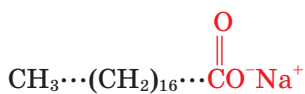
За хімічною природою це дуже різноманітні сполуки, наприклад сіль естеру, утвореного вищим спиртом і сульфатною кислотою:



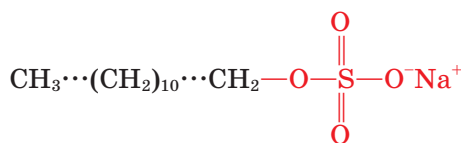
На відміну від мила такі сполуки утворюють розчинні солі Кальцію і Магнію, тобто у твердій воді не втрачають своїх мийних властивостей. У цьому полягає перевага СМЗ над звичайним милом (мал. 119).

Дома приготуйте по 20—25 мл розчинів (1 % -х) господарського мила і будь-якого прального порошку в дистильованій воді. У дві склянки налейте по 2 — 3 мл твердої води. Додайте в одну розчин мила, в іншу — розчин прального порошку й збовтайте їх зміст.

Де утворюється стійкіша піна? Якого засобу доводиться додавати більше для утворення стійкої піни?



Мило



Синтетичний мийний засіб

Мал. 119. Порівняння будови молекул мила та СМЗ

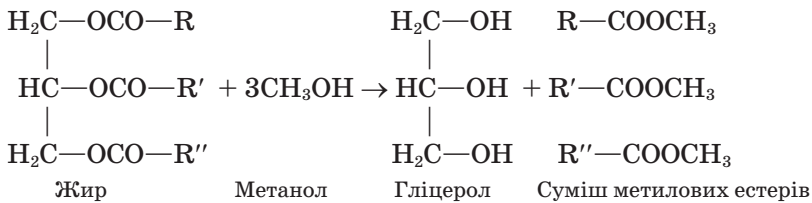


Мило та СМЗ діють на межі поділу твердої та рідкої фаз і належать до так званих *поверхнево-активних речовин* (ПАР).

Широке використання детергентів часто зумовлює забруднення довкілля, зокрема водойм. Річ у тім, що для поліпшення якості до СМЗ додають фосфати, соду, вибілювальні речовини, ароматизатори, іноді ферменти тощо. Потрапляючи зі стічними водами у природні водойми, фосфати перетворюються на речовини, якими живляться мікроорганізми. Вони починають інтенсивно розмножуватися і спричиняють заболочення цих водойм. Тому до сучасних СМЗ ставлять вимогу: після використання вони мають хімічно чи біогенно розкладатися у природі на нешкідливі речовини, що не забруднюють стічні води. Окрім того, ці засоби треба просто економно використовувати в господарстві.

**Біодизель.** Біодизельне паливо за хімічною природою — це переважно метилові, а також етилові, бутилові, ізопропілові естери карбонових кислот, добутих із жирів, наприклад, виділених із насіння ріпаку.

В основу методу добування біодизеля покладено реакцію **переестерифікації** жирів, у результаті якої замість естерів триатомного спирту гліцеролу й карбонових кислот утворюються естери одноатомного спирту, наприклад метанолу. Для цього жир змішують з метанолом за температури 35—40 °С та наявності каталізатора. Відбувається реакція переестерифікації:



Побічним продуктом виробництва є гліцерол.

Для виробництва біодизеля придатна й соняшникова олія, і тваринний жир, зокрема той, що міститься у відходах м'ясної промисловості.

Існує думка, що від нестачі пального людство врятує біодизель. Ми спостерігаємо збільшення площ під посіви ріпаку. Але використання цієї культури для виробництва біодизеля попри всі переваги останнього (високі цетанові числа, до 50) супроводжується певними екологічними ризиками: це виснаження ґрунту (доцільно вирощувати ріпак на одному місці один раз на 5 років), необхідність обробки рослин отрутохімікатами впродовж усього періоду росту, отже, їх треба транспортувати, зберігати, утилізувати. Збільшення посівних площ під ріпак пропорційно зменшує посіви зерна, отже, зменшується кількість кормів для тварин, знижується їх поголів'я, а водночас – виробництво м'яса. До того ж треба будувати заводи з виробництва біодизеля.



## Завдання для самоконтролю

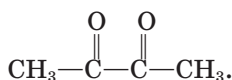
1. Яка хімічна будова жирів? До якого класу сполук вони належать?
2. У результаті якої хімічної реакції утворюються жири?

3. Чим різняться за складом рідкі й тверді жири?
4. Які речовини утворюються внаслідок окиснення жирів?
5. Яку хімічну реакцію покладено в основу виготовлення маргарину?
6. Схарактеризуйте біологічне значення жирів.
7. Що таке *омилення жиру*?
8. Чим відрізняється за хімічним складом: тверде мило від рідкого; господарське від туалетного?
9. Поясніть мийну дію мила.
10. Чи можна випрати білизну в морській воді з милом? Відповідь поясніть.
11. Укажіть переваги СМЗ порівняно з милом.
 

А економність	Г утворюють стійку піну
Б не забруднюють довкілля	Д живлять мікроорганізми
В миють у твердій воді	

### Додаткові завдання

12. Яку сполуку ви можете запропонувати як ароматизатор для виготовлення мила із запахом ананаса? Складіть формулу цієї сполуки.
13. У результаті реакції між бензойною кислотою та бензиловим спиртом утворюється естер, що його використовують у медицині для лікування корости. Складіть рівняння реакції утворення цього естеру. Назвіть його.
14. Бензилетаноат має запах жасмину. Складіть рівняння послідовних реакцій добування цього естеру з метану.
15. Як хімічним шляхом добути етиловий естер етанової кислоти, виходячи з етену? Складіть рівняння послідовних реакцій.
16. Запропонуйте хімічний дослід, за допомогою якого можна відрізнити олію від мінерального мастила.
17. Щоб надати маргарину запаху вершкового масла, використовують сполуку діацетил



До якого класу, на вашу думку, належить ця сполука?

18. На упаковці маргарину написано: «Містить лише рослинні олії». Чи правильно це?
19. Мило є сіллю слабкої кислоти й сильної основи, СМЗ — сіль сильної кислоти й сильної основи. Яке значення має ця обставина для прання?
20. Де в побуті відбувається така реакція:  
 Натрій пальмітиноат → Кальцій пальмітиноат?
21. Визначте кількість речовини трипальмітину, необхідного для добування рідкого мила масою 1 кг.

А 1,26 моль    Б 1,13 моль    В 2,26 моль

## Висновки

- Естери утворюються в результаті реакції між карбоновими кислотами і спиртами (реакція естерифікації).
- Реакція естерифікації оборотна, одночасно з нею відбувається гідроліз естеру.
- Естери широко використовують у харчовій і парфумерній промисловості.
- Жири — це естери гліцеролу й вищих карбонових кислот.
- Тверді жири утворюються насиченими карбоновими кислотами, рідкі — ненасиченими.
- Жири вступають у реакції окиснення, гідрування (рідкі жири), гідролізу.
- У результаті омилення жирів утворюється мило.
- Під час миття мило є посередником між полярними молекулами води й неполярними частинками бруду.
- Синтетичні мийні засоби на відміну від звичайного мила зберігають мийну дію у твердій воді.

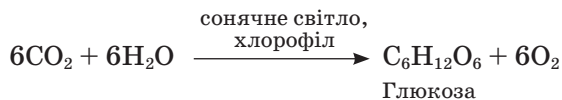
## Вуглеводи

### Нові поняття й терміни:

**моно-, ди-, оліго-, полісахариди, перспективні формули, рибоза, дезоксирибоза, оптична ізомерія, штучний шовк.**

**Вуглеводи** — найпоширеніший клас природних органічних сполук і важливий компонент організмів, джерело їхньої енергії та будівельний матеріал. Ви вже знаєте про походження назви *вуглеводи*, хімічний склад і деякі властивості *глюкози*, *сахарози*, *крохмалю*, *целюлози*. Тепер розглянемо ці сполуки докладніше.

Передусім пригадайте, як у природі утворюється глюкоза. Процес фотосинтезу відбувається в рослинних клітинах під впливом сонячної енергії та за участю зеленого пігменту хлорофілу, що вбирає цю енергію. Загалом процес фотосинтезу виражають хімічним рівнянням:



У рослинах із глюкози утворюються сахароза, крохмаль, целюлоза.

**Класифікація вуглеводів.** Залежно від складу вуглеводи поділяють на такі групи:

*моносахариди*, або прості вуглеводи (до них належать глюкоза, фруктоза, рибоза). Це поліфункціональні сполуки, гідроксіальдегіди або гідроксикетони, що містять декілька гідроксильних груп та альдегідну або карбонільну групу;

*олігосахариди* можна розглядати як продукти сполучення декількох молекул моносахаридів. Найважливіші з них — *дисахариди* (сахароза, мальтоза, лактоза);

*полісахариди* — полімерні сполуки, продукти конденсації великої кількості молекул моносахаридів (крохмаль, целюлоза).

Серед моносахаридів розрізняють *тетрози*, *пентози*, *гексози*, молекули яких складаються відповідно з чотирьох, п'яти, шести атомів Карбону. Глюкоза й фруктоза належать до гексоз, рибоза — до пентоз.

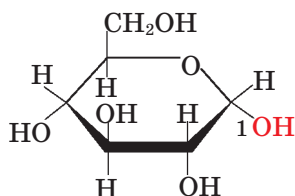
*Належність сполук до класу вуглеводів підкреслюється в їхній назві закінченням -оза.*



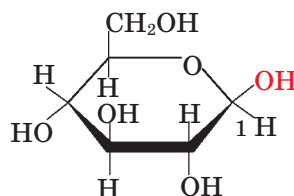
## § 34. ГЛЮКОЗА

**Склад і будова молекули.** Молекулярна формула глюкози  $C_6H_{12}O_6$ .

У кристалічному стані глюкоза існує у вигляді шестичленних циклів, причому п'ять кутів займають атоми Карбону, а один кут — атом Оксигену. Структуру глюкози прийнято зображати за допомогою так званих *перспективних формул*:



$\alpha$ -Глюкоза



$\beta$ -Глюкоза

У молекулі глюкози містяться п'ять гідроксильних груп. Спосіб розміщення гідроксильної групи біля першого атома Карбону зумовлює існування двох ізомерів глюкози:  $\alpha$ - і  $\beta$ -форм. В  $\alpha$ -глюкозі гідроксильна група розміщена під площиною циклу, а в  $\beta$ -глюкозі — над цією площиною.

Проте це не єдині відомі форми глюкози. Виявляється, що у водних розчинах разом із циклічними існує в невеликій кількості відкрита форма глюкози. Під впливом полярних молекул води відбувається гідратація глюкози, і певна частина гідратованих молекул переходить у відкриту форму:



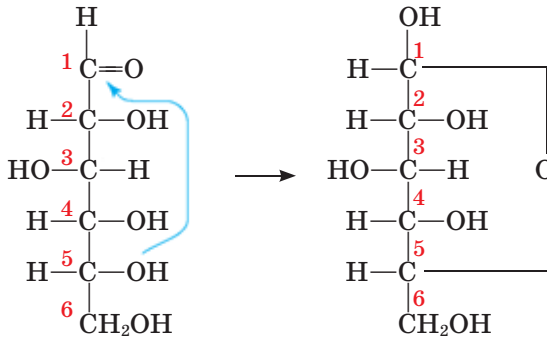
$\alpha$ -Глюкоза

Відкрита форма глюкози

$\beta$ -Глюкоза

Схему утворення циклічної форми глюкози наведено на мал. 120.

У рівняннях хімічних реакцій глюкозу у відкритій формі прийнято зображати у спрощеному вигляді:  $CH_2OH(CHOH)_4CHO$ . Відкрита форма характеризується наявністю в молекулі альдегідної групи.



Мал. 120. Схема утворення циклічної форми глюкози

Розрив циклу та його утворення — процес динамічної рівноваги: щойно розкрившись, наступної миті цикл знову замикається, і при цьому приєднання спиртової групи до альдегідної можливе з обох боків площини, тобто може утворитися  $\alpha$ - або  $\beta$ -форма глюкози.

Під час кристалізації співвідношення між  $\alpha$ - і  $\beta$ -формами зберігається, а відкрита форма зникає.

**Фізичні властивості.** Глюкоза — безбарвна кристалічна речовина, добре розчинна у воді, солодка на смак (пригадайте походження терміна *глюкоза*). У вільному стані міститься в багатьох фруктах, зокрема у винограді (звідси походить інша назва глюкози — *виноградний цукор*), меду, є вона й у корінні, листках і квітах рослин, у крові людини й тварин (близько 0,1 %).

Виноградний цукор — це чиста  $\alpha$ -глюкоза, перекристалізацією її з піридину можна добути  $\beta$ -глюкозу. Як ізомери  $\alpha$ - і  $\beta$ -глюкоза мають різні фізичні властивості, зокрема різні температури плавлення.

**Хімічні властивості.** Рівняння реакцій глюкози наведено на с. 190. Наявність функціональних гідроксильних груп, а у відкритій формі ще й альдегідної групи визначає реакції глюкози. За альдегідною групою — це реакції окиснення й відновлення.

Унаслідок **повного окиснення** глюкози сильними окисниками вона перетворюється на вуглекислий газ і воду.

У результаті реакції з амоніаковим розчином аргентум(I) оксиду (реакція «срібного дзеркала») альдегідна група окиснюється до карбоксильної й утворюється *глюконова кислота*.

Як альдегід глюкоза окиснюється і в результаті нагрівання з купрум(II) гідроксидом.

Складіть рівняння цієї реакції.

Хоча відкритої форми глюкози у водному розчині дуже мало, дослід засвідчує, що ця реакція відбувається до кінця. Як узгодити ці факти? Оскільки з трьох форм глюкози для реакції затрачається лише одна, то хімічна рівновага між різними формами зміщується в бік утворення відкритої (альдегідної) форми, компенсуючи її затрочання аж до повного перетворення глюкози на глюконову кислоту.

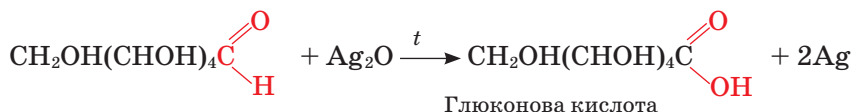
Енергійніший окисник (наприклад, концентрована нітратна кислота)

## Реакції глюкози

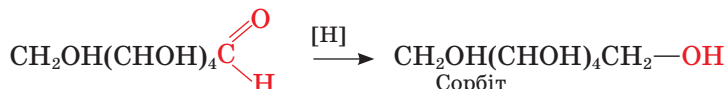
### Повне окиснення (горіння)



### Часткове окиснення



### Відновлення

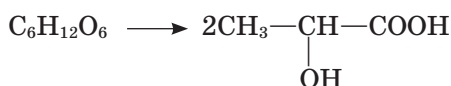


### Бродіння

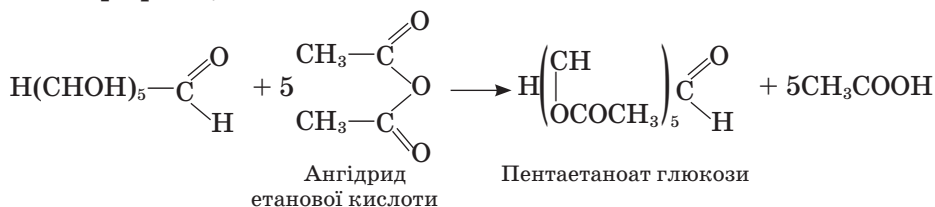
#### спиртове:



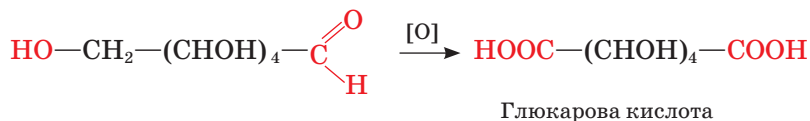
#### молочнокисле:



### Естерифікація



окиснює не лише альдегідну, а й первинну спиртову групу відкритої форми глюкози. У результаті утворюється дикарбонова *глюкарова кислота*:



Унаслідок **відновлення** альдегідної групи до спиртової утворюється шестиатомний спирт *сорбіт*. Ця сполука є заміником цукру в дієті хворих на діабет, а також вихідною речовиною для синтезу вітаміну С (аскорбінової кислоти).

Як багатоатомний спирт глюкоза реагує з купрум(II) гідроксидом.



### Лабораторний дослід 7

#### Окиснення глюкози купрум(II) гідроксидом

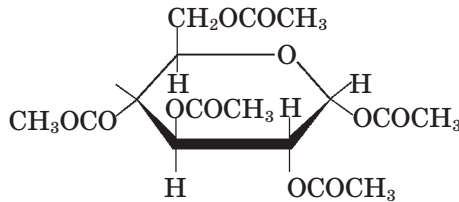
До кількох краплин розчину купрум(II) сульфату в пробірці добавте 2–3 мл розчину натрій гідроксиду. Спостерігайте утворення осаду купрум(II)

гідроксиду. До осаду додайте розчин глюкози й збовтайте суміш. Спостерігайте утворення прозорого розчину комплексної солі синього кольору.

Нагрійте суміш. Що спостерігаєте? Пригадайте лабораторний дослід 3 (с. 156).

Отже, залежно від умов реакції за допомогою купрум(II) гідроксиду можна виявити й спиртові, й альдегідну групи в молекулі глюкози.

За наявності гідроксильних груп можна припустити, що глюкоза здатна до реакції **естерифікації**. Справді, глюкоза взаємодіє з ангідридом етанової кислоти й утворює повний естер — пентаетаноат.



Важливою реакцією глюкози є реакція **бродиння**. Під впливом ферментів (природних каталізаторів), що їх виробляють мікроорганізми, відбувається розщеплення молекули глюкози. Зокрема, під дією ферментів дріжджів і без доступу повітря глюкоза перетворюється на етиловий спирт — відбувається *спиртове бродіння*.

Процеси бродіння дуже поширені у природі, залежно від кінцевого продукту є бродіння спиртове, оцтовокисле, молочнокисле та інші види. *Оцтовокисле бродіння* має місце під час скисання вина — утворюється етанова (оцтова) кислота (див. с. 138). Скисання молока, квашення капусти, силосування зелених кормів для худоби — все це приклади *молочнокислого бродіння*, у результаті якого утворюється молочна кислота.

**Добування.** Глюкозу добувають як продукт кислотного гідролізу полісахаридів, наприклад крохмалю.

**Застосування.** Вуглеводи сахароза й крохмаль під дією ферментів розщеплюються в організмі до глюкози, а вже вона окиснюється у клітинах із вивільненням енергії. Сумарно цей процес можна подати рівнянням:



Як джерело енергії глюкозу використовують у медицині для підтримання життєдіяльності виснаженого організму. Її розчин уводять прямо у кров пацієнта, оскільки саме вона переносить глюкозу до клітин організму.



### Завдання для самоконтролю

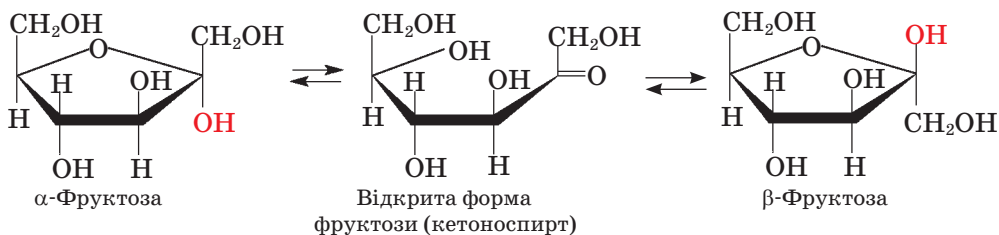
1. Як ви розумієте термін *вуглеводи*?
2. Який зв'язок існує між назвою та смаком глюкози?
3. Які форми глюкози вам відомі? У яких агрегатних станах вони існують?
4. Чим різняться за будовою  $\alpha$ - і  $\beta$ -форми глюкози?
5. Які функціональні групи визначають здатність глюкози до реакцій окиснення і відновлення, естерифікації?
6. До яких сполук окиснюється і відновлюється глюкоза?
7. У чому полягає подібність глюкози й гліцеролу; глюкози й етанолу? Як довести цю подібність експериментально?

8. Визначте окисник і відновник у реакції «срібного дзеркала».
9. Під впливом яких речовин відбувається реакція бродіння? Які продукти можуть утворитися?
10. Яке біологічне значення реакції повного окиснення глюкози?
11. У процесі спиртового бродіння розчину глюкози утворився вуглекислий газ об'ємом 112 м<sup>3</sup>. Визначте масу безводного етанолу, що утворився.  
**А** 230 кг      **Б** 112 кг      **В** 39,1 кг



## § 35. ІНШІ МОНОСАХАРИДИ. ОПТИЧНА ІЗОМЕРІЯ

**Інші моносахариди.** До гексоз належить і **фруктоза**. Вона має таку саму молекулярну формулу, що й глюкоза, а саме  $C_6H_{12}O_6$ . Отже, глюкоза й фруктоза — *структурні ізомери*. У водному розчині фруктоза існує у трьох формах:  $\alpha$ -,  $\beta$ - й відкритій. На відміну від глюкози фруктоза утворює не шести-, а п'ятичленний цикл, а у відкритій формі це не альдегідо-, а кетоноспирт:

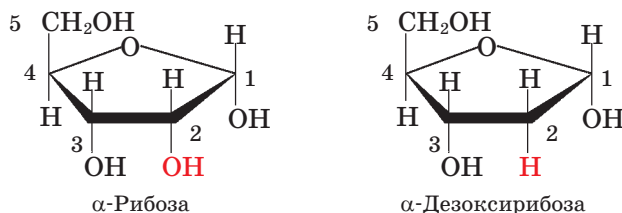


Крім того, на відміну від глюкози фруктоза не дає реакції «срібного дзеркала».

Поясніть цей факт, спираючись на знання реакцій окиснення альдегідів і кетонів.

Фруктоза — найсолодша з вуглеводів, вона втричі солодша за глюкозу, дуже поширена в рослинному світі, міститься в яблуках, помідорах, у меду (до 50 %). Бджолиний мед складається переважно з глюкози й фруктози.

По п'ять атомів Карбону входять до складу молекул **рибози**  $C_5H_{10}O_5$  і **дезоксирибози**  $C_5H_{10}O_4$ , тобто вони є пентозами. У молекулі дезоксирибози, на відміну від рибози, до другого атома Карбону замість гідроксильної групи приєднаний Гідроген (*дезоксид* — без Оксигену). У водних розчинах цих сполук містяться незначні кількості відкритої форми, а також  $\alpha$ - і  $\beta$ -форми:





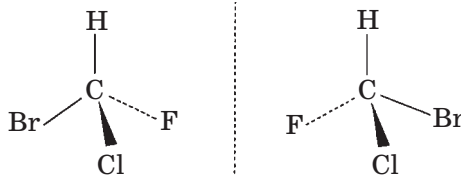
Рибоза є невід’ємним складником кожного клітинного ядра та цитоплазми і входить до складу рибонуклеїнових кислот, важливих регуляторів синтезу білків у живих організмах. Дезоксирибоза міститься в дезоксирибонуклеїнових кислотах, що є універсальною скарбницею і джерелом спадкової інформації живого організму.

**Оптична ізомерія.** Молекулі глюкози властива не лише структурна ізомерія. Існують ще шістнадцять альдегідоспиртів складу  $C_6H_{12}O_6$ , але різної просторової будови — так звані *оптичні ізомери* (мал. 121, с. 194).

Ці сполуки мають однакові температури плавлення й кипіння, розчинність та інші фізичні й хімічні властивості, але різняться деякими оптичними характеристиками, які ми тут не розглядаємо. Звідси й назва — оптичні ізомери.

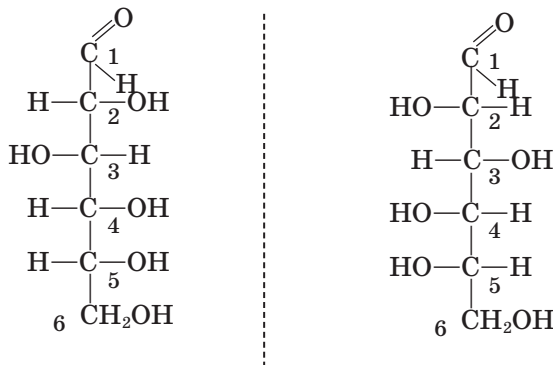
Причина збільшення числа ізомерів полягає в існуванні так званих *асиметричних атомів Карбону* та відповідно асиметричних молекул. Такі молекули є ніби дзеркальним відображенням одна одної. Це можливо в усіх випадках, коли атом Карбону зв’язаний із чотирма різними замісниками.

Зберемо дві однакові моделі молекули метану. Замінімо на них три однакові кульки, що зображають атоми Гідрогену, на різнобарвні кульки, що зображають атоми Флуору, Броду, Хлору. На одній із моделей поміняємо місцями будь-які дві кульки (Br і F). Просторову будову таких молекул на папері зображають за допомогою перспективних формул:

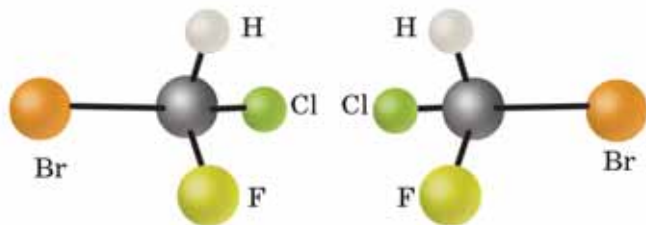


Тепер спробуємо на моделях чи на папері сумістити ці формули одна з одною. Це виявиться неможливим, оскільки формули є дзеркальним відображенням одна одної, як ліва і права руки (мал. 122, с. 194). Саме такі молекули, в яких є атоми Карбону, сполучені з чотирма різними замісниками, можуть мати більше число ізомерів і саме оптичні ізомери (їх називають *антиподами*).

Зобразимо формулу глюкози в альдегідній формі та її антипод:



У молекулі глюкози є чотири асиметричні атоми Карбону (2, 3, 4, 5), біля яких замісники можуть розміщуватися в різний спосіб. У кожному



Мал. 121. Оптичні ізомери



Мал. 122. Ліва й права руки — дзеркальне відображення одна одної

окремому випадку маємо справу з оптичним ізомером глюкози. А разом їх:  $2^n = 2^4 = 16$ , тобто 8 пар антиподів.

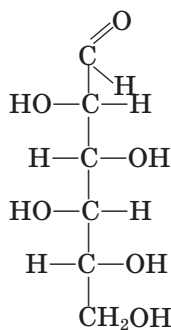
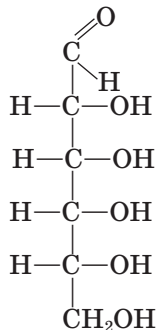
Явище оптичної ізомерії дуже поширене у природі й має особливе значення для функціонування білків, нуклеїнових кислот, ферментів. Від просторової будови залежать також властивості природних і синтетичних полімерів.

Оптична ізомерія, як і геометрична (*цис-*, *транс-*ізомерія), належить до **просторової (стерео) ізомерії**. Просторові ізомери є предметом вивчення *стереохімії* — науки про зв'язки просторової будови молекул з їхніми фізичними та хімічними властивостями.



### Завдання для самоконтролю

1. Наведіть приклади гексоз і пентоз.
2. Чим різняться за хімічною будовою глюкоза й фруктоза?
3. Чому фруктоза не дає реакції «срібного дзеркала»?
4. Поясніть назву вуглеводу *дезоксирибоза*.
5. Назвіть причину існування оптичних ізомерів.
6. Виберіть правильні твердження щодо асиметричного атома Карбону.
  - А перебуває в іншому стані гібридизації
  - Б зв'язаний із чотирма різними замісниками
  - В є причиною існування оптичної ізомерії
  - Г є причиною існування *цис-*, *транс-*ізомерії
7. Які види ізомерії вам відомі? Наведіть приклади.
8. Складіть формули оптичних ізомерів (антиподів) гексоз із такими структурними формулами:

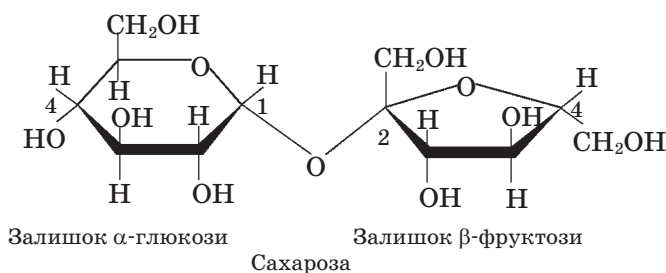


Спробуйте скласти формули інших можливих ізомерів глюкози.



## § 36. САХАРОЗА

**Склад і будова молекули.** Молекулярна формула сахарози  $C_{12}H_{22}O_{11}$ . Сахароза — дисахарид. У її молекулі залишки  $\alpha$ -глюкози та  $\beta$ -фруктози сполучені за допомогою етерного зв'язку між атомами  $C^1-C^2$  через атом Оксигену:



**Фізичні властивості.** Сахароза — безбарвна кристалічна речовина, солодка на смак, добре розчинна у воді. Під час нагрівання до  $190-200\text{ }^\circ\text{C}$  кристали плавляться, молекули частково розкладаються. Це зумовлює специфічний смак і запах розплавленої маси, яка після застигання утворює карамель.

Сахароза міститься в різних частинах рослин, наприклад у стеблах зеленої кукурудзи. Особливо багато її в коренеплодах цукрових буряків (16—20 %) та стеблах цукрової тростини (14—26 %). Тому сахарозу також називають *буряковим цукром*, або *тростинним цукром* (мал.123, с. 196).

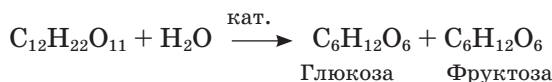
**Хімічні властивості.** Сахароза окиснюється з утворенням вуглекислого газу й води. У структурі молекули сахарози немає альдегідної групи, це підтверджується експериментально: сахароза не дає реакції «срібного дзеркала». Альдегідна група залишку глюкози блокована зв'язком із залишком молекули фруктози. Під час розчинення сахарози альдегідна форма глюкози не може утворитися, тому реакція окиснення за альдегідною групою не відбувається.

### Реакції сахарози

#### Повне окиснення (горіння)



#### Гідроліз



#### Утворення сахаратів



Проте під дією неорганічних кислот сахароза **гідролізує** до глюкози і фруктози. Прокип'яtimo розчин сахарози з невеликою кількістю сульфатної кислоти, нейтралізуємо кислоту лугом і розчин нагріємо з купрум(II) гідроксидом. Утворюється червоний осад купрум(I) оксиду.

Ця реакція засвідчує наявність альдегідної групи, отже, серед продуктів гідролізу є певна кількість відкритої форми глюкози.

Сахароза містить вісім гідроксильних груп і, як будь-який спирт, може утворювати алканоліати (тривіальна назва — *сахарати*), але за участю не менш ніж трьох спиртових груп. Особливо важливі кальцій сахарати, оскільки цей процес використовують під час промислового виробництва цукру.

До розчину з масовою часткою цукру 20 % добавимо, перемішуючи, вапняне молоко. Утворюється прозорий розчин сахарату складу  $C_{12}H_{22}O_{11} \cdot CaO$ . Унаслідок нагрівання добутого розчину випадає осад кальцій трисахарату складу  $C_{12}H_{22}O_{11} \cdot 3CaO$ .

**Добування й застосування.** Сахароза у вигляді тростинного цукру була відома з давніх-давен як лікувальний засіб. У Європі цукор із тростини з'явився в XVI ст., а з цукрових буряків був виділений уперше в середині XVIII ст.

Доведено, що середньорічне споживання людиною цукру становить близько 30 кг. Оскільки сахароза — цінний харчовий продукт, її добувають у великій кількості. Світове виробництво цукру перевищує 50 млн тонн на рік. Україна виробляє кілька мільйонів тонн цукру на рік із цукрових буряків (мал. 124).

**Виробництво цукру** полягає у виділенні його з природної сировини, очищенні й кристалізації продукту. Процеси відбуваються в такій послідовності.

Насамперед коренеплоди миють і подрібнюють на стружку. Цю масу обробляють гарячою водою. Як добре розчинна у воді сполука, сахароза переходить у розчин. Щоб позбутися домішок, які містяться в цукрових буряках, розчин обробляють вапняним молоком — випадає осад, що є сумішшю білків і солей Кальцію.



Мал. 123. Цукрові буряки — джерело сахарози



Мал. 124. У цеху цукрового заводу

Сахароза у вигляді кальцій сахарату залишається в розчині. Його обробляють вуглекислим газом, унаслідок чого утворюється нерозчинний осад кальцій карбонату. Розчин сахарози відфільтровують. Далі його випарюють і кристалізують. Маса, що не кристалізується, — це так звана *меляса*. Вона містить залишки сахарози та супутніх речовин і є цінним кормом для худоби й сировиною для виробництва пекарських дріжджів.

Сирий цукор-пісок відокремлюють і додатково очищують. Для цього цукор знову розчиняють у воді, фільтрують розчин крізь активоване вугілля, випарюють і кристалізують — утворюється цукор-рафінад, який містить 99,9 % сахарози та є одним із найчистіших харчових продуктів.

Залежно від умов кристалізації цукор можна виділити у вигляді дрібних або великих кристалів, які потім розпилюють на шматки. Пресуванням цукру-піску добувають швидкорозчинний цукор.

Важливим показником для виробництва цукру є цукристість буряків. Селекціонери постійно працюють над виведенням сортів цукрового буряку з високим вмістом цукру.



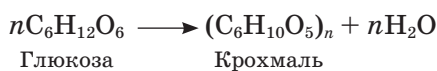
### Завдання для самоконтролю

1. Чому сахароза належить до дисахаридів? Як вона утворюється?
2. Чи є в молекулі сахарози альдегідна група? Доведіть це.
3. Які продукти утворюються в результаті гідролізу сахарози?
4. Доведіть, що серед продуктів гідролізу сахарози є сполука з альдегідною групою.
5. Опишіть (усно) етапи виробництва цукру із цукрового буряку.
6. Якщо у вашій місцевості вирощують чи переробляють цукрові буряки, розкажіть про це.
7. Цукристість утрачається під час тривалого зберігання коренеплодів. Як, на вашу думку, можна уникнути цього?
8. Підготуйте повідомлення про користь і шкоду цукру в раціоні людини. Використайте знання з курсу біології.

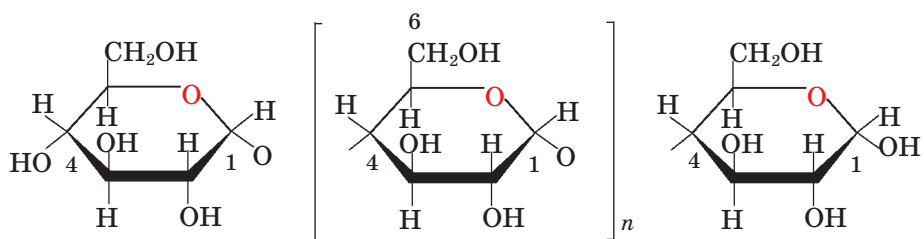


## § 37. КРОХМАЛЬ

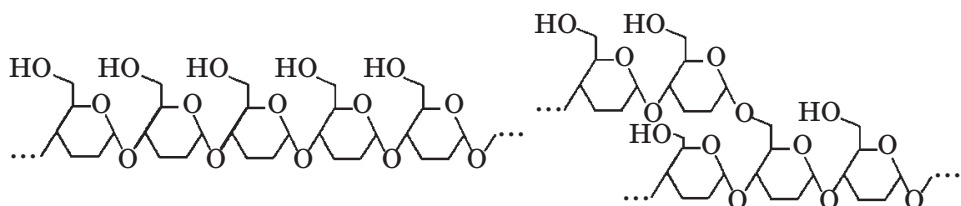
**Склад і будова молекули.** Склад молекули **крохмалю** відповідає формулі  $(C_6H_{10}O_5)_n$ . Це природний полімер, полісахарид, що синтезується в рослинах із глюкози за такою сумарною реакцією:



Мономерною ланкою цього полімера є залишок  $\alpha$ -глюкози. Полімерний ланцюг утворюється за допомогою зв'язку між атомами  $C^1$  однієї молекули глюкози й атомом  $C^4$  іншої молекули:



Полімерний ланцюг крохмалю утворюється з мономерних ланок  $\alpha$ -глюкози або схематично:

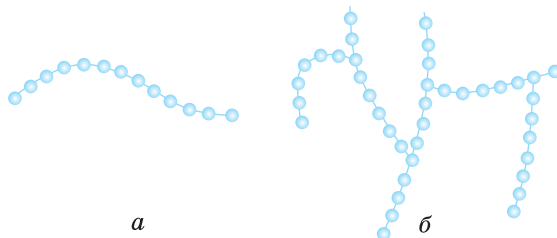


Крохмаль — не однорідна речовина, а суміш полімерів двох типів: *амілози* (25 %) та *амілопектину* (75 %). Амілоза має лінійні молекули зі ступенем полімеризації  $n = 200\text{—}1200$ , амілопектин — розгалужені ( $n = 600\text{—}6000$ ) (мал. 125).

**Фізичні властивості.** Крохмаль входить до складу всіх рослин, у деяких його дуже багато. Масова частка крохмалю в бульбах картоплі становить 12 — 20 %, пшениці — 57 — 75 %, рису та кукурудзи — 62—82 %. Це резервний полісахарид рослин. У формі крохмалю вуглеводи відкладаються рослинами про запас і використовуються ними як джерело енергії, необхідної, наприклад, для проростання насіння.

У природному стані молекули крохмалю формують зерна різної величини й форми, непроникні для води. Зерна крохмалю плавають у клітинному соку картоплі, їх можна видалити звідти механічним способом. Для цього картоплю подрібнюють, отриману масу промивають водою та відціджують. Разом із водою крохмаль проходить крізь сито. Після відстоювання воду зливають і продукт висушують.

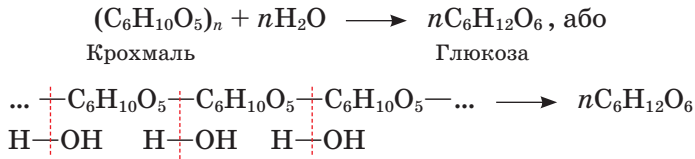
У вільному стані крохмаль — білий аморфний порошок, нерозчинний у холодній воді. Якщо суспензію крохмалю у воді нагріти, то молекули води проникнуть у зерна, крохмаль набрякне, утворюючи в'язкий розчин. Після його охолодження утворюється клейстер. У цьому можна переконатися на досліді.



Мал. 125. Будова полімерних ланцюгів амілози (а) й амілопектину (б)

**Хімічні властивості.** Накопичений рослинами крохмаль розщеплюється під дією ферментів (ферментативний гідроліз) з утворенням глюкози, а в результаті окиснення останньої вивільняється енергія. Процес гідролізу можна відтворити в лабораторії, прокип'ятивши крохмаль з водою за наявності сульфатної кислоти.

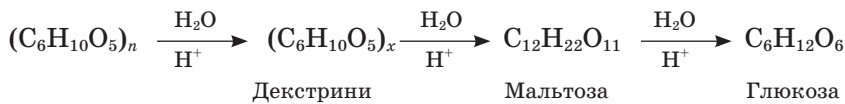
До кожної мономерної ланки полімерного ланцюга крохмалю приєднується молекула води, полімерний ланцюг розривається й утворюються молекули глюкози:



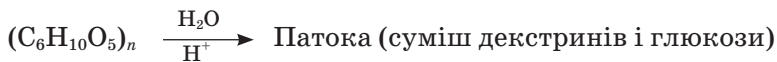
Наведене рівняння — сумарне. Насправді гідроліз відбувається послідовно, з утворенням проміжних продуктів — *декстринів*, які мають меншу, ніж у крохмалю, молекулярну масу. Цей процес відбувається під час приготування їжі: варіння і смаження картоплі, випікання хліба тощо. Під час прасування накрохмаленої білизни крохмаль також частково гідролізує з утворенням декстринів. Декстрини легше, ніж крохмаль, засвоюються організмом. Суміш продуктів часткового гідролізу (декстринів і глюкози) називають *патокою*.

### Реакції крохмалю

#### Повний гідроліз



#### Частковий гідроліз



Лінійні молекули амілози, що входить до складу крохмалю, скручуються у спіралі, усередину яких можуть потрапити, як у пастку, молекули сторонніх речовин. У результаті утворюються сполуки за типом «гість—господар». Саме таким зв'язком пояснюють взаємодію **йоду з крохмалем** (йодокрохмальна реакція).

**Добування й застосування.** Крохмаль виділяють із крохмалевмісних продуктів (злаків, картоплі) механічним способом. Після подрібнення сировини її обробляють водою, відціднують і добуту суспензію відстоюють; далі продукт відділяють від води й висушують.

Крохмалевмісні продукти посідають чільне місце в раціоні людини, це клітинне «паливо» організму. У ротовій порожнині під впливом ферментів слини розпочинається гідроліз крохмалю до глюкози. Надлишки глюкози відкладаються в печінці у вигляді «запасного» вуглеводню глікогену, близького за структурою до крохмалю.

Отже, якщо рослини запасують енергію у вигляді крохмалю, то тварини — у вигляді глікогену. За потребою, наприклад під час фізичних навантажень, він знову перетворюється на глюкозу, яка живить організм. Кожен грам вуглеводів у результаті окиснення в організмі дає 19,2 кДж енергії. На думку фахівців, енергетичні потреби людини на 60 % мають задовольнятися внаслідок уживання рослинної їжі, зокрема овочів і фруктів.

Проміжні продукти гідролізу крохмалю — суміш декстринів і глюкози (патоку) використовують у кондитерській промисловості для виготовлення цукерок, додають у тісто для печива.

Крохмаль є сировиною для виробництва етанолу. З цією метою крохмаль піддають гідролізу, в результаті утворюється глюкоза, яка далі внаслідок спиртового бродіння перетворюється на етанол.

У текстильній промисловості крохмаль використовують для проклеювання тканин, у паперовій — для склеювання паперу й картону, в медицині — для виготовлення присипок, паст, капсул для лікарських препаратів.



### Завдання для самоконтролю

1. Поясніть, як утворюється крохмаль у рослинах.
2. Поясніть, чому крохмаль належить до полісахаридів.
3. Чи можна стверджувати, що крохмаль — однорідна речовина? Чому?
4. Що відбувається з крохмалем під час утворення крохмального клейстеру?
5. За яких умов можливий гідроліз крохмалю?
6. До якої сполуки гідролізує крохмаль?
7. Що таке декстрини?
8. Які процеси відбуваються під час приготування крохмалевмісної їжі?
9. Чим зумовлене утворення смачної скоринки на хлібі?
10. Які особливості реакції йоду з крохмалем?
11. Удома випробуйте на наявність крохмалю: свіжі зрізи картоплини й зеленого яблука, варену ковбасу, плавлений сир, борошно, печиво, зубний порошок, косметичну пудру тощо. Зробіть висновки.
12. Крохмаль є клітинним паливом організму людини. Поясніть це твердження.
13. На яких властивостях ґрунтується добування крохмалю з картоплі?



## § 38. ЦЕЛЛЮЛОЗА (КЛІТКОВИНА)

**Склад і будова молекули.** Целюлоза, або клітковина, як і крохмаль, — природний полімер, полісахарид. Його макромолекули також побудовані з ланок складу  $C_6H_{10}O_5$ . Целюлозу називають будівельним матеріалом рослин, оскільки вона є оболонкою рослинних клітин (від лат. *cellula* — комірка). Рослинні волокна (бавовняні, конопляні, лляні) переважно, а деревина на 45 % складаються з целюлози.



У якому вигляді вам відома практично чиста целюлоза?

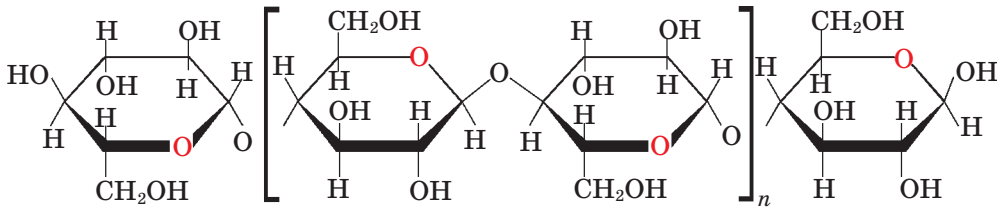
Зовнішня відмінність між цими волокнами й крохмалем очевидна, хоча полімерні ланцюги крохмалю й целюлози побудовані з однакових ланок. У чому ж причина відмінності? Відповідь однозначна — у складі та будові молекул. Загальна формула целюлози, як і крохмалю, —  $(C_6H_{10}O_5)_n$ . Проте ступінь полімеризації, відносна молекулярна маса целюлози набагато більші, ніж крохмалю: ступінь полімеризації становить 10—14 тисяч, відносна молекулярна маса — кілька мільйонів.



Мал. 126. Зріз оболонки рослинної клітини під електронним мікроскопом (видно волокнисту структуру целюлози)

Крім того, як вам відомо, макромолекули крохмалю мають лінійну й розгалужену будову, а целюлози — ниткоподібну, лінійну, через це можуть утворювати волокна (мал. 126).

Суттєвою є відмінність у складі полімерних ланцюгів. Так, якщо молекули крохмалю утворені залишками  $\alpha$ -глюкози, то молекули целюлози складаються із залишків  $\beta$ -глюкози:



Полімерний ланцюг целюлози утворюється з мономерних ланок  $\beta$ -глюкози

Зверніть увагу, що  $\beta$ -глюкозні залишки по черзі повернені відносно один одного на  $180^\circ$ .

**Фізичні властивості.** Целюлоза — аморфна волокниста речовина, нерозчинна у воді й органічних розчинниках. Не плавиться, але за нагрівання до близько  $350^\circ\text{C}$  розкладається — обвуглюється.

**Хімічні властивості.** Рівняння реакцій целюлози наведено на с. 202. Целюлоза **окиснюється** (горить) з утворенням вуглекислого газу й води та виділенням енергії. Цим здавна користуються для опалення житла та приготування їжі, спалюючи дрова, хмиз, бадилля рослин, солому тощо.

У результаті нагрівання деревини без доступу повітря відбувається **розклад** целюлози з утворенням деревного вугілля, метанолу та інших цінних оксигеновмісних сполук.

Як і крохмаль, целюлоза піддається **гідролізу** під час нагрівання з розбавленими кислотами й перетворюється на глюкозу.

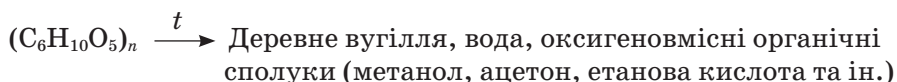
В органах травлення жуйних тварин і термітів під впливом ферментів відбуваються гідроліз клітковини й засвоєння продуктів гідролізу. В організмі людини целюлоза, спожита з рослинною їжею, не гідролізує, отже, не засвоюється.

## Реакції целюлози

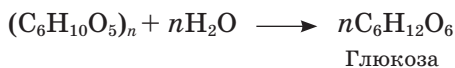
### Повне окиснення (горіння)



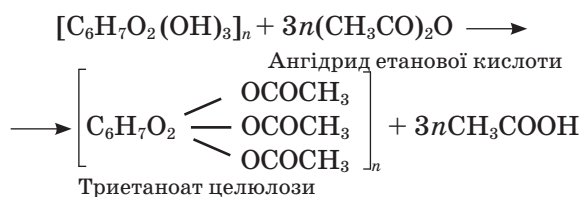
### Термічний розклад



### Гідроліз



### Утворення естерів



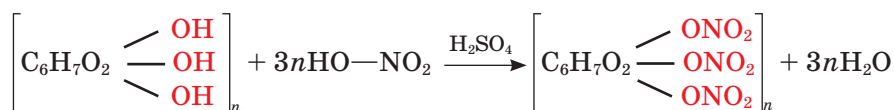
Пригадайте з курсу біології людини, яке значення має клітковина для травлення.

Целюлоза зазнає часткового гідролізу в результаті силосування соломи, кукурудзи тощо; такі продукти є цінним кормом для сільськогосподарських тварин.

Гідроксильні групи целюлози можуть брати участь у реакції **естерифікації**. Щоб показати наявність гідроксильних груп, формулу целюлози записують у такому вигляді:  $[C_6H_7O_2(OH)_3]_n$ .

Естер целюлози — триетаноат (триацетат)  $[C_6H_7O_2(OSOCH_3)_3]_n$  добувають обробкою целюлози оцтовим ангідридом. На відміну від целюлози її триацетат розчиняється в органічних розчинниках, тому з нього можна виробляти волокна й плівку.

Унаслідок взаємодії целюлози з нітратною кислотою утворюється тринітрат целюлози, або *піроксилін*. Це вибухова речовина, її використовують для виробництва бездимного пороху.



Суміш моно- й динітрату целюлози є основою для виготовлення *колодію* (використовують у медицині для заклеювання невеликих ран), *нітролаквів*, *целулоїду*. Останній відомий як перша в історії пластмаса.

**Застосування. Штучний шовк.** Целюлозу застосовують у вигляді деревини (назвіть, де саме), бавовняних тканин, з неї виготовляють папір. Отже, розвиток сучасної цивілізації значною мірою залежить від целюлози.

Щоб виготовити папір із целюлози, її треба спершу виділити з деревини. Для цього застосовують спеціальні процеси й речовини, унаслідок чого

супутні компоненти розчиняються, а нерозчинну целюлозу виділяють фільтруванням.

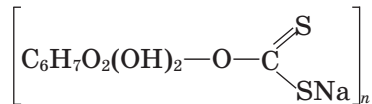
Велика кількість цінних речовин утворюється в результаті хімічної переробки целюлози. Серед них — штучний шовк (мал. 127), вибухові речовини, спирти тощо.

Нині природні волокнисті матеріали не можуть задовольнити зрослі потреби людства, тому широко використовують їхні замітники, добуті штучним шляхом. Серед них — *штучний ацетатний шовк*, що його виробляють з целюлози, виділеної з деревини або відходів бавовнику.

Для переробки целюлози на волокно її переводять у розчинну форму, а саме в естер триацетат. Вам уже відомо, що ця сполука розчиняється в органічних розчинниках. В'язкий розчин продавлюють крізь так звані *фільтри* — пристрої з отворами малого діаметра, що нагадують головку душі (мал. 128, с. 204). Тонкі цівки розчину обдувають гарячим повітрям у вертикальній шахті. Розчинник випаровується, а триацетат перетворюється на нитки, що є основою для скручування товстіших ниток, з яких виробляють тканини.

Оскільки штучне волокно має впорядкованішу структуру порівняно з вихідною целюлозою, то воно й міцніше. Вироблені з ацетатного волокна тканини мають й інші переваги: низьку теплопровідність, м'якість, блиск, хоча погано вбирають вологу, мають нижчі порівняно з натуральними волокнами гігієнічні властивості.

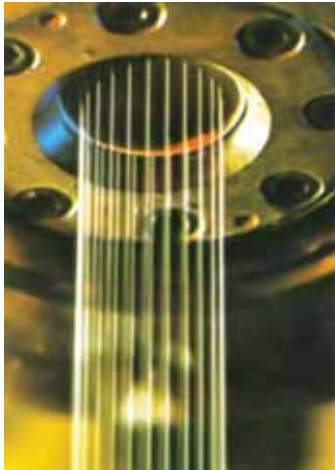
Іншим видом штучного шовку є *віскозний шовк*. Його виробляють з іншого естеру, так званого ксантогенату целюлози:



Сформовані нитки із фільтер потрапляють до ванни з розчином сульфатної кислоти, під дією якої естерні групи руйнуються, і целюлоза регенерується. Можна вважати, що віскозне волокно більшою мірою наближене до натурального порівняно з ацетатним.



Мал. 127. Штучний шовк



Мал. 128. Фільтера

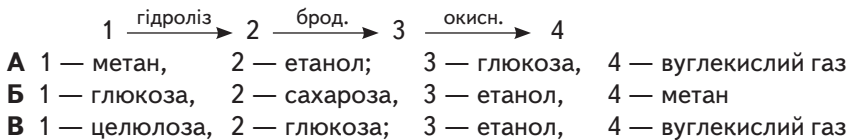
Якщо розчин продавлювати крізь вузьку щілину замість фільтера, то утвориться плівка — *целофан*.

**Біоетанол.** Сучасна наука пропонує використовувати природну целюлозу для розв'язування сировинної та енергетичної проблем людства. Річ у тім, що на земній кулі нагромаджено величезну кількість біомаси рослин, основним компонентом якої є целюлоза. Певні види ферментів (біохімічних каталізаторів) здатні переробляти цю біомасу (побутові відходи, бадилля рослин, качани, соломку, тирсу, мул) на *біоетанол*, що його можна використовувати як добавку до бензину. Виробництво біоетанолу потребує спеціального оснащення, однак біотехнологічні методи переробки біомаси з енергетичною метою мають значні перспективи.



### Завдання для самоконтролю

1. Чим різняться між собою крохмаль і целюлоза: за складом; за хімічною будовою? Складіть порівняльну таблицю.
2. Яке значення має реакція горіння целюлози?
3. Які продукти утворюються в результаті термічного розкладу целюлози?
4. На якій реакції целюлози ґрунтується виробництво штучного волокна?
5. Складіть схему (за стадіями) виробництва штучного волокна.
6. Поясніть, як виробляють целофан.
7. Які цінні продукти можна добути в результаті хімічної переробки целюлози?
8. Укажіть назви речовин у наведеній схемі реакції.



### Додаткові завдання

9. Поясніть класифікацію вуглеводів. Наведіть приклади.
10. Як за допомогою одного й того самого реактиву можна розпізнати сахарозу й глюкозу?
11. Які з вивчених вами вуглеводів дають реакцію «срібного дзеркала»? Що це засвідчує?
12. Яку спільну властивість мають оліго- й полісахариди?
13. Яке значення мають реакції гідролізу вуглеводів? Відповідь поясніть.
14. Чи належить виробництво цукру до хімічних виробництв? Поясніть, чому.
15. Складіть рівняння послідовних реакцій, за допомогою яких можна добути кальцій глюконат з крохмалю.
16. Маса глюкози, добутої з крохмалю, більша за масу вихідного продукту. Поясніть, чому.

17. Складіть рівняння реакції утворення моно- й динітратів целюлози.
18. Поясніть залежність властивостей від складу й будови молекул на прикладі крохмалю і целюлози.
19. Поясніть взаємозв'язок органічних і неорганічних речовин на прикладі вуглеводів.
20. Побутує твердження, що розвиток сучасної цивілізації завдячує целюлозі. Підтвердіть або спростуйте це.
21. Поясніть значення й перспективи біотехнологічної переробки целюлози. Підготуйте повідомлення на цю тему.
22. Чи можна дрова назвати біопаливом?
23. Унаслідок окиснення жирів в організмі виділяється вдвічі більше енергії, ніж під час окиснення вуглеводів. Яке значення це має для підтримання нормальної маси тіла?
24. Визначте речовини, що утворюються в результаті перетворень:



25. Якої маси сахарозу треба гідролізувати, щоб добути фруктозу масою 5 кг?

## Висновки

- У природі вуглеводи утворюються завдяки фотосинтезу.
- Вуглеводи поділяють на моно-, оліго-, полісахариди.
- Глюкоза — моносахарид, гексоза. Загальна формула —  $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ .
- У кристалічному стані глюкоза існує в циклічній формі ( $\alpha$ - й  $\beta$ -глюкоза).
- У розчині частина молекул глюкози переходить у відкриту альдегідну форму.
- Глюкоза вступає в реакції відновлення й окиснення, естерифікації, бродиння.
- Фруктоза — ізомер глюкози, кетонспирт.
- Рибоза й дезоксирибоза належать до пентоз.
- Причина оптичної ізомерії полягає в існуванні асиметричних атомів Карбону.
- Сахароза — дисахарид, загальна формула —  $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$ .
- У результаті гідролізу сахарози утворюються глюкоза й фруктоза.
- Сахарозу у вигляді цукру добувають з природної сировини — цукрового буряку, цукрової тростини.
- Крохмаль і целюлоза — природні полімери, полісахариди. Загальна формула цих сполук  $(\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5)_n$ .
- Крохмаль і целюлоза різняться між собою будовою мономерів, ступенем полімеризації, просторовою будовою молекул.
- Крохмаль — неоднорідна сполука, складається з амілози й амілопектину.
- Проміжні продукти гідролізу крохмалю — декстрини, кінцевий продукт — глюкоза.
- Крохмаль — цінна поживна речовина.
- Целюлоза вступає в реакції окиснення, гідролізу (до глюкози), термічного розкладу, естерифікації.
- У результаті хімічної переробки целюлози добувають цінні органічні речовини.
- Естери целюлози є основою виробництва штучних волокон.
- Целюлоза є сировиною для використання у процесах біотехнології.
- Вуглеводи належать до біологічно активних речовин.



# Нітрогеновмісні сполуки

## Нові поняття й терміни:

нітросполуки, аміни, анілін, анілінові барвники, нуклеїнові кислоти, нуклеотид, нуклеозид, кодон, реакція Зініна.

Існує багато органічних речовин, до складу яких входить атом Нітрогену. Це вже відомі вам нітрометан, нітробензен і нітротолуен, тринітрогліцерол. Далі триватиме ознайомлення з амінами, амінокислотами, білками, нуклеїновими кислотами — саме вони відіграють визначальну роль у життєдіяльності організмів.

Розгляньте класифікацію нітрогеновмісних сполук. Наведіть формули і назви відомих вам.

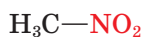
## Нітрогеновмісні органічні сполуки

Клас	Загальна формула	Функціональна група
Нітросполуки	$R-NO_2$	$-NO_2$
Аміни	$R-NH_2$	$-NH_2$
Амінокислоти	$HOOC-R-NH_2$	$-NH_2$ $-COOH$
Білки		Сполуки зі змішаними функціями
Нуклеїнові кислоти		Сполуки зі змішаними функціями

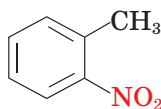


## § 39. НІТРОСПОЛУКИ

До нітрогеновмісних сполук належать і власне **нітросполуки**, тобто ті, у молекулах яких функціональна **нітрогрупа**  $-NO_2$  сполучена безпосередньо з вуглеводневою групою:



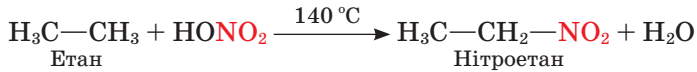
Нітрометан



орто-Нітротолуен

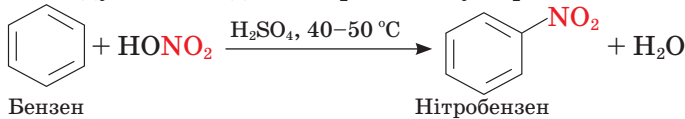
Порівняйте структурні формули нітродметану й нітрогліцеролу, зверніть увагу на порядок приєднання нітрогрупи. Чи належить нітрогліцерол до нітросполук? Поясніть, чому.

Реакція **нітрування** вуглеводнів, у результаті якої атом Гідрогену заміщується на нітрогрупу, є основним способом добування нітросполук. Нітрування насичених вуглеводнів (*реакція Коновалова*) відбувається за їх нагрівання з розбавленим розчином нітратної кислоти:



Під час реакції відбувається деструкція вуглеводню, і разом із основним продуктом утворюються побічні — у цьому разі нітродметан  $\text{CH}_3-\text{NO}_2$ , а також оксигеновмісні сполуки.

Ароматичні вуглеводні нітруються в умовах нагрівання з нітрувальною сумішшю, до складу якої входять нітратна й сульфатна кислоти:



Поясніть, як саме нітрогрупа впливає на розподіл електронної густини в бензеновому ядрі. Складіть рівняння реакції утворення динітробензену. Порівняйте розподіл електронної густини в молекулах нітробензену й толуену. Складіть рівняння реакції добування тринітротолуену.

Нітросполуки широко застосовують у різних галузях. **Нітродметан** і **тетранітродметан** — як розчинники синтетичних смол і каучуків, у органічному синтезі, вони входять до складу реактивного палива.

**Трихлоронітродметан** використовують як інсектицид, окрім того, це сильний лакриматор (від лат. *lacrima* — сльоза) — отруйна речовина сльозогінної дії; за його допомогою перевіряють надійність протигазів.

**Нітробензен** — дуже важливий промисловий продукт, сировина для добування барвників.

**2,4,6-Тринітротолуен**, більше відомий як тротил, або тол, — одна з найпоширеніших вибухових речовин.

**Нітрофенол** використовують у синтезі барвників.

**2,4,6-Тринітрофенол**, або пікринову кислоту, спершу використовували як жовтий барвник, згодом було відкрито його вибухові властивості. Солі — пікрати — вибухають за нагрівання.

Нітросполуки — отруйні речовини, вони діють на центральну нервову систему.



### Завдання для самоконтролю

1. Складіть структурні формули нітросполук, згаданих у тексті параграфа.
2. За яким механізмом відбувається реакція Коновалова?
3. Поясніть, де використовують нітросполуки.
4. Нітросполука містить 58,54 % С, 4,09 % Н, 26,00 % О, 11,37 % N. Складіть молекулярну і структурну формули сполуки.



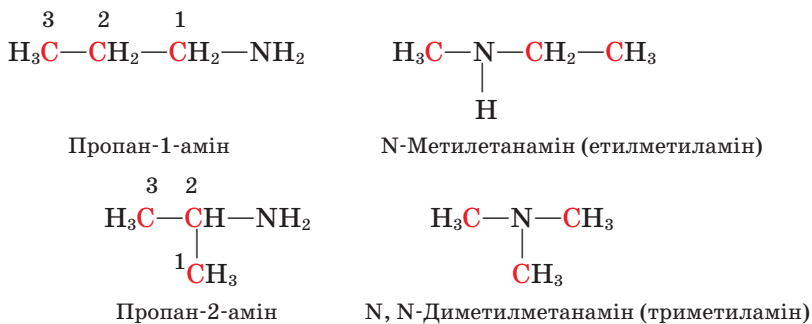
## § 40. АМІНИ

**Склад і будова молекул. Номенклатура. Ізомерія.** До нітрогеновмісних сполук належать також **аміни**, ознакою яких є наявність функціональної **аміногрупи** —NH<sub>2</sub>. Їх можна розглядати як похідні амоніаку, у молекулі якого атоми Гідрогену заміщені на вуглеводневі групи. Залежно від числа заміщених атомів розрізняють *первинні, вторинні та третинні* аміни:



**Назви** первинних амінів утворюють поєднанням назви відповідного алкану та слова *амін*. *Щоб назвати первинний амін, треба пронумерувати вуглеводневий ланцюг, починаючи з атома, до якого ближче розташована аміногрупа. Перед назвою відповідного алкану цифрами зазначають місце й назви бічних відгалужень, після назви – місце аміногрупи та додають слово амін.*

Для амінів характерна *структурна ізомерія* карбонового скелета й положення аміногрупи, а також *ізомерія між первинними, вторинними й третинними амінами*.



Назви вторинних і третинних амінів наведено не для запам'ятовування.

Ми вивчатимемо первинні аміни, загальна формула яких **R—NH<sub>2</sub>**. Характеристики деяких з них наведено в таблиці 17.

Таблиця 17

### Характеристики амінів

Назва	Структурна формула	Температура кипіння, °С
Метанамін	H <sub>3</sub> C—NH <sub>2</sub>	–6,5
Етанамін	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> —NH <sub>2</sub>	17
Пропан-1-амін	C <sub>3</sub> H <sub>7</sub> —NH <sub>2</sub>	48
Бутан-1-амін	C <sub>4</sub> H <sub>9</sub> —NH <sub>2</sub>	78

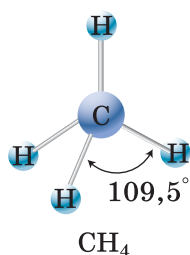


Експериментально встановлено, що молекули амінів мають форму піраміди, кути між зв'язками становлять  $106\text{--}108^\circ$ , тобто близькі до тетраедричного ( $109,5^\circ$ ) (мал. 129). Наприклад, валентні кути в молекулі триметиламіну —  $108^\circ$  (мал. 130). Тож можна припустити, що атом Нітрогену перебуває в стані  $sp^3$ -гібридизації.

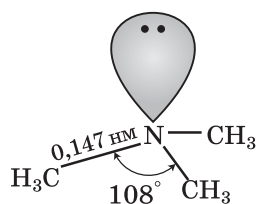
У результаті «змішування»  $2s$ - і  $2p$ -електронних орбіталей утворюються чотири  $sp^3$ -гібридні електронні орбіталі, що належать п'яти електронам зовнішнього електронного шару атома Нітрогену (мал. 131).

Неподілена електронна пара займає одну із  $sp^3$ -гібридних орбіталей, це впливає на розмір валентного кута, що стискається порівняно з тетраедричним до  $108^\circ$ .

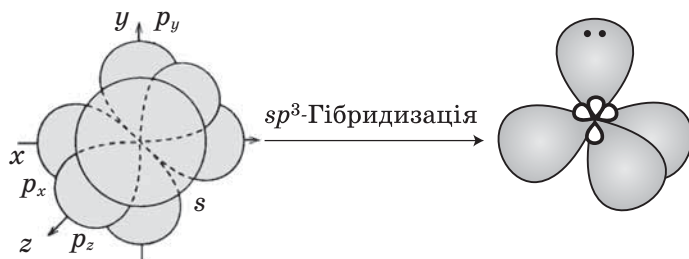
Схему утворення  $\sigma$ -зв'язків у молекулі метанаміну наведено на мал. 132, модель молекули метанаміну – на мал. 133.



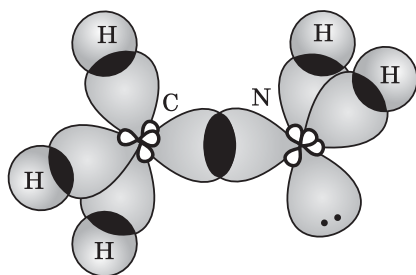
Мал. 129. Валентний кут у молекулі метану



Мал. 130. Геометрія молекули триметиламіну



Мал. 131. Схema утворення  $sp^3$ -гібридних електронних орбіталей атома Нітрогену



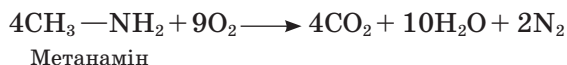
Мал. 132. Схema утворення  $\sigma$ -зв'язків у молекулі метанаміну



Мал. 133. Модель молекули метанаміну

## Реакції амінів

### Повне окиснення (горіння)



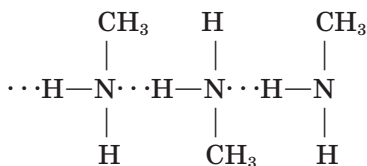
### Взаємодія з водою



### Взаємодія з кислотами



**Фізичні властивості.** Серед амінів є гази, рідини, тверді речовини. Нижчі аміни мають запах амоніаку, розчинні у воді. Первинні аміни утворюють водневі зв'язки, тому їхні температури кипіння значно вищі, ніж у вторинних і третинних амінів:



Складіть схему утворення водневих зв'язків між молекулами метанаміну і води.

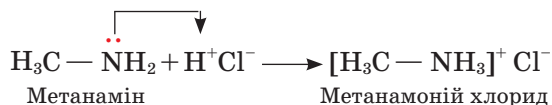
**Хімічні властивості.** На відміну від вуглеводнів і оксигеновмісних органічних сполук, що повністю окиснюються до вуглекислого газу і води, аміни горять на повітрі з утворенням вуглекислого газу, азоту і води.

Водні розчини амінів мають лужну реакцію завдяки утворенню гідроксид-йона в результаті взаємодії з водою, отже, діють на індикатори. Перевіримо це на досліді.

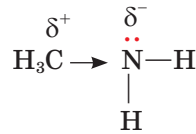
До розчину метанаміну добавимо розчин фенолфталеїну — він набуде малинового кольору. Отже, розчин має лужні властивості.

Завдяки наявності неподіленої пари електронів аміни реагують із **кислотами**. Якщо до отвору газовідвідної трубки, з якої виділяється метанамін, піднести склянку з хлоридною кислотою або скляну паличку, змочену цією кислотою, то можна спостерігати утворення білої хмаринки солі.

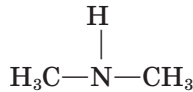
При цьому електронна пара атома Нітрогену взаємодіє з протоном:



Аліфатичні аміни — сильні основи, оскільки під впливом вуглеводневих груп на атомі Нітрогену зростає електронна густина й він міцніше утримує протон:



Складіть подібну схему зміщення електронної густини в молекулі N-метилметанаміну (вторинного аміну):



Яка основа сильніша: первинний чи вторинний амін?

Соли амінів містяться в оселедцевому розсолі. Обробивши його лугом, можна виділити суміш амінів і використовувати їх для дослідів.

N-метилметанамін — вихідна речовина для синтезу вискоєфективного, хоча й токсичного, ракетного палива диметилгідразину  $(\text{CH}_3)_2\text{N}-\text{NH}_2$  (технічна назва *гептил*).



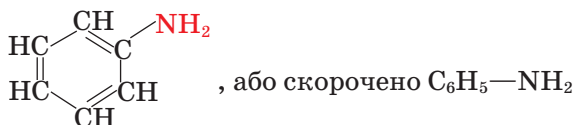
### Завдання для самоконтролю

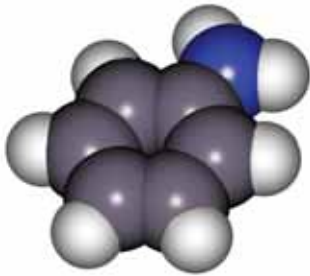
1. Які сполуки належать до класу амінів?
2. Чим зумовлена ізомерія амінів? Наведіть приклади.
3. Складіть формули ізомерів бутанаміну. Назвіть їх.
4. Поясніть утворення  $\sigma$ -зв'язків у молекулі метанаміну.
5. Порівняйте валентні кути молекул метанаміну й метану. Зробіть висновок.
6. Які аміни розчиняються у воді? Чим зумовлена ця здатність?
7. Як відбуваються реакції горіння амінів?
8. Поясніть, чому аміни виявляють властивості основ, а не кислот.
9. Порівняйте реакції горіння амоніаку й вуглеводнів.
10. Назвіть відомі вам йонні органічні сполуки, напишіть їхні формули.
11. Обчисліть об'єм (л) азоту, що утворився в результаті повного окиснення метанаміну масою 186 г.



## § 41. АНІЛІН

**Склад і будова молекули.** Якщо аміногрупа сполучена безпосередньо з фенільною групою, утворюється ароматичний амін **феніламін**, або **анілін**:





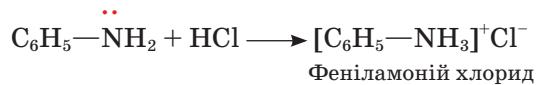
Мал. 134. Модель молекули аніліну

Модель молекули аніліну представлено на мал. 134.

За **фізичними властивостями** анілін — безбарвна оліїста рідина, малорозчинна у воді.

**Хімічні властивості** аніліну дещо відмінні від властивостей аліфатичних амінів.

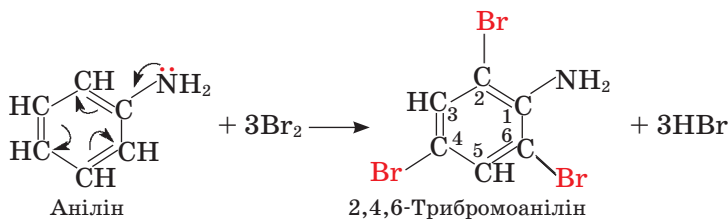
Випробування розчинами фенолфталеїну й фіолетового лакмусу засвідчує, що анілін **не змінює забарвлення індикаторів**. Він реагує лише із **ильними кислотами**, утворюючи солі:



Отже, анілін — слабкіша основа, ніж аліфатичні аміни. Таку відмінність, як ви вже знаєте, пояснюють будовою молекули аніліну. Розглянемо її.

Між неподіленою парою електронів аміногрупи та  $\pi$ -електронною системою бензенового ядра відбувається взаємодія, унаслідок якої електронна густина зміщується до бензенового ядра. На атомі Нітрогену вона зменшується, тому протон утримується слабкіше. Як результат — кислотні властивості речовини посилюються, а основні тим самим послаблюються. У цьому виявляється вплив бензенового ядра на властивості аміногрупи.

Наслідком зворотного впливу аміногрупи на бензенове ядро є збільшення електронної густини, зокрема в *орто*- і *пара*-положеннях бензенового ядра. У результаті в цих положеннях відбуваються реакції електрофільного **заміщення**, наприклад із бромною водою. Якщо до емульсії аніліну у воді додати бромну воду, то утвориться білий осад **2,4,6-трибromoаніліну**. Пригадайте, що бензен не реагує з бромною водою. Отже, аміногрупа активує бензенове ядро:



За порівнянням властивостей метанаміну й аніліну можна дійти висновку про послаблення основних властивостей від метанаміну до аніліну. А щоб кількісно оцінити силу основи чи кислоти, використовують константи основності  $K_b$  (від англ. *basic* — основа) і кислотності  $K_a$  (від англ. *acid* — кислота).

Чим менше значення  $pK_b$ , тим сильніша основа; чим менше значення  $pK_a$ , тим сильніша кислота.

Сполука	Метанамін	Феніламін (анілін)	Дифеніламін
$pK_b$	3,4	9,4	13,2



## Завдання для самоконтролю

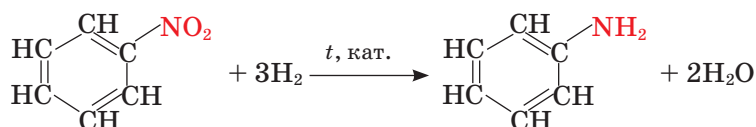
1. Чому анілін називають ще феноламіном?
2. Поясніть розподіл електронної густини в молекулі аніліну.
3. Схарактеризуйте основні властивості аніліну.
4. Як позначається на хімічних властивостях аніліну вплив аміногрупи на бензенове ядро?
5. Поясніть вплив бензенового ядра на аміногрупу в молекулі аніліну.
6. Яка основа сильніша: анілін чи метанамін? Відповідь поясніть.
7. Анілін нітрується в *meta*-положення. Складіть рівняння реакції.
8. Масова частка Нітрогену в порції аніліну становить 12 %. Визначте масову частку домішок (у відсотках).

А 3,05    Б 15,05    В 12    Г 14,6



## § 42. ДОБУВАННЯ ТА ЗАСТОСУВАННЯ АНІЛІНУ

**Добування.** Основний спосіб добування аніліну — відновлення нітробензену воднем за температури 250–350 °С та наявності каталізатора:



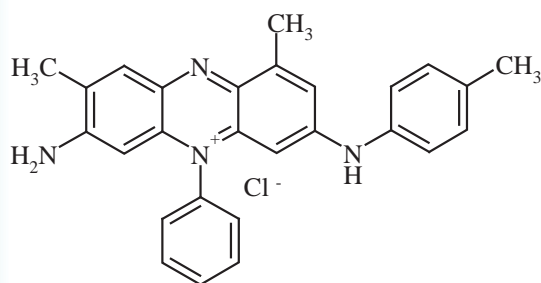
Відновлення можна також проводити металічним залізом, цинком, оловом у середовищі хлоридної кислоти.

Уперше синтез аніліну з нітробензену здійснив російський учений М. М. Зінін у 1842 р., тому реакцію називають *реакцією Зініна*. Відтоді анілін став легкодоступною сировиною для виробництва великої кількості різноманітних органічних речовин.

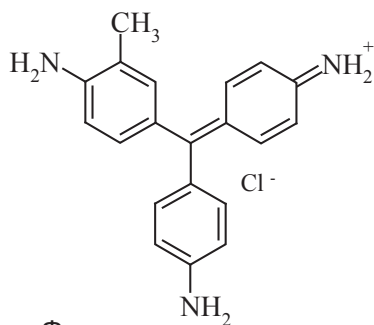
**Застосування.** Анілін відіграв винятково важливу роль у розвитку синтетичної органічної хімії та хімічної промисловості, зокрема виробництва анілінових барвників і лікарських засобів.

Сама назва аніліну пов'язана з барвниками, його вперше було виділено з продуктів розкладу індиго — синього барвника рослинного походження (португ. *anil* — індиго, тобто блакитний). Перші синтетичні барвники мовеїн (фіолетового кольору) та фуксин (червоного кольору) було добуто в результаті хімічних перетворень із аніліну. Згодом він став основною сировиною для синтезу інших барвників, що отримали назву *анілінових* (мал. 135).

Розвиток анілінофарбової промисловості потребував великої кількості аніліну як вихідної сировини. Найдешевший спосіб його добування — з бен-



Мовеїн



Фуксин

Мал. 135. Структурні формули анілінових барвників (наведено не для запам'ятовування)

зену, оскільки бензен є одним із продуктів переробки кам'яного вугілля. У результаті реакції нітрування бензену утворюється нітробензен, який за реакцією Зініна відновлюють до аніліну. Склався такий ланцюг перетворень:

*Кам'яне вугілля → Продукти коксування → Бензен → Нітробензен  
→ Анілін → Синтетичні анілінові барвники.*

У цьому ланцюзі тісно переплетені теорія і практика, розвиток науки й потреби промисловості. Щоб пояснити це, удамося до історії.

Уважається, що виникнення промисловості органічного синтезу в Європі на початку 60-х років XIX ст. пов'язане з виробництвом синтетичних барвників на основі продуктів переробки кам'яного вугілля. Проте перші синтетичні барвники було добуто випадково у результаті хімічних експериментів. На той час хіміки не мали чітких уявлень про склад і будову цих сполук, не володіли теоретичними знаннями, на основі яких можна було б вести цілеспрямований синтез.

Розвиток теоретичних уявлень про взаємозв'язок між будовою та властивостями органічних речовин сприяв визначенню будови барвників, відкрив шлях для їх синтезу й широкого використання. У свою чергу, розвиток хімічних виробництв стимулював розвиток теоретичної органічної хімії. Згодом



Російський хімік, випускник, а згодом професор Казанського університету, професор Медико-хірургічної академії в Петербурзі. Синтезував низку органічних сполук, вивчаючи реакції окиснення й відновлення. Відкрив метод відновлення ароматичних нітросполук, що невдовзі став основою нової галузі хімічної промисловості — анілінофарбової. Видатний педагог, засновник казанської школи хіміків. Серед його учнів — О. М. Бутлеров, М. М. Бекетов, О. П. Бородін.

**Микола Миколайович  
Зінін  
(1812—1880)**

було розроблено теорію кольоровості органічних речовин, що пов'язувала їхній колір і електронну будову молекул.

У розробці теорії кольоровості велику роль відіграли українські вчені, зокрема А. І. Кіпріанов і його учні. Застосування цієї теорії дало змогу виконати такі важливі практичні завдання, як синтез текстильних барвників заданого кольору, а також створення світлочутливих матеріалів для виробництва кольорових фото- й кіноплівок.

Пошуки дешевої сировини для промисловості сприяли досконалому вивченню складу продуктів переробки кам'яного вугілля, серед яких було виявлено багато цінних сполук, що їх також використовують в органічному синтезі.

Анілінофарбова промисловість потребувала й неорганічних речовин, зокрема кислот і лугів. Ці потреби стимулювали паралельний розвиток неорганічного синтезу.

Анілін прислужився не лише промисловості барвників, а й фармацевтичній промисловості.

Анілін чинить жарознижувальну й знеболювальну дію, проте його не використовують як лікарський засіб через високу токсичність. А от серед похідних аніліну є багато ліків. Структура аніліну — основа так званих сульфамідних препаратів, до яких належать відомі вам бісептол, білий стрептоцид і багато інших.

Як засвідчує історія, лікарські засоби рослинного, тваринного й мінерального походження відомі людині здавна. Вправними лікарями були стародавні китайці та індузи, греки й римляни, араби. На Русі здавна використовували цілющі трави. У XII ст. дуже популярним був «Травник» (посібник із лікування рослинами), створений онукою князя Володимира Мономаха, дружиною візантійського імператора Євпраксією.

Із розвитком хімічної науки з'явилася можливість виділяти з природних матеріалів біологічно активні речовини, вивчати їх і застосовувати в чистому вигляді. Хоча перевірені часом препарати природного походження ще й досі залишаються на озброєнні сучасної медицини, вони вже не можуть повною мірою задовольнити її потреби.



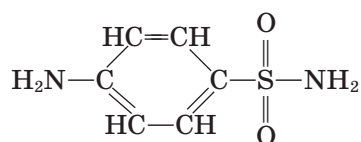
Український хімік-органік, академік. Закінчив Харківський університет. Працював у Харківському, Київському університетах, очолював Інститут органічної хімії АН України. Засновник наукової школи українських хіміків-органіків. Один із перших учених-хіміків застосував електронну теорію для з'ясування залежності властивостей органічних сполук від їхньої будови. На цій основі сформулював теорію кольоровості органічних речовин. Синтезував чимало нових барвників, що їх використовують у промисловості фоточутливих матеріалів.

**Андрій Іванович  
Кіпріанов  
(1896—1972)**

Сучасна медицина використовує величезну кількість лікарських засобів синтетичного походження. Їх створення ґрунтується на знанні взаємозв'язку між складом, будовою та властивостями органічних речовин, зокрема їхньою фізіологічною дією.

Синтез лікарських засобів тісно пов'язаний з розвитком хімії барвників. Коли було виявлено, що клітини живих організмів здатні забарвлюватися деякими барвниками, постало питання: чи не можуть барвники зв'язуватися із хвороботворними мікроорганізмами й знищувати їх? Звісно, ці речовини не повинні вражати живі тканини.

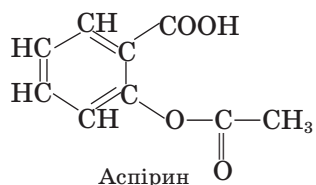
Таким препаратом був червоний стрептоцид, що виявив бактерицидну дію. Це було в 1935 р. Згодом з'ясувалося, що ця речовина в організмі розщеплюється до простішої, що й чинить лікувальну дію — до білого стрептоциду. Він має порівняно просту будову:



Білий стрептоцид

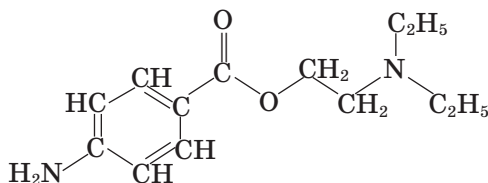
Поява у 30—40-х роках ХХ ст. сульфамідних препаратів забезпечила можливість лікування від таких смертельно небезпечних хвороб, як зараження крові, стрептококова ангіна, крупозне запалення легенів. Пізніше сульфамідні препарати було витіснено ефективнішими, зокрема антибіотиками, хоча ще часто сульфаміди залишаються незамінними протизапальними ліками.

Серед синтетичних лікарських засобів чільне місце посідають похідні бензену, аніліну, нітрогеновмісних гетероциклічних сполук. Наприклад, відомий протизапальний засіб аспірин (ацетилсаліцилова кислота) містить у своєму складі бензенове ядро та функціональні карбоксильну й естерну групи (мал. 136):



Аспірин

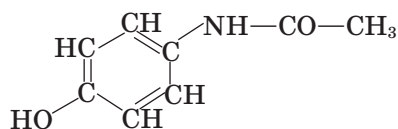
Знеболювальний (анестезувальний) засіб новокаїн — похідна сполука *пара*-амінобензойної кислоти:



Новокаїн

Протизапальний засіб панадол є похідною сполукою *пара*-амінофенолу:





Панадол

Сировиною для виробництва синтетичних лікарських препаратів є продукти вугільної, нафтохімічної, лісохімічної та інших галузей промисловості. Наприклад, для виробництва білого стрептоциду з продуктів коксування кам'яного вугілля виділяють бензен, із нього добувають нітробензен, що далі перетворюють на анілін. Анілін є вже так званим напівпродуктом, з якого за кілька хімічних стадій добувають сульфамід — власне білий стрептоцид.

Виробництво аспірину також складається з декількох стадій. Фенол, добутий із кам'яного вугілля, перетворюють на натрій (літій) фенолят, з нього під дією вуглекислого газу отримують саліцилову кислоту, яку за допомогою етанової кислоти перетворюють на етиловий естер.

Створення нового лікарського засобу — надзвичайно копітка праця. Із десятків тисяч сполук фармакологічну активність можуть виявити десятки, а увійти в медичну практику — лише одиниці. Пошукова робота потребує участі багатьох фахівців — хіміків-синтетиків, біохіміків, фармакологів, хіміотерапевтів, представників технічних спеціальностей.

Українські вчені мають досягнення в синтезі медичних препаратів. Популярний нині протигрипозний засіб ремантадин було створено за участю українських хіміків (с. 54, мал. 28).



Мал. 136. Лікарські засоби є продуктами багатоступеневого синтезу



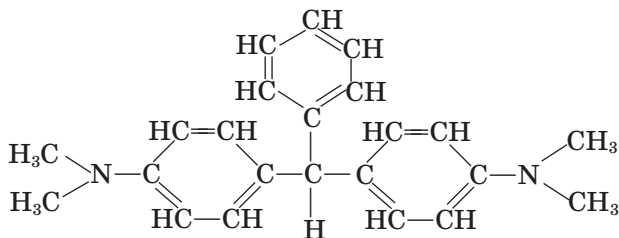
## Завдання для самоконтролю

1. Схарактеризуйте значення реакції Зініна.
2. Яку роль відіграв анілін у розвитку хімічної промисловості?
3. Назвіть функціональні групи сполук, згаданих у параграфі.
4. Для виробництва аніліну масою 186 кг треба затратити:
  - А нітробензен масою 123 кг; водень об'ємом 44,8 м<sup>3</sup>
  - Б нітробензен масою 246 кг; водень об'ємом 44,8 м<sup>3</sup>
  - В нітробензен масою 246 кг; водень об'ємом 134,4 м<sup>3</sup>
  - Г нітробензен масою 123 кг; водень об'ємом 268,8 м<sup>3</sup>

## Додаткові завдання

5. Поясніть, на чому ґрунтується припущення про  $sp^3$ -гібридизацію електронних орбіталей атома Нітрогену в молекулах амінів.
6. Порівняйте будову молекул бензену й аніліну.
7. Складіть порівняльну таблицю властивостей метанаміну й аніліну.
8. Розмістіть за зростанням основних властивостей такі сполуки:
  - а) метанамін, анілін, *para*-хлороанілін;
  - б)  $C_6H_5-NH_2$ ,  $(CH_3)_2NH$ ,  $CH_3NH_2$ .

9. Порівняйте галузі застосування аніліну й фенолу.
10. Складіть рівняння реакцій за наведеною схемою перетворень:  
 $\text{CaCO}_3 \rightarrow X \rightarrow \text{CaC}_2 \rightarrow Y \rightarrow \text{C}_6\text{H}_6 \rightarrow Z \rightarrow \text{C}_6\text{H}_7\text{N} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_4\text{Br}_3\text{N}$ .  
 Укажіть речовини X, Y, Z.
- A** X – метан, Y – етин, Z – анілін  
**Б** X – кальцій оксид, Y – етин, Z – нітробензен  
**В** X – кальцій оксид, Y – метан, Z – толуен
11. Поясніть на прикладі виробництва анілінових барвників, як ви розумієте взаємозв'язок теорії і практики.
12. Формула барвника малахітового зеленого



Якщо замінити метильні групи на етильні, то утвориться барвник брильянтовий зелений. Складіть формулу цієї сполуки. Де її використовують?

## Висновки

- Аміни містять функціональну аміногрупу  $-\text{NH}_2$ , сполучену з алкільною групою.
- Основні параметри молекули триметиламіну:  
 гібридизація електронних орбіталей атомів Нітрогену й Карбону —  $sp^3$ ;  
 довжина зв'язку  $\text{C}-\text{N}$  — 0,147 нм;  
 енергія зв'язку  $\text{C}-\text{N}$  — 305 кДж/моль;  
 валентний кут —  $108^\circ$ ;  
 види ізомерії — структурна ізомерія карбонового ланцюга, положення аміногрупи та ізомерія між первинними, вторинними й третинними амінами.
- Аміни — полярні сполуки.
- Первинні й вторинні аміни утворюють водневі зв'язки.
- Внаслідок наявності неподіленої пари електронів у атома Нітрогену аліфатичні аміни виявляють основні властивості й реагують з кислотами й водою.
- Анілін виявляє властивості, зумовлені взаємним впливом аміногрупи та бензенного ядра: не діє на індикатори, реагує лише із сильними кислотами, а також із бромною водою.
- Основний спосіб добування амінів — відновлення нітросполук.
- Анілін добувають з нітробензену за реакцією Зініна.
- Анілін і його похідні широко використовують у різних галузях промисловості, зокрема в анілінофарбовій і фармацевтичній.

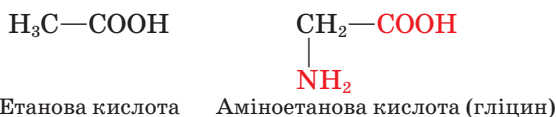


## § 43. АМІНОКИСЛОТИ

**Склад і будова молекул.** Із курсів біології та хімії 9 класу вам відомо про роль *амінокислот* і *білків* у життєдіяльності організмів, про хімічний склад цих сполук. Коротко нагадаємо про це.

Молекули амінокислот містять по дві функціональні групи: *карбоксильну* —COOH й *аміногрупу* —NH<sub>2</sub>.

Якщо в молекулі етанової кислоти CH<sub>3</sub>COOH один атом Гідрогену метильної групи замістити на аміногрупу, то утвориться найпростіша амінокислота — аміноетанова (амінооцтова, гліцин):



За складом амінокислоти дуже різномантні, можуть містити дві карбоксильні групи або дві аміногрупи, фенільну (—C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>), гідроксильну (—OH) і сульфідну (—S—) та інші групи. Приклади деяких представників амінокислот наведено в таблиці 18.

Таблиця 18

Представники амінокислот

Назва		Структурна формула
систематична	тривіальна	
Аміноетанова	Гліцин (амінооцтова)	H <sub>2</sub> N—CH <sub>2</sub> —COOH
2-Амінопропанова	α-Аланін (α-амінопропіонова)	$  \begin{array}{c}  \text{H}_3\text{C}-\text{CH}-\text{COOH} \\    \\  \text{NH}_2  \end{array}  $
3-Амінопропанова	β-Аланін (β-амінопропіонова)	$  \begin{array}{c}  \text{H}_2\text{C}-\text{CH}_2-\text{COOH} \\    \\  \text{NH}_2  \end{array}  $
2-Аміно-3-метилбутанова	Валін (α-аміноізовалеріанова)	$  \begin{array}{c}  \text{CH}_3 \\    \\  \text{H}_3\text{C}-\text{CH}-\text{CH}-\text{COOH} \\    \\  \text{NH}_2  \end{array}  $
2,6-Діаміногексанова	Лізін (α-, ε-діамінокапронова)	$  \begin{array}{c}  \text{H}_2\text{N}-(\text{CH}_2)_4-\text{CH}-\text{COOH} \\    \\  \text{NH}_2  \end{array}  $
2-Аміно-3-гідроксипропанова	Серин (α-аміноβ-гідроксипропіонова)	$  \begin{array}{c}  \text{HO}-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{COOH} \\    \\  \text{NH}_2  \end{array}  $
2-Аміно-3-сульфанілпропанова	Цистеїн (α-аміноβ-меркаптопропіонова)	$  \begin{array}{c}  \text{HS}-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{COOH} \\    \\  \text{NH}_2  \end{array}  $
2-Амінопентадіова	Глутамінова кислота (α-аміноглутарова)	$  \begin{array}{c}  \text{HOOC}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{COOH} \\    \\  \text{NH}_2  \end{array}  $

**Назви** амінокислот за систематичною номенклатурою *утворюють від назв відповідних алканів (нумерація від Карбону карбоксильної групи) додаванням префікса -аміно, суфікса -ова й слова кислота. Перед назвою цифрами позначають положення замісників (у тому числі й аміногрупи) в алфавітному порядку.*

За традиційною номенклатурою до назв відповідних карбонових кислот додають префікс **-аміно-**. Місце аміногрупи відносно карбоксильної групи позначають літерами грецького алфавіту:  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $\delta$ ,  $\epsilon$  (аланін —  $\alpha$ -амінопропіонова кислота). Для амінокислот, що входять до складу білків, як правило, використовують тривіальні назви, причому скорочені, у тому числі й у латинському написанні: гліцин — *гли*, *Gly*; аланін — *ала*, *Ala*; цистеїн — *цис*, *Cys* і т. д.

Масштабні моделі молекул  $\alpha$ -аланіну й гліцину наведено на мал.137.

Амінокислотам властиві *структурна ізомерія* карбонового скелета й положення аміногрупи, *оптична ізомерія*.

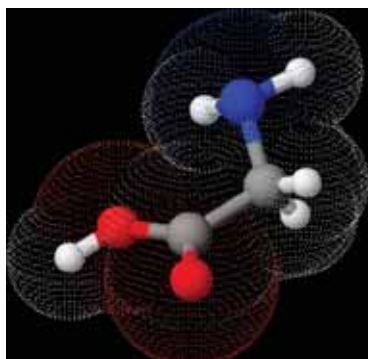
Складіть формули структурних ізомерів  $\alpha$ -амінобутанової кислоти й назвіть їх за систематичною номенклатурою.

**Фізичні властивості.** Амінокислоти, на відміну від амінів і карбонових кислот, — кристалічні речовини, що мають високі температури плавлення, розчиняються у воді, добре кристалізуються. Цим властивостям більшою мірою відповідає структура амінокислот як «внутрішніх солей», тому формули амінокислот прийнято записувати у вигляді *біполярного йона*:

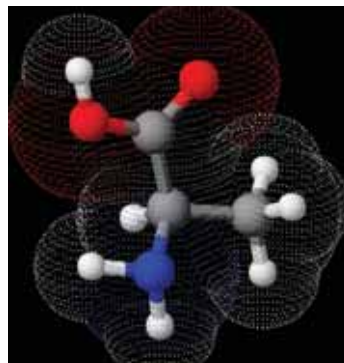


**Хімічні властивості.** Зважаючи на наявність карбоксильних та аміногруп, можна припустити, що розчини амінокислот діють на індикатори. Результат такої дії залежить від того, які групи переважають у молекулі амінокислоти. Розчин гліцину  $\text{H}_2\text{N}-\text{CH}_2-\text{COOH}$  нейтральний, а розчин лізину  $\text{H}_2\text{N}-(\text{CH}_2)_4-\text{CH}(\text{NH}_2)-\text{COOH}$  має лужну реакцію.

Поєднуючи в собі протилежні за характером основні й кислотні групи, амінокислоти виявляють властивості **амфотерних сполук**, тобто здатні утворювати солі і з кислотами, і з основами.



*a*



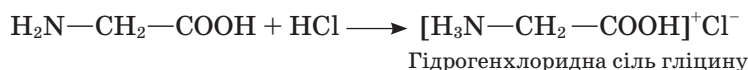
*б*

Мал. 137. Моделі молекул гліцину (*a*) й  $\alpha$ -аланіну (*б*)

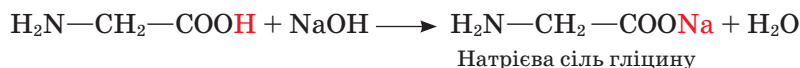
## Реакції амінокислот

Взаємодія з

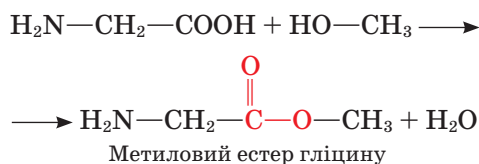
кислотами:



основами:



спиртами:



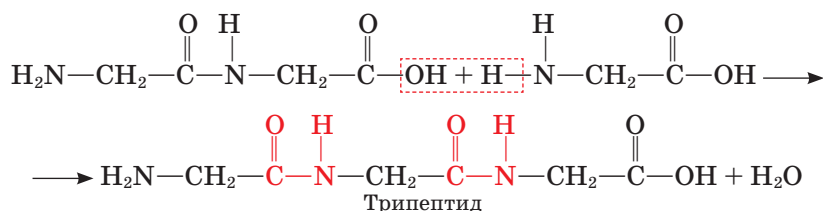
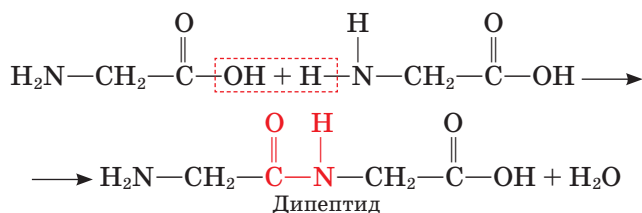
Утворення пептидів



Пригадайте, у чому полягають особливості неорганічних амфотерних сполук, наведіть приклади реакцій за їх участю.

За карбоксильною групою амінокислоти взаємодіють з основами, вступають у реакцію **естерифікації** зі спиртами. За аміногрупою вони реагують із мінеральними кислотами.

Найважливішою особливістю амінокислот є взаємодія молекул між собою. У реакцію вступають протилежні за функціями групи: карбоксильна група однієї молекули та аміногрупа іншої. Унаслідок реакції утворюються ди-, три-, ..., поліпептиди й виділяється вода:



Зв'язок між залишками амінокислот називають *пептидним* (або *амід-*

*ним*) зв'язком, а групу  $\begin{array}{c} \text{O} \quad \text{H} \\ \parallel \quad | \\ -\text{C}-\text{N}- \end{array}$  *пептидною* (або *амідною*) *групою*.

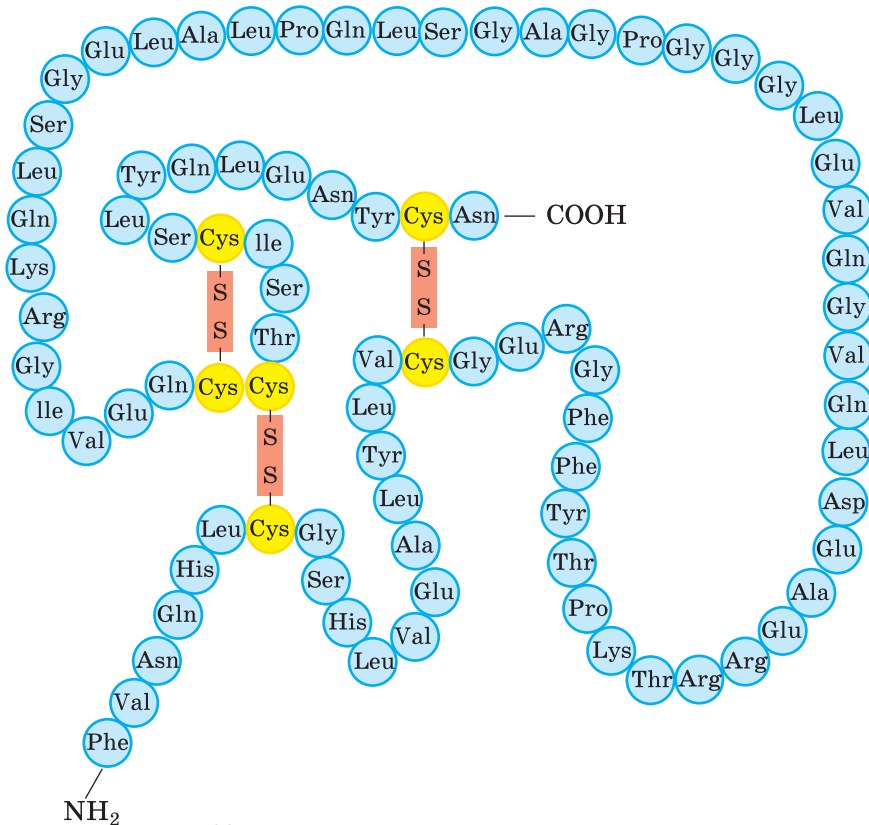
Поліпептидний ланцюг є основою будови молекул білків (мал. 138).

**Значення.** До складу білків входять 20  $\alpha$ -амінокислот, причому 8 з них належать до *незамінних*. Що це означає? Тоді як рослини синтезують усі необхідні їм амінокислоти з поживних речовин, природа не наділила такою здатністю тварин і людину. Лише деякі необхідні для життєдіяльності амінокислоти організм може виробляти самостійно, інші ж він має одержувати з їжею. Нестача незамінних амінокислот призводить до патологічних процесів у організмі.

Із курсу біології вам відоме значення амінокислот. Яким має бути склад їжі, щоб організм отримував усі необхідні амінокислоти?

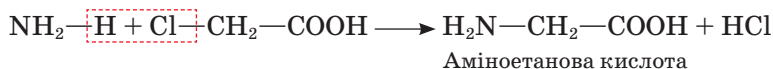
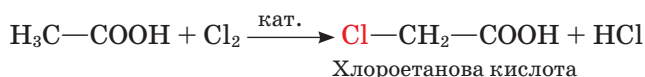
Хворим, виснаженим людям іноді вводять амінокислоти в кров, тим самим полегшується їх засвоєння та підтримуються сили організму. Деякі амінокислоти є ліками.

Для підгодівлі сільськогосподарських тварин використовують синтетичні амінокислоти.



Мал. 138. Фрагмент моделі поліпептидного ланцюга

**Добування.** Загальним методом синтезу  $\alpha$ -амінокислот є дія *амоніаку на хлоропохідні карбонових кислот*:



Амінокислоти добувають також *гідролізом білків* (для цього використовують відходи м'ясної промисловості).

Деякі мікроорганізми здатні виробляти амінокислоти. На цьому ґрунтується *мікробіологічний метод* виробництва кормового лізину.



## Завдання для самоконтролю

1. Амінокислоти належать до *гетерофункціональних* сполук. Поясніть цей термін.
2. Чи можна скласти загальну формулу амінокислот?
3. Чим зумовлена різноманітність амінокислот?
4. Як утворюється біполярний йон амінокислоти?
5. Схарактеризуйте фізичні властивості амінокислот як йонних сполук.
6. Поясніть дію амінокислот на індикатори.
7. Схарактеризуйте хімічні властивості амінокислот як амфотерних сполук.
8. У які реакції вступають амінокислоти за: аміногрупою; карбоксильною групою? Складіть рівняння відповідних реакцій.
9. Як утворюється пептидний зв'язок?
10. До якого типу реакцій належить утворення пептидів?
11. Складіть рівняння реакцій за такою схемою перетворень:  
Етанол  $\longrightarrow$  ?  $\longrightarrow$  Хлороетанова кислота  $\longrightarrow$  Гліцин  $\longrightarrow$  Дипептид
12. Складіть формулу трипептиду, утвореного будь-якими амінокислотами, наведеними в таблиці 18.
13. Схарактеризуйте значення амінокислот.



## § 44. БІЛКИ

**Склад і будова.** Думку про те, що амінокислоти є «цеглинками», з яких побудовані білки, уперше висловив видатний український біохімік і хімік Іван Якович Горбачевський.

Пригадайте, які ще заслуги перед наукою має цей учений.

Автором *поліпептидної теорії* будови білків є видатний німецький хімік Е. Фішер. На початку ХХ ст. він синтезував перші поліпептиди (прийнято, що поліпептиди містять до 100 амінокислотних ланок, а білки — понад 100).

У всіх видів живих організмів налічується близько  $10^{10}$ — $10^{12}$  різних білків. Кожний з них має унікальну, властиву саме йому послідовність амінокислотних залишків і просторову будову. Усе це в сукупності визначає біологічні властивості білка.

За хімічним характером білки є полімерами, хоча поняття *молекулярна маса, мономерна ланка, ступінь полімеризації*, за якими характеризують полімери, щодо білків набувають дещо іншого тлумачення.

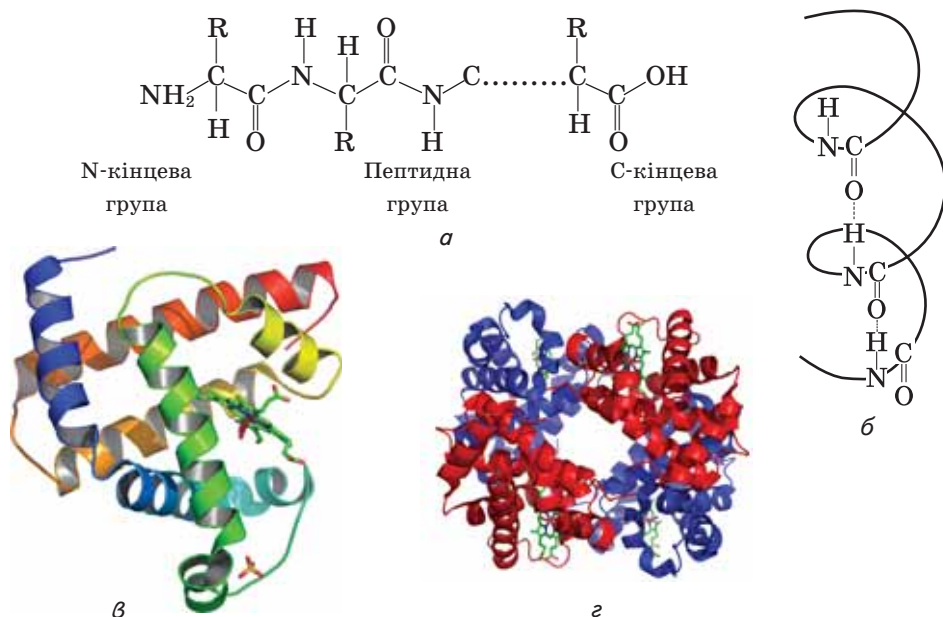
На відміну від поліетилену чи целюлози білки мають постійний склад і певне значення відносної молекулярної маси. Для вивчених білків можна скласти брутто-формулу, наприклад для білка гемоглобіну — це  $C_{3032}H_{4816}Fe_4N_{780}O_{872}S_8$ . Заміна хоча б однієї амінокислоти в полімерному ланцюзі білка на іншу амінокислоту має серйозні наслідки для його функціонування в організмі.

Мономерну ланку білка виділити неможливо, оскільки послідовність амінокислот у кожного білка своя, унікальна, регулярно повторювані фрагменти у відомих білках не виявлено. Через це поняття ступеня полімеризації втрачає первісну суть. Може йтися лише про число пептидних зв'язків у полімерному ланцюзі.

Розрізняють чотири рівні структурної організації білків — *первинну, вторинну, третинну й четвертинну* (мал. 139).

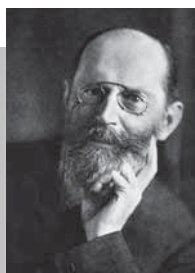
**Первинну** структуру зумовлює послідовність сполучення амінокислотних залишків у молекулі білка.

Самі амінокислоти дуже різняться за складом, містять різні за електро-негативністю атоми Гідрогену, Оксигену, Нітрогену, Сульфуру. Ці атоми взаємодіють між собою, «змушуючи» поліпептидний ланцюг вигинатись



Мал. 139. Структура білка: *а, б, в* — відповідно первинна, вторинна, третинна структури; *г* — четвертинна структура гемоглобіну





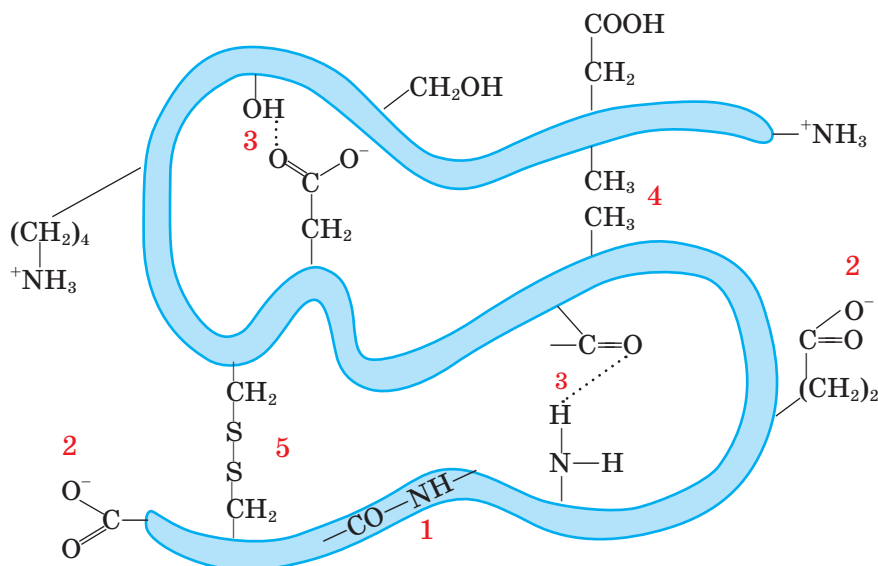
**Еміль Герман  
Фішер  
(1852—1919)**

Німецький хімік, член Берлінської АН. Наукові праці присвячені хімії фізіологічно активних речовин. Синтезував низку вуглеводів, зокрема глюкозу й фруктозу. Встановив, що амінокислоти сполучаються між собою за допомогою пептидних зв'язків з утворенням поліпептидів, уперше добув дипептид. Лауреат Нобелівської премії 1902 р.

і набувати просторової будови. Завдяки утворенню водневих зв'язків між пептидними групами певні ділянки білка можуть скручуватися у формі спіралі (*вторинна* структура).

Між ділянками полімерного ланцюга, де є залишки сульфуровмісних амінокислот, можуть утворюватися дисульфідні містки, а між карбоксильними й аміногрупами — сольові містки. Як наслідок відбувається специфічна просторова орієнтація полімерного ланцюга, що й зумовлює *третинну* структуру білка (мал. 140).

Установлено, наприклад, що молекула міоглобіну містить 153 амінокислотні залишки, відносна молекулярна маса його становить 16 700. Полімерний ланцюг має вісім відносно прямолінійних відрізків, кожний із яких — це спіраль, що містить від 7 до 23 амінокислотних залишків (див. мал. 139, в).



Мал. 140. Хімічні зв'язки в макромолекулах білків: 1 — пептидні; 2 — йонні; 3 — водневі; 4 — неполярні; 5 — дисульфідні

Деякі білки характеризуються **четвертинною** структурою. У білку гемоглобіну цю структуру утворюють чотири макромолекули, певним чином зорієнтовані одна відносно одної. У складі кожної макромолекули міститься йон  $\text{Fe}^{2+}$ . Отже, утворюється білковий комплекс, що виконує певну функцію в організмі.

Пригадайте з курсу біології, у чому полягає функція гемоглобіну крові.

Чотирма рівнями структурної організації характеризують білок волосся  $\beta$ -кератин: це суперспіраль, що нагадує кількажильний кабель.

Через складність будови білків вивчати їх — важке завдання.

**Властивості.** Білки дуже різняться між собою за властивостями, що залежать від наявності в їхньому складі амінокислот з різними функціональними групами, здатними вступати в характерні для них реакції.

Серед білків є нерозчинні у воді й такі, що утворюють колоїдні розчини. До останніх належить білок курячого яйця. Саме з ним зручно проводити досліди.



### Лабораторний дослід 8

#### Розчинення й денатурація білків

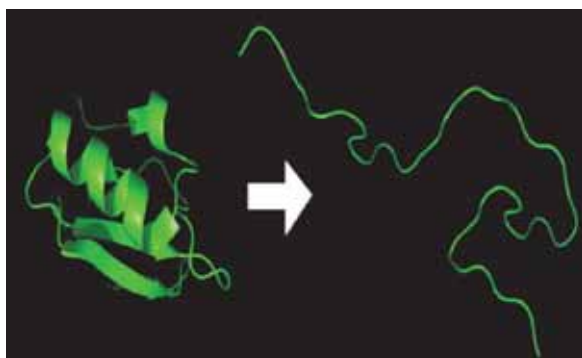
**Дослід А.** Помістіть у пробірку невелику кількість білка курячого яйця, додайте води, суміш перемішайте. Переконайтеся, що утворився прозорий розчин.

**Дослід Б.** Нагрійте розчин білка курячого яйця і спостерігайте, як він зсідається, або денатурує (від лат. *de i natura* — утрата природних якостей).

Саме цей процес **денатурації** ви спостерігаєте під час приготування їжі з м'яса, яєць, риби.

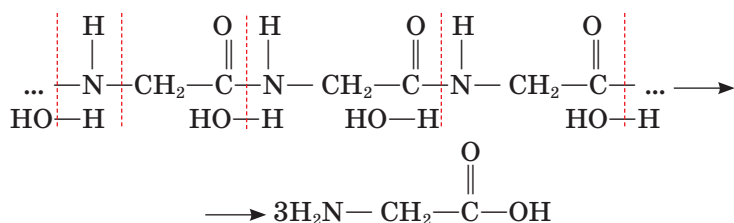
Із хімічного боку денатурація спричиняє руйнування слабких міжмолекулярних зв'язків, а отже, вторинної і третинної структур. Білок утрачає властиву йому просторову будову, а отже, залежні від неї функції (мал. 141).

Процес денатурації може бути незворотним, при цьому білки втрачають біологічну активність, живі клітини гинуть. Саме тому висока температура тіла, дія агресивних хімічних сполук на шкіру, що має білкову природу, небезпечні для організму. За певних умов можлива ренатурація білка — відновлення початкової структури.



Мал. 141. Денатурація білка

**Гідроліз** — процес, зворотний утворенню поліпептидного ланцюга. Під час гідролізу молекули води приєднуються за місцем пептидних зв'язків, утворюються карбокси- й аміногрупи. Унаслідок цього білок розщеплюється на амінокислоти, з яких він побудований:



Процес гідролізу відбувається під час нагрівання білків із розчинами кислот і лугів, у живому організмі — під дією ферментів.

**Розклад.** Процес відбувається під дією мікроорганізмів, а продукти розкладу — амоніак, сірководень, фенол, інші речовини — мають неприємний запах, знайомий вам із побуту (протухлі яйце, м'ясо, риба).

До яких способів удаються, щоб запобігти розкладу білків у складі їжі?

Для аналітичного виявлення білків використовують так звані **кольорові реакції**.



### Лабораторний дослід 9

#### Кольорові реакції білків

**Д о с л і д А.** До розчину білка курячого яйця у пробірці додайте розчин лугу такого самого об'єму й декілька краплин слабкого розчину купрум(II) сульфату.

Що спостерігаєте? Як змінилося забарвлення розчину?

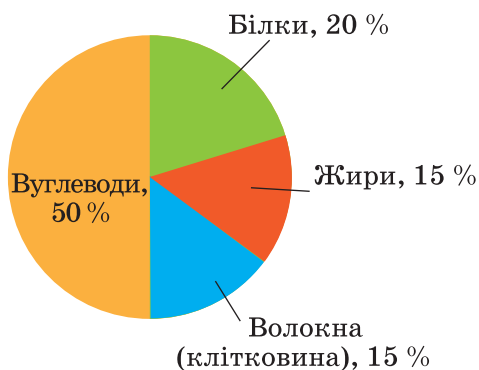
**Д о с л і д Б.** До розчину білка у пробірці додайте трохи концентрованої нітратної кислоти.

Що спостерігаєте? Як змінився колір суміші?

Поява жовтого забарвлення в результаті реакції білка з концентрованою нітратною кислотою (*ксантопротеїнова реакція*) свідчить про наявність бензенових ядер у структурі білка. Червоно-фіолетове забарвлення білка в результаті дії купрум(II) гідроксиду (*біуретова реакція*) засвідчує наявність пептидних зв'язків.

**Значення білків.** Білки є основним будівельним матеріалом тваринних організмів, а саме їх клітин. М'язи, гемоглобін крові, волосся, шкіра, ферменти мають білкову природу.

Властиві кожному організму білки будуються з тих, що він їх одержує з їжею (мал. 142, с. 228). Проте білки їжі безпосередньо не засвоюються організмом, спершу вони гідролізуються до амінокислот під впливом речовин, що містяться у травній системі, потім амінокислоти всмоктуються у кров, а вже з нею потрапляють до клітин організму, де синтезуються властиві йому білки.



Мал. 142. Співвідношення поживних речовин у збалансованому харчуванні

Проблема синтезу білків *in vitro* давно турбує вчених, хоча досягнення в цій галузі незначні: добуто лише окремі білки нескладної будови. Причину цього ви, напевно, вже можете пояснити. Певний поступ має місце завдяки автоматизації процесів синтезу.

Значно більших успіхів досягнуто в розробленні методів *мікробіологічного синтезу* білків. Розвинулася нова галузь виробництва — *біотехнологія*, що включає промислові методи, в яких використовують живі організми (переважно мікроорганізми) та біологічні процеси.

Виготовлення дріжджового тіста, вина, пива, оцту, кисломолочних продуктів також належить до біотехнологічних процесів, оскільки відбувається за участю мікроорганізмів.

Унаслідок здатності деяких мікроорганізмів швидко розмножуватися можна нарощувати значну біомасу впродовж короткого часу. До того ж використовується дешева сировина, оскільки живильним середовищем для мікроорганізмів можуть бути неочищені вуглеводні нафти, солома, лузга насіння, тирса, відходи бродильної та целюлозної промисловості тощо.

Сучасна мікробіологічна промисловість виробляє білкові добавки до тваринного корму, вітаміни, антибіотики, ферменти й багато інших корисних речовин.

Щоправда, ця користь іноді обертається негативними наслідками для довкілля. Оскільки біотехнологія пов'язана із розмноженням мікроорганізмів, то її відходи, потрапляючи у водойми, ґрунт, можуть завдавати шкоди природним угіддям, порушувати баланс природних процесів. Щоб запобігти цьому, слід дотримуватися високої культури виробництва, за якої апаратуру для вирощування мікроорганізмів надійно герметизують, а відходи знешкоджують.



### Завдання для самоконтролю

1. Яка хімічна будова білків?
2. Чим зумовлена надзвичайна різноманітність білків?
3. Схарактеризуйте білки за такими ознаками: відносна молекулярна маса, мономерна ланка, ступінь полімеризації.

4. Які чинники визначають первинну, вторинну, третинну й четвертинну структури білка?
5. Схарактеризуйте термічну стійкість білків.
6. У чому полягає відмінність між процесами гідролізу й розкладу білків?
7. Білки горять з утворенням характерного запаху. Переконайтесь у цьому, обережно підпаливши пір'їну, вовняну нитку. Порівняйте із запахом бавовняної нитки, що горить.
8. Схарактеризуйте біологічне значення білків.

### Додаткові завдання

9. Поясніть, як будова амінокислот позначається на їхніх властивостях.
10. Зробіть припущення про хімічні властивості серину.
11. Білки належать до біополімерів. Укажіть речовину, що її можна назвати так само.  
А клітковина    Б крохмаль    В глюкоза    Г жир
12. У чому полягає складність вивчення структури білків?
13. Схарактеризуйте значення процесу гідролізу білків, жирів, вуглеводів для функціонування організму.
14. Чи можна повністю замінити білкову їжу на вуглеводну? Чому?
15. Спираючись на знання властивостей білків, поясніть, чому посуд з-під молочних продуктів слід мити спершу холодною водою, а потім гарячою, а не навпаки.

### Висновки

- Усі амінокислоти містять карбоксильну групу й аміногрупу. Деякі амінокислоти містять інші функціональні групи.
- Амінокислоти існують у вигляді «внутрішніх солей».
- Амінокислоти — амфотерні сполуки.
- Найважливіша властивість амінокислот — утворення поліпептидів.
- Амінокислоти сполучаються між собою за допомогою пептидних зв'язків.
- Білки — це біополімери.
- Білкам властиві первинна, вторинна, третинна, деяким — четвертинна структури.
- Білки здатні до гідролізу, розкладу, денатурації.
- Білки можна виявити за допомогою кольорових реакцій.
- Розшифрування складу білків та їх синтез є важливою науковою проблемою.



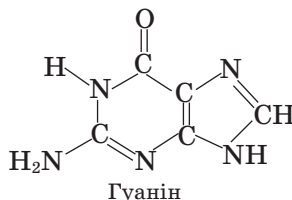
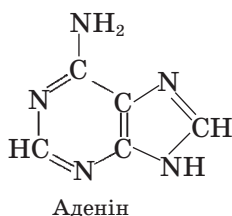
## § 45. НУКЛЕЇНОВІ КИСЛОТИ

**Склад і будова молекул.** У функціонуванні живих організмів важливу роль відіграють нуклеїнові кислоти (НК). Вони містяться в кожній живій клітині й контролюють її роботу.

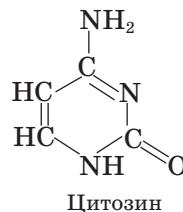
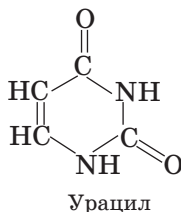
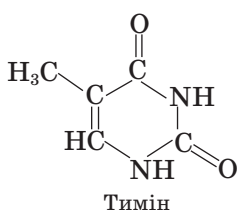
Нуклеїнові кислоти відкрив у 1868 р. швейцарський учений Ф. Мішер. Він також визначив у їхньому складі Карбон, Гідроген, Оксиген, Нітроген,

Фосфор (останній міститься у вигляді залишку ортофосфатної кислоти). Згодом було виявлено, що до складу НК входять нітрогеновмісні гетероциклічні сполуки, так звані *азотисті основи*.

### Пуринові основи

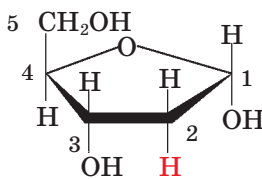
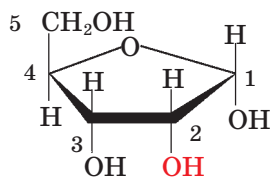


### Піримідинові основи



До якої групи сполук належать пурин, піримідин та їхні похідні?

До 1910 р. було невідомо, як саме сполучені між собою азотисті основи й ортофосфатна кислота, аж доки у складі НК не виявили залишки вуглеводів — моносахаридів. З'ясувалося, що існують два типи НК: до складу одних уходить моносахарид рибоза, а до складу інших — дезоксирибоза. Відповідно кислоти було названо *рибонуклеїною* (РНК) і *дезоксирибонуклеїною* (ДНК).



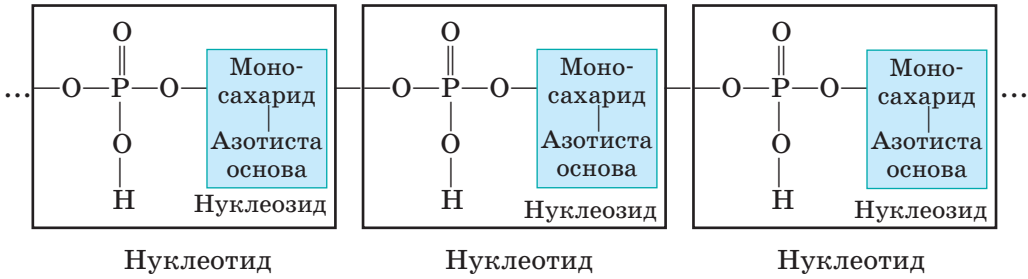
Отже, у складі НК поєднуються нітрогеновмісні гетероцикли, моносахариди й залишок ортофосфатної кислоти.

До того ж НК є полімерними сполуками. Загалом схему полімерного ланцюга можна подати, як на мал. 143, 144.

У молекулі НК азотиста основа сполучена з моносахаридом — цей фрагмент називають *нуклеозидом*. Нуклеозид, сполучений із залишком ортофосфатної кислоти, утворює *нуклеотид*.

Нуклеотиди є мономерними ланками полімерного ланцюга НК.

Пригадайте, що вуглеводи здатні утворювати естери з неорганічними кислотами. Саме такий зв'язок виникає між ортофосфатною кислотою та



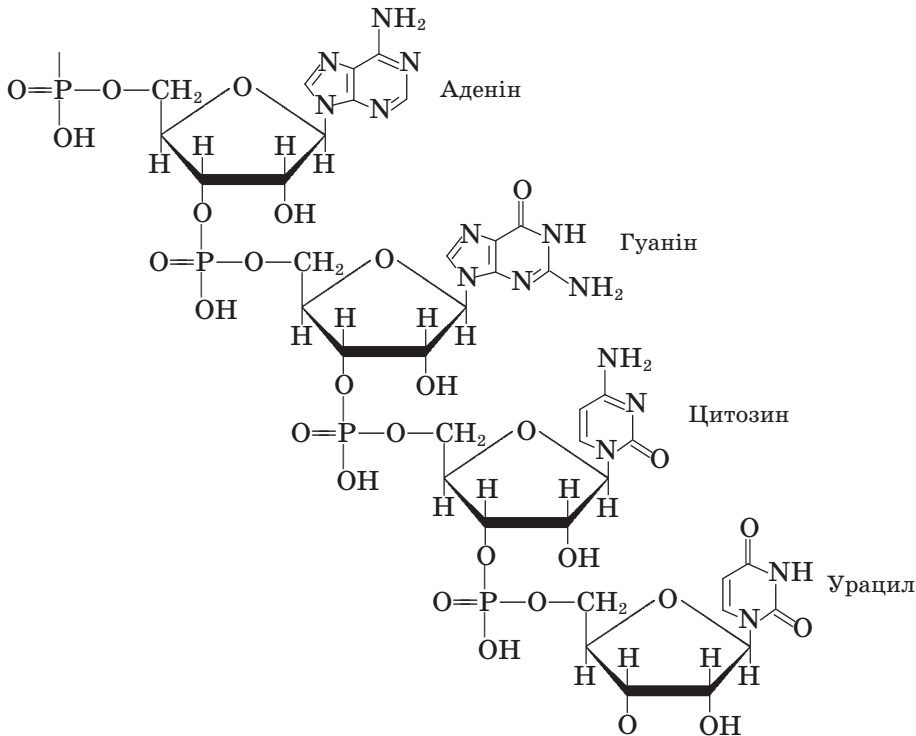
Мал. 143. Схема будови нуклеїнової кислоти

моносахаридами в НК. Цей зв'язок руйнується в результаті гідролізу НК, при цьому утворюється суміш нуклеотидів.

ДНК і РНК містять різні азотисті (нітрогеновмісні) основи. До складу ДНК входять аденін, гуанін, тимін, цитозин, до складу РНК — аденін, гуанін, цитозин, урацил.

У макромолекулах ДНК і РНК з'єднуються тисячі нуклеотидів. Молекулярна маса НК становить від декількох сотень тисяч до декількох мільйонів.

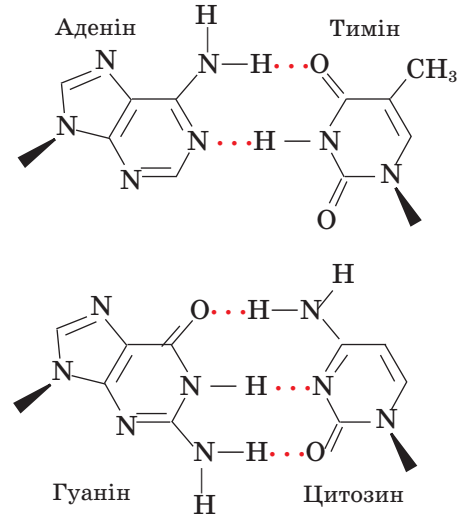
Послідовність розміщення нуклеотидів зумовлює *первинну структуру* НК.



Мал. 144. Фрагмент полімерного ланцюга нуклеїнової кислоти

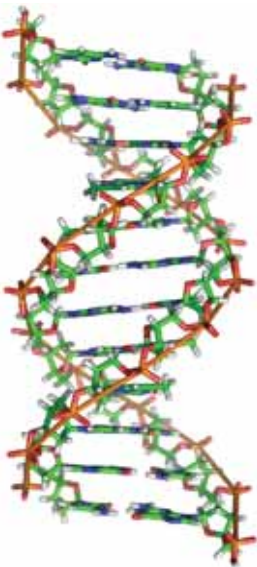


Мал. 145. Схема подвійної спіралі ДНК та її реплікації



Мал. 146. Схема утворення водневих зв'язків між азотистими основами паралельних ланцюгів ДНК

**Подвійна спіраль ДНК.** *Вторинна структура* краще вивчена для ДНК. Це два полінуклеотидні ланцюги, закручені в подвійну спіраль (мал. 145). Кожна азотиста основа одного ланцюга спрямована вглиб спіралі й сполучена водневим зв'язком з азотистою основою другого ланцюга. Важливим є те, що аденін завжди розміщується в парі з тиміном, цитозин — із гуаніном (мал. 146).



Мал. 147. Модель подвійної спіралі ДНК

Отже, азотисті основи ніби доповнюють одна одну. Інакше кажучи, вони розміщуються згідно з *принципом комплементарності* (від лат. *complementum* — доповнення).

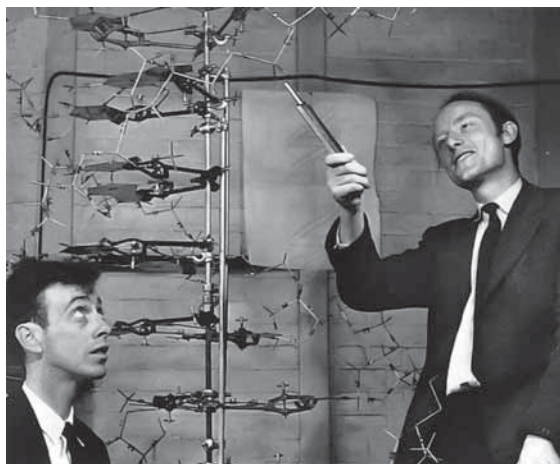
Пригадайте, яку роль відіграють водневі зв'язки у структурі білків.

Подвійну спіраль ДНК порівнюють із гвинтовими сходами. «Стояки» сходів — це ланцюги з вуглеводних і фосфатних груп, а азотисті основи утворюють власне «східці».

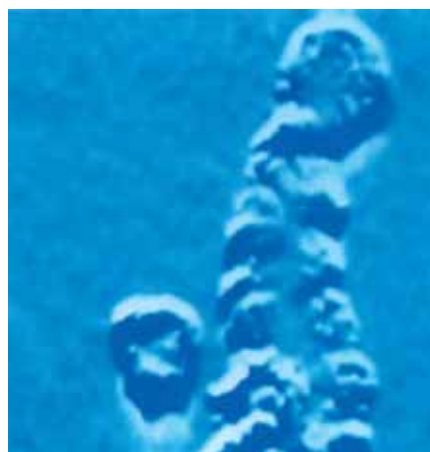
Модель подвійної спіралі ДНК (мал. 147) запропонували в 1953 р. американський учений Д. Вотсон і англійський учений Ф. Крік, за що були удостоєні Нобелівської премії 1962 р. (мал. 148).

**Значення ДНК.** Розкриття структури ДНК має величезне наукове значення, оскільки ця структура пов'язана з функціями ДНК в організмі. Подвійна спіраль ДНК зберігає спадкову інформацію, записа-





Мал. 148. Майбутні нобелівські лауреати Д. Вотсон і Ф. Крік біля першої моделі ДНК



Мал. 149. Електронна мікрографія молекули ДНК

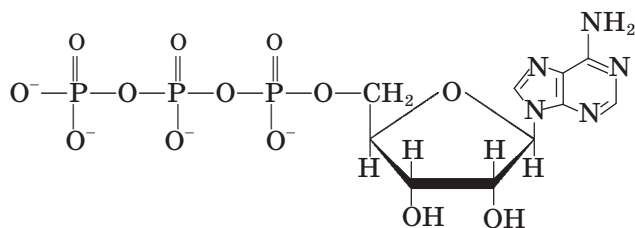
ну (закодовану) у вигляді послідовності азотистих основ у полінуклеотидному ланцюзі. Кожна трійка послідовно розміщених основ (триплет) є наче «літерою» генетичного коду, одиницею спадкової інформації. Її називають *кодоном*.

Передача інформації відбувається завдяки здатності ДНК до *реплікації* (від лат. *replicatio* — відбиття) (див. мал. 145). ДНК подвоюється, щоб забезпечити дочірню клітину повним набором відповідних молекул. У момент поділу клітини розриваються водневі зв'язки, подвійна спіраль починає розкручуватися, розділяючись на два ланцюги. На кожному з них добудовується додатковий ланцюг за рахунок нуклеотидів, що постачаються з навколишнього середовища й розміщуються за принципом комплементарності. Між азотистими основами утворюються нові водневі зв'язки. У результаті відбувається точне відтворення вихідної подвійної спіralі (мал. 149).

Цей процес є молекулярною основою спадковості. Будь-яка помилка у відтворенні подвійної спіralі спричиняє *мутацію* (від лат. *mutatio* — зміна), тобто зміну спадкових структур організму.

Не менш важливою є ще одна функція ДНК: вона спрямовує синтез білка в організмі. Послідовність азотистих основ уздовж ланцюга ДНК визначає послідовність амінокислот у білкових молекулах. Кожній амінокислоті відповідає свій кодон. Ця інформація використовується під час синтезу білка в клітині. Отже, структура молекул НК визначає структуру молекул білків, що синтезуються в організмі.

Для того щоб в організмі відбувався синтез білків та інші біохімічні реакції (наприклад, такі, що мають місце під час скорочення м'язів чи перетравлювання їжі, підтримання температури тіла, передачі нервових імпульсів — загалом під час виконання всіх життєвих функцій), потрібна енергія. Її запас акумулюється в хімічних зв'язках молекули адено-



Мал.150. АТФ

зинтрифосфату (АТФ). Ця сполука утворюється з вуглеводу рибози, гетероциклічної сполуки аденіну й трьох залишків ортофосфатної кислоти (мал. 150).

Під дією біокаталізаторів (ферментів) розриваються зв'язки між кінцевими фосфатними групами, енергія передається іншим молекулам, а АТФ перетворюється на АДФ (аденозиндифосфат). Фосфатна група може знову приєднатися за рахунок поглинання сонячної енергії (у разі фотосинтезуючих клітин) або хімічної енергії (у разі гетеротрофних клітин), що виділяється внаслідок утилізації вуглеводів, жирів, білків. Отже, у процесі регенерації АТФ енергія запасується. АТФ є основним носієм хімічної енергії клітин усіх живих організмів.

## Висновки

- Нуклеїнові кислоти — природні полімери.
- Мономерні ланки НК — нуклеотиди — складаються із хімічно зв'язаних нуклеозидів (азотиста основа + вуглевод) і залишків ортофосфатної кислоти.
- Є два типи НК: рибонуклеїнові (РНК) і дезоксирибонуклеїнові (ДНК). Вони різняться між собою за складом вуглеводів і азотистих основ.
- Кожна НК має властиву тільки їй послідовність нуклеотидів (первинна структура).
- Вторинна структура ДНК — це подвійна спіраль, у якій утворюються водневі зв'язки між азотистими основами.
- Азотисті основи в ДНК розміщені за принципом комплементарності.
- Триплет азотистих основ є кодоном генетичної інформації.
- Передача генетичної інформації відбувається завдяки реплікації ДНК.



## Завдання для самоконтролю

1. Поясніть склад і хімічну будову НК.
2. Дайте означення понять: *нуклеїнова кислота*; *нуклеотид*; *нуклеозид*.

3. Укажіть мономерну ланку нуклеїнових кислот.
  - А пептид
  - Б нуклеотид
  - В нуклеозид
  - Г моносахарид
4. Чим різняться між собою за складом ДНК і РНК?
5. Виділіть на мал. 144 мономерну ланку НК.
6. Як, на вашу думку, відбувається частковий і повний гідроліз НК? Які сполуки при цьому утворюються?
7. Що означає парність азотистих основ у структурі ДНК?
8. Поясніть за мал. 146, як утворюються водневі зв'язки між ланцюгами ДНК.
9. Що таке кодон? Обчисліть кількість можливих кодонів за формулою числа сполучень:  
 $m^n$ , де  $m$  — число азотистих основ;  $n$  — число основ у кодоні.
10. До чого може призвести помилка в послідовності нуклеотидів?
11. Укажіть, яку роль виконує ДНК в живому організмі.
  - А будівельний матеріал
  - Б збереження енергії
  - В збереження генетичної інформації
  - Г передача генетичної інформації
12. Поясніть зв'язок між НК й білками в організмі.
13. Схарактеризуйте значення відкриття структури ДНК, спираючись на знання з курсу біології.
14. «Під час уважного вивчення живих організмів, починаючи від найпростіших одноклітинних водоростей і бактерій і закінчуючи найскладнішими й найдосконалішими хребетними тваринами й людиною, стає помітною одна не випадкова особливість. Усі життєво важливі процеси в організмах відбуваються за безпосередньої участі тваринних і рослинних полімерних молекул. Низькомолекулярні речовини, такі як вода, мінеральні солі, і навіть деякі прості жири й вуглеводи входять у життєвий процес лише як середовище, тло, на якому працюють біополімери та їхні комплекси: білки, нуклеїнові кислоти, нуклеопротейди, полісахариди, ліпопротейди тощо. Кожний із цих речовин притаманні всі особливості, властиві полімерам. Разом із тим варто підкреслити, що вражаюча багатоманітність властивостей біополімерів пов'язана не лише й не настільки з відмінностями їхнього складу, як з величезною різноманітністю їхньої будови». (В. П. Кушнер).  
Прокоментуйте наведений текст. На основі знань з біології і хімії схарактеризуйте значення біополімерів у природі. Підготуйте повідомлення з цього питання.
15. Зробіть узагальнення щодо взаємозв'язку між складом, структурою та функціями біологічно активних речовин.



# Синтетичні високомолекулярні сполуки

**Нові поняття й терміни:**

**поліконденсація, деполімеризація, термопластичні, термореактивні полімери, поліамідні волокна.**



## § 46. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА

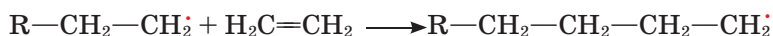
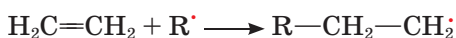
Розрізняють полімери натуральні (природні), штучні й синтетичні. Серед органічних речовин, що ви їх вивчали, були представники всіх цих груп. До перших належать полісахариди, білки, нуклеїнові кислоти — їх створює сама природа без втручання людини. Другі — це видозмінені природні полімери, наприклад штучний шовк, добутий з целюлози. Треті є продуктами органічного синтезу й створюються з речовин неполімерної будови, наприклад відомий вам з 9 класу поліетилен.

**Реакції полімеризації та поліконденсації.** Є два основні способи утворення полімерів: реакція полімеризації та реакція поліконденсації. Обидві реакції вам відомі в загальному вигляді. Розглянемо їх докладніше.

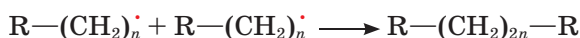
Реакція **полімеризації** властива ненасиченим речовинам, які здатні до сполучення одна з одною. Власне реакція полімеризації є різновидом реакції сполучення.

З'ясовано, що полімеризація етену відбувається за радикальним механізмом. Ви можете пригадати радикальну реакцію хлорування метану. У цій реакції радикали, що є надзвичайно активними частинками, утворювалися під дією світла. Полімеризація етену розпочинається завдяки спеціальним речовинам — *ініціаторам*, які розщеплюються з утворенням радикалів, тобто активних частинок з неспареним електроном ( $R\cdot$ )

Радикал взаємодіє з  $\pi$ -електронною системою подвійного зв'язку й приєднується до молекули етену. У результаті утворюється новий радикал, який так само діє на іншу молекулу етену:

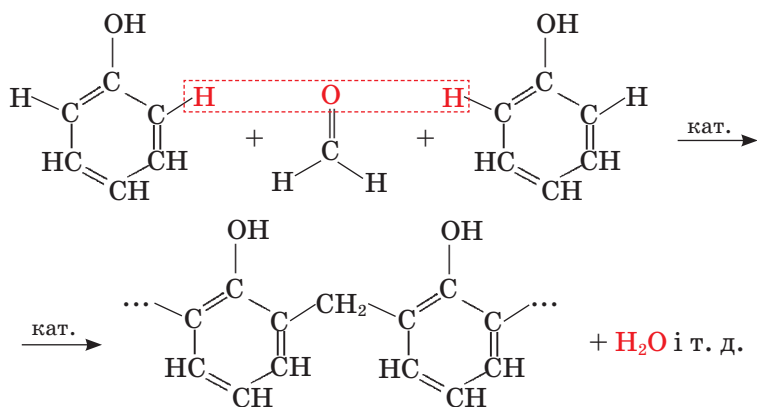


З кожною стадією довжина радикала зростає, аж доки не «зустрінуться» два радикали й не відбудеться обривання ланцюга:



Реакція **поліконденсації** відрізняється тим, що вона відбувається з утво-

ренням побічного продукту, яким найчастіше буває вода або інша низькомолекулярна сполука. У цьому разі молекули сполучаються не за рахунок розриву кратних зв'язків, а в результаті взаємодії функціональних груп, як у відомій вам реакції між фенолом і формальдегідом (метаналем):



Отже, у результаті цих реакцій утворюються *полімери*.

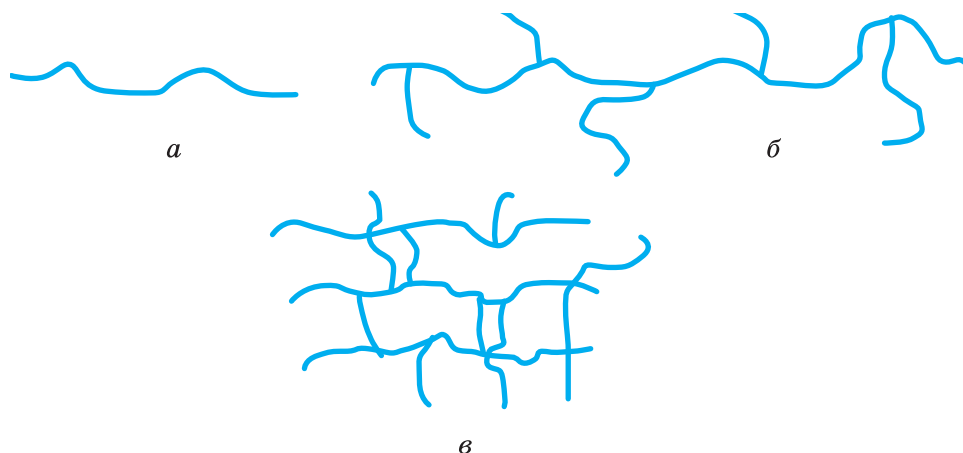
Пригадайте, як називають вихідні низькомолекулярні речовини в реакції полімеризації.

Як називають групи атомів, які повторюються і становлять основу хімічної будови полімерного ланцюга?

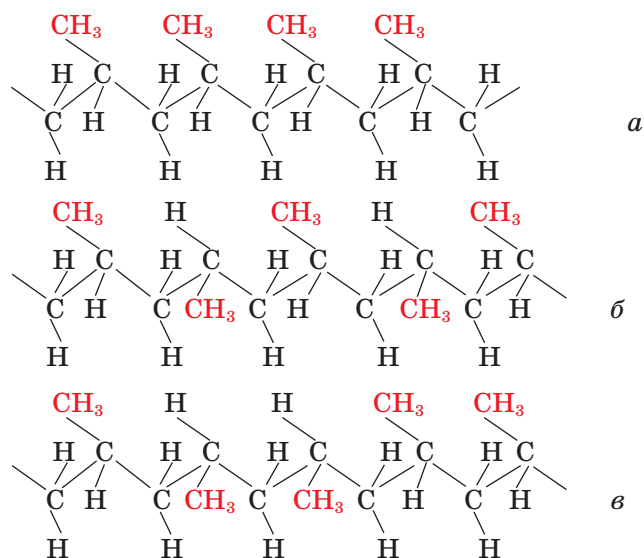
Що таке ступінь полімеризації?

У масі полімеру є молекули довші й коротші, з вищим і нижчим ступенями полімеризації і відповідно з більшою і меншою відносними молекулярними масами. Тому прийнято говорити про середню відносну молекулярну масу полімеру.

**Будова полімерів.** За будовою полімерного ланцюга полімери бувають *лінійні, розгалужені й просторові, або сітчасті* (мал. 151).



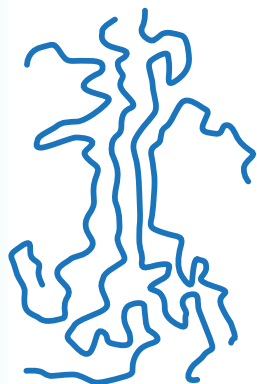
Мал. 151. Схема будови: лінійного (а), розгалуженого (б) і просторового, або сітчастого, (в) полімерних ланцюгів



Мал. 152. Схема регулярної (а, б) і нерегулярної (в) будови поліпропілену

До перших належать поліетилен, поліпропілен і целюлоза. Лінійну й розгалужену будову має крохмаль, сітчасту — вулканізований каучук. Залежно від розміщення бічних чи функціональних груп у полімерному ланцюзі розрізняють *регулярні* (переважно стереорегулярні) й *нерегулярні* полімери. Наприклад, у ланцюзі поліпропілену метильні групи можуть розміщуватися з одного чи з двох боків карбонового ланцюга. Розміщення з різних боків може чергуватися через однакові проміжки або бути хаотичним (мал. 152).

Від упорядкованості (регулярності) полімеру залежить, перебуватиме він у кристалічному чи аморфному стані. Більшість полімерів мають одночасно впорядковані й неупорядковані ділянки; їх відповідно називають *кристалічними* та *аморфними* (мал. 153).



Мал. 153. Кристалічна й аморфна будова полімеру

Характеризуючи будову полімерів, слід брати до уваги також взаємодію між полімерними ланцюгами в масі полімеру. Між молекулами значної довжини виникає міжмолекулярна взаємодія, у тому числі встановлюються водневі зв'язки.

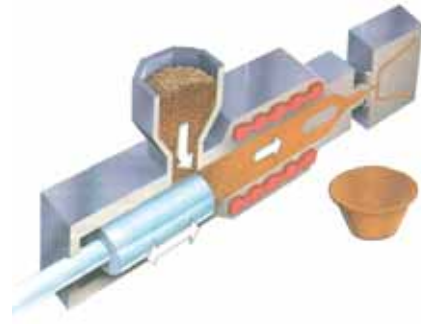
Ступінь полімеризації, розгалуженість, упорядкованість структури, міжмолекулярні зв'язки — все це позначається на властивостях полімерів.

**Властивості полімерів.** Полімерна речовина складається з молекул різної довжини, а отже, різної маси. Це позначається на процесі плавлення полімерів. Під час нагрівання в розплавлений стан спершу переходять коротші молекули, потім — довші, отже, плавлення відбувається в широкому інтервалі температур.

За відношенням до нагрівання полімери поділяються на дві групи: термопластичні й термореактивні.

*Термопластичні* полімери під час нагрівання розм'якшуються, у цьому стані їм можна надати будь-якої форми, що зберігається й після охолодження (мал. 154). Важливо, що цей процес оборотний, тобто сформований полімер можна знову нагріти й надати йому іншої форми. Інакше кажучи, термопластичні полімери не втрачають пластичності за багаторазового нагрівання.

На відміну від них *термореактивні* полімери в результаті нагрівання втрачають пластичність, після тверднення їх неможливо повернути до первісного стану.



Мал. 154. Виготовлення пластмасових виробів методом лиття

Утилізація полімерів має важливе екологічне та економічне значення. Схарактеризуйте з цих позицій термопластичні й термореактивні полімери.

Лінійні полімери можуть розчинятися з утворенням в'язких розчинів. Просторові полімери набрякають у розчинниках, не розчиняючись, оскільки «зшиті» молекули важко розділити на фрагменти за допомогою розчинника. Розчини полімерів відомі вам у вигляді клеїв.

Полімери регулярної будови й просторові мають більшу механічну міцність і хімічну стійкість.

Полімерні ланцюги можуть хімічно розщеплюватися на мономерні під дією високої температури. Цей процес називають *деполімеризацією*. Деполімеризацією каучуку було з'ясовано, що він є полімером ізопрену.

Деякі полімери, що утворюються внаслідок реакції поліконденсації, здатні гідролізувати. Вам уже відомо, що крохмаль гідролізує до глюкози, а білки — до амінокислот.

Під впливом зовнішніх чинників (нагрівання, радіації, світла, вологи, механічного напруження тощо) може відбуватися *деструкція* (від лат. *destructio* — руйнування) полімеру з розривом хімічних зв'язків у макромолекулах. Цей процес призводить до старіння полімерів, вони стають непридатними для експлуатації.



## Завдання для самоконтролю

1. Що таке синтетичні полімери?
2. Які основні методи добування синтетичних полімерів? Наведіть конкретні приклади.
3. За яким механізмом відбувається реакція полімеризації?
4. У чому полягає особливість реакції поліконденсації?
5. Наведіть приклади лінійного, розгалуженого й просторового полімеру.

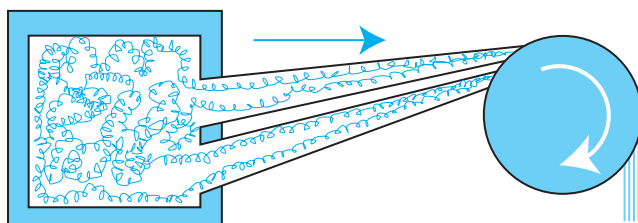
6. Поясніть вплив структури полімерів на їхні фізичні властивості.
7. На які групи поділяють полімери за відношенням до нагрівання?
8. Як відбувається плавлення полімерів?
9. Поясніть відношення полімерів до розчинення.
10. Як було з'ясовано склад природного каучуку?
11. Укажіть, що з наведеного переліку належить до розчинів полімерів.  
**А** клей «Момент»    **В** цукровий сироп    **Д** розчин курячого білка  
**Б** колодій                **Г** йодна настоянка



## § 47. ПЛАСТИЧНІ МАСИ

З метою перетворення полімеру на **пластмасу**, тобто матеріал, придатний для виготовлення різних виробів, до полімерної маси додають спеціальні речовини. *Пластифікатори* полегшують ковзання полімерних ланцюгів відносно один одного, вони ніби змащуються, і твердий полімер перетворюється на еластичний матеріал. Відомі вам *пінопласти*, що мають порувату структуру, утворюються завдяки так званим *піноутворювачам*, у результаті розкладу яких виділяються гази. *Стабілізатори* й *антиоксиданти* підвищують термо-, світло-, хімічну стійкість матеріалів, *антистатики* зменшують наелектризованість. Для поліпшення механічних властивостей та здешевлення матеріалів до пластмас також вводять *наповнювачі* — кварц, крейду, волокна тощо, а забарвлюють різноманітними *пігментами*. Для виготовлення плівок і волокон полімерні ланцюги витягують, унаслідок чого вони орієнтуються в певному напрямку (мал. 155). Це дає змогу виготовляти тонкі й водночас достатньо міцні матеріали.

Пластмаси належать до найважливіших сучасних матеріалів, що їх застосовують у техніці, сільському господарстві, побуті. Це зумовлено властивостями, що роблять їх використання економічно вигідним і зручним. До них належать: низька густина (легкість) і теплопровідність, хімічна стійкість, здатність забарвлюватися, високі оптичні якості, а також можливість змінювати ці властивості в широких межах унаслідок зміни структури полімерів.



Мал. 155. Орієнтація полімерних ланцюгів у певному напрямку під час виготовлення пластмасових плівок і волокон





Мал. 156. Зразки виробів із пластмас

Значні переваги пластмас полягають у технічній і технологічній простоті виготовлення виробів, маловідходності методів добування і переробки, низькій енергоємності цих процесів, а отже — високій продуктивності виробництва.

Експлуатаційні недоліки пластмас пов'язані переважно з їхньою низькою термостійкістю, горючістю, крихкістю. Використання поліетилену, наприклад, обмежується його низькою температурою плавлення.

Зразки виробів із пластмас зображено на мал. 156.

З якими перевагами й недоліками пластмасових виробів ви стикалися у процесі їх використання? Наведіть приклади.

**Поліетилен**  $(-\text{CH}_2-\text{CH}_2-)_n$  добувають у промисловості полімеризацією етену (етилену), що її можна проводити за різних умов — за високого й низького тиску. Добути за різних умов полімери різняться за своїми властивостями. Поліетилен низького тиску (0,2—2,5 МПа, 80—100 °С) має лінійну структуру, молекули в масі полімеру щільно упаковані, тому зростає ступінь кристалічності. Поліетилен високого тиску (150—300 МПа, 200—280 °С) має розгалужену структуру.

Поліетилен — тверда речовина білого кольору, легко забарвлюється в різні кольори, не тоне у воді. Поліетилен високого тиску плавиться за температури 102—105 °С, низького — 125—137 °С.

За хімічною будовою поліетилен подібний до парафіну — суміші вищих вуглеводнів складу  $\text{C}_{18}-\text{C}_{35}$ . Пригадайте, що в структурі обох речовин повторюються групи  $-\text{CH}_2-\text{CH}_2-$ . Цим пояснюється подібність речовин: поліетилен масний на дотик, як і парафін.

Як і насичені вуглеводні, поліетилен не проводить електричний струм, стійкий проти дії кислот, лугів, бромної води, окисників.

Поліетилен — термопластичний полімер. У розплавленому стані йому можна надати будь-якої форми, що зберігається після охолодження (мал. 157).

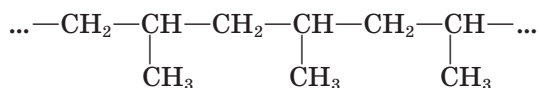


Мал. 157. Установка з виробництва поліетиленової плівки

Властивостями поліетилену зумовлене його широке застосування.

Наведіть приклади застосування поліетилену, відомі вам з побуту.

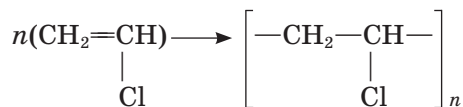
**Поліпропілен**  $\left( \begin{array}{c} -\text{CH}_2-\text{CH}- \\ | \\ \text{CH}_3 \end{array} \right)_n$  дуже близький за властивостям до поліетилену. Фрагмент ланцюга цього полімеру має таку структуру:



За фрагментом молекули поліпропілену визначте мономер, мономерну ланку полімеру; напишіть їхні структурні формули.

За участі каталізаторів добувають поліпропілен стереорегулярної будови (див. мал. 152, с. 238). Цей полімер високоміцний, тому з нього виготовляють деталі машин, труби, плівку, риболовні сітки, побутові вироби, волокна. Недоліками його є чутливість до світла, кисню, крихкість на холоді.

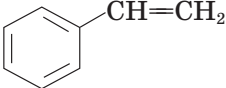
**Поліхлорвініл** добувають з хлорвінілу:



Пластмаси, вироблені на основі поліхлорвінілу, використовують як замітники шкіри, з них виготовляють газо- й водогінні труби, технічні волокна, лінолеум, клейонку тощо. Ці матеріали стійкі проти дії кислот, лугів, легко забарвлюються і водночас важко займаються, здатні до самогасіння.

Якими властивостями, на вашу думку, зумовлене використання поліхлорвінілу для виготовлення лінолеуму?

**Полістирен (полістирол)**  $\left[ \text{—CH}_2\text{—}\underset{\text{C}_6\text{H}_5}{\text{CH}}\text{—} \right]_n$  — полімер стирену (колишня

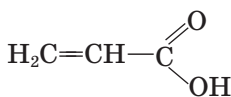
назва — стирол): 

Це термопластичний матеріал, хімічно стійкий, діелектрик, хоча досить крихкий. З нього виготовляють пакувальні, оздоблювальні матеріали тощо (мал. 158).

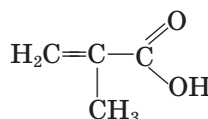
**Поліметилметакрилат** — полімер, який добувають з метилового естеру метакрилової кислоти.



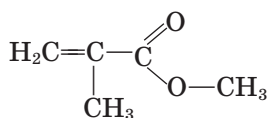
Мал. 158. Полістирен використовують як пакувальний матеріал



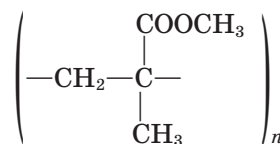
Акрилова кислота



Метакрилова кислота



Метилловий естер метакрилової кислоти



Поліметилметакрилат

Завдяки своїй прозорості цей полімер дістав назву «органічне скло» (інша назва — плексиглас). Він стійкий проти ударів, тому ним склять вікна автомобілів, ілюмінатори літаків, теплоходів, виготовляють скло для годинників тощо (мал. 159).

**Тефлон**, який виробляють з 1,1,2,2-тетрафлуороетену  $\text{CF}_2=\text{CF}_2$ , має унікальні властивості. Загальна формула полімеру  $(\text{—CF}_2\text{—CF}_2\text{—})_n$ .

За особливу хімічну стійкість його називають «органічною платиною». Він не розчиняється ні в «царській воді» (суміші нітратної та хлоридної кислот), ні в органічних розчинниках, стійкий проти холоду й нагрівання, неотруйний, світлостійкий.

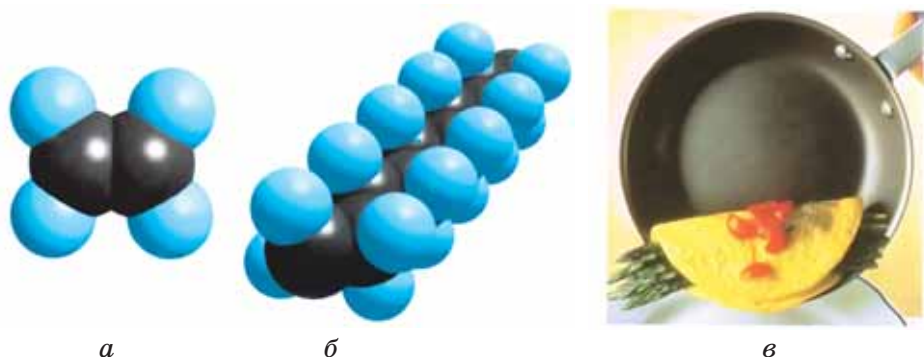
Завдяки цим властивостям з тефлону виготовляють деталі машин і приладів, апаратів, що працюють у хімічно агресивних середовищах та харчовій промисловості (мал. 160, с. 244).

Пригадайте, де в побуті використовують вироби з тефлоновим покриттям.

**Феноло-формальдегідні пластмаси** були добути в XIX ст. й дістали назву «бакеліт» (від прізви-



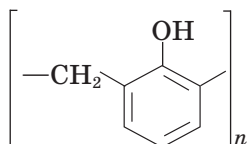
Мал. 159. Куленепробивне скло виготовляють із полімерних матеріалів



Мал. 160. Моделі молекули тетрафлуороетену (а), фрагмента молекули політетрафлуороетену (б) і виріб з тефлоновим покриттям (в)

ща Л. Х. Бакеланда, який на початку ХХ ст. здійснив цю реакцію в промислових умовах). Хоча це перші в історії пластмаси, їх використовують донині.

Полімер утворюється в результаті реакції поліконденсації фенолу й формальдегіду (метаналю):



Пригадайте рівняння реакції утворення цього полімеру (с. 237).

Спершу утворюється полімер лінійної будови, а в міру подальшої обробки формується сітчастий полімер, що має термореактивні властивості.

Феноло-формальдегідні пластмаси виготовляють з різними наповнювачами: текстоліт наповнюють бавовняною тканиною, склопластики — скловолоком. Ці матеріали застосовують у ракето- й машинобудуванні, будівництві. Відходи деревини, оброблені феноло-формальдегідною смолою, перетворюються на матеріал, придатний для виготовлення меблів.



### Лабораторний дослід 10

#### Дослідження властивостей термопластичних полімерів

##### Дослід А. Термопластичність полімеру.

Нагрійте в полум'ї спиртівки шматочок поліетилену, тримаючи його щипцями. Коли поліетилен розм'якне, надайте йому нової форми й охолодіть. Повторіть спробу.

Чи зберігається форма після охолодження?

##### Дослід Б. Горючість полімерів.

У полум'ї спиртівки підпаліть шматочок поліетилену. Якого кольору полум'я поліетилену? Чи горить поліетилен поза полум'ям?

Виконайте цей дослід з полівінілхлоридом і полістиролом.

Що спостерігаєте?

**Дослід В. Дія на полімери кислоти, лугу, окисника.**

У три пробірки налейте розчини сульфатної кислоти, натрій гідроксиду, калій перманганату. У кожну пробірку вмістіть шматочки поліетиленової плівки й збовтайте вміст. Чи відбулися зміни?

Поясніть спостереження.

Створення матеріалів із наперед заданими властивостями давно перебуває в полі зору вчених і технологів. Завдяки унікальним властивостям полімерів було розв'язано багато технічних і технологічних проблем, що потребували таких матеріалів. Нові можливості з'явилися разом із винайденням *композиційних* (від лат. *composito* — складний, складений) матеріалів, що мають властивості, відмінні від властивостей окремих компонентів, і якими можна керувати.

Композити неоднорідні за своїм складом, у них розрізняють основний матеріал (матрицю) і наповнювач. Матрицею слугують полімери, кераміка, метали, вуглець тощо; наповнювачем можуть бути волокна, сітки, плівки, тканини, папір, пісок, крейда тощо.

Композити використовують як конструкційні, хімічно-, термо-, зносо-, морозо-, радіаційно-, світлостійкі матеріали та інші, наділені багатьма особливими властивостями.

Для безпечного використання пластмасових виробів розроблено систему їх маркування. На виробах проставляють позначки у формі трикутника, утвореного трьома стрілками, усередині якого розміщені літери, що позначають вид пластмаси:



1 — ПЕТ (PET, PETE) — поліетилентерефталат. Виріб можна використовувати для тимчасового зберігання холодних харчових продуктів і напоїв.

2 — ПЕНД (HDPE) — поліетилен високої густини. Безпечний пластик, придатний для пакування харчових продуктів і косметичних виробів, напоїв, виготовлення водопровідних труб тощо.

3 — ПВХ (PVC) — полівінілхлорид. Його використання заборонено в харчовій промисловості. Придатний для виробництва покриття підлоги, труб, меблів, тари для хімічних сполук.

4 — ПЕНП (LDPE, PELD) — поліетилен низької густини (плівка). Безпечний пластик, з нього виготовляють харчову плівку, пакети.

5 — ПП (PP) — поліпропілен. Цей безпечний пластик використовують для виробництва дитячих іграшок і харчової тари.

6 — ПС (PS) — полістирен. Це потенційно небезпечний матеріал, особливо в разі горіння. Придатний для виготовлення тари.

7 — О (OTHER) — інші види пластику, в тому числі полікарбонат. Він не токсичний, хоча може містити токсичні домішки, що робить його непридатним для пакування харчових продуктів.



## Завдання для самоконтролю

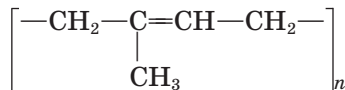
1. Що таке пластмаси?
2. Назвіть основні галузі застосування пластмас.
3. Схарактеризуйте відомі вам полімери, з яких виготовляють пластмаси (мономер, реакція добування, мономерна ланка).
4. Схарактеризуйте поліетилен високого й низького тиску.
5. Складіть рівняння послідовних реакцій, за допомогою яких можна добути бакеліт, виходячи з коксу.
6. Розкажіть про застосування пластмас у побуті.



## § 48. СИНТЕТИЧНІ КАУЧУКИ

Той факт, що природний каучук є полімером дієнового вуглеводню ізопрену  $\text{CH}_2=\text{C}(\text{CH}_3)-\text{CH}=\text{CH}_2$ , було встановлено в 1910 р. Хімічна назва

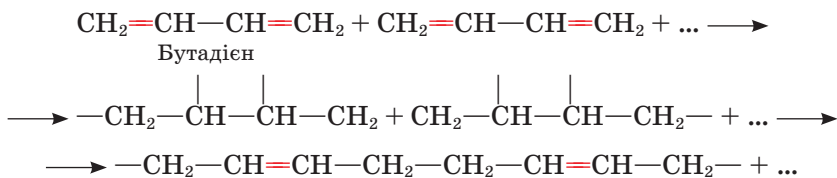
полімеру — поліізопрен:



Пригадайте відомості про натуральний каучук.

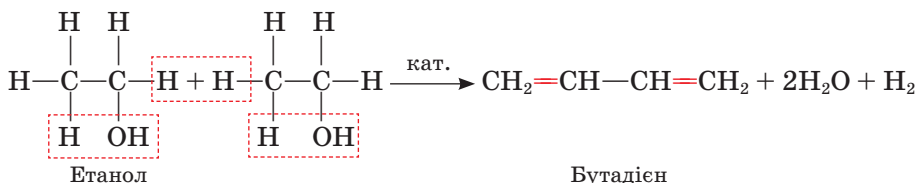
Упродовж певного часу потреби промисловості задовольнялися природним каучуком, але це тривало недовго: автомобільний транспорт, що розвивався, інші потреби техніки та й важкодоступність сировини спонукали вчених шукати способи добування синтетичного каучуку.

Перший вітчизняний синтетичний каучук було добуто в 1931 р. за методом С. В. Лебедева. Це був бутадієновий каучук, що утворювався полімеризацією бутадієну (бута-1,3-дієну) з участю каталізатора (металічного натрію):



Складіть загальну формулу полімеру.

Бутадієн для цього синтезу добували з етилового спирту за реакціями дегідратації та дегідування:



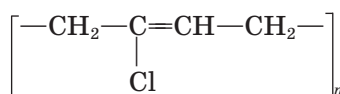
Нині промисловість виготовляє багато різних видів каучуків, у тому числі стереорегулярний ізопреновий (*цис*-форми), тобто найбільш наближений до натурального. Це стало можливим завдяки застосуванню спеціальних каталізаторів. Сировиною є продукти переробки нафти.

Бутадієновий та ізопреновий — це каучуки загального призначення. Вони використовуються для виготовлення шин та інших гумових виробів для техніки, побуту тощо (мал. 161).



Мал. 161. Цех шинного заводу

До каучуків спеціального призначення належить хлоропреновий:



Як матеріал він негорючий, а за властивостями світло-, термо-, масло-стійкості цей каучук переважає натуральний.



### Лабораторний дослід 11

#### Порівняння властивостей каучуку й гуми

Дослід А. *Еластичність каучуку й гуми.*

Випробуйте шматки каучуку й гуми на розтяг і розрив. Який матеріал розтягується легше й швидше повертається до початкового стану?

Який матеріал легше розірвати?

Зробіть висновки.

Дослід Б. *Відношення каучуку й гуми до розчинників.*

Опустіть по шматочку каучуку й гуми в пробірки з бензином. Залиште пробірки до наступного уроку.

Що спостерігаєте?

Полімери, зокрема каучуки, є основою герметизуючих матеріалів (герметиків). Призначаються для ущільнення з'єднань між виробами, деталями, поверхнями, які використовують в умовах впливу на них рідин, газів. Наприклад, під час встановлення металопластикових вікон щілини між віконними рамами й стінами заповнюють монтажною піною, яка після застигання надійно ізолює приміщення від зовнішнього середовища.

Розчини каучуку в органічних розчинниках використовують як один із багатьох видів клеїв — гумових. Основою клеїв можуть бути як природні, так і синтетичні високомолекулярні сполуки.

Скористайтеся додатковою інформацією і з'ясуйте, з яких сполук виготовляють клеї, зокрема, відомий усім клей ПВА.



#### Завдання для самоконтролю

1. Поясніть відмінність у будові натурального ізопренового й синтетичного бутадієнового каучуку.

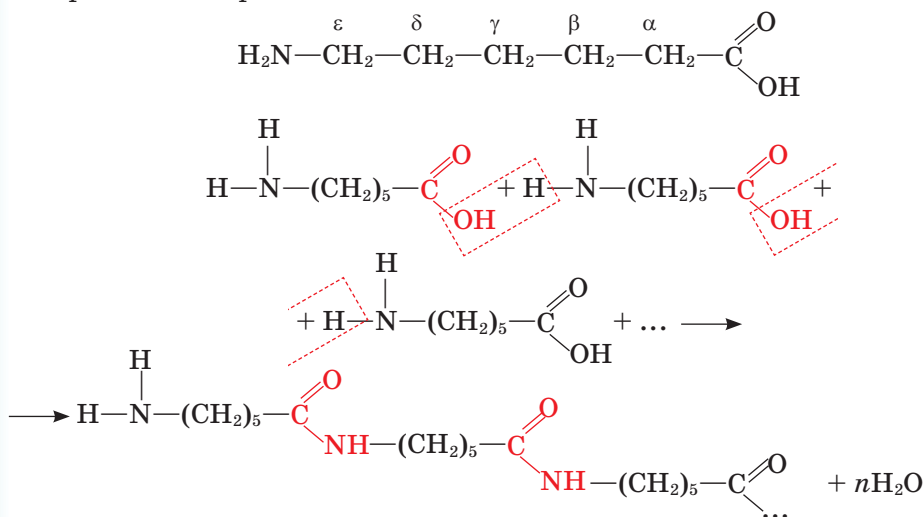
2. Складіть рівняння реакції полімеризації ізопрену *цис*-форми.
3. Зобразіть фрагмент стереорегулярного ланцюга хлоропренового каучуку.
4. У чому, на вашу думку, полягає значення синтезу за методом С. В. Лебедева?
5. Назвіть галузі застосування синтетичних каучуків.
6. Складіть рівняння послідовних реакцій перетворення крохмалю на бутадієновий каучук.



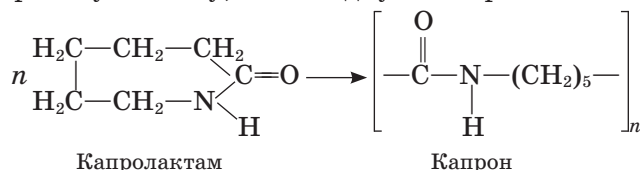
## § 49. СИНТЕТИЧНІ ВОЛОКНА

Як вам відомо, *натуральні волокна* — бавовну, льон, вовну, шовк — виробляють із природних волокнистих матеріалів. Із природного полімеру целюлози добувають *штучні* (ацетатне, віскозне) волокна, а з них виробляють штучний шовк.

Речовини, які здатні утворювати волокна, можна й синтезувати. Якщо бавовна й льон — полімерні матеріали, мономером яких є вуглевод, то вовна і шовк — полімери білкової природи. Їхні молекули утворюються в результаті поліконденсації амінокислот. З'ясовано, що подібну структуру має полімер  $\epsilon$ -амінокапронової кислоти.



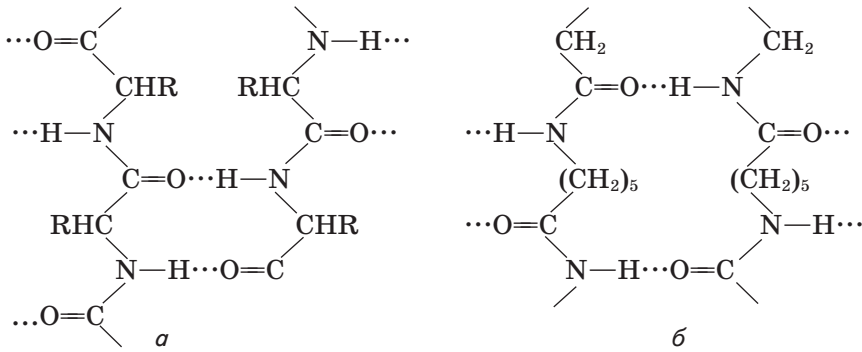
У промисловості для полімеризації використовують не саму  $\epsilon$ -амінокапронову кислоту, а її похідну — капролактам:



Волокно, вироблене з такого полімеру, називають *капроном*.

Капрон належить до *поліамідних* волокон, оскільки утворюється за рахунок амідних (пептидних) зв'язків. Подібність структури капрону до



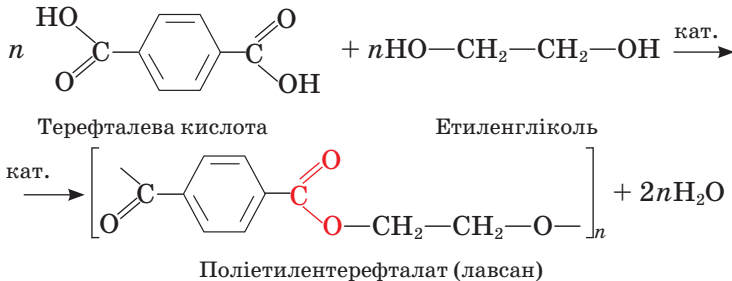


Мал. 162. Фрагмент будови макромолекули натурального шовку (а) і капрону (б)

природних волокон білкового походження, зокрема шовку, можна виявити, порівнявши загальні схеми їхньої будови (мал. 162).

Бачимо, що в обох структурах є міжмолекулярні водневі зв'язки. Це надає волокнам високої міцності. Крім того, капронове волокно має ще низку цінних властивостей: не вбирає вологу й через це швидко висихає, стійке проти стирання.

Іншу групу синтетичних волокон становлять *поліестерні* волокна. Незавжди здогадатися, що ця назва відбиває будову полімеру. Справді, у структурі згаданих волокон є естерні зв'язки. Полімер, з якого виробляють відоме вам волокно *лавсан* (або терилен), утворюється внаслідок поліконденсації етиленгліколю й терефталевої кислоти. Взаємодія відбувається між гідроксильними та карбоксильними групами цих сполук:



Лавсанове волокно має цінні властивості: воно міцне, термостійке, на нього не діють розбавлені розчини кислот і лугів.

Капрон і лавсан використовують для пошиття одягу, виготовлення оздоблювальних матеріалів. Застосовують їх і в техніці: з капронової смоли формують деталі різних механізмів, із лавсану виробляють фільтрувальні тканини, канати тощо.



### Лабораторний дослід 12

#### Відношення синтетичних волокон до розчинів кислоти й лугу

Налийте у дві пробірки по кілька мілілітрів розбавленої сульфатної кислоти, у дві інші – розчину лугу. Опустіть у розчини клаптики тканин капрону й лавсану. Що спостерігаєте?

Нагрійте вміст пробірок на слабкому вогні. Що спостерігаєте?



## Завдання для самоконтролю

1. Які види волокон вам відомі?
2. У чому полягає відмінність у хімічній природі бавовни й шовку?
3. Схарактеризуйте структуру капрону. Поясніть, чому він належить до поліамідних волокон.
4. Які переваги й недоліки капрону?
5. Схарактеризуйте структуру поліестерних волокон. Поясніть їхню назву.
6. Поясніть застосування синтетичних волокон на основі їхніх властивостей.

### Додаткові завдання

7. Поліпропілен стереорегулярної будови — кристалічна, високоплавка речовина, що дає міцні волокна, а нестереорегулярний полімер м'який, еластичний. Поясніть це з погляду теорії будови.
8. Наведіть приклади природних полімерів лінійної, розгалуженої та просторової будови.
9. Поясніть, чим зумовлена подібність деяких властивостей парафіну й поліетилену.
10. Нейлон — поліамідне волокно, утворене внаслідок поліконденсації гексаметилендіаміну  $\text{H}_2\text{N}-(\text{CH}_2)_6-\text{NH}_2$  та дикарбонової адипінової кислоти  $\text{HOOC}-(\text{CH}_2)_4-\text{COOH}$ . Складіть хімічне рівняння цього процесу.
11. Схарактеризуйте значення полімерів у побуті й техніці.

## Висновки

- Синтетичні полімери добувають за реакціями полімеризації та поліконденсації.
- Полімерні ланцюги бувають лінійної, розгалуженої й просторової будови.
- Полімери характеризують ступенем полімеризації, середньою відносною молекулярною масою.
- За відношенням до нагрівання полімери поділяються на термопластичні й термореактивні.
- До синтетичних полімерних матеріалів належать пластмаси, синтетичні каучуки, синтетичні волокна.
- Щоб перетворити полімер на пластмасу, до нього додають спеціальні речовини.
- Поліетилен низького тиску має кращі експлуатаційні властивості порівняно з поліетиленом високого тиску.
- Промисловість виробляє каучуки загального й спеціального призначення.
- Стереорегулярний ізопреновий каучук наближається за властивостями до натурального.
- Капрон належить до синтетичних поліамідних волокон, а лавсан — до поліестерних волокон.
- Широке застосування пластмас, синтетичних каучуків і волокон зумовлене їхніми унікальними експлуатаційними властивостями.



# Органічна хімія в сучасному суспільстві

Упродовж усього життя ми використовуємо величезну кількість природних й синтетичних органічних речовин і матеріалів на їхній основі. Перш ніж розглядати роль органічної хімії в сучасному суспільстві, узагальнимо відомості про причини багатоманітності та взаємозв'язок органічних речовин.



## § 50. РОЗМАЇТТЯ ОРГАНІЧНИХ РЕЧОВИН, ВЗАЄМОЗВ'ЯЗОК МІЖ НИМИ

Розділ органічної хімії, вивчення якого ви завершуєте, побудований за принципом ускладнення структури й функцій речовин — від вуглеводнів до нуклеїнових кислот. Між цими сполуками є величезна кількість представників інших класів, різних за складом, будовою і властивостями. Ви переконалися, що за всього свого розмаїття органічні речовини утворені обмеженим числом хімічних елементів. Природа дуже економно використала «будівельні матеріали» для створення різноманітних структур, здатних виконувати надзвичайно складні функції аж до біологічних. Спробуємо узагальнити ознаки, що зумовлюють багатоманітність органічних речовин.

Насамперед це **характер карбонового ланцюга**. Навіть за однакового числа атомів Карбону можуть утворюватися молекули у формі ланцюга чи кільця.

Інша ознака — **характер міжкарбовоних хімічних зв'язків**. Між атомами Карбону можуть установлюватися прості, кратні й ароматичні зв'язки.

**Наявність функціональних (характеристичних) груп** зумовлює існування різних класів органічних речовин — спиртів, альдегідів, кетонів, карбовоних кислот, естерів, амінів тощо. Різноманітності додають і сполуки, що містять декілька функціональних груп — амінокислоти, вуглеводи та багато інших, які вивчають у курсі органічної хімії вищих навчальних закладів.

Для органічних сполук характерне існування гомологічних рядів. Зміна складу молекули на одну лише групу —  $\text{CH}_2$  — спричиняє появу нової сполуки зі своїми власними константами. Отже, **гомологія** також є однією з причин багатоманітності органічних речовин.

Здатність деяких органічних сполук до реакцій **полімеризації** розширює кількість органічних сполук, насамперед добутих синтезом.

**Ізомерія** всіх видів — одна з найважливіших причин розмаїття органічних речовин. Навіть за умови одного й того самого складу молекул можливі різні варіанти їхньої хімічної і просторової будови. Пригадайте, що вуглевод складу  $C_6H_{12}O_6$  має 16 варіантів просторової будови молекули. А для алкану складу  $C_{25}H_{52}$  варіантів хімічної будови існує аж 36 797 588. З метою обчислення кількості структурних ізомерів алканів, що містять від 1 до 100 атомів Карбону, хіміки Київського національного університету імені Тараса Шевченка створили спеціальну комп'ютерну програму.

Зауважте, що наведена вище кількість ізомерів відбиває не всі можливі варіанти будови пентакозану, до цього слід додати ще й число можливих конформерів.

Отже, розмаїття органічних сполук, ускладнення їхньої будови й функцій — від метану до ДНК — пов'язане переважно з необмеженими можливостями комбінування структур, взаємного розміщення атомів і фрагментів молекул навіть за одного й того самого складу.

Поясніть, як ви розумієте такі висловлювання вчених-хіміків:

*«Розвиток хімії показав, що різноманітність речовин у природі можна пояснити не стільки різноманітністю атомів, скільки різноманітністю сполучень невеликої кількості різних атомів між собою в ансамблі»* (В. Ковтуненко).

*«Багатоманітність сполук Карбону є дивовижним і єдиним свого роду явищем»* (П. Карер).

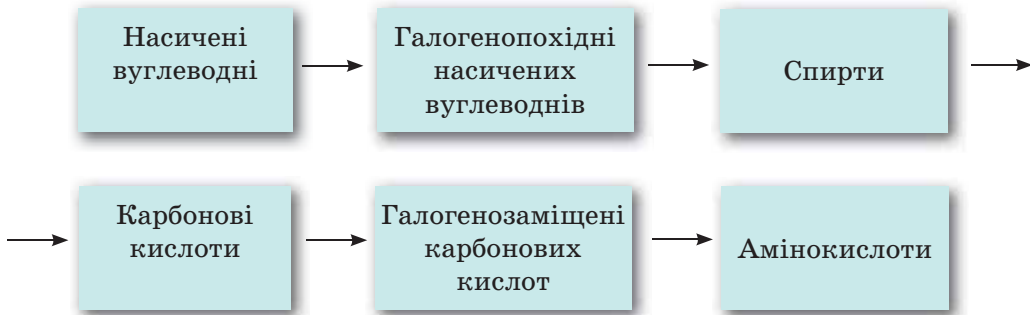
Будова, зокрема просторова, визначає специфічні функції білків, нуклеїнових кислот, властивості полімерів, дію лікарських засобів. Завдяки своїй будові біологічно активні речовини посідають вищий рівень організації речовини.

**Рівні структурної організації органічних речовин.** Сучасна наука розглядає структурну організацію речовини як упорядкованість, єдність і взаємозв'язки її окремих складників. Такими складниками можуть бути елементарні частинки, атоми, молекули, полімери (макромолекули), надмолекулярні утворення. Останні ще називають супрамолекулярними (лат. *supra* — над). Очевидно, що молекулярні речовини складніші за будовою від атомних, а полімерні — порівняно з молекулярними. У зв'язку з цим речовини можна розмістити в певному порядку, за рівнями складності — від нижчого до вищого, тобто в їхній ієрархії (від грец. *ἱερός* — священний і *αρχή* — влада; у широкому розумінні — розташування частин у певному порядку, від вищого до нижчого). Такими рівнями структурної організації речовин є: атомний, молекулярний, полімерний, супрамолекулярний. Кожний вищий рівень ґрунтується на нижчому та включає його.

Органічна хімія вивчає молекулярний, полімерний і частково супрамолекулярний рівні організації речовин. Метан, етанол, амінокислоти — це молекули; поліетилен, поліпептид — полімери. Білок у своїй четвертинній структурі є ансамблем молекул, тобто надмолекулярним утворенням, якому властиві біологічні функції. Його будову вивчає хімія, функції — біологія.

Поняття про рівні структурної організації речовин збагачує наші уявлення про причини їхньої багатоманітності та дає змогу зрозуміти перехід

## Генетичні зв'язки між органічними сполуками



від неживого до живого, оскільки саме рівень організації впливає на здійснення речовинами біологічних функцій.

Розглянемо такий приклад. Хімічний склад білка, послідовність сполучення амінокислот є одними й тими самими у природному й денатурованому білку. Але оскільки в останньому зруйновано вторинну й третинну структури, то такий білок позбавлений біологічних функцій. Для їх здійснення в білка має бути структурна організація не будь-якого, а певного рівня.

Атомний рівень організації межує із субатомним (від лат. *sub* — під), тобто рівнем елементарних частинок, що його вивчає фізика; супрамолекулярний рівень — із клітинним, організовим і надорганізовим рівнями, що їх вивчає біологія. Отже, органічні речовини пов'язують у єдиний ланцюг усі рівні організації матерії — від неживої до живої. Органічна хімія як галузь науки є важливою ланкою у зв'язках між природничими науками.

**Генетичні зв'язки.** За всієї багатоманітності органічні речовини здатні до взаємоперетворень. Із простіших можна добути складніші, від сполук одного класу перейти до сполук класу іншого. Окреслимо, наприклад, шлях хімічних перетворень вуглеводнів на амінокислоти (схема 4).

Складіть рівняння реакцій за схемою 4.

Доповніть схему неорганічними сполуками. Зробіть висновок.

Завдяки взаємоперетворенню органічних сполук можна здійснювати синтези, спрямовані на добування речовин із заздалегідь заданими властивостями. Так, із порівняно простих за будовою вуглеводнів можна синтезувати велику кількість складних речовин, потрібних і корисних людині. Вуглеводні є продуктами переробки нафти й природного газу, а тому найдоступнішою хімічною сировиною. Нафтохімічна промисловість забезпечує велику кількість виробництв — синтетичних каучуків, мийних засобів, волокон, пластичних мас, ліків, засобів захисту рослин і багато інших.



## Завдання для самоконтролю

1. Складіть формули й назви органічних речовин, що ілюструють указані ознаки розмаїття органічних сполук.

- Складіть схему класифікації органічних сполук, наведіть приклади речовин, визначте їхні функціональні групи.
- Наведіть приклади ізомерії карбонового скелета, положення кратного зв'язку, положення функціональної групи, міжгрупової та міжкласової ізомерії, *цис-*, *транс-* ізомерії, оптичної ізомерії. Складіть структурні формули й назви речовин.
- Наведіть приклади реакцій органічних сполук: гідрування, гідролізу, гідратації, дегідроциклізації, ізомеризації, омилення. Складіть рівняння реакцій.
- Назвіть речовини, що є основою таких продуктів органічного походження: мило, цукор, оцет, бензин, картопляне борошно, алкоголь, папір, сало, гума, капрон.
- Складіть декілька схем генетичних перетворень органічних речовин, запропонуйте однокласникам розв'язати їх.
- Які речовини і яких класів можна було б виявити в колбах, що належали: Миколі Зініну, Михайлу Коновалову, Шарлю Вюрцу, Олександрю Бутлерову, Миколі Зелінському, Івану Горбачевському, Фрідріху Кекуле, Емілю Фішеру?
- Прокоментуйте висловлювання одного з літературних героїв А. П. Чехова: *«Незабаром хімічним шляхом виготовлятимуть молоко і дійдуть, мабуть, до м'яса!.. Із нічого не вартих газів і подібного будуть виготовляти все, що заманеться!»*.
- Уявіть, як Ф. Велер міг би схарактеризувати стан розвитку органічної хімії, якби вчений жив у наш час. Спробуйте скласти від його імені листа І. Я. Берцеліусу.
- Наведіть формули і назви пар ізомерів відповідно до причини їхньої ізомерії.

Назва пари ізомерів	Причина ізомерії
1	Положення функціональної групи
2	Положення кратного зв'язку
3	Просторова ( <i>цис-</i> , <i>транс-</i> ) ізомерія
4	Взаємне положення замісників у бензеновому ядрі
5	Будова карбонового скелета

- Визначте кінцевий продукт перетворень за наведеною схемою перетворень (можливі варіанти):



Визначте можливі продукти X, Y, Z, складіть рівняння реакцій.



## § 51. РОЛЬ ОРГАНІЧНОЇ ХІМІЇ В ЗАБЕЗПЕЧЕННІ СТАЛОГО РОЗВИТКУ СУСПІЛЬСТВА

**Зв'язок органічної хімії з різними галузями науки й виробництва.** Ви завершуєте вивчення органічних речовин. Хтось із вас продовжить вивчення органічної хімії, здобуваючи вищу чи професійну освіту в галузях, пов'язаних із цією наукою — біології, медицини, екології, харчової, легкої промисловості, будівельної індустрії, технології та багатьох інших. Хтось

більше ніколи не вивчатиме будову й властивості органічних сполук. Але кожного з вас упродовж усього життя оточуватимуть матеріали, які є продуктами органічної хімії. Завдяки їм працюють комп'ютери й мобільні телефони, рухаються автомобілі, проводяться медичні дослідження й відбувається лікування, з них виготовляють одяг, ними облаштовують житло, вони підвищують врожаї і зберігають їх. Ви житимете в доквітлі, де відбуваються численні хімічні перетворення, що визначають не лише стан повітря, річок, ґрунтів, а й стан вашого здоров'я і добробут усього суспільства. Саме для того, щоб розуміти внутрішню будову органічних речовин, закони, що керують їхніми перетвореннями в природі, в організмі, у техніці, використовувати ці знання з користю для природи, для збереження здоров'я, примноження добробуту суспільства, ви й вивчали органічну хімію.

Спробуймо разом узагальнити знання про здобутки органічної хімії в різних сферах життя, обговорити деякі актуальні проблеми, що їх допомагає розв'язати ця наука. Для цього вам треба пригадати вивчене, скориставшись, за потребою, підручником, довідником, енциклопедією, інтернет-ресурсами тощо, і поміркувати над завданнями, запропонованими нижче.

Уважно ознайомтеся з ілюстраціями й підписами до малюнків на першому форзаці підручника.

*Досягнення цивілізації тісно пов'язані з успіхами органічної хімії як науки й виробництва, її вплив на науково-технічний прогрес і розвиток нехімічної сфери діяльності людини є цілком очевидним.*

Наведіть власні аргументи на підтвердження або спростування цієї тези.

Простежуючи розвиток органічної хімії, можна виявити очевидну узгодженість рівня цивілізованості практично всіх виробничих і побутових сфер та рівня хімічних знань і розвитку синтетичної хімії. Динаміка цього розвитку вражає. Показником може бути зростання кількості синтезованих сполук: 1880 р. — близько 12 000, 1910 р. — 150 000, 1940 р. — 500 000. Нині ніхто не наслідиться назвати точну кількість відомих речовин, бо щороку синтезують 200—300 тисяч лише органічних сполук. Останніх на сьогодні відомо вже понад 100 мільйонів, додайте до цього близько 700 тисяч неорганічних сполук.

Синтез нових сполук є найголовнішим напрямом розвитку хімії. Органічний синтез, зокрема, відіграє провідну роль не лише у створенні практично корисних речовин, а й у пізнанні складних взаємодій у біологічних системах на молекулярному рівні, що є надзвичайно важливим завданням сучасного природознавства.

Якщо біолог, геолог, астроном досліджують об'єкти, що вже існують у природі, то хімік-синтетик повинен спершу добути речовину, якої до цього в природі не існувало, дослідити її властивості й перетворення. Ще видатний французький хімік-органік XIX ст. М. Бертло зазначав: «Хімія сама створює свої об'єкти». Синтетичну хімію іноді порівнюють із мистецтвом. Інший французький хімік, наш сучасник, лауреат Нобелівської премії Ж.-М. Лен висловився так: «Хімік-синтетик воістину творить нові світи, що не існували, поки не вийшли, оформившись, з рук хіміка, подібно до того, як матеріал, щойно вийшовши з рук майстра, набуває сили й виразності».

*витвору мистецтва». А от яке узагальнення зробив відомий український учений, академік Мирон Лозинський: «Органічний синтез — не лише засіб проникнення в суть фізичних і хімічних явищ, а й потужний стимул для виявлення новаторського духу і творчого генію людини».*

Наведіть ваше власне тлумачення цих слів.

Маючи таку яскраву самобутність, посідаючи особливе місце серед інших природничих наук, органічна хімія водночас тісно пов'язана з ними.

Речовина як вид матерії є об'єктом вивчення і хімії, і **фізики**. Фізика розглядає дискретну будову речовини, різні її стани, вплив будови на властивості, що «цікавить» також і органічну хімію. У курсі біології вивчають біологічно активні речовини — білки, вуглеводи, жири, нуклеїнові кислоти. Їхня структурна організація є визначальною у здійсненні ними життєво важливих функцій, а пізнати структуру цих речовин можна лише на основі знань з органічної хімії.

Плідність провідних ідей органічної хімії доведено розвитком усіх природничих наук, передусім **біології**. Вам відомо, що органічна хімія розпочиналася з дослідження речовин рослинного й тваринного походження. Завдяки цьому було з'ясовано склад і структуру багатьох біологічних субстанцій. Водночас біологічні субстанції — природні вуглеводи, що становлять основу рослинного світу, є джерелом добування штучних волокон, спиртів, багатьох інших речовин. Саме хімікам належить розшифровка структури й штучне відтворення таких складних біологічних об'єктів, як жири, деякі білки, вуглеводи, вітаміни. Органічна хімія сприяє розумінню перебігу процесів у організмах на молекулярному рівні.

Хімію біологічно активних речовин, що перебувають на вищому рівні речовинної форми організації матерії, порівнюють з **молекулярною інформатикою**, предметом якої є збереження і зчитування інформації, записаної в параметрах молекул.

Пригадайте, як передається генетична інформація, які сполуки беруть участь у цьому процесі.

Відбувається взаємопроникнення біології і органічної хімії, адже остання, наприклад, використовує природні ферменти як хімічні реагенти, зокрема в **біотехнологічних** процесах. Величезна кількість біомаси рослин, накопичена на планеті, розглядається в біотехнології як перспективна сировина для добування вуглеводнів та інших органічних речовин, що є сировиною для органічного синтезу.

З хімією пов'язані й успіхи в застосуванні іншої сучасної технології — **нанотехнології**. Карбонові нанотрубки вже використовують на практиці завдяки їхнім особливим механічним, оптичним і напівпровідниковим властивостям, а в перспективі наносполуки можуть стати основою побудови квантових комп'ютерів.

Підготуйте повідомлення про досягнення нанотехнології.

Органічна хімія традиційно пов'язана з **виробництвом**, є першопричиною створення виробництв синтетичних барвників, лікарських засобів, харчових добавок. У свою чергу, розвиток хімічних виробництв є стимулом



розвитку **теоретичної хімії**. Пошуки дешевої сировини для промисловості свого часу сприяли досконалому вивченню складу продуктів переробки кам'яного вугілля, серед яких було виявлено багато цінних сполук.

Вивчення речовини розпочинається з ознайомлення з її агрегатним станом за звичайних умов і фізичними властивостями — кольором, запахом, твердістю, еластичністю, температурами плавлення й кипіння. Для багатьох речовин визначальними щодо їхніх властивостей є міжмолекулярна (фізична) взаємодія. Сучасні методи ідентифікації речовин ґрунтуються на вивченні їхніх спектрів у різних діапазонах. Отже, фізичні знання й фізичні методи органічно входять до хімічної науки, часто є її підґрунтям. Водночас новітні матеріали — продукти синтетичної органічної хімії — «обслуговують» різноманітні галузі **фізики, електроніку, електротехніку**.

Взаємне проникнення знань з фізики, хімії, біології, технологій виявляється і в методах дослідження, що використовуються цими галузями: ядерний магнітний резонанс, спектроскопія у видимій, ультрафіолетовій та інфрачервоній ділянках спектра, полярографія, хроматографія та ін.

Органічна хімія тісно взаємодіє з **медициною**, прикладом чого є створення синтетичних лікарських засобів. Протягом багатьох століть хімія була пов'язана з медициною, а нині є «серцем сучасної медицини». Ще у працях алхіміків описано способи виготовлення ліків із трав, олій, смол, воску тощо за допомогою таких операцій, як екстрагування, настоювання, розчинення, змішування, фільтрування, сублимація тощо.

У XV—XVI ст., коли завдяки географічним відкриттям значно розширилися контакти між державами й людьми, розповсюдилися й хвороби, які часто набували характеру епідемій. На боротьбу з ними спрямовувалися зусилля тогочасної медицини. Саме в XVI ст. завдяки працям Парацельса було засновано ятрохімію, що використовувала хімічні сполуки як ліки. На той час це були переважно сполуки Стибію, Арсену, Плюмбуму, Меркурію та деяких інших елементів, а також екстракти рослинного й тваринного походження. Пізніше з рослинних продуктів почали виділяти активні речовини, наприклад хінін із кори хінного дерева, морфін із опіуму.

У XIX ст. почали досліджувати фізіологічну дію синтетичних органічних сполук, серед яких було виявлено антисептичні, снодійні, анестезуючі, антипіритичні речовини. З одного боку, створення синтетичних лікарських засобів вплинуло на розвиток усєї медицини. З іншого, хімія лікарських засобів залежала від розвитку хімії кам'яного вугілля, оскільки продукти його переробки, що містяться в кам'яновугільній смолі, є сировиною для органічного синтезу. Так технічні й технологічні проблеми переробки кам'яного вугілля переплелися з проблемами теоретичної і практичної хімії, фармакології, медицини.

Іншим прикладом розв'язання гуманітарної проблеми за допомогою хімії є створення промисловості й застосування синтетичних барвників.

Пригадайте, що вам відомо про це, і поясніть, як виникнення промисловості органічного синтезу пов'язане з хімією вугілля.

**Органічна хімія та проблеми сталого розвитку.** Величезну кількість органічних сполук «задіяно» в розв'язуванні **глобальних проблем людства**: продовольчої, сировинної, енергетичної, екологічної. Саме остання суспіль-

на думка пов'язує зі здобутками й прорахунками хімії. Створений розумом і руками людини світ синтетичних речовин забезпечує її потреби в повсякденному житті, але водночас стає біогеохімічним чинником глобального масштабу. Ідеться не лише про забруднення довкілля під час виробництва й використання продуктів синтетичної хімії, а про непередбачуваність впливу цих продуктів на поведінку природних об'єктів. Наприклад, поява нових ліків призводить до формування нових резистентних (стійких) штамів мікроорганізмів.

Підготуйте повідомлення про вплив хімічних сполук на довкілля, здоров'я людини та засоби запобігання їх шкідливому впливу.

Людство докладає величезних зусиль до пошуку нових джерел енергії. Яка, на вашу думку, роль хімії в розв'язанні цієї проблеми?

Органічна хімія розширила поняття *сировина*, створивши нові матеріали.

Наведіть приклади заміни традиційних видів сировини на сучасних виробництвах.

Потреби людства у продовольстві задовольняють у наш час завдяки хімічним засобам підвищення врожайності сільськогосподарських культур, збереження врожаю, відгодівлі худоби й боротьби з її хворобами, зберігання й консервації готової продукції тощо.

Наведіть приклади, що доводять провідну роль органічної хімії у розв'язанні цієї проблеми.

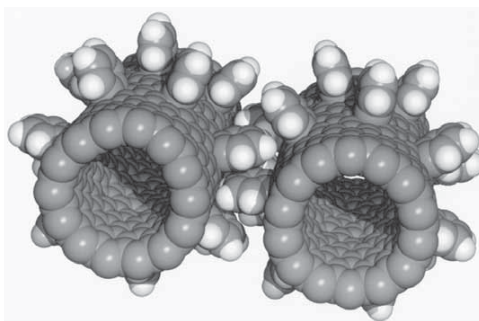
Розв'язуючи нагальні потреби сьогодення, людство має дбати й про наступні покоління. Наприклад, зростання виробництва продукції сільського господарства не повинно призводити до виснаження ґрунту; використання енергії горючих корисних копалин має супроводжуватися пошуками альтернативних видів енергії; застосування синтетичних полімерних матеріалів не повинно згубно діяти на екосистеми. Отже, ідеться про такий розвиток сучасного суспільства, який не загрожує життю і розвитку суспільства майбутнього й сприяє збереженню природних ресурсів. Така модель отримала назву **сталого розвитку**.

Згідно з матеріалами ООН, *«сталий розвиток — це такий розвиток суспільства, який задовольняє потреби нинішніх поколінь і не ставить під загрозу можливості наступних поколінь задовольняти свої потреби»*. Визначено 17 цілей, яких має досягти людство. Серед них — подолання голоду, досягнення продовольчої безпеки, поліпшення харчування і сприяння сталому розвитку сільського господарства; забезпечення доступу до недорогих, надійних, стійких і сучасних джерел енергії; раціональне використання водних ресурсів, забезпечення санітарії; вжиття невідкладних заходів щодо боротьби зі зміною клімату та її наслідками; раціональне використання морських ресурсів, захист екосистем суші та інші.

Проаналізуйте зазначені цілі з погляду внеску органічної хімії в їх досягнення.

Сталый розвиток називають керованим розвитком. Поясніть, як ви розумієте керованість розвитку з погляду виробництва та застосування продуктів органічної хімії.

Сучасні наукові знання з органічної хімії є підґрунтям реалістичного ставлення до навколишнього світу, в якому значне місце посідає взаємодія людини з різними речовинами. Істинне знання про природу речей, як у високому науковому сенсі, так і в утилітарному, дає змогу позбутися страху перед глобальними проблемами людства, розкрити шляхи запобігання їм і розв'язування, оскільки саме хімія володіє методами поліпшення екологічної ситуації, забезпечує людство матеріалами, енергією, засобами боротьби з хворобами.



Мал. 129. Карбонові нанотрубки — основа перспективних матеріалів

Вивчаючи органічну хімію, ви переконалися, що ці знання застосовують в усіх наукових і технологічних галузях, уся практична діяльність людини пов'язана з використанням природних, штучних і синтетичних речовин і матеріалів, а одвічне прагнення людства до розкриття таємниць живого може здійснитися через пізнання процесів у організмах на молекулярному рівні. Усе це визначає важливу гуманістичну функцію знань з органічної хімії, їхнє місце в загальному світогляді людини, її ставленні до навколишнього світу.

Складіть короткі висновки за матеріалами цього параграфа.

Висловіть своє ставлення до викладених фактів і положень.

Поясніть значення знань про органічні речовини для забезпечення гармонійного життя в довкіллі.

Досягнення цивілізації останніх десятиріч тісно пов'язані з успіхами органічної хімії. Наведіть власні аргументи на підтвердження або спростування цієї тези.



## Завдання для самоконтролю

1. Пригадайте групи речовин, що їх використовують як хімічні засоби захисту рослин. Поясніть взаємозв'язок між використанням цих засобів і глобальними проблемами людства.
2. Поясніть: виробництво й застосування синтетичних лікарських засобів сприяє розв'язуванню проблем сталого розвитку суспільства чи створює їх?
3. Складіть перелік найуживаніших речовин, що їх позначають як Е-числа й використовують як харчові добавки. З'ясуйте, які з них можуть зашкодити здоров'ю людини, використовуючи додаткові джерела інформації.
4. Забруднення довкілля продуктами органічної хімії шкодить сталому розвитку суспільства. Які заходи слід застосовувати, щоб запобігти впливу: стійких органічних забруднювачів, продуктів згоряння, синтетичних мийних засобів? Для відповіді використайте матеріал підручника.

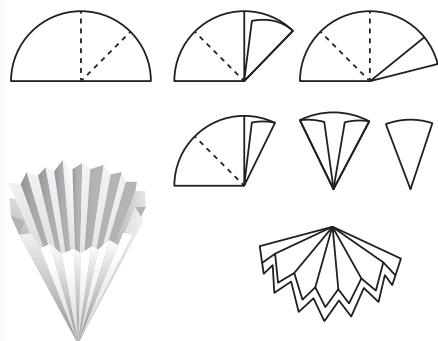


# ПРАКТИЧНІ РОБОТИ

## Практична робота 1

### Розділення й очищення речовин.

#### Перегонка при атмосферному тиску. Перекристалізація



Мал. 163. Виготовлення складчастого фільтра

#### Дослід 1. Перекристалізація.

Для роботи потрібні

**реактиви:** бензойна кислота — 1 г, вода — 50 г, деревне вугілля;

**обладнання й хімічний посуд:** стакан або колба місткістю 75–100 мл, скляна лійка, колба або стакан для фільтрату, скляна паличка, промивальниця з водою, нагрівальний прилад, паперові фільтри, штатив з кільцем.

*Бензойна кислота* — кристалічна речовина білого кольору; розчинність у воді за 10 °С — 2,7, за 100 °С — 59 г/100 мл води.

*Складання приладу.* Виготовте

складчастий фільтр (мал. 163) і вкладіть його в скляну лійку для фільтрування (мал. 164).

#### Порядок виконання досліду

Суміш кристалічної бензойної кислоти з порошком деревного вугілля вмістіть у стакан або колбу, додайте воду й нагрійте до кипіння. При цьому кислота повністю розчиниться. Гарячий розчин профільтруйте крізь складчастий фільтр. Посудину з фільтратом вмістіть у холодну воду для охолодження. Кислота виділяється у вигляді кристалів.

З якою метою використовують складчастий фільтр?

Чому для перекристалізації беруть мінімальний об'єм розчинника?

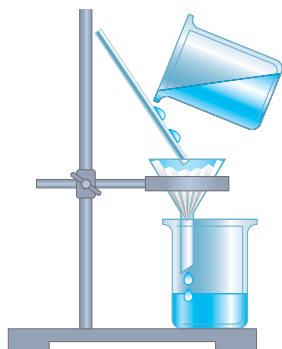
#### Дослід 2. Перегонка за атмосферного тиску.

Для роботи потрібні

**реактиви:** пропан-1-ол або інша органічна речовина з температурою кипіння 80–150 °С — 20 мл, кип'ятильні камінці (шматочки пористих матеріалів, наприклад уламки глиняного посуду, мармуру);

**обладнання й хімічний посуд:** колба Вюрца місткістю 75–100 мл, водяний холодильник Лібіга або холодильна трубка завдовжки 40–50 см, алонж, два приймачі (колби або стакани місткістю 100 мл), термометр, два штативи, нагрівальний прилад, скляна лійка, порцеляновий трикутник.

*Пропан-1-ол* — безбарвна рідина з характерним запахом;  $t_{\text{кип}} = 97,4$  °С.



Мал. 164. Фільтрування крізь складчастий фільтр



Мал. 165. Прилад для перегонки за атмосферного тиску:  
1 — колба Вюрца; 2 — термометр; 3 — холодильник Лібіга; 4 — алонж;  
5 — приймач

**Складання приладу.** Перегонку за атмосферного тиску виконують у приладі, зображеному на мал. 165. Колбу закріпіть у штативі, затиснувши її лапкою вище від газовідвідної трубки. В іншому штативі закріпіть холодильник. На кінці холодильної трубки закріпіть алонж і поставте під нього приймач.

### Порядок виконання досліду

У колбу Вюрца налейте пропан-1-ол (через лійку, щоб краплини рідини не потрапили у відповідну трубку) і вмістіть кілька кип'ятільних камінців для забезпечення рівномірного кип'ятіння.

*Увага! Рідина, що переганяється, має займати не більш ніж  $\frac{2}{3}$  об'єму колби.*

Уставте пробку з термометром так, щоб кінець термометра розміщувався на 0,5 см нижче від отвору відповідної трубки колби. Подайте в холодильник воду.

Обережно рівномірно нагрівайте рідину й стежте за показаннями термометра. За потребою замініть приймач.

*Увага! Полум'я не повинно торкатися стінок колби вище від рівня рідини!*

Швидкість перегонки — приблизно одна краплина за секунду. Зберіть кілька мілілітрів рідини й припиніть перегонку.

*Увага! Не відганяйте рідину з колби досуха!*

Зібраний пропанол віддайте вчителю.

За яким показником можна зробити висновок, що ви добули чистий продукт?

## Практична робота 2

### Виявлення Карбону, Гідрогену й Хлору в органічних речовинах

#### Дослід 1. Виявлення Карбону й Гідрогену.

Для роботи потрібні

**реактиви:** парафін — 0,5 г, порошок купрум(II) оксиду — 1—2 г, вапняна вода — 2—3 мл, безводний купрум(II) сульфат — 2 г;

**обладнання й хімічний посуд:** пробірка з газовідвідною трубкою, пробірка для вапняної води, нагрівальний прилад, штатив.

**Парафін** — суміш твердих високомолекулярних насичених вуглеводнів білого або жовтого кольору;  $t_{\text{пл}} = 50\text{—}55\text{ }^\circ\text{C}$ .

**Складання приладів.** Дослід можна проводити у приладі для добування газів (мал. 166, а) або у спеціальному приладі для визначення Карбону й Гідрогену (мал. 166, б).

### Порядок виконання досліду

Суміш досліджуваної речовини (парафіну) з купрум(II) оксидом умістіть у суху пробірку (мал. 166, а) і закріпіть у штативі в горизонтальному положенні. Обережно внесіть на її стінку безводний купрум(II) сульфат і закрийте пробірку пробкою з газовідвідною трубкою, кінець якої опустіть у пробірку з вапняною водою.

Обережно нагрівайте пробірку з досліджуваною речовиною. Спостерігайте зміни, що відбуваються з купрум(II) оксидом, купрум(II) сульфатом, вапняною водою. Після цього дослід припиніть.

**Увага!** Щоб запобігти розтріскуванню пробірки, стежте, аби після припинення нагрівання рідина не потрапляла по трубці у прилад.

Яку роль відіграє в цьому досліді купрум(II) оксид? З якою метою використовують вапняну воду?

Напишіть рівняння реакцій, що відбуваються.

### Дослід 2. Виявлення Хлору (проба Бейльштейна).

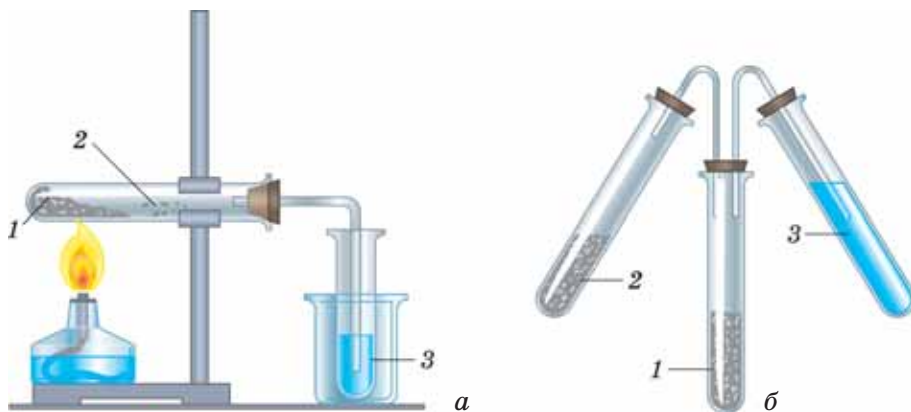
Для роботи потрібні

**реактиви:** хлоромісна органічна сполука (хлороформ, дихлороетан — 1 мл), мідний дріт завтовшки 1—2 мм;

**обладнання:** нагрівальний прилад з відкритим полум'ям.

**Хлороформ** — безбарвна рідина з характерним запахом;  $t_{\text{кип}} = 61,1\text{ }^\circ\text{C}$ .

**Дихлороетан** — безбарвна рідина із сильним запахом;  $t_{\text{кип}} = 83,5\text{ }^\circ\text{C}$ .



Мал. 166. Прилади для виявлення Карбону й Гідрогену в органічній сполуці:  
1 — суміш досліджуваної речовини з купрум(II) оксидом; 2 — безводний купрум(II) сульфат;  
3 — вапняна вода

**Проба Бейльштейна:** якщо в полум'я внести окиснену мідну дротину, на яку вміщено органічну речовину, до складу якої входить галоген, то полум'я забарвиться в зелений чи синьо-зелений колір.

#### Порядок виконання досліду

Кінець мідного дроту зігніть петелькою або у вигляді спіралі діаметром 1—2 мм. Прожарюйте дротину в полум'ї доти, доки полум'я стане безбарвним, охолодіть її. Запурте дротину в досліджувану хлоровмісну речовину й знову внесіть у полум'я (мал. 167). Зелене забарвлення полум'я засвідчує наявність Хлору у виданій для аналізу сполуці.



Мал. 167. Виявлення галогену в органічній сполуці (проба Бейльштейна)

*Увага! Легкозаймисті органічні сполуки тримайте якнайдалі від вогню!*

### Практична робота 3 (виконується віртуально)

#### Добування етену й досліди з ним

Для роботи потрібні

**реактиви:** етанол — 1 мл, концентрована сульфатна кислота — 3 мл, бромна вода (свіжовиготовлена) — 2—3 мл, розбавлений розчин калій перманганату — 2—3 мл;

**обладнання й хімічний посуд:** прилад для добування газів, кип'ятильні камінці, нагрівальний прилад, порцелянова пластинка, дві пробірки, стакан.

**Етанол** — безбарвна рідина з характерним запахом;  $t_{\text{кип}} = 78,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

**Етен** — безбарвний газ із слабким приємним запахом, малорозчинний у воді, легший за повітря, горить світним полум'ям.

**Складання приладу.** Прилад для добування газів складається з пробірки зі вставленою через пробку газовідвідною трубкою, зігнутою під кутом (мал. 168). Перевірте його на герметичність.

#### Порядок виконання роботи

**Дослід 1. Добування етену і взаємодія його з калій перманганатом та бромною водою.**

У пробірку налейте видану вам суміш етанолу й сульфатної кислоти об'ємом 5 мл.

Умістіть у суміш кип'ятильні камінці, закріпіть пробірку в штативі й приєднайте газовідвідну трубку. Обережно нагрівайте суміш. Коли розпочнеться реакція, газ, що виділяється, пропускайте у пробірку з 2—3 мл бромної води (див. мал. 168), зану-



Мал. 168. Прилад для добування етену з етанолу

ривши газовідвідну трубку до дна пробірки. Для зручності пробірку з бромною водою поставте у стакан.

*Під час дослідів підтримуйте слабке нагрівання суміші, щоб рідина з пробірки не потрапила у прилад через газовідвідну трубку.*

Які зміни відбуваються з бромною водою? Чому? Напишіть рівняння реакцій утворення етену й взаємодії його з бромною водою.

У пробірку налейте 2—3 мл підкисленого розчину калій перманганату й так само пропускайте етен.

Що спостерігається? Що засвідчують ваші спостереження?

### **Дослід 2. Горіння етену.**

Вийміть газовідвідну трубку з розчину і, повернувши її отвором угору, підпаліть газ, що виділяється.

Яким полум'ям горить етен?

Унесіть у полум'я порцелянову пластинку. Спостерігайте осідання на ній тонкого чорного шару сажі.

Поясніть це явище. Напишіть рівняння реакції горіння етену.

## **Практична робота 4**

### **Розв'язування експериментальних задач**

*Задача 1.* Доведіть експериментально, що у пронумерованих пробірках міститься: а) гліцерол; б) дихлороетан; в) олеїнова кислота.

Складіть перелік реактивів і обладнання, потрібних для виконання дослідів. Напишіть рівняння реакцій.

*Задача 2.* Доведіть експериментально, що етанова кислота належить до слабких кислот.

Складіть перелік реактивів і обладнання, потрібних для виконання дослідів. Напишіть рівняння реакцій.

*Задача 3.* Визначте хімічним способом, у якій з виданих вам пробірок міститься кислота: а) мурашина; б) етанова.

Складіть перелік реактивів і обладнання, потрібних для виконання дослідів. Напишіть рівняння реакцій.

*Задача 4.* Добудьте стеаринову кислоту з мила.

Складіть перелік реактивів і обладнання, потрібних для виконання дослідів. Напишіть рівняння реакцій.

## **Практична робота 5**

### **Синтез етилетаноату (виконується віртуально)**

*Для роботи потрібні*

**реактиви:** етанол — 5 мл, концентрована етанова кислота — 5 мл, сульфатна кислота — 1 мл;

**обладнання й хімічний посуд:** колба Вюрца на 50—75 мл, холодильник Лібіга, алонж, приймач, ділильна лійка, водяна баня, лід, нагрівальний прилад.

**Етилетаноат** (етиловий естер етанової кислоти) — рідина з фруктовим запахом; розчинний у воді;  $t_{\text{кип}} = 77,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ .



*Складання приладу.* Зберіть прилад для перегонки. Колбу Вюрца вмістіть у водяну баню, у приймач унесіть суміш води з льодом (див. мал. 106, с. 166).

### **Порядок виконання роботи**

У колбу Вюрца вмістіть видану вам суміш етанолу, етанової і сульфатної кислот. Закрийте колбу пробкою, приєднайте холодильник і ввімкніть воду. Кінець алонжа опустіть у приймач. Обережно нагрівайте суміш на водяній бані.

*Не нагрівайте суміш на відкритому полум'ї! Естер легкозаймистий, утворює з повітрям вибухонебезпечну суміш.*

Продукт реакції збирається в приймачі під шаром льоду. Уміст приймача струсіть, дайте відстоятися у витяжній шафі й відокремте верхній естерний шар за допомогою ділильної лійки. Переконайтеся в наявності специфічного запаху естеру.

*Нюхайте естер обережно, оскільки він подразнює слизові оболонки!*

З'ясуйте роль сульфатної кислоти в цій реакції. Напишіть рівняння реакції.

## **Практична робота 6**

### **Розв'язування експериментальних задач**

#### *Варіант 1*

1. Видано пробірки з розчинами: а) гліцеролу; б) альдегіду; в) глюкози. За допомогою одних і тих самих реактивів визначте кожен речовину.

2. Визначте експериментально, чи є крохмаль у білому хлібі, косметичній пудрі, овочах.

Для завдань 1 і 2 складіть перелік потрібних реактивів і виконайте досліді. Напишіть, де можливо, рівняння реакцій.

#### *Варіант 2*

1. Видано пробірки з розчинами: а) крохмалю; б) сахарози; в) мила. Визначте експериментально кожен речовину.

2. Визначте експериментально, чи є глюкоза в стиглому яблуці та інших фруктах, у меду.

Для завдань 1 і 2 складіть перелік потрібних реактивів і виконайте досліді. Напишіть, де можливо, рівняння реакцій.

## **Практична робота 7**

### **Розпізнавання деяких пластмас і волокон**

*Для роботи потрібні*

**реактиви:** пакети зі зразками пластмас і волокон, розбавлені й концентровані розчини сульфатної кислоти й натрій гідроксиду;

**обладнання й хімічний посуд:** індикаторний папір, нагрівальний прилад, тигельні щипці, штатив із пробірками.

### **Порядок виконання роботи**

1. Уважно розгляньте виданий вам зразок матеріалу. Зверніть увагу на його колір, твердість, еластичність, крихкість тощо.

2. За допомогою щипців шматочок матеріалу внесіть у полум'я. Зверніть увагу на характер горіння.

3. Шматочок матеріалу спробуйте розплавити у пробірці. Якщо матеріал при цьому розкладається, визначте наявність запаху продуктів розкладу.

4. Волокна випробуйте на розчинність у кислотах і лугах (віртуально).

Результати спостережень і висновки оформіть у вигляді таблиць 19 і 20.

Т а б л и ц я 19

### Деякі властивості пластмас

Назва пластмаси	Зовнішній вигляд	Проба на горіння	Проба на нагрівання

Т а б л и ц я 20

### Деякі властивості природних, штучних і синтетичних волокон

Назва волокна	Зовнішній вигляд	Проба на горіння	Проба на нагрівання	Дія лугу й кислоти			
				NaOH (розб.)	NaOH (конц.)	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (розб.)	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (конц.)

## Практична робота 8

### Функціональний аналіз органічних сполук

Доведіть експериментально, що серед виданих вам речовин є: а) ненасичений вуглеводень; б) багатоатомний спирт; в) альдегід; г) карбонова кислота; д) галогеновмісна сполука; е) неорганічна речовина.

*Для роботи потрібні*

**реактиви:** пробірки з речовинами а), б), в), г), д), е), розчини купрум(II) сульфату, натрій гідроксиду, ферум(III) хлориду, калій перманганату;

**обладнання й хімічний посуд:** штатив із пробірками, мідна спіраль, нагрівальний прилад, ложка для спалювання речовин.

#### Порядок виконання роботи

##### Дослід 1. Попередні випробування.

1. За допомогою проби на спалювання визначте неорганічну речовину й характер горіння органічних речовин.

2. За допомогою проби Бейльштейна визначте галогеновмісну сполуку.

3. За допомогою проби Вагнера визначте ненасичений вуглеводень і альдегід (віртуально).

*Пам'ятайте, забарвлення калій перманганату зникає (проба Вагнера) під час реакції з ненасиченими вуглеводнями, альдегідами, мурашиною кислотою, багатоатомними фенолами.*

##### Дослід 2. Визначення наявності функціональних груп.

Враховуючи результати попередніх випробувань, визначте наявність функціональних груп у виданих вам речовинах. Результати спостережень і висновки оформіть у вигляді таблиці 21.

## Деякі властивості пластмас

Номер пробірки	Клас речовини	Функціональна група	Реактив	Що утворюється в результаті реакції

## Практична робота 9

## Властивості ацетилсаліцилової кислоти

Для роботи потрібні

**реактиви:** ацетилсаліцилова кислота (аспірин) — 0,1 г, вода — 4—5 мл, розчин ферум(III) хлориду, індикаторний папір;

**обладнання й хімічний посуд:** штатив з пробірками, нагрівальний прилад.

**Ацетилсаліцилова кислота** — безбарвна кристалічна речовина (голчасті кристали); малорозчинна у воді;  $t_{пл} = 136,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

## Порядок виконання роботи

Аспірин розчиніть у воді. Частину розчину відлійте в іншу пробірку і випробуйте його на наявність фенольної групи за допомогою ферум(III) хлориду.

Прокип'ятіть розчин аспірину. До отвору пробірки піднесіть зволожений індикаторний папір і переконайтеся в наявності у парі легкої кислоти. Охолодіть розчин і знову випробуйте його за допомогою розчину ферум(III) хлориду на наявність фенольної групи серед продуктів гідролізу.

Чи з'являється характерне для фенолів забарвлення?

Які продукти утворюються в результаті гідролізу аспірину? Напишіть рівняння реакції.

## Практична робота 10

## Розв'язування експериментальних задач: генетичні зв'язки між органічними речовинами, дослідження їхніх властивостей

## Варіант 1

1. У трьох пронумерованих пробірках містяться вода, етанол, розчин крохмалю. Складіть перелік реактивів і обладнання, потрібних для визначення цих речовин, і визначте їх експериментально.

2. Яка речовина й у якій кількості утвориться в результаті окиснення етанолу масою 4,6 г купрум(II) оксидом? Добудьте цю речовину з етанолу, визначеного в попередньому досліді.

## Варіант 2

1. У трьох пронумерованих пробірках містяться вода, розчини глюкози й етанової кислоти. Складіть перелік реактивів і обладнання, потрібних для визначення цих речовин, і визначте їх експериментально.

2. Які речовини й у якій кількості утворяться в результаті взаємодії етанової кислоти масою 3 г з ізоаміловим спиртом? Добудьте цю речовину з визначеної в попередньому досліді етанової кислоти.

# ТРЕНУВАЛЬНІ ВПРАВИ В ТЕСТОВІЙ ФОРМІ

## ТЕОРІЯ БУДОВИ ОРГАНІЧНИХ СПОЛУК

1. Укажіть ознаки органічних речовин, відмінні від неорганічних.  
А повністю окиснюються до вуглекислого газу й води  
Б атоми в молекулі зазнають взаємного впливу  
В поширені у природі  
Г погано розчинні у воді
2. Установіть послідовність подій в історії хімії.  
А синтез сечовини  
Б відкриття ДНК  
В створення віталістичної теорії  
Г відкриття періодичного закону Д. І. Менделєєвим
3. Укажіть внесок О. М. Бутлерова в науку.  
А створення органічної хімії      В розроблення теорії  
Б відкриття гомології              Г синтез ізобутану
4. Укажіть, які зв'язки встановлює теорія хімічної будови.  
А між складом і будовою речовин  
Б між добуванням і застосуванням речовин  
В між складом, будовою та властивостями речовин  
Г між органічними та неорганічними речовинами
5. Укажіть твердження, що впливає з теорії хімічної будови.  
А органічні речовини поширені у природі  
Б атоми в молекулі зазнають взаємного впливу  
В метан належить до органічних сполук  
Г органічні речовини перетворюються на неорганічні
6. Укажіть твердження, які можна пояснити на основі теорії хімічної будови.  
А ізомери мають різні властивості  
Б гомологи мають подібні властивості  
В вуглеводні — клас органічних сполук  
Г між органічними та неорганічними сполуками існує взаємозв'язок
7. Установіть послідовність створення й розвитку теорії будови органічних речовин.  
А запровадження поняття про просторову будову речовин  
Б запровадження поняття про хімічну будову речовин  
В розробка вчення про валентність  
Г запровадження поняття про електронну будову речовин
8. Установіть відповідність між змістом правої і лівої колонок.

<i>Поняття</i>	<i>З чим асоціюється поняття</i>
А молекулярна формула	1 система основних наукових ідей
Б органічна хімія	2 послідовність сполучення атомів
В теорія	3 якісний і кількісний склад речовини
Г хімічна будова	4 колообіг речовин
	5 І. Я. Берцеліус

## АЛКАНИ. ЦИКЛОАЛКАНИ

- Укажіть конфігурацію атома Карбону в збудженому стані.  
 А  $1s^2 2s^2 2p^2$     Б  $1s^2 2s^1 2p^3$     В  $1s^1 2s^2 2p^3$     Г  $1s^1 2s^1 2p^4$
- Укажіть геометричну форму молекули метану.  
 А ромб    Б тетраедр    В ланцюг    Г куб
- Укажіть загальну кількість електронів, що беруть участь в утворенні хімічних зв'язків між атомами Карбону в молекулі етану.  
 А 4    Б 3    В 2    Г 5
- Укажіть загальну кількість електронів, що беруть участь в утворенні хімічних зв'язків між атомами Карбону в молекулі етену.  
 А 4    Б 3    В 2    Г 5
- Укажіть загальне число електронів, що беруть участь в утворенні хімічних зв'язків між атомами Карбону в молекулі етину.  
 А 4    Б 3    В 2    Г 6
- Укажіть спільні ознаки гомологів.  
 А методи добування    В хімічна будова  
 Б кількісний склад    Г хімічні властивості
- Укажіть відмінні ознаки гомологів.  
 А якісний склад    В хімічна будова  
 Б кількісний склад    Г фізичні властивості
- Укажіть формулу алкану.  
 А  $C_6H_{12}$     Б  $C_5H_{10}$     В  $C_6H_{14}$     Г  $C_2H_2$
- Установіть послідовність розміщення сполук за зростанням відносних молекулярних мас.  
 А 2,3-диметилпентан    В гексан  
 Б октан    Г метилпропан
- Укажіть ізомери серед наведених сполук.  
 А бутан    В метилбутан  
 Б метилпропан    Г 2,3-диметилбутан
- Укажіть ізомери серед наведених сполук.  
 А 2,3-диметилпентан    В диметилбутан  
 Б пентан    Г 2,3,3-триметилбутан
- Укажіть число ізомерів серед сполук, формули яких наведено:  
 $CH_3-CH_2-CH(CH_3)-CH_2-CH_3$ ;     $CH_3-CH_2-CH_2-CH_2-CH_2-CH_3$ ;  
 $CH_3-CH(CH_3)-CH(CH_3)-CH_3$ ;     $CH_3-CH_2-CH_2-CH_3$ .  
 А 2    Б 3
- Укажіть енергетично найвигіднішу форму карбонового ланцюга алканів.  
 А лінійна    Б клешнеподібна    В зигзагоподібна    Г кільцева
- Установіть послідовність складання структурної формули сполуки, яка називається 3-метилгептан.  
 А доповнити структуру атомами Н  
 Б пронумерувати атоми Карбону  
 В сполучити метильну групу з атомом  $C^3$   
 Г скласти карбоновий скелет гептану

15. Установіть послідовність складання назви сполуки  
 $\text{CH}_3\text{—CH}(\text{CH}_3)\text{—CH}(\text{CH}_3)\text{—CH}_3$ .  
 А визначити місця замісників і їхні назви  
 Б назвати найдовший ланцюг атомів Карбону  
 В вказати місця і назви замісників в алфавітному порядку перед назвою вуглеводню  
 Г визначити найдовший ланцюг атомів Карбону й пронумерувати їх
16. Установіть відповідність між назвами та формулами речовин.
- | <i>Назва сполуки</i> | <i>Формула сполуки</i>   |
|----------------------|--|
| А 2-метилпентан      | 1 $\text{CH}_3\text{—CH}_2\text{—CH}(\text{CH}_3)\text{—CH}_2\text{—CH}_3$ |
| Б 2,2-диметилбутан   | 2 $\text{CH}_3\text{—C}(\text{CH}_3)_2\text{—CH}_2\text{—CH}_3$            |
| В 2-метилпропан      | 3 $\text{CH}_3\text{—CH}(\text{CH}_3)\text{—CH}_2\text{—CH}_2\text{—CH}_3$ |
| Г 3-метилпентан      | 4 $\text{CH}_3\text{—CH}(\text{CH}_3)\text{—CH}_3$                         |
|                      | 5 $\text{CH}_3\text{—CH}(\text{CH}_3)\text{—CH}(\text{CH}_3)\text{—CH}_3$  |
17. Укажіть характеристику, що стосується алканів.  
 А молекулярна будова  
 Б розчинність у воді  
 В негорючість  
 Г мало поширені в природі
18. Установіть відповідність температури кипіння сполук їхньому складу.
- | <i>Температура кипіння, °С</i> | <i>Назва сполуки</i> |
|--------------------------------|----------------------|
| А 126                          | 1 гексан             |
| Б 69                           | 2 метан              |
| В -0,5                         | 3 бутан              |
| Г 500                          | 4 октан              |
| Д 162                          |                      |
19. Укажіть речовини, що утворюються в результаті нагрівання метану до 1000°C без доступу кисню.  
 А вуглець і водень  
 Б пропан і бутан  
 В вуглекислий газ і вода  
 Г бензин
20. Укажіть речовини, що утворюються в результаті неповного окиснення метану.  
 А карбон(IV) оксид і вода  
 Б вуглець і водень  
 В карбон(II) оксид і вода  
 Г вуглець
21. Укажіть побічну речовину, яка утворюється в результаті реакції алкану з хлором.  
 А хлорна вода  
 Б гідроген хлорид  
 В водень  
 Г вуглекислий газ
22. Укажіть дію, яку треба виконати, щоб добути дві прості речовини з метану.  
 А спалити  
 Б нагріти без доступу кисню  
 В подіяти розчином калій перманганату  
 Г пропустити крізь воду
23. Укажіть реакції, в які вступає метан.  
 А горіння  
 Б відновлення  
 В заміщення  
 Г окиснення калій перманганатом







13. Укажіть твердження, що стосуються 1,2-дихлоретену.  
 А властива *цис*-, *транс*-ізомерія  
 Б утворюється з етину за реакцією, що має радикальний механізм  
 В утворюється з етину за реакцією, що має йонний механізм  
 Г утворюється з етину за правилом Марковникова
14. Укажіть речовини, які можна добути з етену.  
 А метан      Б вуглець      В 1,2-диброметан      Г етан
15. Укажіть назву сполуки за міжнародною номенклатурою  

$$\text{CH}_3-\text{CH}(\text{CH}_3)-\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}_2$$

$$\begin{array}{c} | \\ \text{CH}_3. \end{array}$$
 А 2-метилгекс-3-ен      В 5-метилгекс-4-ен  
 Б 2,2-диметилпент-3-ен      Г диметилпентен

### АЛКІНИ

1. Укажіть параметри молекули етину.  
 А 0,154 нм; 120°      В 0,120 нм; 180°  
 Б 0,134 нм; 120°      Г 0,154 нм; 120°
2. Установіть послідовність збільшення валентних кутів у вуглеводнях.  
 А метан      Б етен      В етин
3. Укажіть зміни, що відбуваються з молекулою в результаті поступового гідрування етину.  
 А зменшується довжина С—С-зв'язку  
 Б збільшується довжина С—С-зв'язку  
 В зменшується валентний кут  
 Г збільшується валентний кут
4. Укажіть формулу алкіну.  
 А  $\text{C}_7\text{H}_{16}$       Б  $\text{C}_5\text{H}_{10}$       В  $\text{C}_4\text{H}_6$       Г  $\text{C}_6\text{H}_{12}$
5. Укажіть речовини, з якими алкіни реагують за кратним зв'язком.  
 А водень      Б залізо      В бром      Г метан
6. Укажіть твердження, що стосуються алкінів.  
 А атоми Карбону при потрійному зв'язку перебувають у стані *sp*-гібридизації  
 Б властива *цис*-, *транс*-ізомерія  
 В ізомерні циклопарафінам  
 Г властиві реакції приєднання
7. Укажіть продукт приєднання двох молекул  $\text{HCl}$  до етину.  
 А  $\text{C}_2\text{H}_2\text{Cl}_2$       Б  $\text{C}_2\text{H}_3\text{Cl}_3$       В  $\text{C}_2\text{H}_4\text{Cl}_2$       Г  $\text{C}_2\text{H}_2\text{Cl}_4$
8. Укажіть спосіб виявлення ненасиченого характеру зв'язків у молекулі алкіну.  
 А дія кисню      В нагрівання  
 Б дія брому      Г освітлення ультрафіолетовими променями
9. Укажіть зміну, що відбувається в результаті пропускання етину крізь розчин калій перманганату.  
 А виділяється газ      В випадає осад  
 Б розчин знебарвлюється      Г розчин не забарвлюється



6. Укажіть твердження, що стосуються бензену.  
 А гомолог циклогексану  
 Б відносна густина пари за воднем становить 39  
 В атоми  $C^1-C^2$  і  $C^4-C^5$  зв'язані подвійними зв'язками  
 Г розчинник жиру  
 Д горить блакитним полум'ям  
 Е стійкий проти окисників  
 Є залежно від умов вступає в реакції заміщення або приєднання з хлором
7. Укажіть реакції, в які вступає бензен.  
 А заміщення  
 Б нейтралізації  
 В повного окиснення  
 Г полімеризації
8. Укажіть сполуку, що утворюється в результаті повного хлорування бензену за наявності заліза як каталізатора.  
 А хлоробензен  
 Б 1,2,3,4,5,6-гексахлороциклогексан  
 В 1,4-дихлоробензен  
 Г гексахлоробензен
9. Укажіть сполуку, що утворюється в результаті взаємодії бензену з хлором під дією ультрафіолетового випромінювання.  
 А 1,2,3,4,5,6-гексахлороциклогексан  
 Б гексахлоробензен  
 В хлоробензен  
 Г 1,4-дихлоробензен
10. Установіть послідовність речовин у ланцюзі перетворення неорганічних речовин на сировину для виробництва полімеру.  
 А етин  
 Б кальцій оксид  
 В кальцій карбід  
 Г етен
11. Укажіть, проти яких шкідників сільського господарства використовують гербіциди.  
 А гриби  
 Б бур'яни  
 В гризуни  
 Г комахи
12. Установіть послідовність стадій добування пестициду з природного газу.  
 А етин  
 Б метан  
 В гексахлоран  
 Г бензен

### ПРИРОДНІ ДЖЕРЕЛА ВУГЛЕВОДНІВ

1. Укажіть речовини, що входять до складу природного газу.  
 А метан  
 Б етен  
 В етин  
 Г етан
2. Укажіть умови безпечного використання природного газу в побуті.  
 А у закритих приміщеннях без доступу повітря  
 Б полум'я має бути жовтого кольору  
 В провітрюване приміщення  
 Г полум'я має бути блакитного кольору
3. Укажіть речовини, що переважають у складі нафти.  
 А бензен  
 Б вода  
 В рідкі алкани  
 Г неорганічні солі
4. Укажіть процес, на якому ґрунтується перегонка нафти.  
 А розклад речовин  
 Б розчинення речовин  
 В дистиляція речовин  
 Г хімічна взаємодія речовин
5. Установіть послідовність утворення фракцій під час перегонки нафти.  
 А гас  
 Б мазут  
 В бензин  
 Г газ

6. Укажіть причину непридатності вуглеводнів нормальної будови для використання у складі пального.
- А розкладання за високої температури  
 Б низька стійкість проти детонації  
 В низька теплотворна здатність  
 Г корозія двигуна
7. Укажіть продукти коксування вугілля.
- А бензин  
 Б дьоготь  
 В суміш газів  
 Г амоніакова вода
8. Укажіть причину утворення фотохімічного смогу.
- А промислові, транспортні, побутові викиди газів  
 Б озонові «дірки»  
 В тютюновий дим  
 Г вуглекислий газ
9. Укажіть причину парникового ефекту.
- А підвищення вмісту вуглекислого газу в повітрі  
 Б озонові «дірки»  
 В пізні заморозки  
 Г кислотні дощі
10. Укажіть небезпечні наслідки неповного окиснення органічних сполук.
- А забруднення атмосфери вихлопними газами двигунів  
 Б утворення токсичних продуктів у результаті обробки питної води хлором  
 В розростання водоростей у водоймах  
 Г руйнування озонного шару
11. Установіть відповідність між назвами речовин і сировиною для їх добування.

<i>Назва речовини</i>	<i>Сировина</i>
А пропан-бутанова суміш	1 природний газ
Б етин	2 метан
В етен	3 бензен
Г циклопентан	4 нафта
	5 гексан

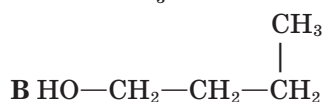
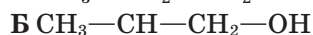
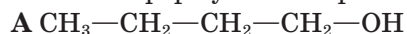
12. Установіть відповідність між назвами хімічних процесів за участю алканів та характеристиками цих процесів.

<i>Процес</i>	<i>Характеристика процесу</i>
А піроліз	1 утворення проміжних оксигеновмісних сполук
Б хлорування	2 кип'ятіння
В часткове окиснення	3 розкладання під впливом високої температури
Г крекінг	4 розщеплення алканів нафти
	5 заміщення на Хлор

## СПИРТИ ТА ФЕНОЛ

1. Укажіть загальну формулу насичених одноатомних спиртів.
- А  $C_nH_{2n+1}O$   
 Б  $C_nH_{2n+1}OH$   
 В  $C_2H_5OH$   
 Г  $C_nH_{2n-2}O$

2. Укажіть формули ізомерів.



3. Укажіть число ізомерів серед сполук, формули яких наведено:



А 3

Б 2

4. Установіть відповідність між назвами й формулами речовин.

*Назва речовини*

*Формула речовини*

А пропанол

1  $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$

Б 2-метилпропан

2  $\text{C}_3\text{H}_7\text{OH}$

В метоксиетан

3  $\text{CH}_3-\text{CH}(\text{CH}_3)-\text{CH}_3$

Г бутан-2-ол

4  $\text{CH}_3-\text{CH}(\text{OH})-\text{CH}_2-\text{CH}_3$

5  $\text{CH}_3-\text{O}-\text{C}_2\text{H}_5$

5. Позначте побічний продукт реакції добування етену з етанолу.

А водень

Б кисень

Б вода

Г побічних продуктів немає

6. Укажіть твердження, що стосуються метанолу й етанолу.

А повністю окиснюються з утворенням карбон(IV) оксиду і води

Б використовують як ліки

В розкладаються на вуглець і водень

Г їхні молекули полярні

7. Укажіть сполуки, з яких можна добути хлороетан.

А етанол

Б метанол

В етин

Г етан

8. Укажіть причину використання етанолу в складі пального.

А зменшення небезпеки «парникового ефекту»

Б здешевлення пального

В спрощення технології добування пального

Г зменшення токсичності вихлопних газів

9. Укажіть стару назву метанолу.

А винний спирт

В оцет

Б деревний спирт

Г царська вода

10. Укажіть галузі застосування етанолу.

А фармація

Б виготовлення парфумів

Б виробництво гліцерину

Г виробництво пального

11. Укажіть продукт міжмолекулярної дегідратації метанолу.

А етоксиетан

Б пропоксипропан

Б метоксипропан

Г метоксиметан

12. Укажіть молекулярну формулу гліцеролу.

А  $\text{C}_3\text{H}_8\text{O}_3$

Б  $\text{C}_2\text{H}_8\text{O}_3$

В  $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$

Г  $\text{CH}_3\text{COOH}$



## АЛЬДЕГІДИ. КЕТОНИ

- Укажіть характеристики альдегідів.  
 А молекули містять подвійний зв'язок  
 Б молекули полярні  
 В між молекулами утворюються водневі зв'язки  
 Г тверді за нормальних умов
- Укажіть реакцію, за допомогою якої можна виявити альдегід.  
 А із розжареною міддю                      В із ферум(III) хлоридом  
 Б «срібного дзеркала»                      Г із бромною водою
- Укажіть характерну ознаку реакції окиснення спирту до альдегіду мідною окалиною.  
 А виділення металу  
 Б утворення розчину синього кольору  
 В утворення осаду білого кольору  
 Г поява диму
- Укажіть реакцію, за допомогою якої можна перетворити альдегід на спирт.  
 А окиснення                                      В гідроліз  
 Б відновлення                                    Г гідратація
- Укажіть реакцію, за допомогою якої можна перетворити етанол на етаналь.  
 А горіння    В гідрогенізація  
 Б відновлення                                    Г часткове окиснення
- Укажіть правильні твердження щодо етаналю.  
 А добувають окисненням метанолу  
 Б добувають гідратацією етину  
 В окиснюється до карбонової кислоти  
 Г відновлюється до спирту
- Укажіть реакції, у які вступає пропан-2-он.  
 А окиснення до етанової кислоти  
 Б полімеризація  
 В поліконденсація  
 Г відновлення до вторинного спирту

## КАРБОНОВІ КИСЛОТИ

- Укажіть ізомери серед наведених сполук.  
 А бутан і бутилен                              В бутан і 2-метилпропан  
 Б метанол і етанол                            Г етаналь і етанова кислота
- Укажіть гомологи серед наведених сполук.  
 А оцтова й масляна кислоти              В метанол і етанол  
 Б етаналь і етанова кислота                Г етан і етанол
- Установіть послідовність розміщення сполук за зростанням відносних молекулярних мас.  
 А гліцерол    Б тристеарин    В натрій етаноат    Г етилетаноат

4. Укажіть речовини, з якими реагує етанова кислота.  
**А** етаналь **В** натрій  
**Б** етанол **Г** натрій карбонат
5. Укажіть причину дії розчину етанової кислоти на індикатори.  
**А** наявність у молекулі вуглеводневої групи  
**Б** наявність у молекулі атомів Оксигену  
**В** дисоціація з утворенням йонів Гідрогену  
**Г** здатність окиснюватися
6. Установіть відповідність між назвами речовин і реакціями, що властиві цим речовинам.
- | <i>Назва речовини</i>    | <i>Реакція</i>                                    |
|--------------------------|---|
| <b>А</b> етен            | <b>1</b> з етанолом                               |
| <b>Б</b> етанол          | <b>2</b> «срібного дзеркала»                      |
| <b>В</b> етанова кислота | <b>3</b> дегідратація                             |
| <b>Г</b> етаналь         | <b>4</b> гідрування до етану<br><b>5</b> гідроліз |
7. Укажіть сполуку, що утворюється в результаті часткового окиснення пропаналу.  
**А** метанова кислота **В** пропанова кислота  
**Б** етанова кислота **Г** пропанол
8. Укажіть речовину, яка взаємодіє з натрій етаноатом з утворенням етанової кислоти.  
**А** сульфатна кислота **В** магній  
**Б** натрій гідроксид **Г** етанол
9. Укажіть речовину, яка взаємодіє з етановою кислотою з утворенням вуглекислого газу.  
**А** натрій карбонат **Б** луг **В** спирт **Г** натрій

### ЕСТЕРИ. ЖИРИ. МИЛО

1. Укажіть сполуки, які утворюються в результаті гідролізу естерів.  
**А** спирти **В** альдегіди  
**Б** карбонові кислоти **Г** жири
2. Позначте умови зміщення праворуч рівноваги реакції гідролізу естеру.  
**А** хімічне зв'язування спирту  
**Б** хімічне зв'язування кислоти  
**В** видалення спирту із зони реакції  
**Г** видалення естеру із зони реакції
3. Установіть послідовність стадій синтезу естеру з етену.  
**А** окиснення  
**Б** гідратація  
**В** естерифікація
4. Укажіть, для якого виробництва використовують реакцію гідрування жирів.  
**А** оливкової олії **В** маргарину  
**Б** вершкового масла **Г** рафінованої соняшникової олії



5. Укажіть сполуку, яка утворюється в результаті лужного гідролізу тригліцериду.

- А сіль  
Б основа  
В спирт  
Г карбонова кислота

6. Установіть відповідність між хімічними продуктами і сировиною, з якої виготовляють ці продукти.

<i>Назва хімічного продукту</i>	<i>Назва сировини</i>
А формалін	1 фенол
Б ароматизатор	2 естер
В мило	3 метаналь
Г біодизель	4 ріпакова олія
	5 тристеарин

### ВУГЛЕВОДИ

1. Укажіть електроліт.

- А глюкоза  
Б етанова кислота  
В етанол  
Г метаналь

2. Укажіть сполуку, що утворюється в результаті спиртового бродіння глюкози.

- А сіль  
Б альдегід  
В етанова кислота  
Г вуглекислий газ

3. Укажіть функціональну групу, яку можна виявити за допомогою реакції з купрум(II) гідроксидом.

- А гідроксильна  
Б карбоксильна  
В альдегідна  
Г аміногрупа

4. Укажіть продукти окиснення глюкози.

- А сіль і вода  
Б спирт і кислота  
В альдегід і естер  
Г вуглекислий газ, вода

5. Укажіть речовини, які можуть утворитись у результаті реакцій глюкози.

- А фруктоза  
Б спирт  
В карбонова кислота  
Г вода

6. Укажіть ізомери серед наведених сполук.

- А глюкоза й сахароза  
Б глюкоза й целюлоза  
В етен і етин  
Г глюкоза й фруктоза

7. Укажіть сполуку, з якої утворюється крохмаль у рослинах.

- А вода  
Б глюкоза  
В етанова кислота  
Г целюлоза

8. Укажіть назву проміжних продуктів гідролізу крохмалю.

- А глюкоза й сахароза  
Б декстрини  
В етен і етин  
Г глюкоза й фруктоза

9. Укажіть спільну ознаку крохмалю і целюлози.

- А загальна формула  
Б ступінь пролімеризації  
В будова полімерних ланцюгів  
Г мономерна ланка

10. Установіть відповідність між реагентами й продуктами реакцій.

<i>Реагенти</i>	<i>Продукти реакції</i>
А $\text{CH}_2=\text{CH}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow$	1 $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O};$
Б $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow$	2 $\text{CH}_3-\text{CH}_2\text{OH}$
В $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + \text{O}_2 \rightarrow$	3 $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$
Г $\text{C}_2\text{H}_4 + \text{Br}_2 \rightarrow$	4 $\text{CH}_3-\text{CH}_2\text{Br} + \text{HBr}$
	5 $\text{CH}_2\text{Br}-\text{CH}_2\text{Br}$

11. Укажіть, що таке декстрини.

А проміжні продукти гідролізу целюлози

Б проміжні продукти гідролізу крохмалю

В продукти естерифікації

Г продукти гідрування жирів

12. Укажіть реакції, у які вступає крохмаль.

А «срібного дзеркала»      Б з йодом      В гідролізу      Г гідратації

13. Укажіть біополімери.

А клітковина      Б крохмаль      В глюкоза      Г жир

## АМІНИ

1. Укажіть групи атомів у складі молекули аніліну.

А нітрогрупа      В карбонільна група

Б аміногрупа      Г фенільна група

2. Укажіть ізомери серед наведених сполук.

А первинний і вторинний аміни

Б анілін і метанамін

В алкани й алкени

Г карбонові кислоти й естери

3. Укажіть сполуки, які у водних розчинах взаємодіють з індикаторами.

А етанова кислота      В метанамін

Б анілін      Г етанол

4. Укажіть причину взаємодії аніліну з бромною водою (на відміну від бензену).

А аміногрупа в молекулі аніліну активує бензенове ядро

Б бензенове ядро активує аміногрупу

В анілін виявляє властивості основи

Г аміногрупа послаблює основні властивості аніліну

5. Укажіть результат впливу бензенового ядра на аміногрупу в молекулі аніліну.

А посилюються основні властивості порівняно з метанаміном

Б полегшується бромовання аніліну порівняно з бензеном

В анілін виявляє властивості основи

Г послаблюються основні властивості порівняно з метанаміном

6. Установіть послідовність сполук за посиленням їхніх основних властивостей.

А дифеніламін

Б анілін

В метанамін

## АМІНОКИСЛОТИ. БІЛКИ. НУКЛЕЇНОВІ КИСЛОТИ

- Укажіть сполуки, які мають подвійну хімічну функцію.  
 А алкени  
 Б амінокислоти  
 В поліетилен  
 Г глюкоза
- Укажіть формулу поширеної харчової добавки натрій глутамат.  
 А  $\text{CH}_3\text{COONa}$   
 Б  $\text{CH}_3\text{CHNH}_2\text{COONa}$   
 В  $\text{HCOOCHNH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{COONa}$   
 Г  $\text{HOCH}_2\text{CHNH}_2\text{COONa}$
- Укажіть сполуки, що утворюються в результаті взаємодії амінокислот між собою.  
 А естери  
 Б поліпептиди  
 В нуклеїнові кислоти  
 Г вуглеводи
- Установіть послідовність утворення білкової частини гемоглобіну.  
 А утворення поліпептидної спіралі  
 Б сполучення амінокислотних залишків  
 В просторова орієнтація макромолекул  
 Г взаємна просторова орієнтація макромолекул
- Укажіть спільну властивість білків, жирів, вуглеводів.  
 А денатурація  
 Б полімеризація  
 В гідроліз  
 Г гідрування
- Укажіть, що означає *денатурація*.  
 А розщеплення сахарози  
 Б руйнування білка  
 В те саме, що *гідроліз*  
 Г утворення поліпептидів
- Установіть відповідність між сполуками та їхніми функціональними групами.
 

<i>Сполука</i>	<i>Функціональна група</i>
А амінокислота	1 OH і CHO
Б амін	2 $\text{NH}_2$ і OH
В глюкоза	3 $\text{NH}_2$
Г поліпептид	4 CONH
	5 COOH і $\text{NH}_2$
- Укажіть речовини, які можна виробляти за допомогою мікроорганізмів, вирощених у поживному середовищі на основі нафти.  
 А жири  
 Б білки  
 В лікарські засоби  
 Г моносахариди
- Укажіть склад біогазу (суміш газів, що утворюється в результаті гниття або спеціальної переробки органічних решток).  
 А  $\text{CH}_4$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{SO}_3$   
 Б  $\text{C}_2\text{H}_6$ ,  $\text{C}_2\text{H}_4$ ,  $\text{C}_2\text{H}_2$ ,  $\text{CO}_2$   
 В CO,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{C}_2\text{H}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$   
 Г  $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$

## СИНТЕТИЧНІ ВИСОКОМОЛЕКУЛЯРНІ СПОЛУКИ

- Укажіть властивості поліетилену.  
 А горючість  
 Б електропровідність  
 В термопластичність  
 Г висока твердість

2. Позначте мономерну ланку в реакції полімеризації пропену.  
 А  $\text{CH}_3\text{—CH}_2\text{—CH}_3$       В  $\text{—CH}_2\text{—CH}(\text{CH}_3)\text{—}$   
 Б  $\text{CH}_2=\text{CH—CH}_3$       Г  $\text{—CH}_2\text{—CH=CH}_2\text{—}$
3. Позначте властивості поліхлорвінілу.  
 А антипригарний      В стійкий проти хімічно агресивних рідин  
 Б розчинний у воді      Г здатний до самогасіння
4. Установіть відповідність між речовинами, які добавляють до пластмас, та призначенням цих речовин.

<i>Назва добавки</i>	<i>Призначення добавки</i>
А пластифікатор	1 забарвлення
Б крейда	2 надання еластичності
В пігмент	3 наповнювач
Г антиоксидант	4 електроізолятор
	5 надання світлостійкості

5. Укажіть, до якої групи волокон належить віскоза.  
 А штучні      В натуральні  
 Б синтетичні      Г поліестерні
6. Установіть відповідність назв хімічних продуктів та їхніх характеристик.

<i>Назва продукту</i>	<i>Характеристика продукту</i>
А капрон	1 синтетичний
Б целюлоза	2 штучний
В віскоза	3 натуральний
Г кальцій карбід	4 термопластичний
	5 неорганічний

7. Установіть послідовність процесів добування бутадієнового каучуку з крохмалю.  
 А полімеризація  
 Б дегідратація і дегідрування  
 В спиртове бродіння  
 Г гідроліз
8. Установіть подібність будови натуральних продуктів і штучних або синтетичних.

<i>Натуральний продукт</i>	<i>Штучний або синтетичний продукт</i>
А шовк	1 віскоза
Б целюлоза	2 полібутадієн
В каучук	3 поліетилен
Г парафін	4 лавсан
	5 капрон

## РОЗМАЇТТЯ ОРГАНІЧНИХ РЕЧОВИН, ВЗАЄМОЗВ'ЯЗОК МІЖ НИМИ

1. Установіть послідовність речовин у напрямку ускладнення їхніх хімічних функцій.  
 А пропанова кислота      В пропан  
 Б пропанол      Г пропен

2. Укажіть речовини, здатні утворювати полімерні молекули.  
 А насичені вуглеводні                      В дієнові вуглеводні  
 Б амінокислоти                                Г естери
3. Укажіть речовини, яким властивий гідроліз.  
 А жири    В вуглеводні  
 Б спирт    Г білки
4. Установіть відповідність між побутовими назвами речовин та їхнім хімічним складом.
- | <i>Побутова назва</i> | <i>Хімічний склад</i>      |
|-----------------------|----------------------------|
| А гума                | 1 вулканізований каучук    |
| Б мило                | 2 тристеарин               |
| В жир                 | 3 натрій стеариноат        |
| Г аспірин             | 4 ацетилсаліцилова кислота |
|                       | 5 натрій етаноат           |
5. Установіть відповідність між продуктами й сировиною для їх добування.
- | <i>Назва продукту</i> | <i>Назва сировини</i> |
|-----------------------|-----------------------|
| А біоетанол           | 1 целюлоза            |
| Б біодизель           | 2 анілін              |
| В барвники            | 3 ріпак               |
| Г сажа                | 4 природний газ       |
|                       | 5 нафта               |
6. Установіть відповідність між органічними продуктами й речовинами, з яких виготовляють ці продукти.
- | <i>Назва продукту</i> | <i>Назва речовини</i> |
|-----------------------|-----------------------|
| А аспірин             | 1 етанова кислота     |
| Б маргарин            | 2 саліцилова кислота  |
| В уротропін           | 3 метаналь            |
| Г оцет                | 4 фенол               |
| Д антифриз            | 5 олія                |
| Е карболова кислота   | 6 етиленгліколь       |
| Є анілін              | 7 бензен              |
7. Установіть послідовність рівнів організації матерії від нижчого до вищого.  
 А супрамолекулярний  
 Б молекулярний  
 В атомний  
 Г полімерний  
 Д субатомний
8. Установіть відповідність між прізвищем ученого та його внеском у науку.
- | <i>Прізвище вченого</i> | <i>Науковий внесок ученого</i>                  |
|-------------------------|---|
| А О. М. Бутлеров        | 1 запровадив поняття <i>органічна хімія</i>     |
| Б І. Я. Берцеліус       | 2 запровадив поняття про хімічну будову речовин |
| В Е. Франкланд          | 3 синтезував сечовину                           |
| Г І. Я. Горбачевський   | 4 синтезував сечову кислоту                     |
|                         | 5 створив учення про валентність                |

## ВІДПОВІДІ ДО ЗАВДАНЬ

§ 5. 4. Б; 7. А, В.

§ 6. 4. В; 8. Г; 15. Ні. 16. Б, В; 17. Б; 18. Б.

§ 7. 9. Г; 11.  $C_4H_{10}$ .

§ 8. 6. 1-Г, 2-А, 3-Б, 4-В.

§ 9. 11. А так; Б ні; 16. А, Г; 17. А; 18.  $2,375\text{ м}^3$ ; 19. Г; 20. Б; 21. 575 л; 22. Ні; 23. 100 л  $O_2$ ; 24. 201,6 л; 25. 1283,5 л.

§ 10. 3. Б.

§ 11. 1. А; 15. Б; 16. 80,6 г; 17. 1-Д, 2-А, 3-Б, 4-В.

§ 12. 17. А, В, Г.

§ 13. 9. А, Г. 10. Б, В; 18. А, В, Г, Е; 20.  $C_2H_4$ ; 21. 42,56 л; 22.  $C_3H_6$ ; 23.  $C_2H_4$ .

§ 14. 2. В; 15. 89,6 л.

§ 15. 3. А, В; 4. 1-Г, 2-А, 3-В, 4-Б; 8. В, Г, Д, Ж; 18. 1-Г, 2-Б, 3-В, 4-А, 5-Д; 19. 36 г; 20.  $C_2H_2$ ; 21. До алкенів.

§ 16. 14. Б, Г, Е, Є; 15. Б; 23. 184,5 г; 24. 240 г; 25. 225 г.

§ 17. 10. Б; 17. Б; 18. 134,4 л.

§ 19. 6. 1 моль.

§ 20. 3. 1-Б, 2-Г, 3-В, 4-А; 4. 2-Б, 3-Б, В, Г; 4-Б, В, Г; 5-Б; 6-Б, Г; 7-А; 5. 1-Б, 2-Г, 3-В; 6. 1-Б; 2-В; 3-А; 4-Г.

§ 21. 8. А, Е.

§ 22. 2. А, Г. 4. В.

§ 23. 9. 1-Г, 2-Д, 3-А, 4-Б; 13. 28,8 г.

§ 25. 15. 39 г; 16. 1,2 т; 17. 1,05 т.

§ 26. 12. А; 13. Б, В, Г; 33.  $C_2H_6O$ ; 36. 96 г; 37. 60 %.

§ 27. 13. Б.

§ 28. 16. Б; 17. 68,3 г; 18. 0,21 кг.

§ 29. 16. А, Б. 23.  $C_3H_7CHO$ . 24. 29,3 %; 25. Г.

§ 30. 15. Б, Г.

§ 31. 4. 1-Б, 2-Г, 3-В, 4-Д; 12. 1-Д, 2-В, 3-Г, 4-Б; 29. 175 г безв.  $CH_3COOH$ ; 50 г розчину.

§ 32. 7. 1-А, Г, 2-Б, В. 9. 132 г.

§ 33. 21. А.

§ 34. 11. А.

§ 35. 6. Б, В.

§ 36. 8. В.

§ 38. 8. В; 24. Г —  $ClCH_2COOH$ ; 25. 9,5 кг.

§ 39. 4.  $C_6H_5NO_2$ .

§ 40. 11. 67,2 л.

§ 41. 8. Г.

§ 42. 4. В; 10. Б.

§ 44. 11. А, Б.

§ 45. 3. Б; 11. В, Г.

§ 46. 11. А, Б, Д.

Відносні молекулярні маси (округлені) деяких органічних речовин

Органічні речовини	Радикали	—CH <sub>3</sub> (15)	—C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> (29)	—C <sub>3</sub> H <sub>7</sub> (43)	—C <sub>4</sub> H <sub>9</sub> (57)	—C <sub>5</sub> H <sub>11</sub> (71)	—C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> (77)
Вуглеводні:							
алкани	H(1)	16	30	44	58	72	78
алкени	CH <sub>2</sub> =CH—(27)	42	56	70	84	98	104
алкіни	CH≡C—(25)	40	54	68	82	96	102
Галогенопохідні							
вуглеводнів	Cl—(35,5)	50,5	64,5	78,5	92,5	106,5	112,5
	Br—(80)	95	109	123	137	151	157
	I—(127)	142	156	170	184	198	204
Ароматичні вуглеводні	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> —(77)	92	106	120	134	148	154
Спирти й феноли	OH—(17)	32	46	60	74	88	94
Етери	CH <sub>3</sub> —O—(31)	46	60	74	88	102	108
	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> —O—(45)	60	74	88	102	116	122
Альдегіди	—CHO (29)	44	58	72	86	100	106
Карбонові кислоти	—COOH (45)	60	74	88	102	116	122
Нітросполуки	—NO <sub>2</sub> (46)	61	75	89	103	117	123
Аміни:							
первинні	—NH <sub>2</sub> (16)	31	45	59	73	87	93
вторинні	CH <sub>3</sub> NH— (30)	45	59	73	87	101	107

Примітка. У дужках наведено відносні молекулярні маси алкільних та фенольних груп.

## ІМЕННИЙ ПОКАЖЧИК

Байєр А. 52  
Бертло П. Е. 8, 179  
Берцеліус Й. Я. 7  
Богатський О. В. 106  
Бутлеров О. М. 8, 12  
Велер Ф. 7, 10  
Вотсон Д. 233  
Вюрц Ш. А. 43  
Горбачевський І. Я. 8, 9, 223  
Зелінський М. Д. 87  
Зінін М. М. 214  
Кекуле Ф. А. 10, 81  
Кіпріанов А. І. 9, 215  
Кірсанов О. В. 9, 95

Кольбе А. 8  
Коновалов М. І. 8, 41  
Крік Ф. 233  
Купер А. 10  
Кучеров М. Г. 158  
Марковников В. В. 63  
Реформатський С. М. 8  
Фарадей М. 81  
Фішер Е. Г. 225  
Франкленд Е. 10  
Цвет М. С. 33  
Шеврель М. 179  
Шилов Е. О. 9, 40

## ПРЕДМЕТНИЙ ПОКАЖЧИК

**А**дамантан 54  
Аденозинтрифосфат 234  
Азотисті основи 230  
Алкадієни 67  
Алкани 22  
Алканоліати 134  
Алкени 56  
Алкільні замісники 25  
Алкіни 72  
Алкоголь 137  
Альдегіди 154  
Амілоза 198  
Амілопектин 198  
Аміни 208  
Амінокислоти 219  
Ангідриди 167  
Анілін 211  
Антифриз 144  
Антрацен 96  
Арени 80  
Ароматизація 91  
Аспірин 216, 177  
Атом  
— асиметричний 193  
— збуджений стан 18  
Ацетати 166  
Ацетилен 77  
Ацетиленіди 77  
Ацетон 154

**Б**арвники анілінові 214  
Бензен 81  
Бензин 115  
Білки 223  
— кольорові реакції 227  
— структура (*див.* Структура білків)  
Біодизель 185  
Біоетанол 204  
Біотехнологія 228  
Біполярний йон 220  
Будова молекул  
— зигзагоподібна 26, 27  
— нормальна (нерозгалужена) 13, 25  
— просторова 14  
— тетраедрична 18  
Бутадієн 67  
Бутан 23, 44  
Бутанол 131  
**В**заємний вплив атомів 11  
Вітамін А 59  
Волокна  
— натуральні 248  
— синтетичні 248  
— штучні 248  
Вугілля кам'яне 120  
Вуглеводи 187  
Вуглеводні 17  
— ароматичні 17



- насичені 17
- ненасичені 17
- Вулканізація 70
- Газ**
  - біогаз 30, 44
  - болотяний 30
  - коксовий 121
  - природний 109
  - рудниковий 30
  - супутній 110
  - чадний 38
- Газойль 115
- Галогенопохідні (галогеноалкани) 46
- Гас 115
- Гексан 23
- Гексахлоробензен 86
- Гексахлороциклогексан (гексахлоран) 93
- Генетичний зв'язок 99
- Гептан 23
- Гетероциклічні сполуки 101
- Гібридизація електронних орбіталей 19, 56, 72
- Глікоген 200
- Гліцерол 141
- Глюкоза 34, 188
- Гомологи бензену 88
- Група функціональна 127
  - альдегідна 152
  - аміногрупа 208
  - гідроксильна 128
  - естерна 175
  - карбоксильна 161
  - карбонільна 152
  - пептидна 222
- Гума 70
- Гутаперча 70
- Дезоксирибоза** 230
- Декан 23
- Декстрини 199
- Делокалізація електронів 68, 82
- Денатурат 138
- Денатурація білків 226
- Деполімеризація 239
- Деструкція 239
- Детергенти 184
- Детонація 118
- Дивініл 67
- Димер 162
- Динаміт 144
- Дипептид 221
- Дипольний момент 21
- Дисоціація
  - карбонових кислот 165
- Дифлуородихлорометан 49
- Дихлорометан 49
- Діоксин 94
- Діюли 141
- Довжина зв'язку 20
- Ебоніт** 71
- Енергія
  - зв'язку 20
  - спряження 68, 83
- Естери 166, 175
- Етан 23
- Етаноат 166
- Етаноліат 134
- Етанол (етиловий спирт) 137
- Етен 58
- Етери 136
- Етил 25
- Етин 74
- Етиленгліколь 141
- Жири** 179
  - рідкі 180
  - тверді 180
- Закон Бутлерова** 12
- Заряд частковий 20, 47
- Зв'язок
  - водневий 132
  - ковалентний 20
  - пептидний 222
  - подвійний 56
  - полуторний 83
  - полярний (*див.* Полярність зв'язку)
  - потрійний 72
  - спряжений 67
- Ізобутан 13
- Ізомери 13
- Ізомерія 13
  - міжгрупова 58, 67
  - міжкласова 136, 162

- просторова (стереоізомерія) 58, 194
- оптична 193
- *-цис, -транс* 58
- структурна 13
- Ізооктан 118
- Ізопрен 69
- Індиго 103
- Індукційний ефект 48
- Йодоформ** 49
- Кам'яновугільна смола** (*див.* Смола кам'яновугільна)
- Капрон 248
- Карбід 78
- Карбін 76
- Карбокатіон 62
- Каучук
  - натуральний 69
  - синтетичний 246
- Кетони 154
- Кислота
  - акрилова 170
  - бензойна 171
  - глюкова 190
  - глюконова 198
  - елаїдинова 170
  - етанова 163
  - карболова 148
  - карбонова 161
  - мурашина (форміатна) 163
  - нуклеїнова (*див.* Нуклеїнові кислоти)
  - олеїнова 170
  - оцтова (*див.* етанова)
  - пальмітинова 169
  - пікринова 149
  - саліцилова 173
  - стеаринова 169
  - фталева 171
  - хлороетанова 165
  - щавлева 171
- Клеї 247
- Клітковина 30, 200
- Кодон 233
- Кокс 120
- Коксова піч 121
- Коксування 120
- Комплементарності принцип 232
- Композити 245
- Конформація (ї)
  - алканів 26
  - загальмована 27
  - затінена 27
  - циклоалканів 52
- Кофеїн 102
- Крекінг 38, 116
- Крохмаль 197
- Лавсан** 249
- Лактоза 187
- Лізин 219
- Мазут** 114
- Маргарин 182
- Маркування пластмас 245
- Метан 18, 23, 43
- Метаналь 154, 158
- Метанол 137
- Метил 25
- Механізм реакції 39
  - галогенування 39
  - приєднання 62
- Мийні засоби синтетичні 184
- Мило 182
- Моделі молекул 8
- Моносахариди 187
- Нанотехнології** 256
- Нафта 111
  - перегонка (*див.* Перегонка нафти)
- Нафтален 96
- Нафтени 54
- Нафтопродукти 115
- Нафтохімія 117
- Нікотин 102
- Нітробензен 85
- Нітрогліцерин 144
- Нітрометан 40
- Нітросполуки 40, 206
- Новокаїн 216
- Номенклатура
  - алкадієнів 67
  - алканів 25
  - алкенів 59
  - алкінів 73
  - альдегідів 153
  - амінів 208
  - амінокислот 220

- аренів 89
- вуглеводів 188
- галогенопохідних алканів 47
- естерів 175
- карбонових кислот 162
- кетонів 153
- спиртів 131
- циклоалканів 51
- Нонан 23
- Нуклеїнові кислоти 229
  - дезоксирибонуклеїнова 230
  - рибонуклеїнова 230
  - структура 231
- Нуклеозид 230
- Нуклеотид 230
- Озокерит 44**
- Октан 23
- Октанове число 118
- Олія 180
- Орбіталь електронна 19
  - гібридизована 19
- Орієнтація замісників 89
- Панадол 217**
- Парафін 44
- Парафіни 37
- Парниковий ефект 123
- Патока 199
- Пентан 23, 24
- Перегонка нафти 112
- Пестициди 93
- Піридин 101
- Піримідинові основи 230
- Піроксилін 202
- Піроліз 38
- Пластмаси 240
  - феноло-формальдегідні 243
- Подвійна спіраль ДНК 232
- Поліетилен 241
- Полієн 76
- Полімери 237
  - термопластичні 239
  - терморективні 239
- Поліметилметакрилат 243
- Поліпептид 222
- Поліпропілен 242
- Полістирол 243
- Поліхлорвініл 242
- Полярність зв'язку 20
- Правило
  - Зайцева 136
  - Марковникова 63
- Пропан 23, 44
- Пропанол 137
- Пропанон (ацетон) 158
- Пропен 58
- Пропіл 25
- Просторова напрямленість зв'язку 20
- Пуринові основи 230
- Радикали 39**
- Реакція (ї)
  - алкадієнів 68
  - алканів 37
  - алкенів 61
  - алкінів 75
  - альдегідів 155
  - амінів 210
  - амінокислот 221
  - бензену 84
  - глюкози 190
  - карбонових кислот 164
  - кетонів 155
  - крохмалю 199
  - піридину 105
  - сахарози 195
  - спиртів 134
  - фенолу 148
  - целюлози 202
  - циклоалканів 53
- Реакція
  - бродіння 191
  - Вагнера 60
  - Вюрца 43
  - Вюрца—Фіттіга 91
  - галогенування 39
  - гідратації 61
  - гідролізу 183, 196, 199, 202
  - гідрування 60
  - Густавсона 54
  - дегідратації 64, 135
  - дегідрогалогенування 64, 78
  - дегідроциклізації 86, 91
  - дегідрування 64
  - естерифікації 166, 176
  - заміщення

- — електрофільне 85
- Зініна 213
- ізомеризації 41
- йодокрохмальна 199
- Коновалова 41
- Кучерова 158
- ланцюгова 40
- нітрування 40, 85
- омилення 144, 182
- переестерифікації 185
- поліконденсації 157
- полімеризації 69
- приєднання 60
- — електрофільне 62
- Рамзая 106
- сульфування 85
- «срібного дзеркала» 156
- Фріделя—Крафтса 91
- Ректифікат 138
- Ректифікація 113
- Ремантадин 54
- Реплікація 233
- Рибоза 230
- Риформінг 116
- Рівні структурної організації речовин 252
- Розрив зв'язку 39
  - гетеролітичний 62
  - гомолітичний 39
- Сажа** 44
- Сахароза 195
- Сечовина 8
- Синтетичні мийні засоби (*див.* Мийні засоби синтетичні)
- Синтез-газ 44
- Смог фотохімічний 123
- Смола кам'яновугільна 121
- Спектроскопія
  - ІЧ 34
  - ЯМР 35
- Спирти
  - багатоатомні 128
  - вторинні 128
  - одноатомні 128
  - первинні 128
  - третинні 128
- Спряжена  $\pi$ -електронна система 68, 82
- Сталий розвиток 258
- Стеарин 174
- Стереохімія 14, 194
- Стійкі органічні забруднювачі 94
- Стрептоцид 216
- Структура білків 224
- Структурна формула (*див.* Формула структурна)
- Ступінь
  - полімеризації 237
- Теорія**
  - хімічної будови 9, 11
- Тетрахлорометан 49
- Тефлон 243
- Тіофос 94
- Толуен 88
- Тринітроглицерин 143
- Тринітротолуен (тротил) 92, 207
- Трипептид 221
- Тристеарин 182
- Трихлорометан 49
- Тріоли 141
- Уротропін** 158
- Фенантрен** 96
- Феніл 89
- Фенол 146
- Формалін 158
- Формула хімічна
  - перспективна 188
  - структурна 11
- Фотосинтез 187
- Фреон 49
- Фруктоза 192
- Хімічна будова** 11
- Хлороангідриди 167
- Хлороетан 49
- Хлорометан 47
- Хлорофіл 102
- Хлороформ 49
- Хроматографія 33
- Целофан** 204
- Целулоїд 202
- Целюлоза 200
- Циклоалкани 51
- Цукор 195
- Шовк штучний** 203

# ЗМІСТ

До учнів .....	3
<b>ОРГАНІЧНА ХІМІЯ</b>	
§ 1. Повторення основних відомостей про органічні сполуки .....	4
<b>ТЕОРІЯ БУДОВИ ОРГАНІЧНИХ СПОЛУК</b>	
§ 2. З історії органічної хімії .....	7
§ 3. Теорія хімічної будови органічних сполук.....	9
§ 4. Ізомерія. Утвердження і розвиток теорії хімічної будови .....	13
<b>ВУГЛЕВОДНІ</b>	
<b>Алкани. Циклоалкани</b> .....	18
§ 5. Метан. Утворення хімічних зв'язків .....	18
§ 6. Склад і будова алканів.....	22
§ 7. Фізичні властивості алканів.....	30
§ 8. Методи ідентифікації та встановлення структури органічних сполук.....	32
§ 9. Хімічні властивості алканів .....	36
§ 10. Добування та застосування алканів .....	43
§ 11. Галогенопохідні алканів .....	46
§ 12. Циклоалкани .....	51
<b>Алкени. Алкадієни</b> .....	56
§ 13. Етен. Гомологи етену.....	56
§ 14. Алкадієни.....	67
<b>Алкіни</b> .....	72
§ 15. Етин. Гомологи етину.....	72
<b>Арени</b> .....	80
§ 16. Бензен .....	81
§ 17. Гомологи бензену.....	88
§ 18. Хімічні засоби захисту рослин .....	93
§ 19. Багатоядерні ароматичні вуглеводні.....	96
§ 20. Взаємозв'язок і взаємоперетворення вуглеводнів.....	99
<b>ГЕТЕРОЦИКЛІЧНІ СПОЛУКИ</b>	
§ 21. Піридин .....	101
<b>ПРИРОДНІ ДЖЕРЕЛА ВУГЛЕВОДНІВ</b>	
§ 22. Природний газ.....	109
§ 23. Нафта й продукти її переробки .....	111
§ 24. Кам'яне вугілля і продукти його переробки .....	120
<i>Лабораторний дослід 1. Ознайомлення зі зразками нафтопродуктів і продуктів коксування кам'яного вугілля .....</i>	<i>122</i>
§ 25. Вуглеводнева сировина й охорона довкілля .....	122
<i>Лабораторний дослід 2. Ознайомлення з різними видами палива .....</i>	<i>124</i>

## ОКСИГЕНОВМІСНІ СПОЛУКИ

<b>Спирти й фенол</b> .....	128
§ 26. Насичені одноатомні спирти.....	128
§ 27. Етиленгліколь. Гліцерол.....	141
§ 28. Фенол .....	146
<b>Альдегіди й кетони. Карбонові кислоти</b> .....	152
§ 29. Альдегіди й кетони .....	152
<i>Лабораторний дослід 3. Окиснення етаналю купрум(II) гідроксидом</i> .....	156
<i>Лабораторний дослід 4. Окиснення спирту до альдегіду</i> .....	157
§ 30. Насичені одноосновні карбонові кислоти.....	161
§ 31. Окремі представники карбонових кислот .....	168
<i>Лабораторний дослід 5. Відношення олеїнової кислоти до бромної води й розчину калій перманганату</i> .....	170
<b>Естери. Жири. Мило</b> .....	175
§ 32. Естери.....	175
§ 33. Жири. Мило .....	179
<i>Лабораторний дослід 6. Розчинність жирів</i> .....	179
<b>Вуглеводи</b> .....	187
§ 34. Глюкоза .....	188
<i>Лабораторний дослід 7. Окиснення глюкози купрум(II) гідроксидом</i> .....	190
§ 35. Інші моносахариди. Оптична ізомерія .....	192
§ 36. Сахароза.....	195
§ 37. Крохмаль .....	197
§ 38. Целюлоза (клітковина).....	200

## НІТРОГЕНОВМІСНІ СПОЛУКИ

§ 39. Нітросполуки .....	206
§ 40. Аміни .....	208
§ 41. Анілін .....	211
§ 42. Добування та застосування аніліну.....	213
§ 43. Амінокислоти .....	219
§ 44. Білки .....	223
<i>Лабораторний дослід 8. Розчинення й денатурація білків</i> .....	226
<i>Лабораторний дослід 9. Кольорові реакції білків</i> .....	227
§ 45. Нуклеїнові кислоти.....	229

## СИНТЕТИЧНІ ВИСОКОМОЛЕКУЛЯРНІ СПОЛУКИ

§ 46. Загальна характеристика .....	236
§ 47. Пластичні маси .....	240
<i>Лабораторний дослід 10. Дослідження властивостей термопластичних полімерів</i> .....	244
§ 48. Синтетичні каучуки .....	246
<i>Лабораторний дослід 11. Порівняння властивостей каучуку й гуми</i> .....	247
§ 49. Синтетичні волокна .....	248

<i>Лабораторний дослід 12. Відношення синтетичних волокон до розчинів кислоти й лугу</i> .....	249
--	-----

## **ОРГАНІЧНА ХІМІЯ В СУЧАСНОМУ СУСПІЛЬСТВІ**

§ 50. Розмаїття органічних речовин, взаємозв'язок між ними .....	251
§ 51. Роль органічної хімії в забезпеченні сталого розвитку суспільства .....	254

## **ПРАКТИЧНІ РОБОТИ**

<b>Практична робота 1.</b> Розділення й очищення речовин. Перегонка при атмосферному тиску. Перекристалізація.....	260
<b>Практична робота 2.</b> Виявлення Карбону, Гідрогену й Хлору в органічних речовинах.....	261
<b>Практична робота 3.</b> Добування етену й досліди з ним .....	263
<b>Практична робота 4.</b> Розв'язування експериментальних задач .....	264
<b>Практична робота 5.</b> Синтез етилетаноату .....	264
<b>Практична робота 6.</b> Розв'язування експериментальних задач.....	265
<b>Практична робота 7.</b> Розпізнавання деяких пластмас і волокон.....	265
<b>Практична робота 8.</b> Функціональний аналіз органічних сполук.....	266
<b>Практична робота 9.</b> Властивості ацетилсаліцилової кислоти .....	267
<b>Практична робота 10.</b> Розв'язування експериментальних задач: генетичні зв'язки між органічними речовинами, дослідження їхніх властивостей.....	267
<b>ТРЕНУВАЛЬНІ ВПРАВИ В ТЕСТОВІЙ ФОРМІ</b> .....	268
<b>ВІДПОВІДІ ДО ЗАВДАНЬ</b> .....	286
<b>ДОДАТОК</b> .....	287
<b>ІМЕННИЙ ПОКАЖЧИК</b> .....	288
<b>ПРЕДМЕТНИЙ ПОКАЖЧИК</b> .....	288

Навчальне видання

*ВЕЛИЧКО Людмила Петрівна*

## ХІМІЯ

*Профільний рівень*

Підручник для 10 класу  
закладів загальної середньої освіти

*Рекомендовано Міністерством освіти і науки України*

**ВИДАНО ЗА РАХУНОК ДЕРЖАВНИХ КОШТІВ. ПРОДАЖ ЗАБОРОНЕНО**

Відповідальний за випуск *Ю. О. Корбуш*  
Редактор *О. А. Корбуш*  
Дизайн обкладинки *І. П. Медведовської*  
Комп'ютерна верстка *І. А. Чурікової*

Підписано до друку 03.07.2018. Формат 70х100<sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Папір офсет.  
Гарнітура Шкільна. Друк офсет. Умов. друк. арк. 23,98.  
Тираж 46 427 пр. Зам. №

Виготовлено згідно із СОУ 22.2-02477019-07:2007

Учбово-видавничий центр «Школяр»,  
02094, Київ, вул. Сергієнка, 18  
Свідоцтво ДК № 360 від 14.03.2001 р.  
Тел.: (044) 599-64-48, 067-209-60-88  
www.shkolyar.com.ua  
E-mail: shkolyar\_info@ukr.net

Віддруковано ПрАТ «Білоцерківська книжкова фабрика»,  
09117, м. Біла Церква, вул. Леся Курбаса, 4  
Свідоцтво серія ДК № 4063 від 11.05.2011 р.  
Впроваджена система управління якістю  
згідно з міжнародним стандартом DIN EN ISO 9001:2000

---

Права авторів та видавничі права УВЦ «Школяр» захищені Законом України «Про авторське право і суміжні права» від 23.12.1993 р. (зі змінами від 11.07.2001 р.).

Друковане копіювання книжки або її частини, будь-які інші контрафактні видання тягнуть за собою відповідальність згідно зі ст. 52 цього Закону.

---