



Л. П. ВЕЛИЧКО

# ХІМІЯ

АКАДЕМІЧНИЙ  
РІВЕНЬ

11



ББК 24.2я721  
В27

*Рекомендовано Міністерством освіти і науки України  
(Наказ від 16.03.2011 р. № 235)*

Наукову експертизу проводив  
Інститут органічної хімії НАН України  
Психолого-педагогічну експертизу проводив  
Інститут педагогіки НАПН України

**Величко Л. П.**

**В27** Хімія : підруч. для 11 кл. загальноосвіт. навч. закл. : акад. рівень.  
/ Л. П. Величко. — К. : Освіта, 2011. — 222 с.

ISBN 978-966-04-0832-6.

**ББК 24.2я721**

ISBN 978-966-04-0832-6

© Л. П. Величко, 2011  
© Видавництво «Освіта», 2011  
© Видавництво «Освіта», художнє  
оформлення, 2011



## ЗМІСТ


<i>До учнів</i> .....	5
§ 1. Повторення основних відомостей про органічні сполуки .....	6
<b>ТЕОРІЯ БУДОВИ ОРГАНІЧНИХ СПОЛУК</b> .....	8
§ 2. Теорія хімічної будови органічних сполук.....	8
§ 3. Ізомерія. Утвердження і розвиток теорії хімічної будови .....	12
<b>ВУГЛЕВОДНІ</b> .....	18
§ 4. Утворення хімічних зв'язків у органічних сполуках .....	18
§ 5. Гомологічний ряд метану .....	25
<i>Лабораторний дослід 1. Виготовлення моделей молекул алканів</i> .....	26
§ 6. Циклоалкани.....	39
§ 7. Гомологічний ряд етену.....	43
§ 8. Гомологічний ряд етину .....	52
§ 9. Виведення молекулярної формули газуватої речовини.....	57
§ 10. Бензен.....	58
§ 11. Хімічні засоби захисту рослин .....	65
§ 12. Взаємозв'язок і взаємоперетворення вуглеводнів.....	66
<b>ПРИРОДНІ ДЖЕРЕЛА ВУГЛЕВОДНІВ</b> .....	68
§ 13. Природний газ.....	69
§ 14. Нафта і продукти її переробки .....	71
§ 15. Кам'яне вугілля і продукти його переробки .....	79
<i>Лабораторний дослід 2. Ознайомлення зі зразками нафтопродуктів і продуктів коксування кам'яного вугілля</i> .....	81
§ 16. Вуглеводнева сировина й охорона довкілля .....	81
<i>Лабораторний дослід 3. Ознайомлення з різними видами палива</i> .....	83
<b>ОКСИГЕНОВМІСНІ СПОЛУКИ</b> .....	86
<b>СПИРТИ І ФЕНОЛ</b> .....	88
§ 17. Насичені одноатомні спирти.....	88
§ 18. Етиленгліколь. Гліцерол.....	99
<i>Лабораторний дослід 4. Взаємодія гліцеролу з купрум(II) гідроксидом</i> .....	100
§ 19. Фенол .....	104
<b>АЛЬДЕГІДИ І КАРБОНОВІ КИСЛОТИ</b> .....	108
§ 20. Альдегіди .....	108
<i>Лабораторний дослід 5. Окиснення етаналю купрум(II) гідроксидом</i> .....	110
<i>Лабораторний дослід 6. Окиснення етаналю аргентум(I) оксидом</i> .....	110
<i>Лабораторний дослід 7. Окиснення спирту до альдегіду</i> .....	111
§ 21. Насичені одноосновні карбонові кислоти.....	113
<i>Лабораторний дослід 8. Дія етанової кислоти на індикатори</i> .....	116
<i>Лабораторний дослід 9. Взаємодія етанової кислоти з магнієм</i> .....	117
<i>Лабораторний дослід 10. Взаємодія етанової кислоти з лугом</i> .....	117
§ 22. Окремі представники карбонових кислот .....	118
<b>ЕСТЕРИ</b> .....	123
§ 23. Естери. Жири. Мило .....	123
<i>Лабораторний дослід 11. Розчинність жирів</i> .....	127
<i>Лабораторний дослід 12. Доведення ненасиченого характеру рідких жирів</i> .....	127

<i>Лабораторний дослід 13. Порівняння властивостей мила і синтетичного мийного засобу</i> .....	131
§ 24. Спектральні методи встановлення структури органічних сполук .....	133
<b>ВУГЛЕВОДИ</b> .....	136
§ 25. Глюкоза .....	137
<i>Лабораторний дослід 14. Взаємодія глюкози з купрум(II) гідроксидом</i> .....	138
§ 26. Сахароза .....	141
§ 27. Крохмаль .....	143
<i>Лабораторний дослід 15. Відношення крохмалю до води</i> .....	144
<i>Лабораторний дослід 16. Взаємодія крохмалю з йодом</i> .....	145
§ 28. Целюлоза (клітковина) .....	146
<b>НІТРОГЕНОВМІСНІ СПОЛУКИ</b> .....	150
§ 29. Аміни. Анілін .....	152
§ 30. Амінокислоти .....	159
§ 31. Білки .....	162
<i>Лабораторний дослід 17. Кольорові реакції білків</i> .....	165
§ 32. Нуклеїнові кислоти .....	167
<b>СИНТЕТИЧНІ ВИСОКОМОЛЕКУЛЯРНІ СПОЛУКИ</b> .....	172
§ 33. Загальна характеристика полімерів. Пластичні маси .....	174
<i>Лабораторний дослід 18. Дослідження властивостей термопластичних полімерів</i> .....	180
§ 34. Синтетичні каучуки .....	181
<i>Лабораторний дослід 19. Порівняння властивостей каучуку і гуми</i> .....	183
§ 35. Синтетичні волокна .....	184
<i>Лабораторний дослід 20. Відношення синтетичних волокон до розчинів кислоти і лугу</i> .....	185
§ 36. Розмаїття органічних речовин, взаємозв'язок між ними .....	186
§ 37. Хімія: наука для XXI століття .....	189
<b>Практичні роботи</b> .....	195
<i>Практична робота 1. Виявлення Карбону, Гідрогену і Хлору в органічних речовинах</i> .....	195
<i>Практична робота 2. Властивості етанової кислоти</i> .....	196
<i>Практична робота 3. Розв'язування експериментальних задач</i> .....	197
Відповіді до додаткових завдань .....	198
<b>Додатки</b> .....	199
Додаток 1. Якісні реакції на деякі органічні речовини .....	199
Додаток 2. Число ізомерів алканів .....	203
Додаток 3. Відносні молекулярні маси (округлені) деяких органічних речовин .....	204
Додаток 4. Розчинність основ, кислот, амфотерних гідроксидів і солей у воді .....	205
Додаток 5. Видатні відкриття в галузі органічної хімії ( <i>синхроністична таблиця</i> ) .....	206
Іменний покажчик .....	218
Предметний покажчик .....	219



## До учнів

У 9 класі ви вже ознайомилися з деякими найважливішими органічними сполуками й реакціями, знаєте, як багато цих речовин існує в природі й ще більше — синтезовано в лабораторіях. Ці знання знадобляться вам для того, щоб глибше пізнати будову, властивості, застосування, значення для організму людини різноманітних сполук Карбону з Гідрогеном, Оксигеном, Нітрогеном, які називають елементами-органогенами.

Особливістю органічної хімії є її струнка побудова — від найпростіших речовин, як метан, до найскладніших, як білки, тому зміст кожного наступного параграфу підручника ґрунтується на змісті попередніх. Якщо ви зрозумієте логіку цієї науки, вам буде легко і просто опанувати найскладніший матеріал. А підручник сприятиме цьому, нагадуючи, де треба, вже вивчене вами, ставлячи запитання, спонукаючи до міркування з приводу різних важливих і цікавих фактів або й за допомогою цікавих ілюстрацій. Допоможуть вам у цьому завдання з позначкою , вміщені всередині параграфів.

Перелік того, про що ви можете дізнатися з певних тем, наведено на їх початку, а висновки й узагальнення найважливішого матеріалу вміщено після тем. Це зорієнтує вас на основні питання, терміни, що їх треба засвоїти. Свої знання ви зможете перевірити, виконуючи завдання для самоконтролю, вміщені наприкінці параграфів, а для виконання додаткових завдань вам, можливо, доведеться скористатися довідниковою літературою.

До тексту параграфів вміщено прописи лабораторних дослідів, що проводяться під час засвоєння нових знань; окремо наведено прописи практичних робіт, у ході яких ви матимете змогу застосувати здобуті знання й уміння.

Виконуючи лабораторні досліді і практичні роботи, ви набудете навичок експериментування, без чого ґрунтовне вивчення хімії неможливе.

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

Успіхів вам!

Автор

## § 1. ПОВТОРЕННЯ ОСНОВНИХ ВІДОМОСТЕЙ ПРО ОРГАНІЧНІ СПОЛУКИ

Пригадайте вивчене і виконайте завдання.

- Органічна хімія вивчає сполуки Карбону.
  1. Які інші елементи можуть входити до складу органічних речовин? Наведіть приклади (формули, назви) органічних речовин.
  - Атоми Карбону здатні сполучатися між собою в ланцюги й утворювати молекули різноманітних форм.
    2. Наведіть приклади.
    3. Чому, на вашу думку, кількість органічних речовин значно переважає кількість неорганічних речовин?
  - Характерні ознаки органічних речовин: ковалентні зв'язки, молекулярні кристалічні ґратки, низька термостійкість, горючість, погана розчинність у воді.
    4. Чим різняться між собою органічні та неорганічні речовини?
    5. Складіть порівняльну таблицю неорганічних та органічних речовин за відомими вам ознаками.
  - Органічні сполуки становлять основу рослинних і тваринних організмів, з них виробляють харчові продукти, папір, тканини, барвники, лікарські та косметичні засоби, пластмаси, паливо тощо.
    6. Позначте перелік, у якому подано лише органічні речовини.  
А Капрон, метан, сірка, цемент; Б каучук, капрон, поліетилен, соняшникова олія; В вовна, целюлоза, гас, амоніак; Г ацетилен, нафтаген, вольфрам, оцтова кислота.





7. Укажіть предмети, що виготовлені з органічних речовин.

А Книжка; Б грифель олівця; В кулька кулькової ручки; Г хімічний стакан; Ґ підшва кросівок; Д джинси; Е водопровідний кран.

8. Назвіть інші предмети, що, на вашу думку, виготовлені з органічних речовин.

9. Як змінилася б ваша класна кімната (хімічний кабінет), якби зникли всі матеріали органічного походження?

- Органічні речовини добувають з природної сировини, а також шляхом синтезу з інших органічних та неорганічних речовин.

10. Наведіть приклади природних і синтетичних органічних речовин.

11. Наведіть приклади взаємних перетворень органічних речовин, які ви вивчали.

- Поділ на органічні та неорганічні речовини є умовним.

12. Поясніть відносність поділу речовин на органічні та неорганічні, а також умовність терміна «органічна хімія».

13. Наведіть приклади кругообігу речовин у природі. Який висновок можна зробити?

14. Наведіть власний приклад взаємозв'язку неорганічних та органічних речовин.

- Метан — найпростіша органічна сполука.

15. Складіть молекулярну і структурну формули метану і його хлоропохідних.

16. Що означає риска у структурній формулі?

17. Складіть розповідь про застосування метану і його хлоропохідних.

- Гомологи метану належать до групи насичених вуглеводнів.

18. Що таке гомологи? Наведіть приклади (формули, назви) гомологів метану.

- У результаті повного окиснення органічних сполук утворюються вуглекислий газ і вода.

19. Складіть рівняння реакції горіння метану й ацетилену. Де використовують ці реакції?

- Функціональні групи визначають властивості речовин.

20. Що таке функціональна група? Які функціональні групи вам відомі? Наведіть приклади (формули, назви) сполук, що містять функціональні групи.

- Крохмаль, целюлоза, білки — природні полімери.

21. Схарактеризуйте біологічне значення цих сполук.

- Поліетилен — синтетичний полімер.

22. Розкажіть про використання поліетилену.





## ТЕОРІЯ БУДОВИ ОРГАНІЧНИХ СПОЛУК

Наприкінці вивчення теми ви зможете:

- назвати перші синтезовані органічні сполуки;
- описати передумови створення теорії хімічної будови органічних сполук, напрями її розвитку та значення для науки;
- схарактеризувати суть основного положення цієї теорії;
- пояснити роль теорії в системі наукових знань;
- засвоїти терміни: *ізомерія*, *взаємний вплив атомів у молекулі*, *структурна формула*.

### § 2. ТЕОРІЯ ХІМІЧНОЇ БУДОВИ ОРГАНІЧНИХ СПОЛУК

**З ІСТОРІЇ ОРГАНІЧНОЇ ХІМІЇ.** З курсу хімії 9 класу ви знаєте, що органічна хімія вивчає сполуки Карбону, вам відомо багато органічних сполук: вуглеводні, спирти, карбонові кислоти, жири, вуглеводи, білки та ін. 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, які добуто з рослинних і тваринних організмів. На той час уже було з'ясовано, що всі ці речовини містять Карбон. Проте жоден учений не міг припустити можливість утворення органічної речовини *in vitro* (лат. у пробірці). Вважалося, 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 (від лат. *vis vitalis* — життєва сила), що панувала на той час у хімії, органічні речовини можуть утворюватися лише в живих організмах під впливом «життєвої сили». Такі погляди гальмували розвиток органічної хімії, і до середини XIX ст. синтетичні методи в цій галузі не розвивалися.

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



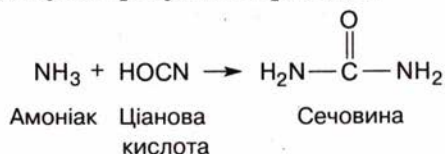
**Фрідріх Велер**

(1800—1882)

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.



Сечовину було добуто в результаті реакції:



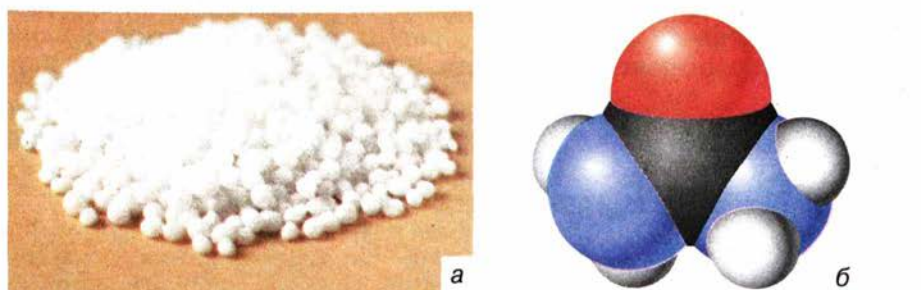
Сечовина належить до речовин тваринного походження і є продуктом білкового обміну в організмі (мал. 1, 2). У листі до Берцеліуса Велер написав, що може робити сечовину, не потребуючи для цього ні нирок, ні живої істоти взагалі, чи то людини, чи собаки. Це повідомлення стало науковою сенсацією.

Наведену реакцію вважають в історії хімії першим синтезом органічної речовини, хоча слово «синтез» стосовно органічних сполук уперше вжив у 1845 р. німецький хімік А. Кольбе, який того року синтезував оцтову кислоту.

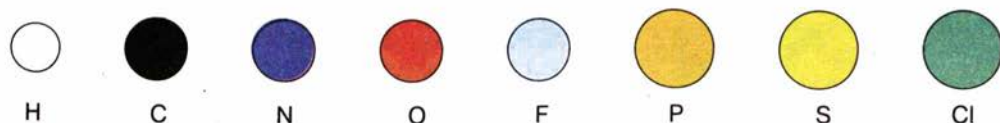
У 1854 р. французький учений П. Е. М. Бертло вперше синтезував жироподібну речовину, а в 1861 р. російський учений О. М. Бутлеров — цукристу речовину. Серед авторів перших синтезів органічних речовин є й український учений, академік Іван Якович Горбачевський. У 1882 р. він синтезував сечову (уреатну) 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 далі — і в 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 (1860—1934), І. Я. Горбачевського (1854—1942), М. І. Коновалова (1858—1906), А. І. Кіпріанова (1896—1972), Є. О. Шилова (1893—1970), О. В. Кірсанова (1902—1992) та інших учених.



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



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

**ТЕОРІЯ — ВИЩА ФОРМА НАУКОВИХ ЗНАТЬ.** Наука як система знань з певної галузі відображає дійсність у різних формах та на різних рівнях. До емпіричного (від грец. *емпірія* — досвід) рівня пізнання належать спостереження, експеримент, опис, які ви використовуєте під час лабораторних досліджень. На теоретичному (від грец. *теорія* — розгляд, дослідження) рівні мають місце узагальнення й пояснення того, що спостерігається, розкриття внутрішніх взаємозв'язків різних 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 принцип 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 у галузі органічної хімії у 1861 р. висловив видатний російський учений О. М. Бутлеров. Але цьому передувало багато інших подій.

У першій половині XIX ст. органічна хімія розвивалася емпіричним шляхом, тобто накопичувалися експериментальні факти, що їх було отримано під час виділення органічних речовин і вивчення їх якісного і кількісного 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, пропонувалися різні теорії. Проте вони проіснували недовго, оскільки згідно з ними не можна було об'єктивно пояснити нові дослідні дані. Наприклад, було добуто сполуки, що мають один і той самий хімічний склад, але різні властивості (так звані *ізомери*). Тогочасна наука не пояснювала причини цього явища.

**ТЕОРІЯ ХІМІЧНОЇ БУДОВИ ОРГАНІЧНИХ СПОЛУК О. М. БУТЛЕРОВА.** У середині XIX ст. в органічній хімії виникли суперечності між накопиченими фактами і теоретичними уявленнями, на основі яких можна було б пояснити ці факти. У 1835 р. Ф. Велер у листі до Я. Берцеліуса

### Олександр Михайлович Бутлеров

(1828—1886)



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 першого підручника з органічної хімії, в якому матеріал викладався з позицій цієї теорії. За допомогою розроблених ним синтезів ізомерів, передбачених теоретично, підтвердив її справедливність. Уперше синтезував цукристу речовину.

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



писав: «Органічна хімія може нині кого завгодно звести з розуму. 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 їх здатність сполучатися між собою з утворенням ланцюгів (Ф. А. Кекуле, А. С. 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. Все це створило передумови для появи нової теорії в органічній хімії.

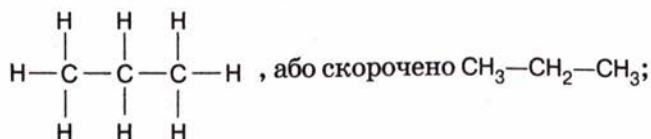
Проте, як засвідчує історія науки, для створення теорії недостатньо одних лише передумов. Потрібні нові ідеї, на основі яких можна будувати цілісну теорію. Які ж наукові ідеї було покладено О. М. Бутлеровим в основу нової теорії?

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.

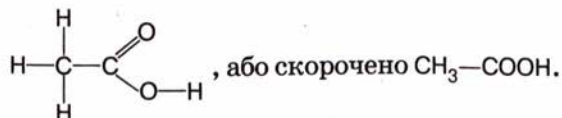
Наявність хімічної будови означає, що атоми в молекулі розміщуються не безладно, а в певному порядку згідно з їх валентністю.

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, пропан складу  $C_3H_8$  має структурну формулу



оцтова кислота складу  $C_2H_4O_2$  має структурну формулу



Хімічну будову можна встановити на основі хімічних перетворень речовини. Визначення того, які атоми, яка їх кількість і в якій послідовності вони сполучені між собою, інакше кажучи, визначення хімічного складу і 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  $H_2O$ , гідроген хлориду  $HCl$  і метану  $CH_4$ . Ці речовини 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 у хімічних реакціях, оскільки на нього по-різному впливають атоми, що сполучені з ним. Отже, властивості речовин не зводяться до суми властивостей окремих атомів, оскільки ці атоми впливають один на одного.

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

Згідно із сучасними поняттями це положення можна сформулювати 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 і є одним із найважливіших законів хімії — **законом залежності властивостей речовин від їх складу і будови**.

Теорія будови виникла на основі дослідження органічних речовин. Поняття хімічної будови О. М. Бутлеров пов'язував насамперед з 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 їх властивостями — це також вияв цього закону.



### Завдання для самоконтролю.....

1. Наведіть приклади наукової класифікації, відомі вам з курсів біології та неорганічної хімії.
2. Наведіть приклади теорії, закону, постулату, гіпотези, аксіому з різних галузей знань.
3. Хто і коли вперше синтезував органічну речовину?
4. Поясніть значення перших синтезів органічних речовин для розвитку органічної хімії.
5. Схарактеризуйте положення, що склалося в органічній хімії у середині XIX ст.
6. Що таке хімічна будова органічних речовин?
- 7\*. Хімічну будову речовини можна схарактеризувати:
  - А молекулярною формулою;
  - Б молекулярною масою;
  - В структурною формулою.
8. Яка формула дає більше інформації про молекулу речовини — молекулярна чи структурна? Дайте докладні пояснення.
9. Поясніть, як ви розумієте взаємний вплив атомів у молекулі.

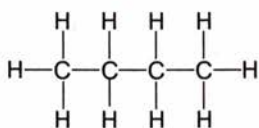
## § 3. ІЗОМЕРІЯ. УТВЕРДЖЕННЯ І РОЗВИТОК ТЕОРІЇ ХІМІЧНОЇ БУДОВИ

**ІЗОМЕРІЯ.** На основі теорії хімічної будови було пояснено деякі 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 їх хімічну будову.

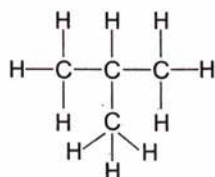
\* У цьому та подібних завданнях треба обрати правильну відповідь із кількох наведених.



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



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



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

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

Згідно із законом Бутлерова властивості речовин залежать від їхньої хімічної будови. Зміна цієї будови спричиняє зміну властивостей, тобто появу іншої речовини. Бутан та ізобутан мають однаковий якісний і кількісний склад молекул, але різну хімічну будову, тому це різні речовини з різними властивостями.

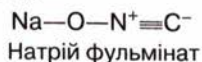
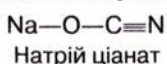
Для пентану складу  $C_5H_{12}$  можливі три варіанти будови, тобто такому складу відповідають три різні речовини.

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

*Сполуки, що мають однакові молекулярні формули, але різну будову, а тому й різні властивості, називають ізомерами (від грец. *іzos* — однаковий і *мерос* — частина).*

Ми розглянули приклади так званої *структурної ізомерії*, зумовленої будовою карбонового 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  $NaOCN$ . Проте перша сполука плавиться за температури  $560^{\circ}C$ , а друга — вибухає від нагрівання. Причина полягає в тому, що ці речовини є ізомерами, атоми в них сполучені в різному порядку, а саме:



Ізомерія стала пробним каменем теорії хімічної будови та її тріумфом. О. М. Бутлеров передбачив на основі теорії, що для сполуки складу  $C_4H_{10}$  можливі два ізомери, і синтезував невідомий на той час ізобутан, що, як і очікувалося, відрізнявся за властивостями від бутану.

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 і добуто невідомі раніше сполуки.

Теорія хімічної будови *стала інструментом вивчення органічних речовин*. На основі закону Бутлерова, тобто з урахуванням складу, хімічної будови, взаємного впливу атомів у молекулі, виявилось

можливим передбачати хімічну поведінку речовини. І навпаки — за хімічними властивостями зробити 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 їх 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 тощо.

**РОЗВИТОК ТЕОРІЇ ХІМІЧНОЇ БУДОВИ.** Наукова теорія не є незмінною. Важливою особливістю справді наукової теорії є те, що ця форма знань здатна розвиватися разом з наукою. 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, — 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 виявили 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 іноді 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 неплоскі, 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. *стереос* — 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.

Розвиток науки розширив поняття «будова органічних речовин». Якщо раніше розглядалася лише хімічна будова, то нині будову речовин розглядають у *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 у зв'язку з розвитком науки.

Якщо теорія підтверджується практикою, то вона не відкидається у процесі поглиблення наукових знань, а включається до змісту нових теорій. Такий приклад вам відомий з 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 і виникла потреба пояснити це, було



створено теорію відносності й релятивістську механіку. При цьому класичну механіку не відкинуто, її положення справджуються за умови, що швидкості тіл значно менші від швидкості 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. Вона увійшла до складу сучасної теорії будови органічних сполук. Щоб схарактеризувати речовину згідно із цією теорією, треба вказати якісний і кількісний склад, порядок сполучення атомів у молекулі, просторову форму і розміри молекул, взаємодію електронів у молекулі.



### Завдання для самоконтролю.....

1. Дайте означення ізомерів.
2. У чому полягає причина ізомерії?
3. У яких напрямках розвивалася теорія хімічної будови?
4. Які аспекти будови вивчає сучасна теорія будови органічних сполук?
5. Сформулюйте основне положення теорії будови органічних сполук в сучасному трактуванні.
6. Схарактеризуйте значення теорії хімічної будови органічних сполук.



### Додаткові завдання.....

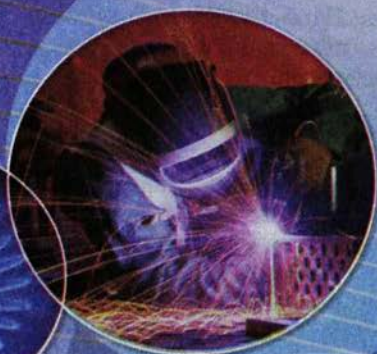
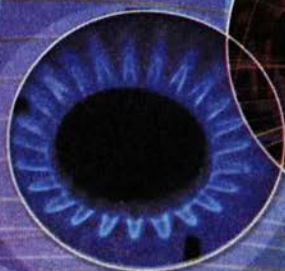
1. Чи можна стверджувати, що органічна хімія належить до молодих наук порівняно з:
  - А** астрономією; **Б** ботанікою; **В** інформатикою; **Г** генетикою?
2. Які нові наукові ідеї запропонував О. М. Бутлеров?
3. Що в законі Бутлерова є функцією, а що — аргументом?
4. Як теорія хімічної будови пояснює явище ізомерії?
5. Назвіть спільні та відмінні ознаки ізомерів.
6. Кожній сполуці відповідає лише одна хімічна формула. Чи можна стверджувати, що певній хімічній формулі відповідає тільки одна сполука? Для обґрунтування відповіді наведіть приклади органічних та неорганічних сполук.
7. Який зміст вкладає сучасна наука в поняття «будова речовини»?
8. Що означає схарактеризувати органічну речовину з погляду теорії будови?
9. Чи «працює» закон Бутлерова для неорганічних сполук? Наведіть приклади.
10. Що, на вашу думку, відбувається з науковою теорією, якщо вона не розвивається разом із наукою? Наведіть приклади.

### 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 сприяли розвитку синтетичної органічної хімії.
- О. М. Бутлеров запровадив у науку поняття про хімічну будову і взаємний вплив атомів у молекулі, сформулював закон залежності властивостей органічних речовин від складу і хімічної будови їхніх молекул.
- Хімічну будову речовин можна наочно відтворити за допомогою структурних формул.
- Згідно із законом Бутлерова кожна речовина має властиву тільки їй хімічну будову. Отже, ізомерія — це наслідок, що випливає із цього закону.
- Закон Бутлерова і теорія хімічної будови набули розвитку завдяки просторовим і електронним уявленням про будову речовин.
- Сучасна теорія будови органічних речовин розглядає хімічну, просторову та електронну будову в єдності.



# ВУГЛЕВОДНІ







✓ АЛКАНИ



✓ ЦИКЛОАЛКАНИ



✓ АЛКЕНИ



✓ АЛКІНИ



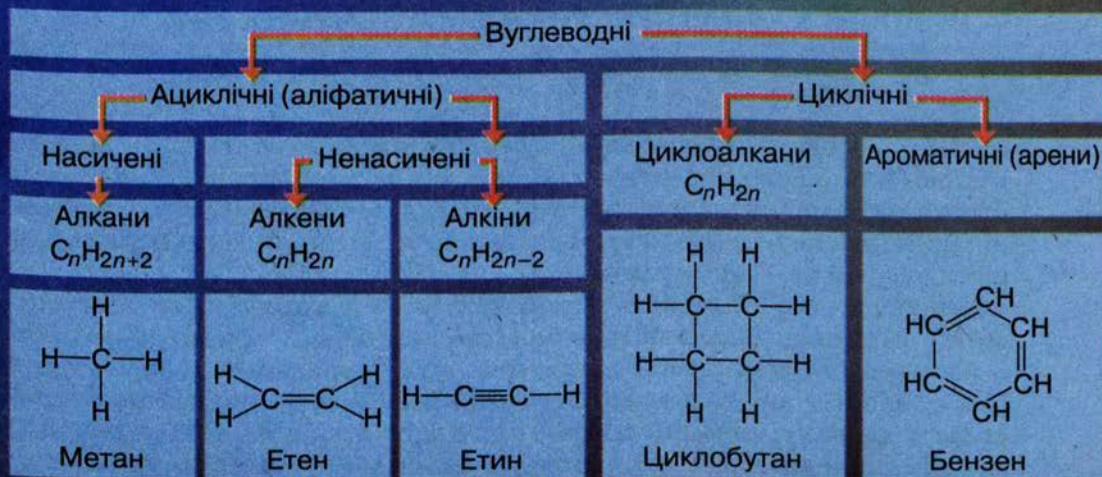
✓ АРЕНИ



✓ ПРИРОДНІ  
ДЖЕРЕЛА  
ВУГЛЕВОДНІВ

Щоб упорядкувати знання про величезну кількість різних об'єктів, що їх вивчає наука, ці об'єкти класифікують за певними ознаками. Вам відома класифікація неорганічних речовин на оксиди, кислоти, основи, солі, яка ґрунтується на хімічному складі цих сполук.

Класифікаційними ознаками органічних сполук є будова карбонового ланцюга і наявність функціональних груп. У 9 класі ви вивчали деякі найважливіші органічні речовини, до складу молекул яких входять такі функціональні групи, як гідроксильна, карбоксильна, аміногрупа, і які належать, відповідно, до спиртів, карбонових кислот, амінокислот. А вуглеводні етан, етилен, ацетилен розрізняли за наявністю в їхніх молекулах простого чи кратного зв'язку між атомами Карбону. Сам карбоновий ланцюг може бути прямим, розгалуженим або циклічної форми. Розглянемо класифікацію вуглеводнів за цими ознаками.





## ВУГЛЕВОДНІ



Наприкінці вивчення теми ви зможете:

- назвати вуглеводні за правилами номенклатури;
- скласти формули вуглеводнів за їхніми назвами та назви — за формулами;
- скласти формули структурних ізомерів;
- схарактеризувати ковалентні зв'язки;
- пояснити утворення простих і кратних карбон-карбонових зв'язків, електронну будову сполук;
- описати фізичні властивості сполук;
- пояснити реакційну здатність вуглеводнів;
- записати рівняння реакцій окиснення, заміщення, приєднання, розкладу, ізомеризації;
- пояснити механізм реакцій галогенування алканів і приєднання до алкенів, методи добування вуглеводнів;
- розповісти про застосування вуглеводнів;
- засвоїти терміни: *алкани, циклоалкани, алкени, алкіни, ацени, номенклатура, конформація, гібридизація електронних орбіталей,  $\sigma$ -зв'язок,  $\pi$ -зв'язок, піроліз, крекінг, радикал, (цис-, транс-) ізомерія*;
- виявити на досліді наявність Карбону, Гідрогену, Хлору в органічних сполуках, кратного зв'язку в молекулі.

Відомі вам метан і його гомологи належать до насичених вуглеводнів (за міжнародною назвою — алканів), етилен (етен) — до алкенів, ацетилен (етин) — до алкінів. Із різними групами вуглеводнів ви ознайомитеся впродовж навчання. Та спершу розглянемо, як утворюються карбон-карбонові зв'язки в органічних сполуках.

### § 4. УТВОРЕННЯ ХІМІЧНИХ ЗВ'ЯЗКІВ У ОРГАНІЧНИХ СПОЛУКАХ

#### ОСНОВНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ КОВАЛЕНТНИХ ЗВ'ЯЗКІВ

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

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

Енергію, що виділяється під час утворення зв'язку між окремими атомами, називають *енергією зв'язку*. Її можна розглядати і як енергію, яку треба затратити для розривання цього зв'язку. Отже, енергія зв'язку може бути мірилом його міцності: чим більша енергія зв'язку, тим він міцніший. Енергія зв'язку C—H у молекулі метану становить 411 кДж/моль, а зв'язку N≡N у молекулі азоту — 946 кДж/моль, отже, останній розірвати важче.



Проте атоми можуть зближуватися до певної межі, бо далі зростають сили відштовхування між їх 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 нм, а зв'язку С—С в молекулі етану — 0,154 нм.

Енергія зв'язку тісно пов'язана з його довжиною. Чим більше перекидання електронних хмар, тим менша 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 більша енергія і менша довжина зв'язку, тим він міцніший.*

Відомо, що ковалентні зв'язки бувають полярні й неполярні. Перші утворюються між атомами, що різняться своєю електронегативністю. Чим більша ця різниця, тим більша *полярність* ковалентного зв'язку.

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

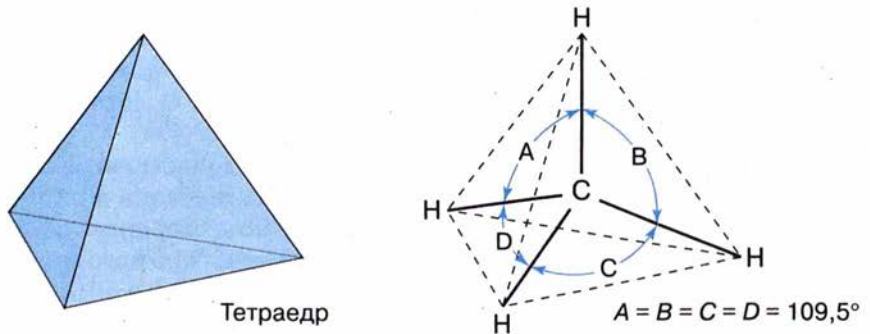
З ще однією характеристикою ковалентних зв'язків ви ознайомитеся нижче — це *просторова напрямленість*.

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

Таблиця 1

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

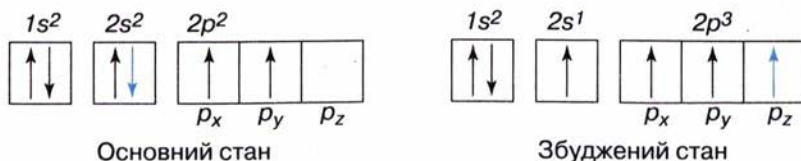
Зв'язок	Довжина, нм	Енергія, кДж/моль	Дипольний момент, D	Зв'язок	Довжина, нм	Енергія, кДж/моль	Дипольний момент, D
H—H	0,074	454	0	C—F	0,140	439	1,39
O—H	0,096	460	1,51	C—Cl	0,176	331	1,47
C—H	0,109	411	0,40	C—Br	0,194	285	1,42
C—O	0,143	351	0,70	C—C	0,154	348	0
C=O	0,121	711	2,40	C=C	0,134	614	0
C—N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



Мал. 3. Тетраедрична будова молекули метану

**ПРОСТИЙ С—С-ЗВ'ЯЗОК.** Молекула метану  $\text{CH}_4$  утворюється за допомогою чотирьох ковалентних зв'язків між атомами Карбону та Гідрогену. Ці зв'язки спрямовані у просторі під кутами  $109,5^\circ$  (тетраедричні кути) (мал. 3).

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



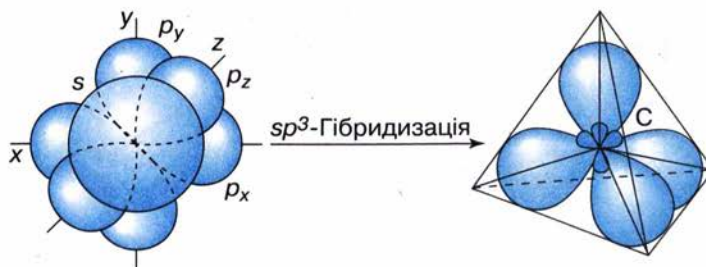
Мал. 4. Електронна конфігурація атома Карбону

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

Для пояснення такої суперечності було запропоновано *гіпотезу гібридизації електронних орбіталей*. Згідно з цією гіпотезою в момент утворення молекули (залежно від умов реакції) 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.

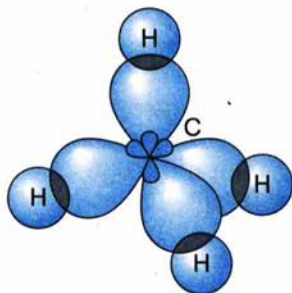
У молекулі метану «змішуються» одна  $s$ - і три  $p$ - орбіталі, утворюючи чотири нові рівноцінні  $sp^3$ -гібридні орбіталі. Вони спрямовані від центра до вершин тетраедра під кутом одна відносно одної  $109,5^\circ$ . Цей вид гібридизації електронних орбіталей називають  *$sp^3$ -гібридизацією* (мал.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



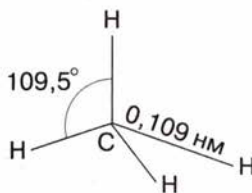


Мал. 5. Схема утворення  $sp^3$ -гібридних електронних орбіталей атома Карбону

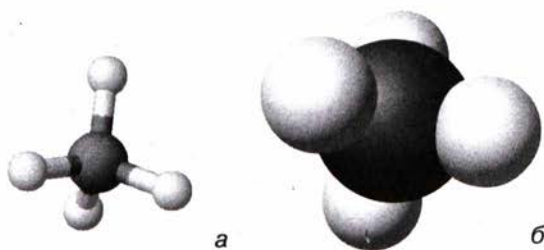
Описана форма електронних орбіталей атома Карбону забезпечує їх максимальне перекривання з електронними орбіталями атомів Гідрогену, що супроводжується утворенням так званих  $\sigma$ -зв'язків (мал. 6, 7).



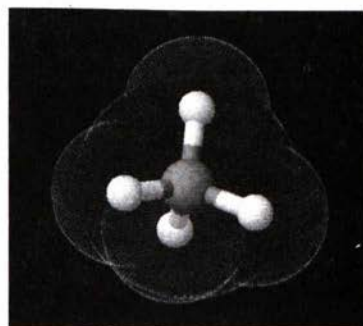
Мал. 6. Схема утворення  $\sigma$ -зв'язків у молекулі метану



Мал. 7. Геометрія молекули метану



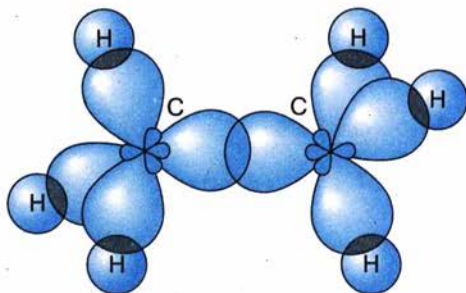
Мал. 8. Кулестержнева (а) й масштабна (б) моделі молекули метану



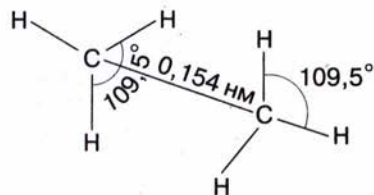
Мал. 9. Комп'ютерна модель молекули метану

- ◆ Пригадайте, які існують види моделей молекул. Які з них більше відповідають реальним молекулам?
- ◆ Розгляньте кулестержневу (а) й масштабну (б) моделі молекули метану (мал. 8). Порівняйте їх з комп'ютерною моделлю (мал. 9).

У молекулі етану  $C_2H_6$  обидва атоми Карбону перебувають у стані  $sp^3$ -гібридизації й утворюють  $\sigma$ -зв'язки між собою і атомами Гідрогену (мал. 10, 11).

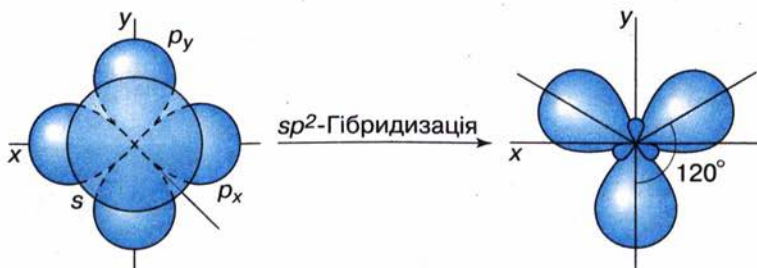


Мал. 10. Схема утворення  $\sigma$ -зв'язків у молекулі етану



Мал. 11. Геометрія молекули етану

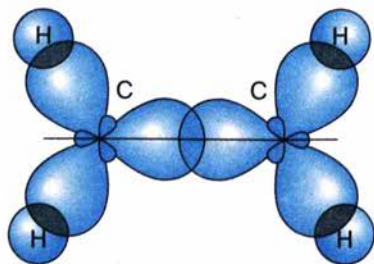
**ПОДВІЙНИЙ С=С-ЗВ'ЯЗОК.** Щоб з'ясувати природу подвійного зв'язку, знову звернемося до електронної будови атома Карбону в збудженому стані (див. мал. 4). Згідно з гіпотезою гібридизації в момент утворення молекули етену (етилену)  $\text{H}_2\text{C}=\text{CH}_2$   $s$ -електронна орбіталь атома Карбону гібридизується з двома  $p$ -електронними орбітальми, в результаті чого утворюються три нові  $sp^2$ -гібридні електронні орбіталі (мал. 12). Якщо уявити ядро атома Карбону в центрі трикутника, то  $sp^2$ -гібридні орбіталі напрямлені до його вершин, кут між ними становить  $120^\circ$ .



Мал. 12. Схема утворення  $sp^2$ -гібридних електронних орбіталей атома Карбону

Гібридні електронні орбіталі двох атомів Карбону, перекриваючись, утворюють  $\sigma$ -зв'язок (мал. 13).

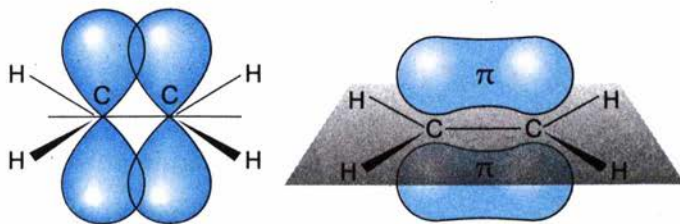
Негібридні  $p$ -електронні орбіталі двох атомів Карбону, перекриваючись, утворюють так званий  $\pi$ -зв'язок. Оскільки  $p$ -електронні орбіталі мають форму об'ємних вісімок, то перекривання відбувається над і під віссю  $\sigma$ -зв'язку (мал. 14). Отже, між атомами Карбону в молекулі етену утворюється подвійний зв'язок: один  $\sigma$ -, другий —  $\pi$ -зв'язок.



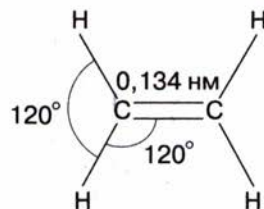
Мал. 13. Схема утворення  $\sigma$ -зв'язків у молекулі етену

Порівнюючи характеристики простого і подвійного зв'язків між атомами Карбону (див. табл. 1), можна помітити, що енергія подвійного зв'язку (614 кДж/моль) більша за енергію





Мал. 14. Схема перекривання  $p$ -електронних орбіталей і утворення  $\pi$ -зв'язку в молекулі етену



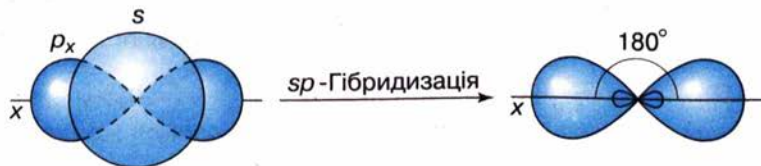
Мал. 15. Геометрія молекули етену

простого зв'язку (348 кДж/моль), але менша за його подвоєну енергію. Очевидно, що енергія  $\pi$ -зв'язку менша за енергію  $\sigma$ -зв'язку і становить:  $614 - 348 = 266$  (кДж/моль).  $\pi$ -Зв'язок менш міцний, оскільки його електронна густина зосереджена не між атомними ядрами, а вище і нижче від них. Просторово  $\pi$ -зв'язок доступніший для реагентів, під їх дією він поляризується і розривається.

Довжина подвійного карбон-карбонового 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 простого — тільки два електрони. Позитивно заряджені ядра атомів Карбону в етені зв'язуються міцніше, ніж у молекулі етану, бо між ними містяться електрони, що мають більший сумарний негативний заряд (мал. 15).

**ПОТРІЙНИЙ С=C-ЗВ'ЯЗОК.** Розглянемо електронну природу потрійного зв'язку. Згідно з гіпотезою гібридизації атоми Карбону в молекулі етину (ацетилену)  $\text{HC}\equiv\text{CH}$  перебувають у стані  $sp$ -гібридизації. Це означає, що  $s$ -електронна орбіталь «змішується» з однією із трьох  $p$ -електронних орбіталей з утворенням двох  $sp$ -гібридних електронних орбіталей, а дві інші  $p$ -електронні орбіталі залишаються негібридними (мал. 16).

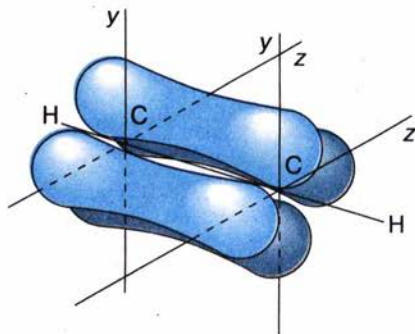
$sp$ -Гібридні електронні орбіталі двох атомів Карбону, перекриваючись, утворюють  $\sigma$ -зв'язок між собою та з атомами Гідрогену (мал. 17). Валентний кут у цьому разі становить  $180^\circ$ .



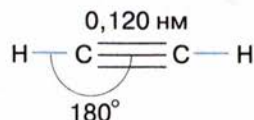
Мал. 16. Схема утворення  $sp$ -гібридних електронних орбіталей атома Карбону



Мал. 17. Схема утворення  $\sigma$ -зв'язків у молекулі етину



Мал. 18. Схема утворення  $\pi$ -зв'язку в молекулі етину



Мал. 19. Геометрія молекули етину

За рахунок перекривання негібридних  $p$ -електронних орбіталей утворюються два  $\pi$ -зв'язки (мал. 18). Ділянки перекривання  $p$ -електронних орбіталей лежать поза віссю  $\sigma$ -зв'язку. Електронна густина двох  $\pi$ -зв'язків зливається, набуваючи циліндричної форми, всередині якої зосереджується  $\sigma$ -зв'язок.

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

Геометрію молекули етину наведено на мал. 19. Довжина потрійного зв'язку (0,120 нм) менша порівняно з подвійним, а його енергія — більша (839 кДж/моль).



### Завдання для самоконтролю

1. На які групи поділяють вуглеводні? За якими ознаками?
2. Які електронні орбіталі беруть участь у  $sp^3$ -гібридизації?
3. Назвіть основні характеристики ковалентних зв'язків.
4. Ковалентний зв'язок тим міцніший, чим:
  - А менша його довжина;
  - Б більша його довжина;
  - В більша його енергія;
  - Г менша його енергія.
5. Чи можна вважати енергію хімічного зв'язку мірилом його міцності? Відповідь поясніть.
6. Зв'язки C—H слабкополярні, а молекула метану неполярна. Поясніть це.



### Додаткові завдання

1. Поясніть рівноцінність хімічних зв'язків у молекулі метану, спираючись на гіпотезу гібридизації.
2. Чи можна застосовувати до йонного зв'язку характеристику «напрямленисть»?
3. Як, на вашу думку, треба змінити склад молекули метану, щоб утворилася полярна молекула?
4. Поясніть причину достатньо високої стійкості молекули азоту.



## § 5. ГОМОЛОГІЧНИЙ РЯД МЕТАНУ

**СКЛАД МОЛЕКУЛ.** Пригадайте вивчене в курсі хімії 9 класу і дайте відповіді на запитання.

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

Вам уже відомо, що гомологи метану належать до *насичених вуглеводнів (парафінів)*; міжнародна назва — *алкани*.

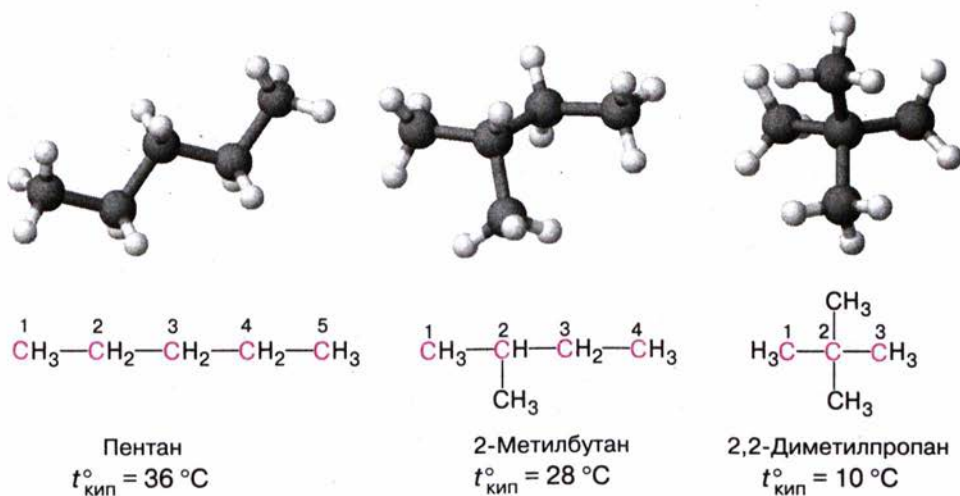
Загальна формула алканів —  $C_nH_{2n+2}$ .

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

**Назви** перших чотирьох алканів склалися історично, а починаючи з пентану, утворені від назв грецьких або латинських числівників додаванням суфікса *-ан* (табл. 2).

**БУДОВА МОЛЕКУЛ.** Розгляньте самостійно це питання, використовуючи матеріал попереднього параграфа. Намалюйте схематично геометрію молекули пропану.

**ІЗОМЕРІЯ.** Насиченим вуглеводням властива *структурна ізомерія*, що зумовлена різною послідовністю сполучення атомів у молекулі (хімічною будовою). Наприклад, у молекулі пентану атоми можуть сполучатися трьома способами, тобто пентан має три ізомери (мал. 20).



Мал. 20. Структурні формули й моделі молекул ізомерів пентану

## Характеристики алканів

Назва	Формула		Температура, °С		Густина, г/см <sup>3</sup>
	молекулярна	скорочена структурна	плавлення	кипіння	
Метан	CH <sub>4</sub>		-182,5	-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>	-54	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

## Лабораторний дослід 1.

## Виготовлення моделей молекул алканів

Д о с л і д А. Моделі ізомерів пентану.

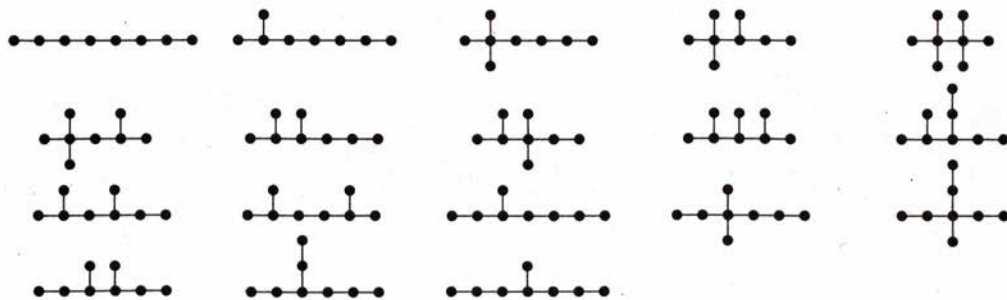
Моделі молекул можна зібрати з деталей стандартного набору або виготовити власноруч із пластиліну й сірників.

Для складання моделі молекули пентану C<sub>5</sub>H<sub>12</sub> знадобиться пластилін двох кольорів. Виготовте п'ять кульок одного кольору більшого діаметра (атоми Карбону) і дванадцять кульок іншого кольору і меншого діаметра (атоми Гідрогену). З'єднайте між собою за допомогою сірників (хімічні зв'язки) кульки більшого діаметра, потім приєднайте до них кульки меншого діаметра, пам'ятаючи про чотири-валентність атомів Карбону.

Змініть послідовність сполучення атомів Карбону і приєднайте до них атоми Гідрогену. Ви переконаєтеся, що атоми можуть сполучатися в послідовності, якій відповідають структурні формули, наведені на мал. 20.

Зі зростанням кількості атомів Карбону в молекулі зростає число можливих ізомерів. Якщо для бутану C<sub>4</sub>H<sub>10</sub> існують два ізомери, для пентану C<sub>5</sub>H<sub>12</sub> — три, то для декану C<sub>10</sub>H<sub>22</sub> їх 75, а для ейкозану C<sub>20</sub>H<sub>42</sub> — 366 319 ізомерів.





Мал. 21. Схематична будова молекул ізомерів октану

На мал. 21 зображено схеми «скелетів» ізомерів октану C<sub>8</sub>H<sub>18</sub>. Складіть за цими схемами структурні формули.

**НОМЕНКЛАТУРА.** Кожна наука створює і використовує власну мову, що складається зі спеціальних термінів, символів, формул та 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, що є зрозумілими 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 одновалентних алкільних замісників C<sub>n</sub>H<sub>2n+1</sub>. Приклади найпростіших з них наведено в таблиці 3.

*Щоб скласти назву алкану розгалуженої будови, треба:*

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

За наявності однакових замісників уживають множинні префікси *ди-*, *три-*.

## Алкани та алкільні замісники

Алкан $C_nH_{2n+2}$		Алкіл $C_nH_{2n+1}$	
Формула	Назва	Формула	Назва
$CH_4$	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

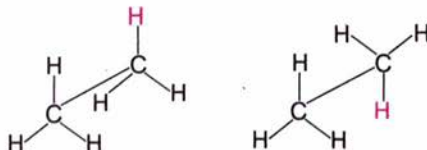
Сполука, формула якої  ${}^1CH_3-{}^2\underset{\underset{CH_3}{|}}{C}H-{}^3\overset{\overset{CH_3}{|}}{C}H-{}^4CH_2-{}^5CH_3$ , називається 2-метил-3-етилпентаном.

**КОНФОРМАЦІЯ.** Для подальшого вивчення будови алканів скористаємося моделями їх молекул.

Д о с л і д Б. Модель молекули етану.

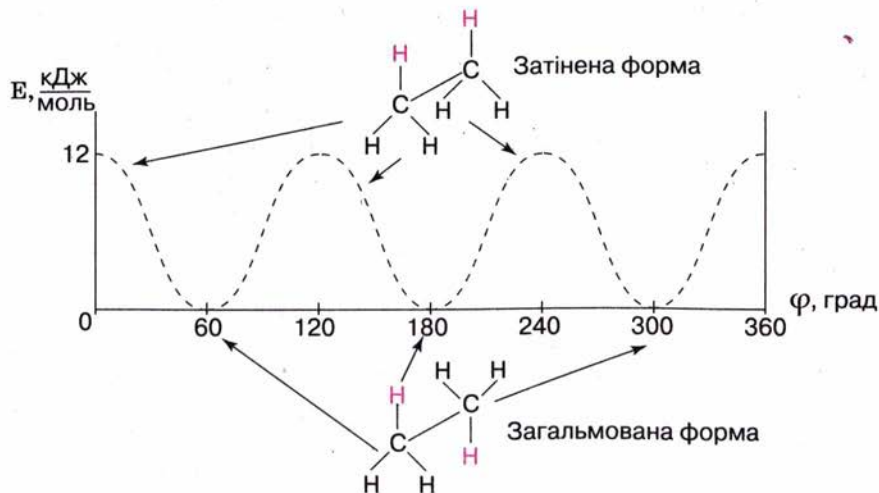
Для складання моделі молекули *етану*  $C_2H_6$  також знадобиться пластилін двох кольорів. Виготовте дві кульки одного кольору більшого діаметра (атоми Карбону) і шість кульок іншого кольору і меншого діаметра (атоми Гідрогену). З'єднайте між собою за допомогою сірників (хімічні зв'язки) кульки більшого діаметра, потім приєднайте до них кульки меншого діаметра, пам'ятаючи про чотиривалентність атомів Карбону.

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



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 й невигідні, між якими існує певний енергетичний бар'єр. Якщо за нормальних умов відмінність у значеннях енергії форм є незначною, як, наприклад, у етану (усього 12 кДж/моль), то обертання груп навколо  $\sigma$ -зв'язку вважають практично вільним.





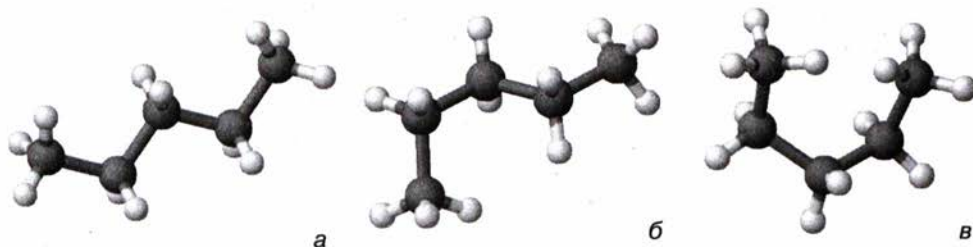
Мал. 22. Залежність потенціальної енергії молекули етану від взаємного розміщення етильних груп

*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).

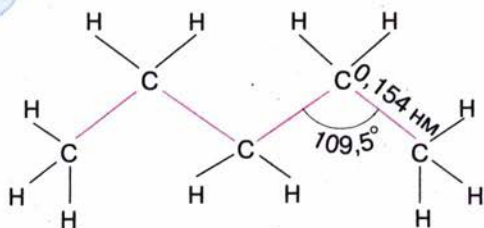
За низьких температур молекули перебувають в енергетично найвигіднішому стані, або, інакше кажучи, в *найстабільнішій конформації*. Для етану найстабільнішою (з мінімумом енергії) вважають ту форму, в якій атоми Гідрогену найвіддаленіші один від одного, відштовхування між ними є найменшим, а взаємодія — мінімальною. Цю форму називають *загальмованою*. Найменш імовірну (з максимумом енергії) форму молекули етану називають *затіненою* (мал. 22).

#### Д о с л і д В. Модель молекули пентану.

Складіть модель молекули пентану  $C_5H_{12}$ . Переконайтеся, що ланцюг карбовоних атомів може набувати різних просторових форм унаслідок вільного обертання навколо  $\sigma$ -зв'язків (мал. 23). Енергетично найвигіднішою конформацією є зигзагоподібна, оскільки в цьому разі атоми максимально віддалені один від одного (мал. 23, а).



Мал. 23. Моделі конформацій молекули пентану:  
а — зигзагоподібна; б — нерегулярна; в — клешнеподібна



Мал. 24. Геометрія молекули пентану

Зверніть увагу, що під час конформаційних переходів порядок сполучення атомів у молекулі не змінюється, сталими залишаються й такі її параметри, як валентний кут, довжина зв'язків (мал. 24).

Оскільки існування конформацій пов'язане з енергетичними характеристиками сполук, знання про них, їхню структуру мають 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*.

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

Агрегатний стан та зовнішні фізичні ознаки речовини, колір, запах — насамперед із цим стикається дослідник. Подальше вивчення речовини пов'язане з такими її фізичними властивостями, як температури плавлення (для речовини в 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 їх розчинності в різних розчинниках, у тім числі у воді.

У шкільному курсі хімії розглядають такі характеристики речовин, як температури плавлення і кипіння, густина, розчинність, згодом ви ознайомитеся зі спектральними характеристиками. Останні широко використовують для ідентифікації (від лат. *identicus* — тотожний та *ficatio* — здійснювання, ототожнення, прирівнювання) речовин.

Фізичні властивості речовин залежать від їхньої будови. Розглянемо, як вона позначається на температурах плавлення і 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. Згідно із законом Кулона в йонних кристалах структурні одиниці утримуються набагато більшими за



значенням міжіонними силами, отже, треба затратити більше енергії, щоб подолати їх і розплавити речовину.

Рідкий стан речовини є менш упорядкованим порівняно з кристалічним, частинки з меншою силою 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 достатньо 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 фізичних констант алканів, можна помітити, що зі збільшенням кількості атомів Карбону в молекулі зростають температури плавлення і 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 пояснюється воно 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, а рідкі (складу  $C_5-C_{17}$ ) мають характерний запах бензину.

Природний газ, що надходить у газові магістралі, має, як ви знаєте, неприємний запах. Він спричинений навмисним добавлянням спеціальних речовин — меркаптанів.

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

Основне природне джерело насичених вуглеводнів — нафта.

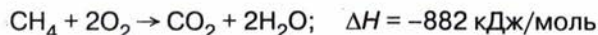
**ХІМІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ.** За звичайних умов алкани **хімічно інертні**, не взаємодіють з кислотами, лугами, з таким сильним окисником, як калій перманганат. У цьому можна перекоонатися на досліді, діючи на різні насичені вуглеводні розчинами названих речовин. Якщо метан пропускати крізь розчин калій перманганату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

Низька реакційна здатність алканів зумовлена порівняно високою енергією зв'язків C—C і C—H (відповідно 348 і 411 кДж/моль). Для розриву цих зв'язків та ініціювання реакції за їх участю потрібні

досить жорсткі умови, наприклад висока температура, наявність катализатора, дія ультрафіолетового випромінювання тощо.

**Реакції повного й часткового окиснення.** Підпалені на повітрі або в кисні алкани горять. Горіння вуглеводнів — це реакція повного окиснення, продуктами якого є вуглекислий газ і вода. Крім того, 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, що налита в циліндр, стає каламутною. Отже, внаслідок згоряння метану виділяються вода і вуглекислий газ:



Характер горіння алканів залежить від їх складу. Вищі алкани (ті, що мають високі молекулярні маси) горять кіптявим полум'ям. Запалимо у 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 згоряє за нестачі кисню, отже, окиснення відбувається неповністю, частина речовини розкладається і крім вуглекислого газу утворюється вуглець у вигляді сажі.

У разі нестачі кисню метан також окиснюється неповністю, і в результаті утворюється вуглець (сажа) або карбон(II) оксид.



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

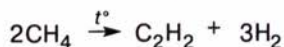
♦ Пригадайте дію чадного газу на організм людини. Яким чином можна вберегтися від отруєння ним?

Суміші метану чи іншого газуватого вуглеводню, а також парі рідких вуглеводнів з киснем або повітрям є вибухонебезпечними.

♦ Поясніть, яких правил слід дотримуватись, щоб запобігти цьому.

**Реакція розкладу.** 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 якому 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.



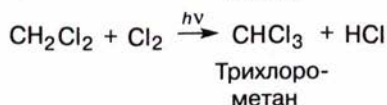
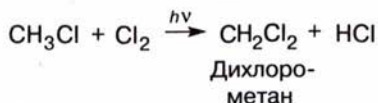
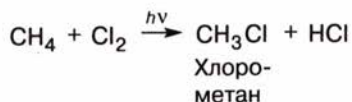
Етин (ацетилен)



Розщеплення сполук під дією нагрівання називають *піролізом* (від грец. *nip* (*nipoc*) — вогонь і *лиз* — розкладати). Щодо піролізу алканів, зокрема якщо йдеться про переробку нафти, вживають термін *крекінг* (від англ. *cracking* — розщеплювати).

Розрізняють термічний, каталітичний, гідрокрекінг (за участю 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.

**Реакції заміщення.** За нагрівання до 250—400 °С або під дією ультрафіолетового 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 сумішню метану і хлору й залишити її в темряві, то жодних ознак реакції не спостерігатимемо. У колбі, висеній на світло, одразу можна помітити послаблення жовтого забарвлення хлору, що засвідчує початок хімічної реакції. Вона може супроводжуватися вибухом, якщо суміш газів освітити ультрафіолетовим промінням.

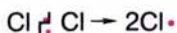
**Механізм реакції галогенування.** Для того щоб керувати хімічною реакцією, впливати на її результат, вихід продуктів та умови їх утворення, треба знати, яким шляхом ця реакція відбувається, які має стадії, як впливають на неї зовнішні чинники. Такий опис хімічної реакції називають *механізмом реакції*.

Вивчення механізму реакції — це дуже складний процес і 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:



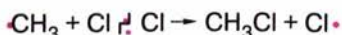
Ці частинки, які називають **радикалами**, є дуже реакційноздатними.

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*:



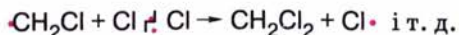
Стикаючись із молекулою хлору, метильний радикал відщеплює від неї атом Хлору, утворюючи молекулу хлорометану. Натомість залишається радикал Хлору:



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

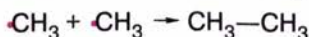


Ланцюг може розвиватися далі:



Третя стадія: *обривання ланцюга*.

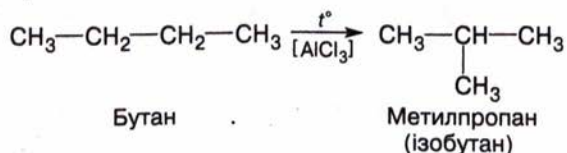
У разі зіткнення радикалів між собою ланцюг обривається:



Реакція припиняється, коли зникають усі вільні радикали.

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

**Реакція ізомеризації**. Під дією підвищеної температури та за наявності каталізатора алкани здатні до **ізомеризації**:



Реакція ізомеризації має значення для добування потрібних сортів пального. Про це ви дізнаєтеся згодом.



**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.





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

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

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

Про застосування інших алканів ви дізнаєтеся під час вивчення переробки нафти.

### Висновки

- Ковалентні зв'язки характеризуються просторовою напрямленістю, довжиною, енергією, полярністю.
- Основні параметри молекул алканів:  
тип гібридизації електронних орбіталей атомів Карбону —  $sp^3$ ;  
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.
- 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 і кипіння алканів зростають пропорційно зростанню їхніх молекулярних мас.
- 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 і води.
- Реакції заміщення в алканів відбуваються за радикальним механізмом.
- Природними джерелами алканів є корисні копалини: природний газ, нафта, кам'яне вугілля.



### Завдання для самоконтролю

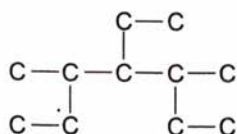
1. Перелічіть параметри молекул алканів.
2. Що є причиною ізомерії алканів?  
**А** Електронегативність атомів Карбону;  
**Б** довжина карбонового ланцюга;  
**В** структура карбонового ланцюга;  
**Г** конформації молекул.
3. Складіть формули ізомерів гексану та назвіть їх за систематичною номенклатурою.



4. Яка конформація етану є енергетично найвигіднішою? Чому?
5. Поясніть, чому карбоновий ланцюг вуглеводнів набуває зигзагоподібної форми.
6. З якою метою вивчають фізичні властивості речовин?
7. Перелічіть характерні фізичні властивості алканів.
8. За допомогою яких хімічних проб можна довести хімічну стійкість алканів?
9. У чому полягають особливості реакцій горіння алканів різного складу? Чим вони зумовлені?
10. Що таке повне і часткове окиснення вуглеводнів? Наведіть приклади.
11. Що таке механізм реакції? З якою метою вивчають механізми реакцій?
12. Поясніть механізм реакції хлорування метану.
13. Обґрунтуйте застосування алканів їхніми хімічними властивостями.
14. Яких правил безпеки слід дотримувати під час використання в побуті метану та інших алканів?

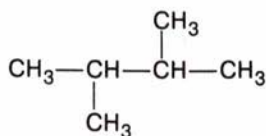
### Додаткові завдання

1. Доведіть на моделях, що зигзагоподібна форма карбонового ланцюга є просторово найвигіднішою.
2. Позначте назву алкана з такою будовою карбонового скелета:

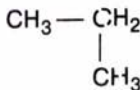


- А** гептан;  
**Б** 4-етил-3,5-диметилгептан;  
**В** 3-бутил-4-метилгептан;  
**Г** пентадекан.

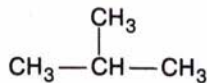
3. Позначте ізомери серед наведених сполук.  
**А** 2, 7; **Б** 3, 5; **В** 1, 6; **Г** 2, 3.



(1)



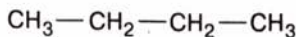
(2)



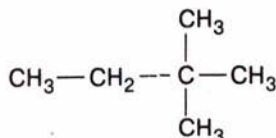
(3)



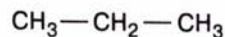
(4)



(5)



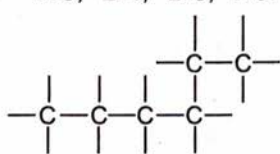
(6)



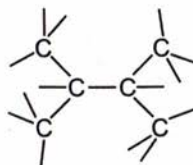
(7)

4. За даними таблиці 2 (с. 26) накресліть графік залежності температур кипіння алканів нормальної будови від кількості атомів у молекулі. Який характер має ця залежність — монотонний чи періодичний?
5. Продовжіть графік штриховою лінією. Яку температуру кипіння можна припустити для сполуки складу  $\text{C}_{15}\text{H}_{32}$ ?  
**А** 180—190 °С; **Б** 190—220 °С; **В** 220—250 °С; **Г** 250—270 °С.
6. Складіть формули двох ізомерних алканів, які є газами і мають густину за воднем 29.
7. Якого об'єму кисень треба затратити для спалювання суміші газів об'ємом 1 м<sup>3</sup>, що складається з 75 % метану та 25 % етану?

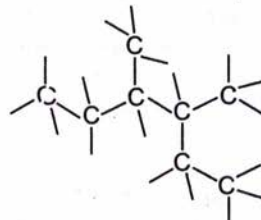
8. Позначте число сполук, яким належать карбонові скелети.  
**А 3; Б 4; В 5; Г 6.**



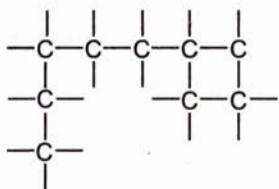
(1)



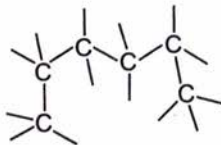
(2)



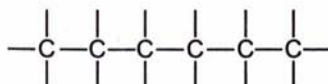
(3)



(4)



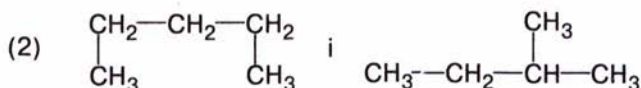
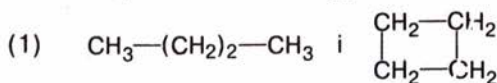
(5)



(6)

Складіть молекулярні формули цих сполук. Назвіть ізомери.

9. Спалили речовини такої будови:



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

10. Кисню, що міститься в повітрі кухні (площа —  $10 \text{ м}^2$ , висота —  $2,5 \text{ м}^2$ ), вистачить на спалювання метану об'ємом:

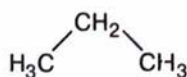
**А  $2,5 \text{ м}^3$ ; Б  $5 \text{ м}^3$ ; В  $10 \text{ м}^3$ ; Г  $20 \text{ м}^3$ .**

11. Поясніть, чому метан є хімічно найстійкішим з алканів.

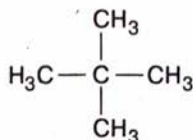
12. Поясніть, чому саме ультрафіолетове випромінювання ініціює реакцію хлорування метану. Енергія зв'язку  $\text{Cl}-\text{Cl}$  становить  $243 \text{ кДж/моль}$ , енергія одного кванта ультрафіолетового світла становить  $396 \text{ кДж/моль}$ , інфрачервоного світла —  $3,96 \text{ кДж/моль}$ .

13. Позначте гомологи серед наведених сполук.

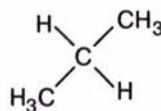
**А 1, 5, 6; Б 1, 3; В 3, 4; Г 2, 4.**



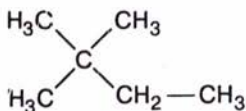
(1)



(2)



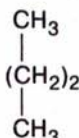
(3)



(4)

 $\text{C}_2\text{H}_6$ 

(5)



(6)



14. Спалили алкан кількістю речовини 0,1 моль; добули вуглекислий газ (0,5 моль) і воду (0,6 моль). Формула алкану:  
**A**  $\text{CH}_4$ ; **B**  $\text{C}_2\text{H}_6$ ; **B**  $\text{C}_4\text{H}_{10}$ ; **Г**  $\text{C}_5\text{H}_{12}$ .
15. Для спалювання суміші метану і пропану об'ємом  $10 \text{ см}^3$  затратили кисень об'ємом  $41 \text{ см}^3$ . Склад суміші газів у відсотках становить:  
**A** 50 % і 50 %; **B** 30 % і 70 %; **B** 15 % і 85 %; **Г** 55 % і 45 %.
16. На основі даних таблиці 4 та враховуючи, що теплота згоряння вугілля (у перерахунку на чистий вуглець) становить  $394 \text{ кДж/моль}$ , поясніть, який продукт — метан чи вугілля — доцільніше (за масою) використовувати як паливо у побуті. Які переваги і недоліки цих видів палива?

Таблиця 4

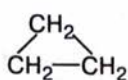
## Теплота згоряння вуглеводнів

Назва алкану	Формула	Теплота згоряння, кДж/моль	Назва алкану	Формула	Теплота згоряння, кДж/моль
Метан	$\text{CH}_4$	890	Пентан	$\text{C}_5\text{H}_{12}$	3536
Етан	$\text{C}_2\text{H}_6$	1560	Гексан	$\text{C}_6\text{H}_{14}$	4141
Пропан	$\text{C}_3\text{H}_8$	2220	Гептан	$\text{C}_7\text{H}_{16}$	4817
Бутан	$\text{C}_4\text{H}_{10}$	2878	Октан	$\text{C}_8\text{H}_{18}$	5474

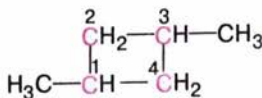


## § 6. ЦИКЛОАЛКАНИ

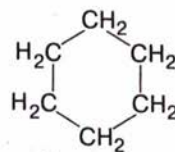
**СКЛАД І БУДОВА МОЛЕКУЛ.** Атоми Карбону в стані  $sp^3$ -гібридизації можуть сполучатися з утворенням не лише ланцюгових, а й циклічних молекул, наприклад:



Циклопропан



1,3-Диметилциклобутан

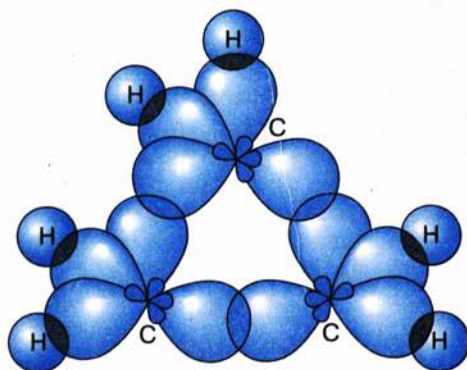


Циклогексан

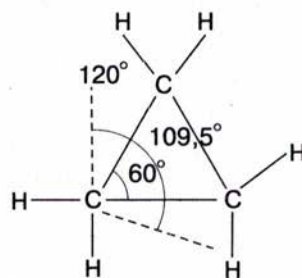
Ці сполуки належать до **циклоалканів**, або **циклопарафінів**. У їх молекулах міститься на два атоми Гідрогену менше, ніж у молекулах алканів; загальна формула циклоалканів  $\text{C}_n\text{H}_{2n}$ .

**Назви** циклоалканів *утворюють від назв алканів з відповідною кількістю атомів Карбону з додаванням слова цикло. Перед назвою цифрою зазначають місце і назву замісників у абетковому порядку.*

Розглянемо будову молекули циклопропану, що має трикутну форму (мал. 26, 27). Оскільки кути в правильному трикутнику дорівнюють  $60^\circ$ , тобто менші від тетраедричного кута  $109,5^\circ$ , електронні хмари атомів Карбону, що перебувають у стані  $sp^3$ -гібридизації, не здатні перекриватися максимально й утворювати міцні С—С-зв'язки. Відхилення від тетраедричного кута створює в молекулі певне напруження,



Мал. 26. Схема утворення  $\sigma$ -зв'язків у молекулі циклопропану



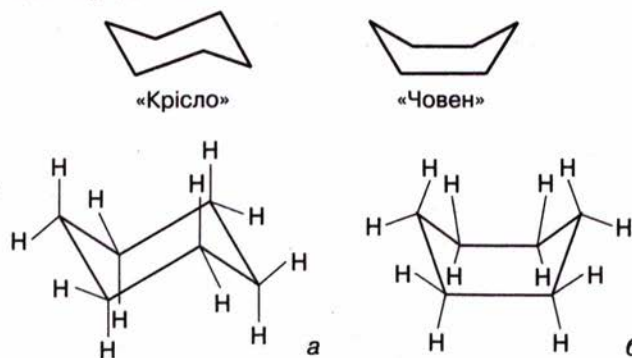
Мал. 27. Геометрія молекули циклопропану

внаслідок чого молекула циклопропану нестійка. Це напруження дістало назву *кутового*, або *байєрівського*, *напруження* за іменем німецького хіміка А. Байєра — автора так званої теорії напруження циклів (1885 р.).

У правильному п'ятикутнику кути дорівнюють  $108^\circ$ , 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 вважав усі цикли плоскими. Сучасна наука довела, що плоскою є лише молекула циклопропану, інші ж циклоалкани існують у різних неплюсних конформаціях, що утворюються внаслідок обертання атомів навколо С—С-зв'язків. При цьому зберігаються валентні кути  $109,5^\circ$  і довжини зв'язків  $0,154$  нм. Для циклогексану припускають існування конформацій «крісло» і «човен». Такі назви вони дістали через подібність до форм цих предметів.



Мал. 28. Конформації циклогексану: а — «крісло»; б — «човен»



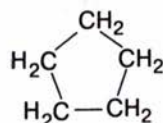
Теоретичні обчислення засвідчують, що форма «човен» має більшу енергетичну напруженість порівняно з формою «крісло», тому можна стверджувати, що для циклогексану переважною є конформація «крісло» (мал. 28).

Для циклопентану енергетично найвигіднішою є форма «конверт»:

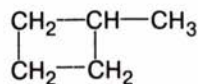


«Конверт»

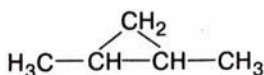
**ІЗОМЕРІЯ** циклоалканів зумовлена розміром циклу і будовою бічних відгалужень. Наприклад, складу  $C_5H_{10}$  відповідають такі ізомерні циклопарафіни:



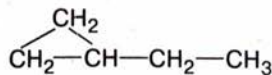
Циклопентан



Метилциклобутан

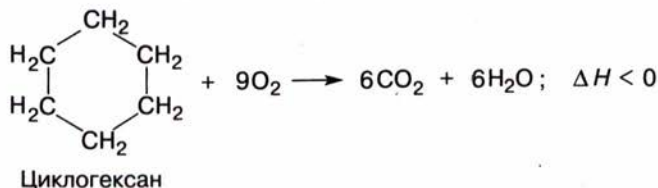


Диметилциклопропан



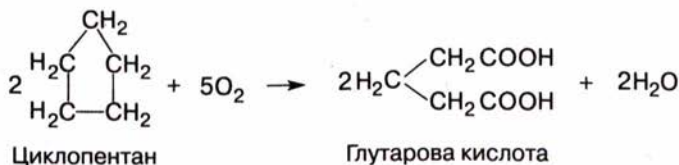
Етилциклопропан

**ХІМІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ.** Реакції повного і часткового окиснення. Подібно до алканів циклоалкани **горять**, утворюючи вуглекислий газ і воду:



Циклогексан

У результаті реакції **часткового окиснення** утворюються оксигеновмісні органічні сполуки:

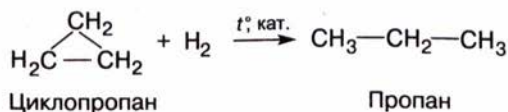


Циклопентан

Глутарова кислота

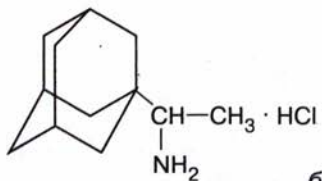
**Реакція приєднання.** Циклопропан і циклобутан, молекули яких є найменш стійкими, вступають у реакції приєднання водню з розкриванням циклу.

У результаті реакції «знімається» напруження в циклі й утворюється стійка молекула алкану:



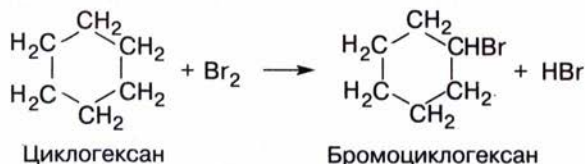
Циклопропан

Пропан



Мал. 29. Структури адамантану (а) та ремантадину (б)

**Реакція заміщення.** Подібно до алканів циклоалкани зі стійкими циклами, такі як циклопентан і циклогексан, вступають у реакції заміщення (галогенування, нітрування):



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

**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*.

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

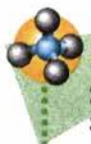
*Циклопентан* застосовують у промисловості як розчинник та в органічному синтезі.

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

Три циклогексанових кільця у формі «крісла» утворюють молекулу *адамантану* (мал. 29, а). Похідні цієї сполуки чинять противірусну дію, і тому їх використовують у фармації. Зокрема, це відомий протигрипозний засіб *ремантадин* (мал. 29, б). У його промисловій розробці брали участь українські вчені-хіміки.

## Висновки

- Циклоалкани — насичені вуглеводні циклічної будови.
- Загальна формула циклоалканів —  $\text{C}_n\text{H}_{2n}$ .
- Циклоалканам властива структурна ізомерія, зумовлена розміром циклу і будовою бічного відгалуження.
- Стійкість молекул циклоалканів залежить від будови циклів.
- Для циклогексану енергетично найвигіднішою є конформація «крісло».
- Менш стійкі цикли вступають у реакції приєднання, стійкіші — в реакції заміщення.
- Природним джерелом п'яти- і шестичленних циклоалканів є нафта.



## Завдання для самоконтролю

1. Поясніть назву «циклоалкани».
2. Наведіть загальну формулу циклоалканів.
3. Наведіть структурні формули кількох ізомерів циклогексану.



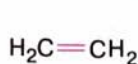
- Опишіть будову молекули циклогексану. Яка конформація є переважною для цієї молекули?
- У чому полягала помилка А. Байєра?
- Які реакції характерні для п'яти- і шестичленних циклоalkanів?
- Що таке нафтени?
- Схарактеризуйте значення циклоalkanів та їхніх похідних для медицини.

### Додаткові завдання

- Поясніть причину стійкості (або нестійкості) молекул циклоalkanів.
- Як будова молекул циклоalkanів позначається на хімічних властивостях цих сполук?
- Порівняйте хімічні властивості алканів і циклоalkanів.
- Чому саме нафтени трапляються в природі у вільному стані?
- У вуглеводні масова частка Гідрогену становить 14,3 %, густина пари за воднем — 21. Щодо цієї сполуки правильними є твердження:  
**А** приєднує водень; **Б** існує в конформаціях «човен» і «крісло»;  
**В** атоми Карбону перебувають у стані  $sp^3$ -гібридації; **Г** є першим членом гомологічного ряду.

## § 7. ГОМОЛОГІЧНИЙ РЯД ЕТЕНУ

**СКЛАД МОЛЕКУЛ.** Вам уже відомі ненасичені вуглеводні, в молекулах яких є подвійний зв'язок між атомами Карбону, та найпростіший серед них — етен (тривіальна назва — етилен)  $C_2H_4$  (мал. 30):



Структурна  
формула



Електронна  
формула

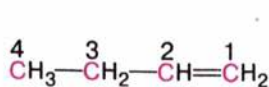


Мал. 30. Модель молекули етену

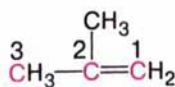
Етен започатковує гомологічний ряд **алкенів**. Загальна формула ряду —  $C_nH_{2n}$ . У таблиці 5 наведено константи вуглеводнів ряду етену нормальної будови.

**БУДОВА МОЛЕКУЛ.** Розгляньте самостійно це питання, використовуючи матеріал § 4. Намалюйте схематично геометрію молекули пропену.

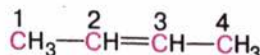
**ІЗОМЕРІЯ.** Алкенам властива *структурна ізомерія* карбонового скелета і положення кратного зв'язку:



Бут-1-ен

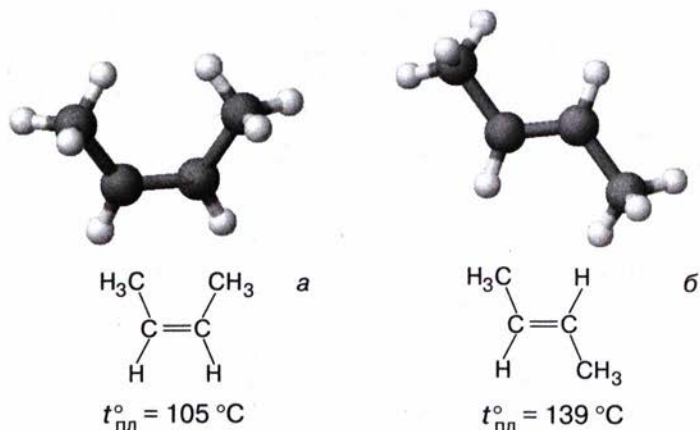


2-Метилпроп-1-ен



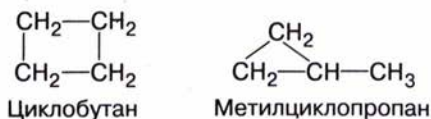
Бут-2-ен

Загальна формула алкенів збігається із загальною формулою циклоalkanів, тобто ці групи вуглеводнів мають однаковий склад, але різну будову, а значить, є ізомерами. Такий особливий вид структурної



Мал. 31. Моделі просторових ізомерів бут-2-ену:  
*a* — цис-ізомер; *б* — транс-ізомер

ізомерії називають *міжгруповою ізомерією*. Отже, до структурних ізомерів бутену належать і циклобутан, і метилциклопропан:



Для етенових вуглеводнів характерний ще один вид ізомерії, з яким ви досі не стикалися. Розглянемо його на прикладі молекули бут-2-ену. На моделях ви можете переконатися, що можливі два варіанти будови молекули залежно від просторового розміщення атомів (мал. 31). Два вуглеводневі радикали розміщуються з одного або різних боків від подвійного зв'язку.

Щоб першу структуру перетворити на другу, треба 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.

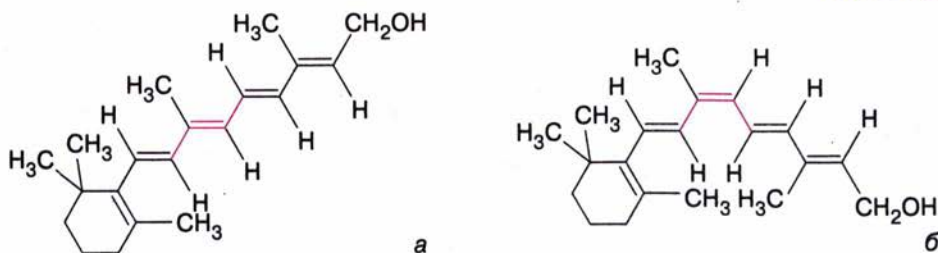
Вид ізомерії, зумовлений взаємним просторовим розміщенням атомів, називають *цис-, транс-ізомерією*, або *геометричною ізомерією* (від грец. *цис* — по один бік, *транс* — по різні боки). Геометрична ізомерія є одним із видів *просторової*, або *стереоізомерії* (від грец. *стерео* — просторовий).

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

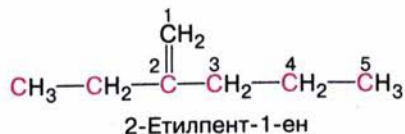
♦ З'ясуйте, чи можлива просторова (*цис-, транс-*) ізомерія для сполуки  $(\text{CH}_3)_2\text{C}=\text{C}(\text{CH}_3)_2$ .

*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. 32, *a*).



Мал. 32. Вітамін А належить до *транс*-ізомерів (а)

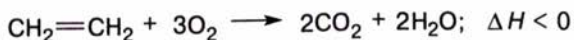
**НОМЕНКЛАТУРА.** За правилами систематичної номенклатури назви алкенів утворюють від назв алканів заміною суфікса *-ан* на *-ен*. Насамперед треба визначити найдовший карбоновий ланцюг, у якому є подвійний зв'язок, і пронумерувати атоми з кінця, ближчого до подвійного зв'язку; перед назвою цифрою позначити місця заміників і їхні назви в абетковому порядку; перед суфіксом цифрою вказати атом Карбону, після якого слідує подвійний зв'язок. Наприклад:



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

Пригадайте фізичні властивості алканів і поясніть причину цього явища.

**ХІМІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ.** Реакції повного і часткового окиснення. Етен і його гомологи **горять** з утворенням вуглекислого газу і води:

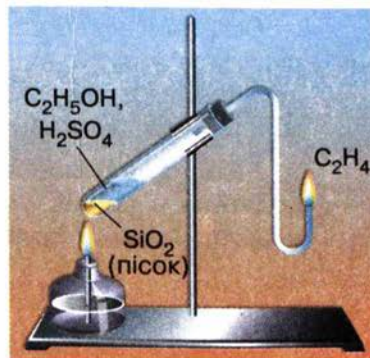


Добудемо етен за допомогою приладу, зображеного на мал. 33.

Підпалимо газ, що виділяється, біля кінця газовідвідної трубки — спостерігатимемо світне полум'я.

Пригадайте, що метан горить майже безбарвним полум'ям. Поясніть цю відмінність, ґрунтуючись на знаннях курсу хімії 9 класу.

Пригадайте, що хімічну активність насичених вуглеводнів ми з'ясували, виконуючи дослід з розчином калій перманганату. На відміну від алканів алкени виявляють значну активність у цій реакції, в чому можна переконатися на досліді.

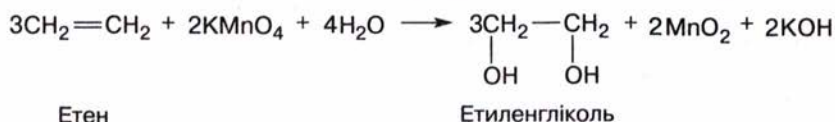


Мал. 33. Прилад для добування етену в лабораторії

## Характеристики алкенів

Назва	Формула		Температура, °С	
	молекулярна	скорочена структурна	плавлення	кипіння
Етен	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	H <sub>2</sub> C=CH <sub>2</sub>	-169	-104
Пропен	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub>	H <sub>2</sub> C=CH—CH <sub>3</sub>	-188	-48
Бут-1-ен	C <sub>4</sub> H <sub>8</sub>	H <sub>2</sub> C=CH—CH <sub>2</sub> —CH <sub>3</sub>	-185	-6
2-Метилпроп-1-ен	C <sub>4</sub> H <sub>8</sub>	$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\   \\ \text{CH}_3-\text{C}=\text{CH}_2 \end{array}$	-141	-7
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>	H <sub>2</sub> C=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>	H <sub>2</sub> C=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>	H <sub>2</sub> C=CH—(CH <sub>2</sub> ) <sub>5</sub> —CH <sub>3</sub>	-102	122

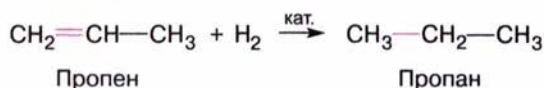
Пропустимо етен крізь розчин калій перманганату: фіолетове забарвлення зникає, тому що відбувається реакція **часткового окиснення** етену:



У результаті часткового окиснення алкенів утворюються різні оксигеновмісні сполуки. Цю реакцію 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 та 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 площиною молекули.

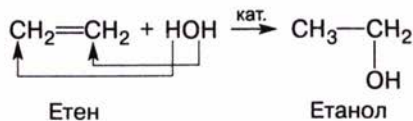
**Реакції приєднання.** За наявності каталізатора (Pt, Pd, Ni) за місцем подвійного зв'язку приєднується водень, у результаті чого алкени перетворюються на алкани:



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

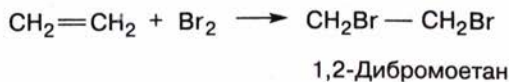


Важливою є реакція алкенів з водою, в результаті якої утворюються спирти. Етен, приєднуючи воду, перетворюється на етанол:



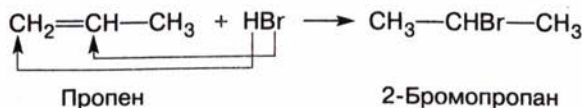
Реакцію приєднання води до речовини називають реакцією **гідратації**.

Хлор і бром приєднуються за місцем подвійного зв'язку з утворенням галогенопохідних алканів. Пропустимо етен крізь розчин бромної води — забарвлення бромну зникає:

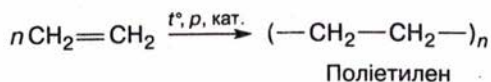


Цю реакцію також використовують для *аналітичного виявлення* ненасичених вуглеводнів.

Алкени реагують з гідроген галогенідами, утворюючи галогенопохідні сполуки:



Молекули алкенів здатні сполучатися між собою з утворенням **полімерів**. Результатом реакції **полімеризації** етилену є **поліетилен**:

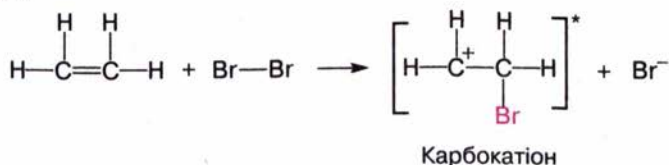


Пригадайте з курсу хімії 9 класу означення реакції полімеризації.

**Механізм реакції приєднання за місцем подвійного зв'язку.** Реакцію приєднання галогену до етену можна розглядати як двостадійну. На першій стадії відбувається електростатична взаємодія між молекулою галогену та електронною хмарою  $\pi$ -зв'язку. Внаслідок цього зв'язок  $\text{Hal}-\text{Hal}$  розривається з утворенням йонів:

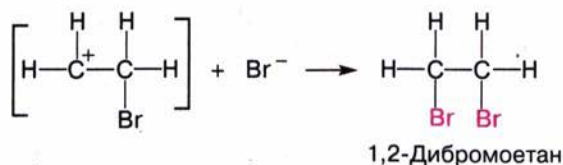


Позитивно заряджений йон Бромну приєднується до одного з атомів Карбону і відтягує на себе електронну густину  $\text{C}=\text{C}$ -зв'язку. У результаті сусідній атом Карбону заряджається позитивно, утворюється так званий **карбокатион**:



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

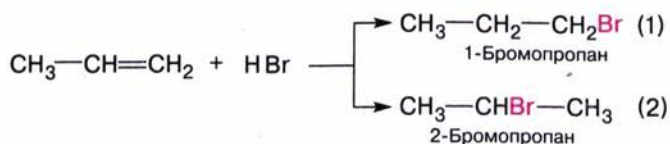
На другій стадії карбокатион взаємодіє з негативно зарядженим йоном Брому, при цьому утворюється кінцевий продукт реакції:



Отже, реакція приєднання до алкенів відбувається у два етапи, за **йонним механізмом**.

♦ Поясніть механізм приєднання полярної молекули гідроген галогеніду до етену.

**Правило Марковникова.** Алкени здатні приєднувати також гідроген галогеніди з утворенням галогенопохідних. Реакція за участю етену відбувається за наведеною вище схемою, а якщо реагує пропен, то можна припустити утворення двох продуктів 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, який сполучений з 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  $-\text{CH}_3$  відштовхує від себе електрони  $\sigma$ -зв'язку. В результаті вздовж ланцюга спряжених між собою  $\sigma$ - і  $\pi$ -зв'язків електронна



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

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

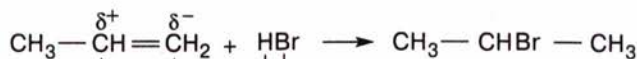


густина рухливого  $\pi$ -зв'язку зміщується до більш гідрогенізованого атома Карбону, на якому виникає частковий негативний заряд; подвійний зв'язок поляризується:



Зміщення  $\pi$ -електронів прийнято показувати зігнутою стрілкою.

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



2-Бромпропан

Згідно з правилом Марковникова відбувається і приєднання води до алкенів.

Складіть схему цієї реакції для пропену.

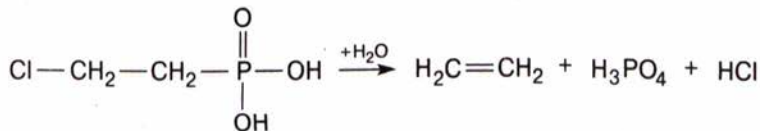
**ЗАСТОСУВАННЯ.** З алкенів добувають багато різних продуктів. Це насамперед поліетилен і поліпропілен, що їх використовують у виробництві пластмас, а останні — при виготовленні виробів для потреб промисловості й побуту.

З 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 знищення шкідників сільськогосподарських культур.

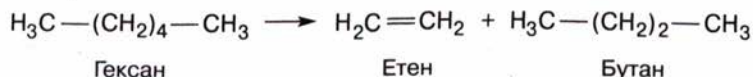
Етен використовують для прискорення досягання овочів і фруктів. Достатньо 0,08 мл етену, щоб протягом 24 год перетворити 1 кг зелених помідорів на червоні.

Є сполуки, здатні гідролізувати з утворенням етену, наприклад етрел. Якщо під час досягання помідорів увести його в рослину разом з іншими поживними речовинами, то він розкладеться в ній з виділенням етену:



Етрел

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



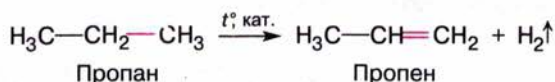
Гексан

Етен

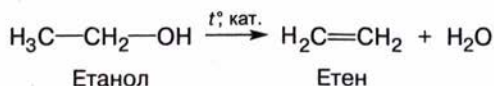
Бутан

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

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



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



## Висновки

- Алкени — ненасичені вуглеводні, в молекулах яких є один подвійний зв'язок.
- Загальна формула алкенів —  $\text{C}_n\text{H}_{2n}$ .
- Основні параметри молекули етену:  
тип гібридизації електронних орбіталей атомів Карбону —  $sp^2$ ;  
довжина зв'язку  $\text{C}=\text{C}$  — 0,134 нм;  
енергія зв'язку  $\text{C}=\text{C}$  — 614 кДж/моль;  
валентний кут —  $120^\circ$ .
- Подвійний зв'язок  $\text{C}=\text{C}$  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 через неможливість вільного обертання атомів навколо подвійного зв'язку.
- Фізичні властивості алкенів змінюються зі зміною кількості атомів Карбону в молекулі подібно до алканів.
- Хімічна активність алкенів визначається наявністю подвійного зв'язку, за яким відбуваються реакції приєднання.
- До несиметричних молекул алкенів гідроген галогеніди й вода приєднуються згідно з правилом Марковникова.
- У промисловості алкени добувають переважно з нафтопродуктів.
- Застосування алкенів пов'язане насамперед з виробництвом продуктів полімеризації — поліетилену і поліпропілену.



## Завдання для самоконтролю.....

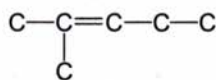
1. Поясніть утворення подвійного  $\text{C}=\text{C}$ -зв'язку.
2. Порівняйте характеристики простого і подвійного зв'язків. Чи є подвійний зв'язок сумою двох простих? Відповідь поясніть.
3. Чи можливе вільне обертання атомів (груп атомів) навколо подвійного зв'язку? До чого це приводить?
4. Складіть структурні формули *цис*-, *транс*-ізомерів для сполуки  $\text{ClCH}=\text{CHCl}$ .
5. Скільком речовинам відповідає формула  $\text{C}_5\text{H}_{10}$ ? Складіть структурні формули, назвіть сполуки.
6. Наведіть рівняння реакцій, за допомогою яких виявляють подвійні зв'язки.



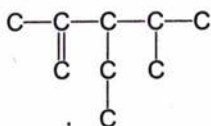
7. Які реакції характерні для алкенів? Складіть рівняння реакцій.
8. Для аналітичного визначення алкенів використовують розчин: **А** бромоводню; **Б** бромної води; **В** калій перманганату; **Г** сульфатної кислоти.
9. За яким механізмом відбуваються реакції приєднання до алкенів? Відповідь поясніть.
10. Поясніть правило Марковникова.
11. Назвіть найважливіші галузі застосування алкенів.

### Додаткові завдання

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



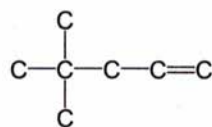
(1)



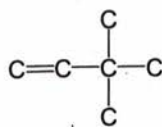
(2)



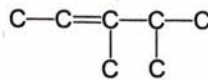
(3)



(4)



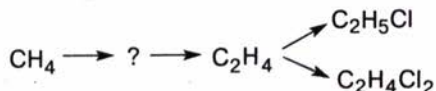
(5)



(6)

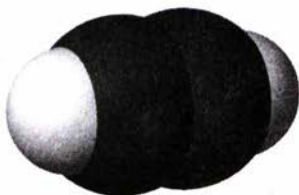
Назвіть сполуки.

2. Серед наведених у попередньому завданні сполук ізомерами є: **А** 3, 5; **Б** 1, 2; **В** 4, 6; **Г** 1, 3.
3. Порівняйте хімічну активність алканів і алкенів. Зробіть висновок.
4. Як зміниться просторова будова молекули етену в результаті його гідрування?
5. Поясніть механізм приєднання молекули води до пропену згідно з правилом Марковникова.
6. Яке положення теорії будови органічних сполук підтверджує правило Марковникова?
7. Запропонуйте спосіб добування етену з метану.
8. Складіть рівняння реакцій, що відбуваються за схемою:



9. Правильним є твердження, що: **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; **Г** алкенам властиві реакції заміщення; **Д**  $\pi$ -зв'язок — донор електронів; **Е** реакція приєднання бромиду до етену відбувається за радикальним механізмом; **Є** із пропену можна добути пропан за допомогою реакції дегідрування.
10. Обґрунтуйте галузі застосування етену його хімічними властивостями.
11. Спалили вуглеводень (0,2 моль), отримали вуглекислий газ (17,6 г) і воду (7,2 г). Визначте формулу вуглеводню.

## § 8. ГОМОЛОГІЧНИЙ РЯД ЕТИНУ



Мал. 34. Модель молекули етину

**СКЛАД МОЛЕКУЛ.** Найпростіший з алкінів — етин (тривіальна назва — ацетилен)  $C_2H_2$ . Молекула етину містить на два атоми Гідрогену менше, ніж молекула етену, що засвідчує ще ненасиченіший характер цієї сполуки. Атоми Карбону сполучені в молекулі етину потрійним зв'язком:



Модель молекули етину зображено на мал. 34.

У таблиці 6 наведено константи вуглеводнів ряду етину нормальної будови.

**БУДОВА МОЛЕКУЛ.** Електронну природу потрійного зв'язку розглянуто в § 4. У молекулі етину між атомами Карбону існує потрійний зв'язок, що є поєднанням одного  $\sigma$ - і двох  $\pi$ -зв'язків. Довжина потрійного зв'язку (0,120 нм) менша порівняно з подвійним, а його енергія — більша (839 кДж/моль).

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-Метилпроп-1-ін	$C_5H_8$	$\begin{array}{l} H_3C \\ \diagdown \\ CH - C \equiv CH \\ \diagup \\ H_3C \end{array}$	—	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

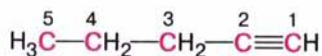


Пригадайте, як електронна теорія пояснює зменшення довжини подвійного зв'язку в молекулі етену порівняно з простим зв'язком у молекулі етану. Дайте аналогічне пояснення щодо потрійного зв'язку в молекулі етину.

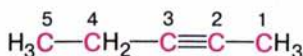
Намалюйте схематично геометрію молекули пропіну.

Етин започатковує гомологічний ряд **алкінів**. Загальна формула сполук —  $C_nH_{2n-2}$ .

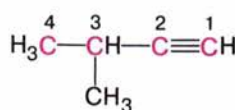
**ІЗОМЕРІЯ, НОМЕНКЛАТУРА.** Алкінам властива **структурна ізомерія** карбонового скелета і положення кратного зв'язку. Наприклад, для сполуки складу  $C_5H_8$  можливі такі ізомери:



Пент-1-ин



Пент-2-ин



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 пронумерувати атоми з кінця, ближчого до потрійного зв'язку; перед назвою цифрою зазначити місце замісників та їх назви в абетковому порядку; перед суфіксом цифрою вказати атом Карбону, після якого слідує потрійний зв'язок.

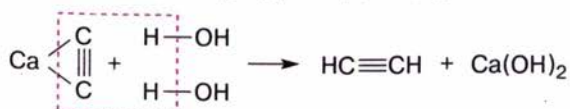
**ФІЗИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ.** Етин — безбарвний газ, має слабкий фруктовий запах, малорозчинний у воді, трохи легший за повітря. Неприємний запах, що поширюється під час добування етину з кальцій карбідом, належить зовсім не цьому газу, а домішкам сірководню і фосфінів, що утворюються як побічні продукти.

Фізичні властивості гомологів етину закономірно змінюються зі зростанням кількості атомів Карбону в їхніх молекулах (див. табл. 6).

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

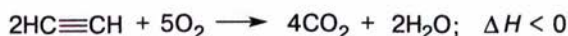
**ХІМІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ.** Реакції повного і часткового окиснення. Як і інші вуглеводні, алкіни **горять** з утворенням карбон(IV) оксиду та води й виділенням великої кількості теплоти.

Добудемо етин, скориставшись приладом, зображеним на мал. 35. Етин утворюється в результаті взаємодії кальцій карбідом з водою за реакцією:



Мал. 35. Добування етину в лабораторії

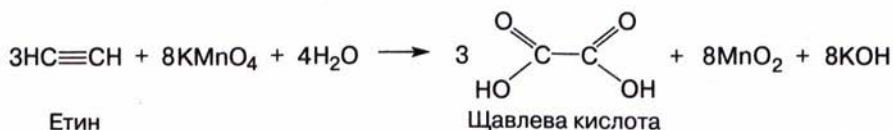
Підпалимо етин біля газовідвідної трубки — газ горітиме кіптявим полум'ям:



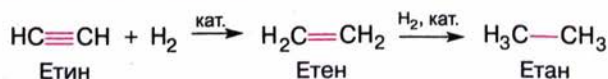
Пригадайте з вивченого в 9 класі, як можна пояснити утворення кіптявого полум'я під час горіння етину.

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

Алкини подібно до алкенів легко **окиснюються** розчином калій перманганату в кислому, лужному і нейтральному середовищах з утворенням оксигеновмісних сполук. Пропускаючи етин крізь цей розчин, можна спостерігати його знебарвлення:



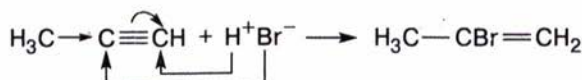
**Реакції приєднання.** Алкізи вступають у реакції приєднання за місцем кратного зв'язку. За наявності каталізатора вони приєднують водень, відновлюючись при цьому до алканів. Як проміжні продукти утворюються відповідні алкени:



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



Алкини приєднують гідроген галогеніди 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  $\text{HC}\equiv\text{C}-\text{CH}=\text{CH}_2$ .

**Реакції заміщення.** Порівняно з алкенами хімічна поведінка алкінів має особливості, зумовлені електронною будовою молекул. Зв'язок С—Н у молекулах з кінцевим потрійним зв'язком виявляється настільки поляризованим, що може розриватися з утворенням протона:





Такі сполуки виявляють слабкі кислотні властивості й здатні вступати в реакції заміщення, зокрема заміщувати атом Гідрогену на метал. Наприклад, ацетилен 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 ацетилен. Купрум та аргентум ацетиленіди вибухають від удару або нагрівання.

**ЗАСТОСУВАННЯ.** Найважливішим серед алкінів є *етин* (ацетилен). Унаслідок високої питомої теплоти згоряння ацетилен використовують для газового різання і зварювання металів. З цією метою ним наповнюють спеціальні балони. Ацетиленово-кисневе полум'я має температуру 2800 °С і легко плавить сталь (мал. 36).

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

Пригадайте, чому ця галузь використання не набула поширення.

Нині ацетилен є важливим промисловим продуктом. З нього добувають вихідні речовини для виготовлення пластмас (хлорвініл  $\text{H}_2\text{C}=\text{CHCl}$ , вінілацетат  $\text{H}_2\text{C}=\text{CH}-\text{O}-\text{CO}-\text{CH}_3$ ) та каучуків (вінілацетилен  $\text{HC}\equiv\text{C}-\text{CH}=\text{CH}_2$ ). Ацетилен є сировиною для добування інших органічних сполук.

**ДОБУВАННЯ.** Ацетилен для зварювальних робіт добувають часто на місці використання змішуванням *кальцій карбиду* і *води*.



Донедавна саме так добували ацетилен і в промисловості.



Мал. 36. Для ацетиленокисневого зварювання(а) використовують спеціальне обладнання (б)





- ізомери: **A** 1, 4, 5; **B** 1, 2, 3; гомологи: **B** 2, 3, 5; **Г** 1, 4.
- Складіть рівняння реакції приєднання двох молекул гідроген галогеніду до молекули етину.
  - На якій хімічній властивості етину ґрунтується його застосування для зварювання металів?
  - Правильним є твердження, що:  
**A** потрійний зв'язок є сумою трьох одинарних; **B** кальцій карбід пахне ацетиленом; **B** зв'язки C—H у молекулі етину належать до  $\sigma$ -зв'язків; **Г** алкіни горять кіптявим полум'ям; **Г** алкіни й алкени — ізомери; **Д** алкінам властива цис-, транс-ізомерія; **Е** алкіни — насичені вуглеводні.

### Додаткові завдання

- Порівняйте будову молекул етену й етину.
- Як змінюватиметься геометрія молекули етину в результаті його поступового гідрування?
- Наведіть структурні формули і назви ізомерів складу  $C_6H_{10}$ .
- Чим різняться між собою реакції приєднання в алкенів і алкінів? Наведіть приклади.
- Поясніть причину появи слабких кислотних властивостей в етину.
- Обґрунтуйте галузі застосування ацетилену його хімічними властивостями.
- Схарактеризуйте способи добування ацетилену з погляду їх економічності.

## § 9. ВИВЕДЕННЯ МОЛЕКУЛЯРНОЇ ФОРМУЛИ ГАЗУВАТОЇ РЕЧОВИНИ

У 7 класі ви навчилися обчислювати масові частки елементів у речовині за її молекулярною формулою. Співвідношення між відносною атомною масою елемента та відносною молекулярною масою сполуки виражається формулою:

$$w(\text{елемента}) = \frac{A_r(\text{елемента})n}{M_r(\text{речовини})}, \quad (1)$$

де  $n$  — кількість атомів елемента.

Може ставитися й обернена задача: обчислити кількість атомів кожного елемента в молекулі, тобто вивести молекулярну формулу речовини за відомим умістом елементів. Тоді

$$n = \frac{w(\text{елемента})M_r(\text{речовини})}{A_r(\text{елемента})}. \quad (2)$$

Відносну молекулярну масу газуватої речовини можна обчислити, знаючи її відносну густину за іншим газом, наприклад киснем, воднем чи повітрям. Відносна густина визначається як частка від ділення відносної молекулярної маси газу на відносну молекулярну масу відповідно кисню, водню чи повітря:

$$D_{O_2} = \frac{M_r(\text{речовини})}{32}; \quad D_{H_2} = \frac{M_r(\text{речовини})}{2}; \quad D_{\text{пов.}} = \frac{M_r(\text{речовини})}{29}. \quad (3)$$

Звідси можна обчислити шукану відносну молекулярну масу газу:

$$M_r(\text{речовини}) = 2D_{H_2} = 32D_{O_2} = 29D_{\text{пов.}}. \quad (4)$$

**Задача.** Визначте молекулярну формулу газуватого вуглеводню, який містить 80 % Карбону. Відносна густина вуглеводню за воднем становить 15.

$$w(\text{C}) = 80 \% = 0,8$$

$$D_{\text{H}_2} = 15$$

$$n(\text{C}) = ? \quad n(\text{H}) = ?$$

**І спосіб.** Насамперед визначимо відносну молекулярну масу вуглеводню за формулою (4):

$$M_r = 2 \cdot 15 = 30.$$

За формулою (2) визначимо кількість атомів Карбону і Гідрогену. Оскільки сполука — вуглеводень, то частка Гідрогену становить:  $100 \% - 80 \% = 20 \%$ .

$$n(\text{C}) = \frac{0,8 \cdot 30}{12} = 2; \quad n(\text{H}) = \frac{0,2 \cdot 30}{1} = 6.$$

Отже, в молекулі вуглеводню на два атоми Карбону припадають шість атомів Гідрогену. Формула вуглеводню —  $\text{C}_2\text{H}_6$ , відносна молекулярна маса — 30.

**Відповідь:** формула вуглеводню —  $\text{C}_2\text{H}_6$ .

**II спосіб.** Припустимо, що в молекулі вуглеводню міститься  $x$  атомів Карбону та  $y$  атомів Гідрогену. Маса  $x$  атомів Карбону становить  $12x$ , а  $y$  атомів Гідрогену —  $1y$ . Маси карбонових і гідрогенових атомів відносяться між собою, як 80 : 20.

$$12x : y = 80 : 20; \quad x : y = \frac{80}{12} : \frac{20}{1}; \quad x : y = 6,6 : 20.$$

Переходячи до цілих чисел, ділимо обидва члени відношення на найменший із них:

$$x : y = 1 : 3.$$

Отже, в молекулі вуглеводню на один атом Карбону припадають три атоми Гідрогену; так звана найпростіша формула сполуки —  $\text{CH}_3$ . Щоб визначити справжню молекулярну формулу, треба визначити відносну молекулярну масу сполуки за формулою (4):

$$M_r = 2 \cdot 15 = 30.$$

Оскільки  $M_r(\text{CH}_3) = 15$ , то найпростішу формулу треба подвоїти: шукана формула вуглеводню —  $\text{C}_2\text{H}_6$ .



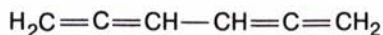
## § 10. БЕНЗЕН

**СКЛАД І БУДОВА МОЛЕКУЛИ.** Молекула бензену має склад  $\text{C}_6\text{H}_6$ . Сполука належить до групи *ароматичних вуглеводнів (аренів)*. Ця назва, як і багато інших в органічній хімії, склалася історично, оскільки перші з добутих сполук цієї групи справді мали приємний запах.

Будова молекули бензену багато років становила теоретичну проблему, жодна із запропонованих структурних формул не відповідала властивостям речовини, що спостерігалися вченими в лабораторії.

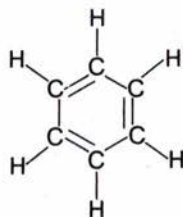


Спробуймо і ми записати структурну формулу цієї сполуки, додержуючись чотиривалентності атомів Карбону. Можливі, наприклад, такі варіанти:



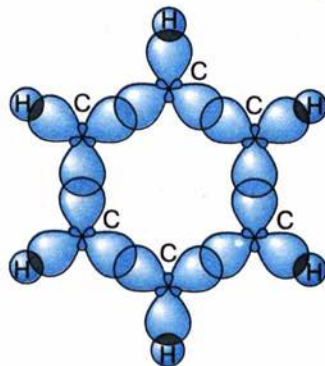
Але ці формули виявляються неприйнятними, оскільки хімічні властивості бензену свідчать про рівноцінність атомів Карбону, а в наведених формулах одні атоми зв'язані простими, інші — кратними зв'язками.

У 1865 р. (через 40 років після визначення елементного складу бензену) німецький учений А. Кекуле запропонував зображати структурну формулу бензену у вигляді шестичленного циклу з атомів Карбону, між якими чергуються прості й подвійні зв'язки:

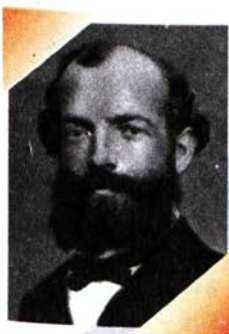


За такої будови очевидно, що всі атоми Карбону є рівноцінними. Проте і ця формула не повністю відповідає хімічним властивостям бензену. Будучи формально ненасиченим, він виявляє певну хімічну інертність. Наприклад, бензен не вступає в типові для ненасичених сполук реакції.

Реальну будову 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 і один — з атомом Гідрогену) за рахунок гібридних електронних орбіталей (мал. 37). Негібридні  $p$ -електронні орбіталі сусідніх атомів Карбону, перекриваючись між собою з обох боків, утворюють спільну  $\pi$ -електронну систему, густина якої локалізована над і під площиною молекули (мал. 38, 39). У цьому разі кажуть



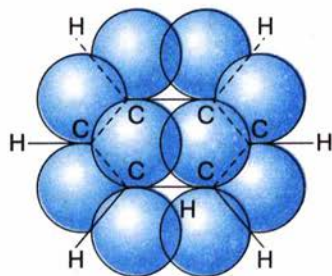
Мал. 37. Схема утворення  $\sigma$ -зв'язків у молекулі бензену



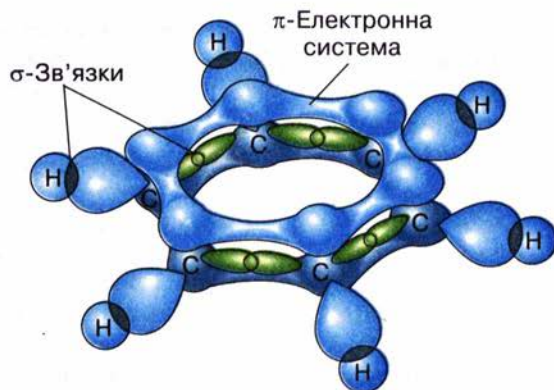
### Фрідріх Август Кекуле

(1829—1896)

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



Мал. 38. Схема перекривання  $p$ -електронних орбіталей у молекулі бензену



Мал. 39. Схема утворення  $\pi$ -електронної системи в молекулі бензену

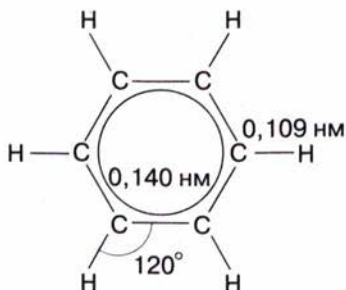
про *спряжену  $\pi$ -електронну систему*, в якій електронна густина рівномірно розподілена (делокалізована) між усіма атомами Карбону. Завдяки цьому  $C-C$ -зв'язки вирівняно, їхня довжина є проміжною між довжинами простих і подвійних зв'язків і становить  $0,140$  нм (їх називають *полуторними* і позначають  $C\text{---}C$ ). Енергія зв'язків дорівнює  $412$  кДж/моль. Валентний кут у молекулі бензену становить  $120^\circ$  (мал. 40, 41).

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

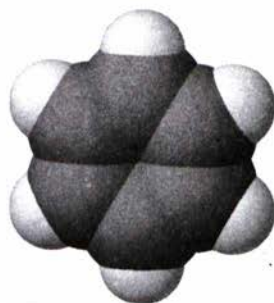


**ФІЗИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ.** За стандартних умов бензен — безбарвна рідина з характерним запахом, температурою кипіння  $80^\circ\text{C}$ , практично нерозчинна у воді, але водночас є розчинником багатьох органічних речовин. У цьому можна переконатися на досліді.

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



Мал. 40. Геометрія молекули бензену



Мал. 41. Модель молекули бензену



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

**ХІМІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ.** Реакції бензену зумовлено наявністю  $\pi$ -електронної системи, що стабілізує ядро.

**Реакція окиснення.** Бензен стійкий проти дії окисників, він не знебарвлює розчин калій перманганату, якщо суміш цього розчину з бензеном збовтати у пробірці. За жорстких умов (каталізатор, висока температура, дія кисню) його все-таки вдається окиснити. Цим бензен нагадує насичені вуглеводні.

У результаті **горіння** бензену утворюються вуглекислий газ і вода:



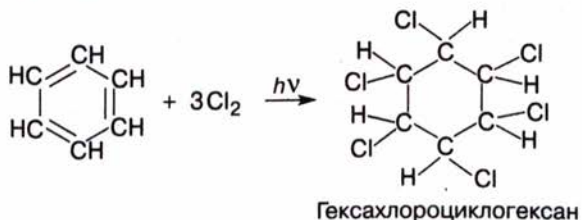
Пригадайте характер горіння метану, етену, етину. В чому полягали відмінності цих реакцій?

Оскільки у складі молекули бензену вміст Карбону значний, то 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 кілька мілілітрів бензену — він справді горить кіптявим полум'ям з утворенням сажі. У кисні бензен згоряє повністю.

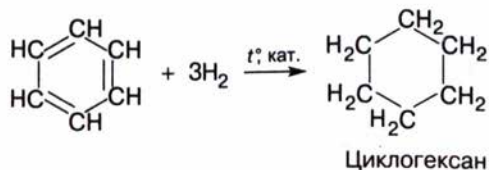
**Реакції приєднання.** Зважаючи на формальну ненасиченість складу бензену, можна припустити, що йому властиві реакції приєднання, наприклад бром.

У пробірку з бензеном добавимо трохи бромної води і суміш збовтаємо. 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 ультрафіолетового випромінювання, можуть приєднатися три молекули хлору, при цьому утворюється гексахлороциклогексан, або гексахлоран, відомий як засіб боротьби зі шкідниками сільськогосподарських культур:

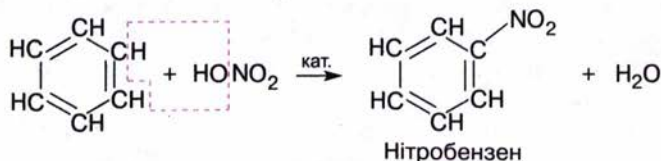


Приєднання водню до бензену відбувається за підвищених температури і тиску та наявності каталізатора. У результаті реакції утворюється циклогексан:

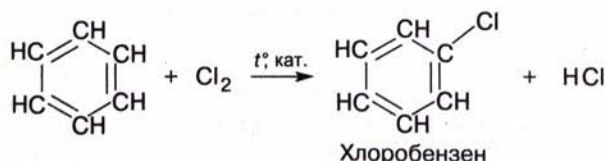


**Реакції заміщення.** Бензен легко вступає в реакції заміщення. До таких реакцій належать реакції нітрування, галогенування та інші.

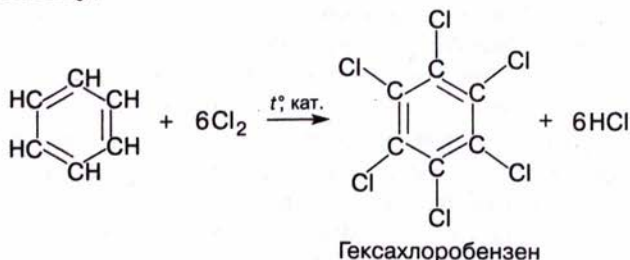
Нітрування бензену відбувається під дією суміші нітратної та сульфатної кислот — так званої *нітрувальної суміші*:



Галогенування бензену за типом заміщення відбувається під дією каталізатора:



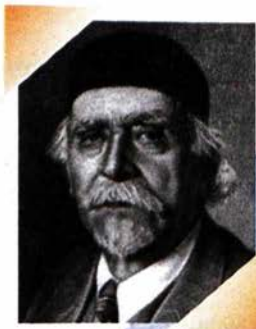
Можуть заміщуватися усі шість атомів Гідрогену з утворенням гексахлоробензену:



Отже, бензен вступає як у реакції заміщення, так і реакції приєднання, причому заміщення відбувається у бензені легше, ніж у насичених вуглеводнях, а приєднання — важче, ніж у ненасичених. Отже, 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 з *нафтопродуктів* за допомогою процесів *ароматизації*, тобто перетворення неароматичних сполук на

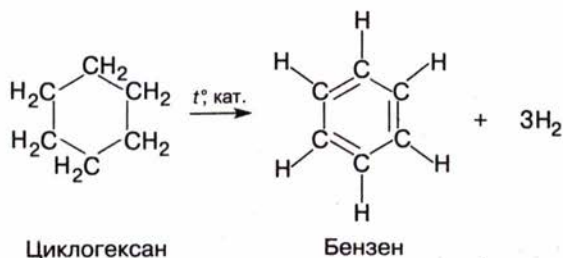
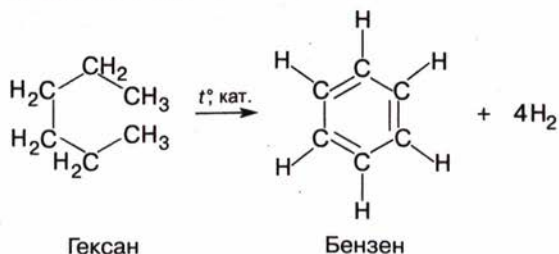


**Микола Дмитрович Зелінський**  
(1861—1953)

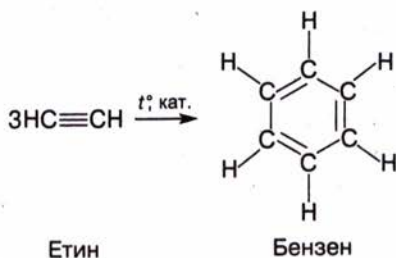
Хімік-органік, академік. Закінчив Новоросійський університет в Одесі, працював там деякий час. Наукові праці стосуються органічного каталізу, хімії амінокислот і білків. Досліджував склад нафти і продуктів її переробки, синтезував чимало органічних сполук, у тім числі бензен з етину. Винайшов вугільний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



ароматичні, наприклад дегідуванням гексану і циклогексану за наявності каталізатора. Процес одночасного дегідування і циклізації називають *дегідроциклізацією*:



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



**ЗАСТОСУВАННЯ.** Бензен є вихідною речовиною для синтезу величезної кількості органічних речовин, серед яких барвники, лікарські засоби, полімери, пестициди, вибухові речовини. Отже, бензен — базова сировина для промислового органічного синтезу. Використовують сполуку і як розчинник.

## Висновки

- Бензен належить до ароматичних вуглеводнів.
- Молекула бензену має форму правильного плоского шестикутника.
- Зв'язки між атомами Карбону рівноцінні; вони є проміжними між простими і подвійними.
- Основні параметри молекули бензену: гібридизація електронних орбіталей атомів Карбону —  $sp^2$ ; види зв'язків —  $\sigma$ - і  $\pi$ -, наявність спряженої  $\pi$ -електронної системи; енергія зв'язків  $\text{C}\equiv\text{C}$  — 412 кДж/моль;

довжина зв'язків  $C \cdots C$  — 0,140 нм;  
валентний кут —  $120^\circ$ .

- $\pi$ -Електронна система стабілізує бензенове ядро.
- Реакційна здатність бензену вища, ніж насичених вуглеводнів, але нижча, ніж ненасичених вуглеводнів.
- Бензену властиві реакції заміщення; за певних умов він вступає в реакції приєднання.
- Промисловим джерелом добування бензену є кам'яне вугілля.
- Бензен є сировиною для виробництва барвників, ліків, вибухових речовин, засобів захисту рослин від шкідників тощо.



### Завдання для самоконтролю.....

1. Чому структуру бензену було з'ясовано лише через 40 років після його відкриття?
2. Поясніть умовність формули Кекуле для бензену.
3. За хімічними властивостями бензен належить ні до насичених, ні до ненасичених вуглеводнів. Чому?
4. Стійкість бензенового ядра проти окисників пояснюється:
  - А** високим вмістом Карбону в молекулі;
  - Б** електронною будовою молекули;
  - В** агрегатним станом бензену;
  - Г** наявністю подвійних зв'язків.
5. На мал. 42 зображено полум'я бензену, метану й етену. Яке зображення відповідає кожній з речовин? Відповідь поясніть.
6. Чи знебарвлює бензен бромну воду? Поясніть чому.
7. Які реакції характерні для бензену? Складіть рівняння реакцій.
8. Для добування 225 г хлорбензену треба затратити хлор об'ємом (н. у.):
  - А** 22,4 л; **Б** 67,2 л; **В** 44,8 л; **Г** 11,2 л.
9. Які з наведених сполук належать до насичених, ненасичених, ароматичних:  $C_6H_{12}$ ,  $C_6H_6$ ,  $C_6H_5Cl$ ,  $C_6H_{14}$ ,  $C_6H_5NO_2$ ?



Мал. 42. Полум'я вуглеводнів



### Додаткові завдання.....

1. Як зміниться хімічна, електронна і просторова будова молекули бензену в результаті його гідрування?
2. Чи повністю відповідає формула Кекуле хімічним властивостям бензену?
3. Поясніть вплив умов на перебіг реакції бензену з хлором.
4. Зробіть висновок про реакційну здатність бензену порівняно з насиченими і ненасиченими вуглеводнями.
5. Складіть рівняння послідовних перетворень: вугілля на бензен; метану на нітробензен.
6. У результаті нітрування бензену, що утворився дегідруванням гексану масою 86 г з виходом 50 %, добули нітробензен масою 98,4 г. Обчисліть вихід нітробензену.



## § 11. ХІМІЧНІ ЗАСОБИ ЗАХИСТУ РОСЛИН

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

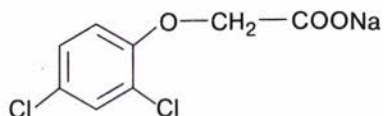
З'ясуйте за словником значення термінів: *гербіциди, зооциди, фунгіциди, інсектициди*.

Якщо суміш бензену і хлору освітити ультрафіолетовим (УФ) промінням, то атоми Хлору приєднуються до бензенового ядра з утворенням сполуки гексахлороциклогексану  $C_6H_6Cl_6$ , що має промислову назву *гексахлоран* (див. с. 61).

Цю сполуку протягом тривалого часу використовували проти бавовникового довгоносика, але останнім часом через токсичність її використання скорочується.

Продукт заміщення шести атомів Гідрогену в бензені на атоми Хлору — *гексахлоробензен*  $C_6Cl_6$  — використовують для протруювання (зnezараження) насіння зернових культур перед висіванням у ґрунт (див. с. 62).

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 кислоти*  $CCl_3COONa$ , *2,2-дихлоропропанової кислоти*  $CH_3CCl_2COONa$  та *2,4-дихлорофеноксиетанової кислоти* (технічна назва 2,4-Д):



2,4-Д

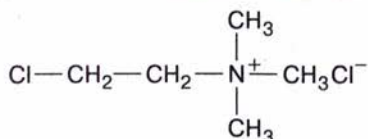
Для зnezараження зерносовищ і проти шкідника винограду філоксери використовують хлоропохідну сполуку *1,2-дихлороетан*  $Cl-CH_2-CH_2-Cl$ . Як пестицид застосовують *гексахлоробутадиєн*  $Cl_2C=CCl-CCl=CCl_2$ .



**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.

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



До хімічних засобів захисту рослин ставлять жорсткі вимоги щодо їхньої безпечності для людини, тварин і загалом для довкілля. Ці сполуки мають легко розкладатися на нешкідливі речовини, щоб після закінчення терміну 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 додержувати, використовуючи різні хімічні засоби в побуті?
2. Чому, на вашу думку, не слід використовувати на присадибних ділянках несертифіковані хімічні засоби захисту рослин?
3. Як отрутохімікат використовують сполуку  $\text{Cl}_2\text{C}=\text{CCl}-\text{CCl}=\text{CCl}_2$ . Як, на вашу думку, реагуватиме ця сполука з воднем? Напишіть рівняння реакції.
4. Схарактеризуйте значення хімічних засобів захисту рослин для сільського господарства. Які речовини використовують з цією метою у вашій місцевості?

## § 12. ВЗАЄМОЗВ'ЯЗОК І ВЗАЄМОПЕРЕТВОРЕННЯ ВУГЛЕВОДНІВ

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

◆ Напишіть загальні формули гомологів метану, етену, етину.

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 і хімічної будови молекул.

◆ Наведіть конкретні приклади цієї залежності, підтвердіть їх фізичними константами речовин та хімічними реакціями.

За складом молекул вуглеводні різних груп різняться між собою кількістю атомів Гідрогену, що припадають на певну кількість атомів Карбону. Отже, внаслідок 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 карбіду можна отримати етин, а з нього — бензен, останній переробити на інші сполуки.

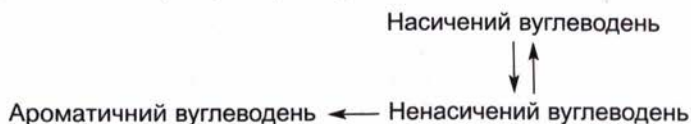
Складіть рівняння цих хімічних перетворень.

Ці приклади засвідчують генетичний взаємозв'язок між вуглеводнями, а також між органічними та неорганічними речовинами. Знання цих взаємозв'язків уможливило добування багатьох цінних сполук за допомогою хімічного синтезу.



### Завдання для самоконтролю.....

- Складіть формули ізомерів та кількох гомологів бутану.
- Напишіть рівняння реакцій за схемою:



- Чим зумовлена структурна ізомерія вуглеводнів? Наведіть приклади.
- Напишіть структурні формули речовин наведеного складу. Згрупуйте речовини-гомологи:

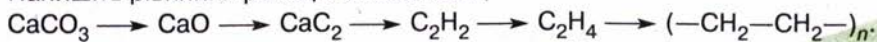


- Наведені речовини



**A** гомологи; **B** ізомери; **B** ні ізомери, ні гомологи.

- Напишіть рівняння реакцій за схемою:



Зробіть висновок про взаємозв'язок неорганічних та органічних речовин.

## ПРИРОДНІ ДЖЕРЕЛА ВУГЛЕВОДНІВ



Наприкінці вивчення теми ви зможете:

- назвати природні джерела вуглеводнів, їхній хімічний склад;
- пояснити суть основних процесів переробки нафти й кам'яного вугілля: перегонки, крекінгу, коксування;
- описати продукти переробки нафти і кам'яного вугілля;
- схарактеризувати детонаційну стійкість бензину;
- розкрити вплив вуглеводнів на довкілля;
- засвоїти терміни: *супутній нафтовий газ, нафтова фракція, ректифікація, крекінг, коксування, коксовий газ, кам'яновугільна смола.*

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 і 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 і разом із тим експлуатувати вже відкриті так, щоб максимально вилучати з них копалини і раціонально, з найбільшою користю переробляти їх.

Неважко зрозуміти, що доцільніше піддавати нафту, вугілля і 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 і 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) в надрах планети виділялися газоваті вуглеводні, зокрема метан і етин, а під дією нагрівання, радіації та каталізаторів із цих сполук утворювалися інші сполуки, 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 описаний процес у лабораторії і добув суміш вуглеводнів, подібну до нафти.

- ◆ Назвіть найбільші у світі родовища горючих корисних копалин. Покажіть їх на мапі.

## § 13. ПРИРОДНИЙ ГАЗ

Газуватими за стандартних умов є вуглеводні з низькими відносними молекулярними масами, саме вони і 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. 43).

- ◆ Пригадайте, що таке болотний газ, рудниковий газ.
- ◆ На теренах України є родовища природного газу. Назвіть їх.

У товщі земної кори природний газ перебуває у стисненому стані. Крізь свердловини газ під тиском виходить на поверхню. Спрямувавши газ у газопровід, його можна транспортувати на великі відстані (мал. 44).

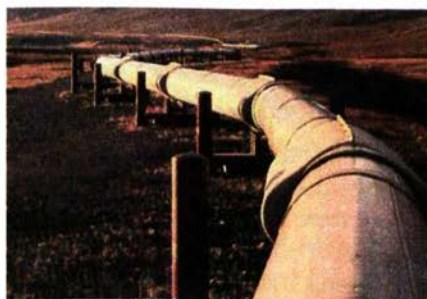
З газопроводів газ потрапляє на заводи і в житлові приміщення, де його використовують як паливо. В Україні триває газифікація населених пунктів. Використання газу в побуті замість дров і кам'яного вугілля є поступом, хоча при цьому також згоряють цінні речовини.

- ◆ 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 кок-



Мал. 43. Полум'я природного газу в природних умовах



Мал. 44. Ділянка газопроводу

сом, утворює карбон(II) оксид, останній відновлює оксиди Феруму. Під час виробництва сталі мартенівським способом природний газ використовують як джерело теплоти. З цієї самою метою його застосовують й у 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.

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

**СУПУТНИЙ 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 легких вуглеводнів, хоча на відміну від природного газу містить менше метану — до 40 % і більше — його гомологів та інших газів (табл. 7).

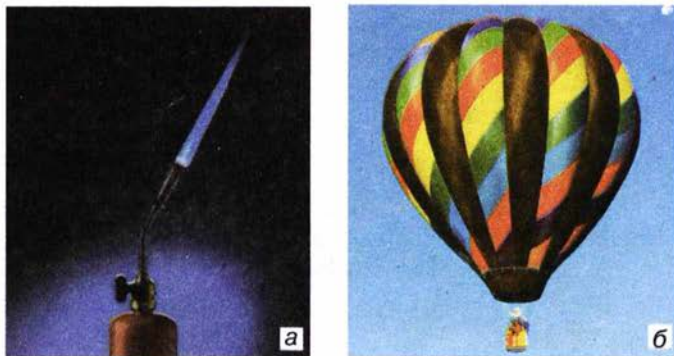
Таблиця 7

**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—40	60—70	Газовий бензин (пентан, гексан) — добавка до бензинів Пропан-бутанова суміш — паливо Сухий газ (метан) — паливо, сировина для органічного синтезу

Суміш газів розділяють і використовують як паливо і як хімічну сировину. Суміш пропану і бутану скраплюють і зберігають під тиском у балонах (мал. 45). Це дає змогу транспортувати газ у місця, що не під'єднані до мережі газопроводів. Японія, що не має власних родовищ природного газу, 90 % необхідної його кількості отримує в скрапленому вигляді.





Мал. 45. Використання скрапленого природного газу:  
а — горіння балонного газу; б — повітрям, нагрітим унаслідок спалювання газу, наповнюють повітряні кулі

### Завдання для самоконтролю.....

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

## § 14. НАФТА І ПРОДУКТИ ЇЇ ПЕРЕРОБКИ

**СКЛАД І ВЛАСТИВОСТІ НАФТИ.** За фізичними властивостями нафта — це густа оліїста рідина зі специфічним запахом, темно-бурого чи чорного кольору, легша за воду і 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 5000 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 з метою гідроізоляції. Нафтопродукти використовувала стародавня медицина у вигляді мазей, для бальзамування мумій тощо. Стародавні шумери застосовували нафтовий бітум як будівельний матеріал, у Китаї нафту використовували з військовою метою.

Нафта була складовою відомого в стародавні часи так званого грецького вогню, що займався від контакту з водою і спалив не один військовий корабель. Погасити цей вогонь можна було тільки піском (мал. 46).



Мал. 46. Грецький вогонь у дії (з візантійської хроніки XI ст.)

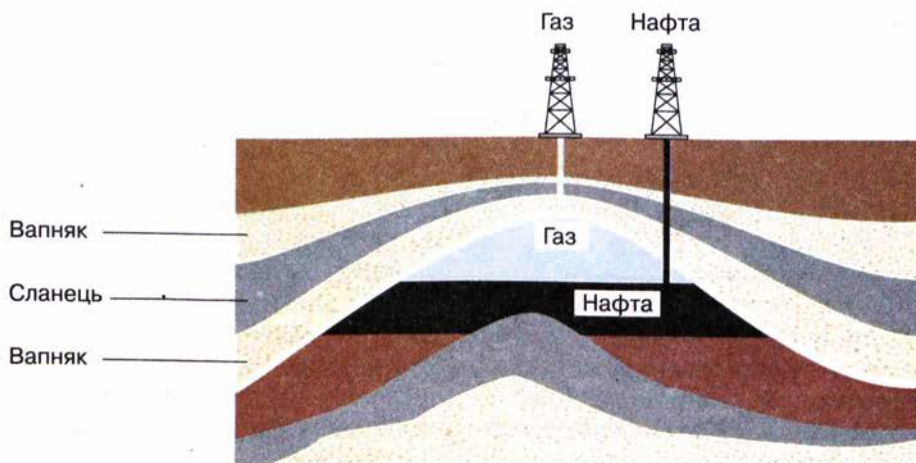
♦ Як ви думаєте, чому? Пригадайте умови гасіння полум'я.

Нафту видобувають із надр Землі через свердловини (мал. 47). 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 (мал. 48). З районів видобутку до місць переробки нафту транспортують суходелом (у залізничних цистернах), морем чи річкою (у танкерах) або перекачують по нафтопроводах.

Запаси нафти є не лише на суходолі, а й під морським дном. Бурові нафтові установки в морі встановлюють на спеціальних платформах (мал. 49).

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



Мал. 47. Геологічний розріз нафтоносної місцевості





Мал. 48. Видобування нафти біля м. Борислава Львівської області



Мал. 49. Видобування нафти з платформи в морі

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

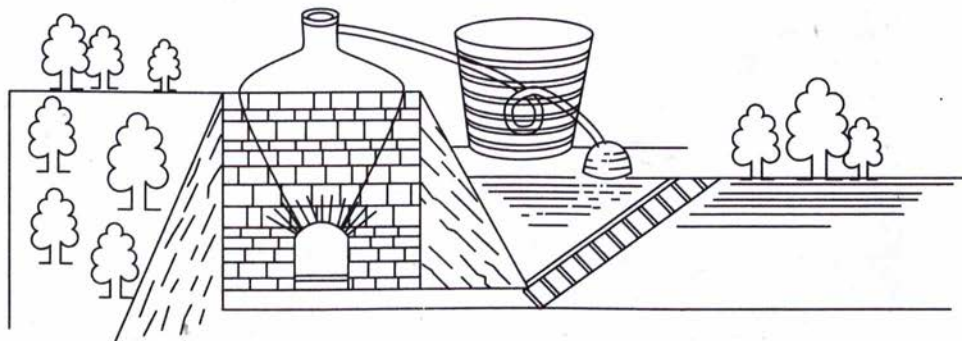
Цей процес можна відтворити в лабораторії. Нагріємо нафту в колбі з приєднаним водяним холодильником (мал. 50). При цьому низькокиплячі її компоненти переходять у газуватий стан, охолоджуються, конденсуються. Подальшим нагріванням до вищої температури можна виділити іншу фракцію і т. д.

На виробництві перегонку нафти здійснюють в установці безперервної дії, що складається з печі для нагрівання сирової нафти, ректифікаційної колони (від лат. *rectificatio* — випрямлення) і холодильника (мал. 51, 52).

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

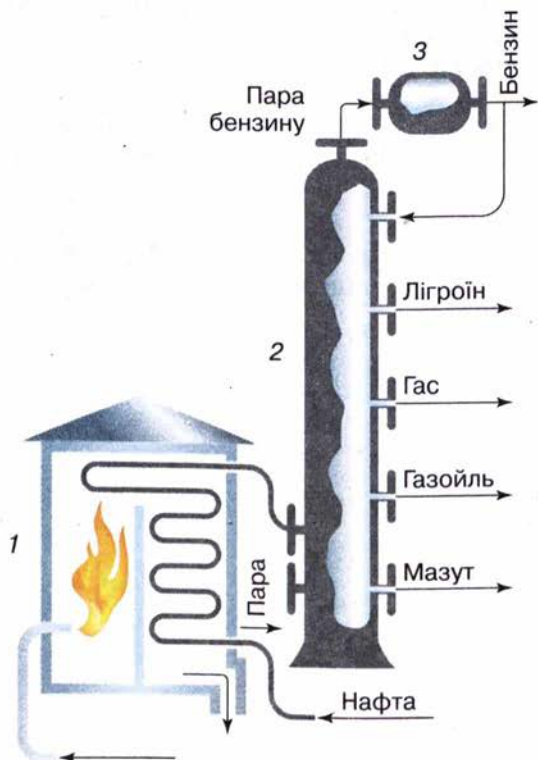


Мал. 50. Перегонка нафти в лабораторії



Мал. 51. Схема нафтопереробної установки (1823 р., Росія)

Нафта нагрівається, проходячи змійовиком, розміщеним у печі, яка опалюється мазутом або газом. Після цього рідину (частково в суміші з паром) направляють до сталеві ректифікаційної колони (мал. 52, 53). Усередині цієї колони розміщено декілька десятків полиць, або так званих тарілок, — це горизонтальні перегородки з отворами (мал. 54).



Мал. 52. Схема промислової установки для перегонки нафти:  
1 — піч; 2 — ректифікаційна колони;  
3 — холодильник



Мал. 53. Промислові ректифікаційні колони



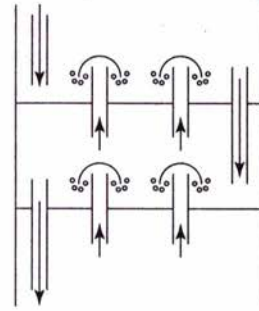
Нафтові фракції випаровуються, проходять крізь отвори вгору колони, де охолоджуються й конденсуються, причому менш леткі — на нижніх тарілках, а більш леткі — на верхніх. Отже, залежно від температур кипіння на різних рівнях скраплюються різні нафтові фракції і відразу ж відводяться з колони по трубах.

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 і тим самим запобігти розкладу речовин. Урешті-решт залишається гудрон, що є цінним будівельним матеріалом (табл. 8).

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

Разом із тим є способи переробки нафти, під час яких відбуваються хімічні реакції зі зміною складу і будови компонентів нафти. Ці способи ми розглянемо нижче.

**КРЕКІНГ НАФТОПРОДУКТІВ.** Серед продуктів перегонки нафти в минулому столітті в побуті 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 усе більшої кількості пального для двигунів. Зрослі потреби не задовольнялися перегонкою нафти, в результаті якої залишається значна частина продуктів з високими температурами кипіння. Проблему було розв'язано завдяки



Мал. 54. Схема будови ректифікаційної колони

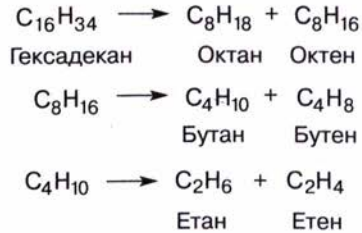
Таблиця 8

### 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	Паливо для дизельних двигунів і котлоустановок
Мазут	Залишок перегонки		Переробка на мастила, котельне паливо, вазелін, гудрон

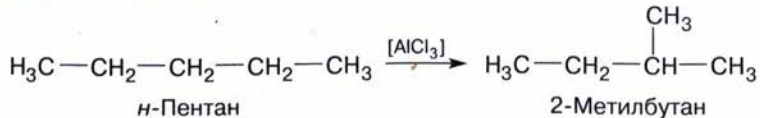
переробці висококиплячих фракцій на низькокиплячі, що становлять основу атомобільного пального.

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 за наявності каталізатора (каталітичний крекінг), що дає змогу дещо знизити температуру процесу і 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.

**ЗАСТОСУВАННЯ НАФТОПРОДУКТІВ.** Нафта відіграє надзвичайно велику роль у житті людства, в розвитку цивілізації. Насамперед це одне з найпотужніших і найпоширеніших джерел енергії, що вивільняється внаслідок спалювання нафтопродуктів. Крім того, хімічною переробкою з нафти добувають безліч речовин, що їх використовують, без перебільшення, скрізь, куди поглянемо.

У результаті хімічної переробки чорна оліїста рідина перетворюється на волокна і пластмаси, запашні й вибухові речовини, ліки і барвники. Недаремно 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. 55).

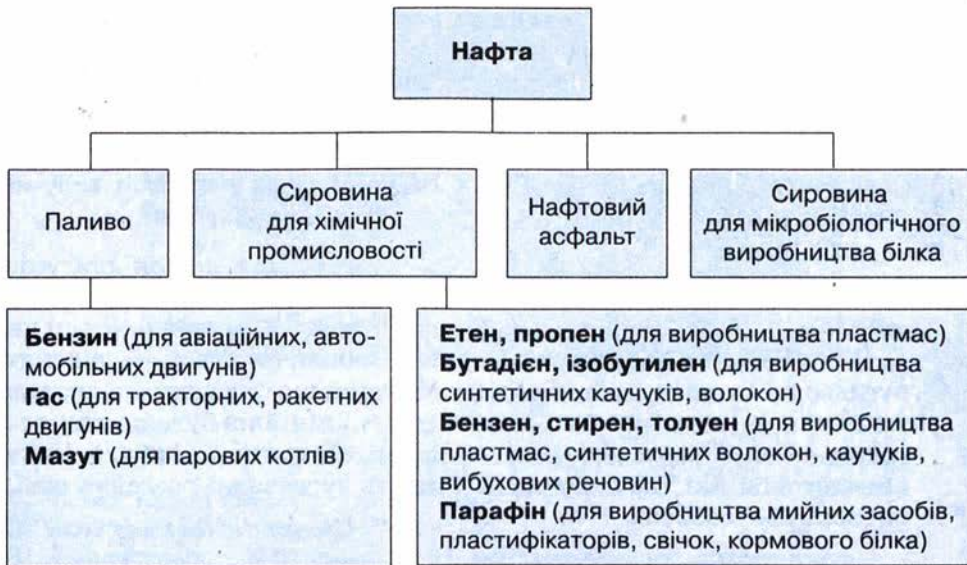
♦ Схарактеризуйте застосування нафтопродуктів за схемою 1.

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

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



## Застосування нафтопродуктів



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

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

На думку фахівців, проблема переробки кам'яного вугілля на пальне неодмінно постане перед промисловістю України, в якій недо-



Мал. 55. Загальний вигляд сучасного нафтопереробного заводу







Мал. 57. Автозаправна станція

### Завдання для самоконтролю.....

1. Чи має нафта хімічну формулу? Чому?
2. Який хімічний склад нафти?
3. Які властивості нафти зумовили її використання в 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 і широкому використанню нафти?
8. Назвіть дві основні галузі застосування нафти.
9. У чому полягає сенс відомого висловлювання Д. І. Менделєєва про те, що спалювати природне паливо все одно, що палити асигнаціями?
10. Складіть розповідь про використання метану й водню у двигунах автомобілів.

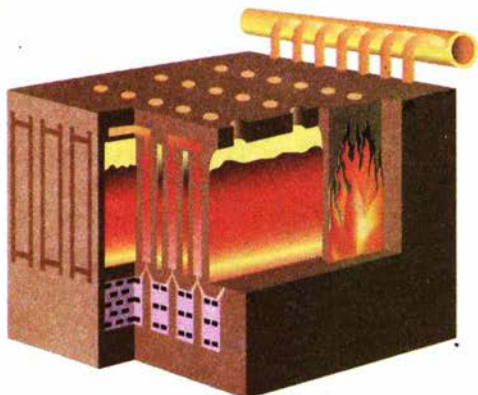
## § 15. КАМ'ЯНЕ ВУГІЛЛЯ І ПРОДУКТИ ЙОГО ПЕРЕРОБКИ

Кам'яне вугілля, як і нафта, не є індивідуальною речовиною. 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 величезної кількості цінних речовин.

Унаслідок нагрівання кам'яного вугілля в коксовій печі до 1000 °С без доступу повітря воно перетворюється на **кокс**. Цей продукт на 96—98 % складається з вуглецю. Основні галузі його застосування — металургія та хімічна промисловість.

Пригадайте, які процеси відбуваються з коксом у доменній печі.



Мал. 58. Схема будови коксової печі

Коксова піч побудована з довгих вузьких камер, розділених вертикальними опалювальними каналами. У камеру через верхні отвори завантажують подрібнене вугілля (мал. 58). Кілька десятків таких камер утворюють батарею коксових печей. В опалювальних каналах камер згоряє 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.

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

Схема 2

### Продукти коксування кам'яного вугілля



Кам'яновугільна смола є багатим джерелом різноманітних речовин: з неї їх виділено близько 500. Шляхом переробки та хімічної обробки кам'яновугільної смоли добувають ароматичні вуглеводні: толуен, нафтаден, піридин, антрацен, феноли, інші цінні речовини.

Кам'яновугільну смолу й коксовий 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 цих продуктів, що уможливило їхнє багатотоннажне виробництво. Отже, кам'яне вугілля — цінна хімічна сировина, яку вигідніше переробляти, ніж спалювати.



### Лабораторний дослід 2.

### 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 кам'яного вугілля?
2. Схарактеризуйте продукти коксування кам'яного вугілля за схемою 2. Де їх використовують?
3. Як саме переробка кам'яного вугілля пов'язана з розвитком синтетичної органічної хімії?
4. Теплота згорання вугілля (у 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.



## § 16. 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 низку проблем щодо виживання людства. З'ясуємо це.

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

Вбирання і випромінювання енергії вуглекислим газом та іншими речовинами створює *парниковий ефект*. Можна стверджувати, що ми живемо в умовах парникового ефекту, і це відповідає нормальному стану атмосфери, комфортному для нас. Проте посилення цього ефекту може мати згубні наслідки, а саме: глобальне підвищення температури й у зв'язку з цим — зміна 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». Із кораблів розпилюють краплі 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?

Крім парникового ефекту в результаті переробки і використання горючих корисних копалин атмосфера забруднюється шкідливими речовинами, такими як карбон(II) оксид  $\text{CO}$  (унаслідок неповного згоряння пального у двигунах), сульфур(IV) оксид  $\text{SO}_2$  (утворюється із сірки, що міститься у вугіллі, бензині, поліметалічних рудах), метан  $\text{CH}_4$  (витікання газу), сірководень  $\text{H}_2\text{S}$  (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. 59). При цьому крім наявних у повітрі забруднювачів додатково утворюються нітроген(IV) оксид та 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 спостерігали в Лос-Анджелесі, де багато сонця та автомобілів.

Крім того, під час згоряння пального утворюється дим, у якому містяться дрібні часточки вуглецю і твердих вуглеводнів, що не згоріли, а також сполуки Кадмію, Плюмбуму, Меркурію та інших елементів, надзвичайно шкідливі для здоров'я.

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

Як можна позбутися забруднювачів довкілля, що утворюються в результаті використання палива? По-перше, можна ощадливо



Мал. 59. Фотохімічний смог над містом



використовувати ці продукти і 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 теплових електростанціях та бензину в 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 (мал. 60).



Мал. 60. Вітрові турбіни — альтернативне джерело енергії

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



### Лабораторний дослід 3.

### 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 і 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 розширення площ зелених насаджень 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?



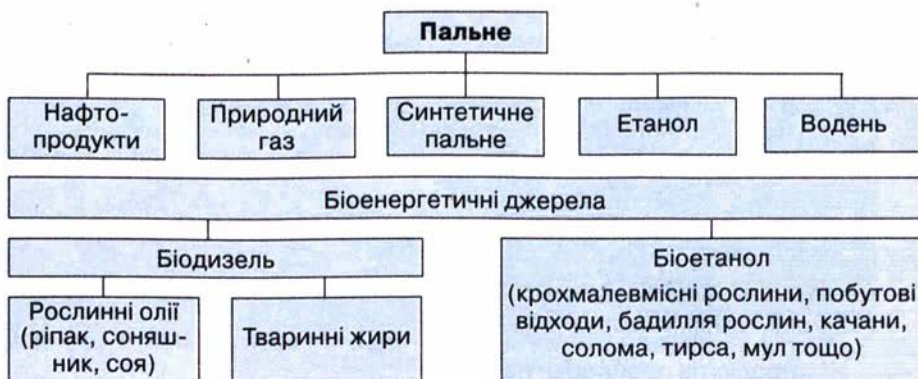
### Додаткові завдання.....

1. Природний газ, кам'яне вугілля, нафта належать до «енергохімічних ресурсів». Як ви розумієте цей термін?
2. Чому, на вашу думку, в побуті віддають перевагу паливу у вигляді кам'яного вугілля над дровами, природному газу — над вугіллям, електричному струму — над газом? Як це узгоджується з даними, наведеними на мал. 61?
3. Чому важливо знати походження нафти? Як це пов'язано з дефіцитом нафтопродуктів?
4. Як позначається густина нафти на екологічній безпеці під час її транспортування, зокрема, водним шляхом?
5. Чому, на вашу думку, можна добувати з нафти таку велику кількість речовин?
6. Які зміни відбулися в житті останніх поколінь у результаті використання продуктів переробки нафти?



Мал. 61. Частки різних джерел у загальній кількості енергії, яку споживає людство

- Природний газ — екологічно безпечніше паливе порівняно з бензином. Чому? Яке значення має його використання в автомобілях замість бензину?
- Які, на вашу думку, перспективи використання альтернативних джерел енергії?
- Поясніть значення екологічного контролю за роботою двигунів автомобілів.
- Коефіцієнт корисної дії автомобіля становить 25 % (тобто паливе використовується на 25 %). На що, на вашу думку, даремно затрачаються 75 % енергії пального?
- 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?
- 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?
- Поцікавтеся, звідки надходить паливо у вашу місцевість, з яких родовищ. Знайдіть їх на мапі.
- 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 довідниковою літературою, який ізомер цетану є етаном дизельного пального.
- Розгляньте й проаналізуйте схему. Які існують альтернативні джерела виробництва пального? Користуючись додатковими джерелами інформації, підготуйте повідомлення про переваги й недоліки замінників традиційних видів пального.





16. Розгляньте таблицю 9 і проаналізуйте склад деяких видів палива.

Таблиця 9

**Склад деяких видів палива**  
(усереднені дані)

Вид палива	Склад горючої маси, %				Волога, %	Зола, %
	C	H	O+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

Дайте відповіді на запитання:

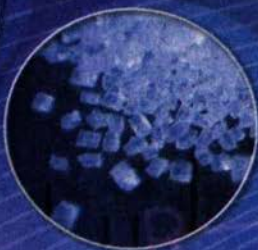
- які продукти утворюються в результаті спалювання палива різних видів;
- які складники палива спричиняють негативний вплив на довкілля;
- які переваги й недоліки використання різного палива?

Запропонуйте варіанти зменшення шкоди, що завдає спалювання горючих матеріалів.

За даними таблиці 9 складіть кілька запитань і розрахункових задач. Запропонуйте їх однокласникам.

17. «У Кіото лідери країн домовилися про скорочення викидів вуглеводу до 2010 року на 5,2 % порівняно з 1990 роком» (З газети). «Кошти, що їх планується використати для скорочення викидів вуглецю, могли б піти на фінансування наукових досліджень технологічних альтернатив» (там само). Знайдіть хімічні помилки в цих повідомленнях і запропонуйте своє формулювання.
18. Складіть самостійно загальні висновки до розділу «Природні джерела вуглеводнів» (за зразком рубрики «Висновки» до попередніх розділів).

# ОКСИГЕНОВМІСНІ СПОЛУКИ







## ✓ СПИРТИ І ФЕНОЛ



## ✓ АЛЬДЕГІДИ І КАРБОНОВІ КИСЛОТИ



## ✓ ЕСТЕРИ. ЖИРИ



## ✓ ВУГЛЕВОДИ

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

◆ Розгляньте таблицю і пригадайте, що таке функціональна (характеристична) група.

### Оксигеновмісні органічні сполуки

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



## СПИРТИ І ФЕНОЛ



Наприкінці вивчення теми ви зможете:

- назвати спирти за правилами номенклатури;
- скласти формули спиртів за їхніми назвами та назви — за формулами;
- скласти формули структурних ізомерів;
- схарактеризувати водневі зв'язки;
- пояснити електронну будову спиртів і фенолу;
- описати фізичні властивості сполук;
- пояснити реакційну здатність спиртів і фенолу;
- записати рівняння реакцій окиснення, заміщення, дегідратації;
- пояснити електронну суть взаємного впливу атомів у молекулах спиртів і фенолу;
- пояснити дію етанолу на організм людини;
- розповісти про методи добування сполук та їхнє застосування;
- класифікувати спирти;
- засвоїти терміни: *первинні, вторинні, третинні спирти, діоли, тріоли, внутрішньо- й міжмолекулярна дегідратація, ректифікат, антифриз.*

## § 17. НАСИЧЕНІ ОДНОАТОМНІ СПИРТИ

**СКЛАД І БУДОВА МОЛЕКУЛ.** Як вам уже відомо, наявність у молекулі однієї або кількох функціональних *гідроксильних груп*, сполучених з вуглеводневою групою, є ознакою класу органічних речовин, які називають **спиртами**. Насичені одноатомні спирти можна розглядати як сполуки, похідні насичених вуглеводнів (алканів), у яких один атом Гідрогену заміщений на гідроксильну групу. Міжнародна назва цих сполук — *алканоли*, іноді застосовують тривіальну назву — алкогोलі.

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 залишок насиченого вуглеводню й одну гідроксильну групу, а також триатомний спирт **гліцерол**.

Пригадаймо їхні формули:  $\begin{array}{c} \text{H} \\ | \\ \text{H}-\text{C}-\text{OH} \\ | \\ \text{H} \end{array}$ , або скорочено  $\text{CH}_3-\text{OH}$   
Метанол

$\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \\ | \quad | \\ \text{H}-\text{C}-\text{C}-\text{OH} \\ | \quad | \\ \text{H} \quad \text{H} \end{array}$ , або скорочено  $\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{OH}$   
Етанол

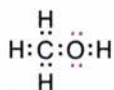
$\begin{array}{c} \text{CH}_2-\text{OH} \\ | \\ \text{CH}-\text{OH} \\ | \\ \text{CH}_2-\text{OH} \end{array}$   
Гліцерол



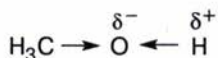
Залежно від того, з яким атомом Карбону сполучена гідроксигрупа — одно-, дво- чи тризаміщеним, — спирти поділяють на *первинні*, *вторинні* й *третинні*:



У зовнішньому електронному шарі атома Оксигену містяться шість електронів:  $2s^2 2p^4$ , з яких два утворюють зв'язки з атомами Карбону і Гідрогену, а чотири — дві вільні електронні пари. Наявність вільних електронних пар у атома Оксигену позначають в електронних формулах спиртів:



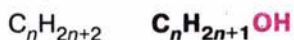
Зв'язок O—H поляризований, оскільки атом більш електронегативного Оксигену відтягує до себе електронну густину зв'язку. Внаслідок поляризації на атомі Гідрогену виникає частковий позитивний заряд, а на атомі Оксигену — частковий негативний:



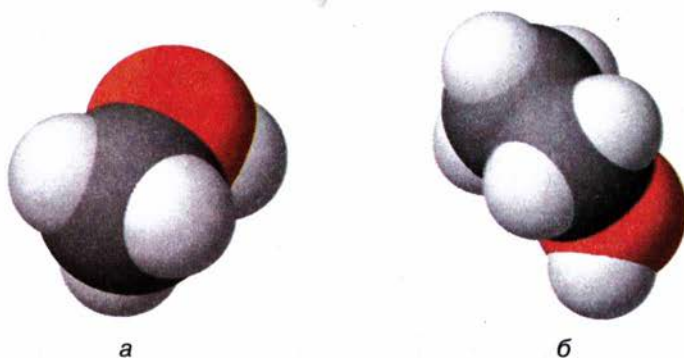
Полярність зв'язку впливає на властивості спиртів.

**ГОМОЛОГІЧНИЙ РЯД.** Метанол розпочинає гомологічний ряд насичених одноатомних спиртів. Константи гомологів наведено в табл. 10. Моделі молекул метанолу й етанолу зображено на мал. 62.

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**.



Мал. 62. Моделі молекул метанолу (а) та етанолу (б)

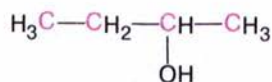
## Характеристики насичених одноатомних спиртів

Назва	Формула		Температура, °С		Густина, г/см <sup>3</sup>	Розчинність, г/100 г Н <sub>2</sub> О
	молекулярна	скорочена структурна	плавлення	кипіння		
Метанол	CH <sub>3</sub> OH	CH <sub>3</sub> —OH	-94,0	64,5	0,792	Необмежена
Етанол	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH	CH <sub>3</sub> —CH <sub>2</sub> —OH	114,0	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	-127,0	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	-52,0	157,0	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	-34,0	176,0	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	-17,0	194,0	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	-5,0	215,0	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	7,0	230,0	0,829	»

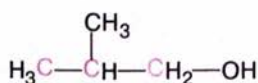
**ІЗОМЕРІЯ. НОМЕНКЛАТУРА.** Насиченим одноатомним спиртам властива *структурна ізомерія*, зумовлена будовою карбонового скелета і положенням гідроксильної групи. Для спирту складу C<sub>4</sub>H<sub>9</sub>OH можливі такі ізомери:



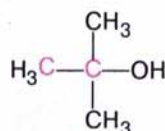
(1)



(2)



(3)



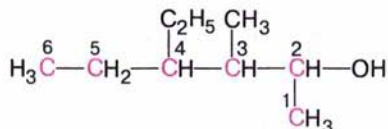
(4)

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, найближчого до гідроксильної групи; перед назвою вказати місце і назви алкільних замісників у алфавітному порядку; після назви головного ланцюга цифрою позначити місце гідроксильної групи і додати суфікс *-ол*.

Наприклад: 4-етил-3-метилгексан-2-ол



Складіть назви ізомерів бутанолу (с. 90). Визначте серед них первинний, вторинний і третинний спирти.

**ФІЗИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ. ВОДНЕВИЙ ЗВ'ЯЗОК.** Насичені одноатомні спирти — рідкі або кристалічні (вищі спирти) речовини, безбарвні, зі специфічним спиртовим запахом.

Серед спиртів, на відміну від вуглеводнів, немає газуватих речовин. Температури плавлення і кипіння спиртів значно вищі, ніж вуглеводнів з майже такою самою відносною молекулярною масою (табл. 11).

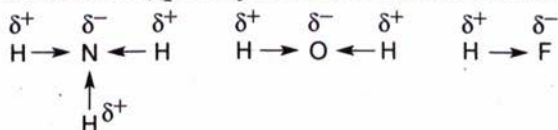
Таблиця 11

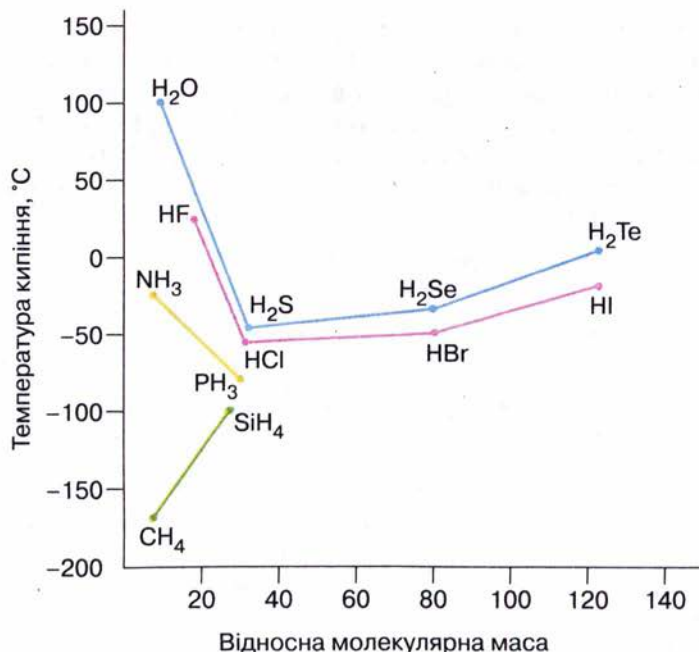
### Температури кипіння вуглеводнів і спиртів

Формула вуглеводню	$t_{\text{кип}}^{\circ}, ^{\circ}\text{C}$	Формула спирту	$t_{\text{кип}}^{\circ}, ^{\circ}\text{C}$
$\text{C}_2\text{H}_6$	-89,0	$\text{CH}_3\text{OH}$	64,5
$\text{C}_3\text{H}_8$	-42,0	$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$	78,4
$\text{C}_4\text{H}_{10}$	-0,5	$\text{C}_3\text{H}_7\text{OH}$	97,4
$\text{C}_5\text{H}_{12}$	36,0	$\text{C}_4\text{H}_9\text{OH}$	117,4
$\text{C}_6\text{H}_{14}$	69,0	$\text{C}_5\text{H}_{11}\text{OH}$	137,8

Таку відмінність температур можна пояснити наявністю додаткової взаємодії між молекулами спирту. Щоб з'ясувати природу цієї взаємодії, звернемося до неорганічної хімії і розглянемо температури кипіння сполук Гідрогену з деякими елементами IV—VII груп Періодичної системи (мал. 63). Зверніть увагу, що зі збільшенням відносної молекулярної маси цих сполук їхні температури кипіння підвищуються. Виняток становлять гідроген флуорид, вода та амоніак, константи яких дуже відрізняються від констант сполук сусідніх елементів у підгрупі. Маючи найнижчі відносні молекулярні маси, вони мають найвищі температури кипіння, тобто молекули цих сполук міцніше зв'язані між собою. Чому?

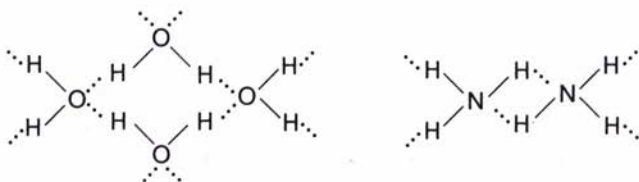
Зв'язки між атомами Гідрогену й електронегативними атомами N, O, F поляризовані, на атомах Гідрогену виникає частковий позитивний заряд:



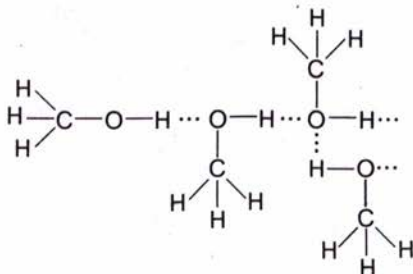


Мал. 63. Залежність температур кипіння сполук неметалічних елементів з Гідрогеном від їхньої відносної молекулярної маси

За рахунок притягання позитивно зарядженого атома Гідрогену однієї молекули і 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:

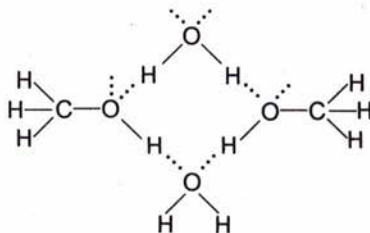




Водневий зв'язок належить до слабких зв'язків, його енергія становить близько 20 кДж/моль (порівняйте з енергією ковалентних зв'язків). Однак для того щоб рідина, в якій молекули асоційовані за рахунок водневих зв'язків, перетворилася на пару (закипіла), потрібно затратити додаткову енергію на руйнування цих зв'язків.

Отже, порівняно високі температури кипіння спиртів (а також води, амоніаку, гідроген флуориду) пояснюються наявністю водневих зв'язків між їхніми молекулами.

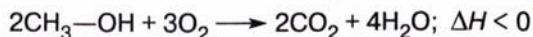
Внаслідок утворення водневих зв'язків між молекулами води і спиртів останні розчиняються у воді:



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.

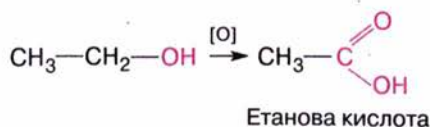
У цьому можна перекопатися на досліді. У чотири пробірки з водою добавимо метанол, етанол, бутанол, пентанол в однакових об'ємах. Спостерігаються повне розчинення перших двох спиртів і значно менша розчинність двох інших.

**ХІМІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ.** Реакції повного і часткового окиснення. Як і всі органічні речовини, спирти горять з виділенням теплоти. Підпалимо зразки метанолу, етанолу, пропанолу, пентанолу в порцелянових чашках. Помітна відмінність у характері горіння спиртів: від майже несвітлого 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 кислому середовищі, при цьому утворюються карбонові кислоти:

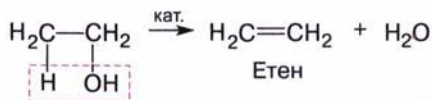


**Реакції заміщення.** Оскільки електронна густина зв'язку  $\text{O} \leftarrow \text{H}$  зміщена до Оксигену, можна припустити, що для спиртів можливі реакції з відщепленням Гідрогену. Проте проба спирту на електропровідність дає негативний результат; практично не спостерігається й





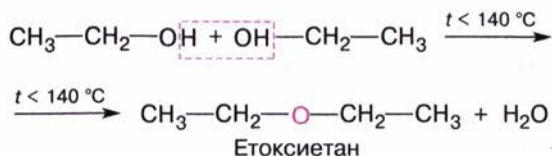
**Реакція дегідратації.** Перебіг цієї реакції визначається зовнішніми умовами. Якщо етанол нагрівати до температури понад  $170\text{ }^{\circ}\text{C}$  із сильною кислотою, наприклад концентрованою сульфатною, або пропускати пару спирту над каталізатором ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), то відбуватиметься реакція *внутрішньомолекулярної дегідратації* з утворенням етену:



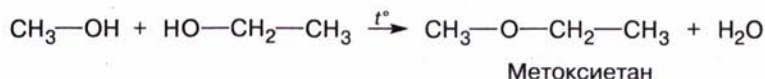
Складіть рівняння реакції дегідратації пропанолу. Назвіть речовину, що утворюється.

Якщо ж температура нагрівання не перевищує  $140\text{ }^{\circ}\text{C}$  і спирт узято в надлишку, то відбувається *міжмолекулярна дегідратація* з утворенням сполуки, що належить до класу **етерів** загальної формули  $\text{R}-\text{O}-\text{R}'$ .

З етанолу утворюється *етоксиетан*:

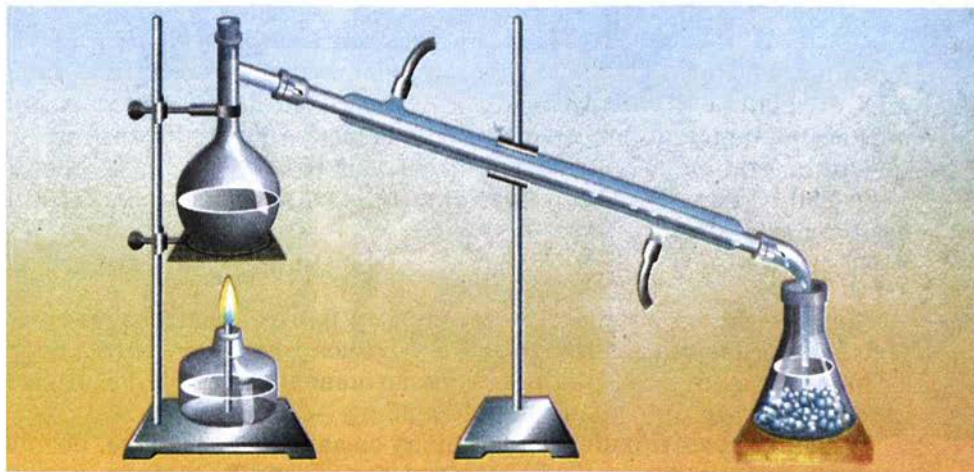


Якщо ж реагує суміш спиртів, наприклад метанолу та етанолу, то утворюється несиметричний етер — *метоксиетан*:

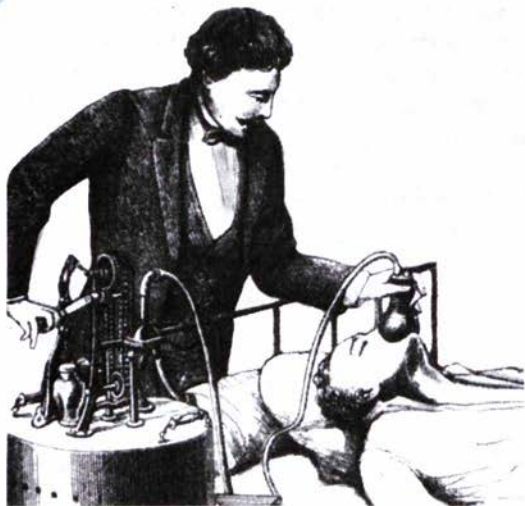


У результаті цієї реакції утворюються також два симетричних етери. Складіть відповідні рівняння реакцій.

Із середини XIX ст. етоксиетан (у медицині використовують термін «медичний ефір») відомий як засіб для знеболення (мал. 65). Першу операцію



Мал. 64. Добування бромоетану в лабораторії



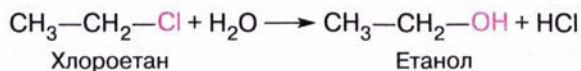
Мал. 65. Анестезія медичним ефіром (1885 р.)

під ефірним наркозом провів бостонський хірург Дж. Уоррен у 1846 р. У воєнно-польовій хірургії його вперше застосував видатний російський хірург М. І. Пирогов.

Порівнюючи склад метоксиметану  $\text{CH}_3\text{—O—CH}_3$  та етанолу  $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ , можна помітити, що вони мають однакову хімічну формулу:  $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$ . Ці сполуки є ізомерами. Отже, існує ще один вид структурної ізомерії — між класами органічних сполук.

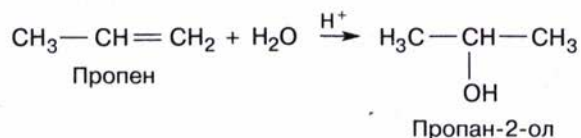
◆ Складіть формулу спирту, ізомерно-го етоксietану.

**ДОБУВАННЯ.** Загальним методом добування спиртів є *гідроліз галогенопохідних вуглеводнів*:



На практиці використовують водний розчин натрій гідроксиду або карбонату.

Спирти утворюються в результаті реакції *гідратації алкенів*:



Поширеним способом добування спиртів є *відновлення альдегідів*, про що ви дізнаєтеся 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  $\text{CO}$  і  $\text{H}_2$ ). За температури  $250\text{ }^\circ\text{C}$  і тиску 5 МПа та наявності каталізатора ( $\text{CuO}$ ,  $\text{ZnO}$ ) ці газы взаємодіють між собою:



Метанол використовують в органічному синтезі та як розчинник, переробляють на формальдегід, який є сировиною для виробництва пластмас.

Метанол — отрута. Вживання навіть невеликої кількості цієї сполуки спричиняє сліпоту, а доза понад 25 мл — навіть смерть.

Метанол дуже подібний до етанолу за запахом і смаком, розрізнити ці сполуки можна лише в хімічній лабораторії. Трапляються випадки отруєння метанолом, коли його помилково приймають за етанол.





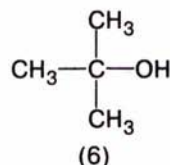
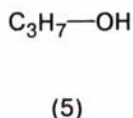
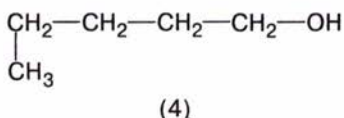
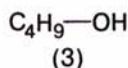
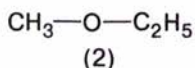
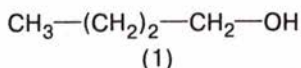
Етанол, призначений для технічних цілей, називається *денатуратом*. Цей продукт містить домішки, що змінюють запах, смак і колір етанолу і роблять його непридатним для споживання.

**Дія етанолу на організм.** З курсів хімії і біології ви вже знаєте про згубну дію алкоголю на організм людини, що призводить до важкого захворювання — алкоголізму. Поясніть на основі цих знань та залучаючи додаткову літературу, чому алкоголь особливо небезпечний для молодого організму.



### Завдання для самоконтролю

1. Що таке функціональна група?
2. Які сполуки називають спиртами?
3. Поясніть електронну будову молекули метанолу.
4. Як позначається вплив атома Оксигену на розподілі електронної густини в молекулі спирту?
5. Чим зумовлена ізомерія насичених одноатомних спиртів? Наведіть приклади.
6. Поясніть причину аномально високої температури кипіння води.
7. Поясніть вплив водневих зв'язків на фізичні властивості спиртів.
8. Укажіть ізомери і гомологи серед наведених сполук.



- 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.

9. Наведіть рівняння хімічних реакцій спиртів, що відбуваються з розриванням зв'язків С—ОН і СО—Н.
10. Поясніть вплив умов на перебіг реакції дегідратації етанолу.
11. Складіть рівняння реакцій за схемою:

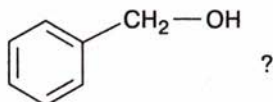


### Додаткові завдання

1. Скільком речовинам відповідає формула  $\text{C}_5\text{H}_{11}\text{O}$ ? Складіть їх структурні формули і дайте назви.
2. Етин — газ, гідроген цїанід — рідина (н. у.), хоча молекулярні маси цих сполук приблизно однакові. Поясніть це.
3. Які хімічні властивості етанолу підтверджують, що його формула  $\text{C}_2\text{H}_5-\text{OH}$ , а не  $\text{CH}_3-\text{O}-\text{CH}_3$ ?
4. Які етери можуть утворитися в результаті нагрівання суміші метанолу та етанолу із сульфатною кислотою?
5. Порівняйте властивості метанолу з властивостями води і метану. Зробіть узагальнювальний висновок.
6. Як трьома способами добути хлороетан? Складіть відповідні рівняння реакцій.



7. Які хімічні властивості, на вашу думку, матиме бензиловий спирт

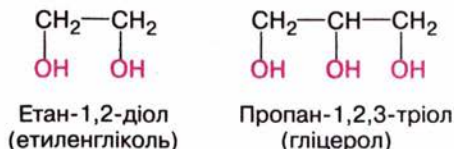


8. Напишіть рівняння послідовних перетворень: етанолу на етан; метану на метанол; вуглецю на метанол.
9. Внаслідок повного згоряння речовини масою 13,8 г утворилося 26,4 г вуглекислого газу і 16,2 г води. Визначте молекулярну формулу цієї речовини, якщо густина її пари за воднем дорівнює 23. Складіть формули ізомерів такого складу.

## § 18. ЕТИЛЕНГЛІКОЛЬ. ГЛІЦЕРОЛ

**СКЛАД МОЛЕКУЛ.** Молекули спиртів можуть містити дві, три і більше гідроксильних груп біля різних атомів Карбону. Такі спирти називають відповідно *двоатомними*, *триатомними*, *багатоатомними* (коли таких груп понад три). Щодо двоатомних застосовують також загальну назву *гліколі*, а щодо триатомних — *гліцероли*. За систематичною номенклатурою двоатомні спирти називають *діолами*, триатомні — *тріолами*.

Найпростіший двоатомний спирт — **етиленгліколь**, триатомний — **гліцерол** (тривіальна назва — **гліцерин**):



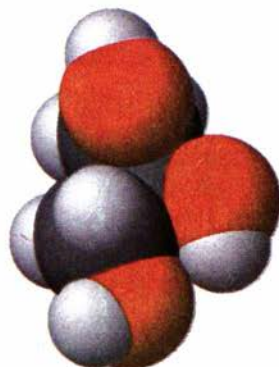
На мал. 68 зображено модель молекули гліцеролу.

**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 молекулі. Ця властивість гліцеролу відбита в його назві, що походить від грецького слова *глікос* — солодкий. У XVIII ст., коли гліцерол було виділено з маслинової олії, його називали ще олійним цукром.

Завдяки наявності гідроксильних груп між молекулами багатоатомних спиртів утворюються водневі зв'язки, як і між молекулами одноатомних спиртів. Цим пояснюються висока густина і розчинність у воді етиленгліколю й гліцеролу.

Складіть схему утворення водневих зв'язків між молекулами етиленгліколю.

Етиленгліколь і гліцерол гігроскопічні (від грец. *гігро* — волога і *скопія* — спостерігати), гліцерол вбирає з повітря до 40 % вологи (за об'ємом).



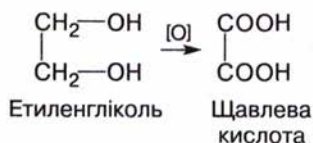
Мал. 68. Модель молекули гліцеролу

**ХІМІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ.** Для багатоатомних спиртів характерні реакції одноатомних спиртів, причому вони відбуваються за участю однієї або кількох гідроксильних груп.

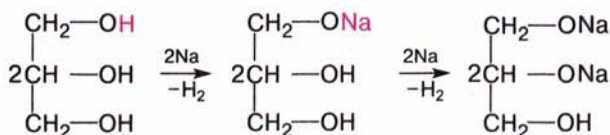
**Реакції повного і часткового окиснення.** Як й інші органічні речовини, етиленгліколь і гліцерол окиснюються з утворенням вуглекислого газу і води.

◆ Складіть рівняння реакції повного окиснення гліцеролу.

У результаті часткового окиснення утворюється суміш продуктів, у кінцевому результаті — карбонові кислоти:



**Реакції заміщення.** 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 кількох гідроксильних груп позначається на хімічній активності сполук, 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 реакція з купрум(II) гідроксидом з утворенням розчину синього кольору. Продукт реакції — сполука складної будови, яку ми не розглядаємо.

#### Лабораторний дослід 4.

#### Взаємодія гліцеролу з купрум(II) гідроксидом

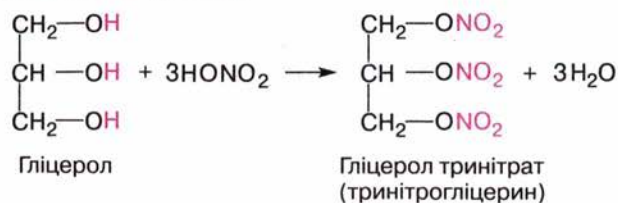
У пробірку налийте 1 мл розчину натрій або калій гідроксиду і додайте кілька крапель розчину купрум(II) сульфату. Утворюється блакитний осад купрум(II) оксиду. До осаду додайте гліцерол, суміш збовтайте. Що спостерігаєте?

Взаємодією багатоатомних спиртів з *гідроген галогенідами* (HCl, HBr) можна добути галогенопохідні в результаті заміщення однієї або двох гідроксильних груп:

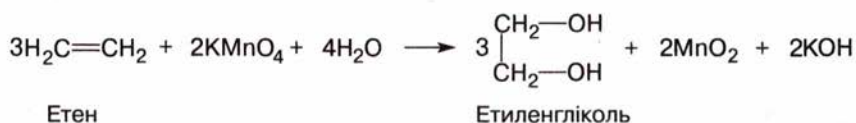




Багатоатомні спирти взаємодіють з *неорганічними кислотами*. Важливою є реакція гліцеролу з концентрованою нітратною кислотою (за наявності сульфатної кислоти). Продуктом реакції є гліцерол тринітрат (тринітрогліцерин):



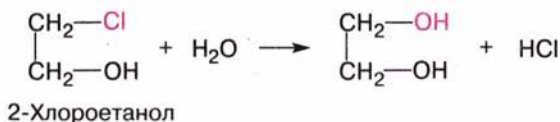
**ДОБУВАННЯ.** Одну з реакцій добування гліколів ви знаєте — це *окиснення етену* калій перманганатом:



Пригадайте, де використовують цю реакцію.

Гліцерол добувають *омиленням жирів* (див. с. 128):

Багатоатомні спирти, як і одноатомні, можна добути *гідролізом галогенопохідних*:



**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. 69).

На відміну від гліцеролу етиленгліколь — дуже отруйна речовина, що спричиняє параліч дихальних шляхів, призводить до «вимикання» нирок. Протиотрутою етиленгліколю є етанол.

**Гліцерол** (гліцерин) широко застосовується (мал. 70) передусім завдяки своїй гігроскопічності. У парфумерії та фармації — як пом'якшувальний засіб або основа мазей, добавка до мила, зубної пасти (щоб запобігти їх висиханню); у харчовій промисловості — як добавка до напоїв, кондитерських виробів. Шкіряне виробництво й текстильна промисловість послуговуються гліцеролом для обробки пряжі й шкіри з метою їх пом'якшення та надання еластичності. Продукт нітрування



Мал. 69. Етиленгліколь — основна складова антифризу



Мал. 70. Застосування гліцеролу

гліцеролу — тринітрогліцерин — вибухова речовина, з якої виготовляють динаміт. А спиртовий розчин цієї сполуки має судинорозширювальну дію і під назвою «нітрогліцерин» використовується як ліки від серцевих захворювань.



### Завдання для самоконтролю.....

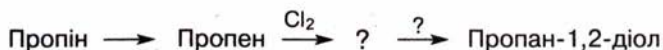
1. До якого класу сполук належать етиленгліколь і гліцерол?
2. Які властивості гліколів пояснюють утворенням водневих зв'язків?
3. Порівняйте хімічні властивості етанолу та етиленгліколю. Складіть рівняння відповідних реакцій.
4. У двох пробірках містяться гліцерол і етанол. Як хімічним способом розрізнити ці сполуки?
5. Чи відомий вам гліцерол із побутового застосування? Розкажіть про це.



### Додаткові завдання.....

1. Поясніть причину різноманітності сполук, що належать до класу спиртів.
2. Чи є гомологами етиленгліколь і гліцерол? Відповідь поясніть.
3. Яка сполука має, на вашу думку, більшу густину — етиленгліколь чи гліцерол? Відповідь поясніть. Для підтвердження свого припущення скористайтеся довідником.
4. Поясніть, чому пентанол малорозчинний у воді, а пентантріол — добре розчинна сполука.
5. Поясніть, у чому полягає вплив гідроксильних груп на реакції гліколів і тріолів.
6. Складіть рівняння реакцій за схемою:





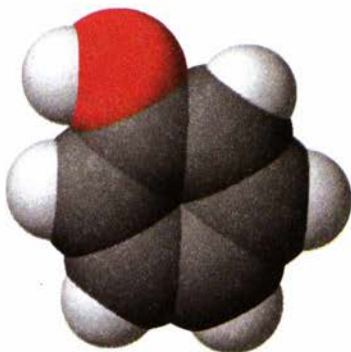
7. У результаті вибуху динаміту утворюється суміш вуглекислого газу, азоту, кисню і води, на які розкладається гліцерол тринітрат. Сума коефіцієнтів у рівнянні реакції розкладу становить:  
**А 34; Б 33; В 12.**
8. Трускавецька мінеральна вода «Юзя» містить гліцерол. Здавна місцеві дівчата вмивалися нею «для краси». На яких властивостях, на вашу думку, ґрунтується дія цієї води?

## Висновки

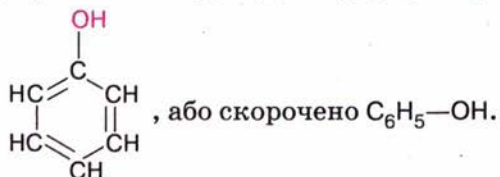
- Молекули спиртів містять функціональну гідроксильну групу, сполучену з вуглеводневим залишком. Багатоатомні спирти містять кілька таких груп біля різних атомів Карбону.
- Спирти — полярні сполуки. Електронна густина зв'язку  $\text{O}-\text{H}$  зміщена до більш електронегативного атома Оксигену.
- За хімічною будовою розрізняють первинні, вторинні й третинні спирти.
- Насиченим одноатомним спиртам властиві: структурна ізомерія, зумовлена будовою карбонового скелета, положенням гідроксильної групи; міжкласова ізомерія спиртів — етери.
- Спирти мають вищі порівняно з вуглеводнями температури плавлення і кипіння, більшу густину внаслідок утворення водневих зв'язків між молекулами. У багатоатомних спиртів ці константи мають ще більші значення.
- Спирти розчинні у воді внаслідок утворення водневих зв'язків.
- Повне окиснення спиртів відбувається до вуглекислого газу і води; часткове окиснення одноатомних спиртів — до альдегідів і карбонових кислот, а гліколи та тріоли окиснюються до багатофункціональних сполук.
- Спирти вступають у реакції заміщення з розривом зв'язку  $\text{O}-\text{H}$  (з металічним натрієм) або зв'язку  $\text{C}-\text{OH}$  (із гідроген галогенідами).
- Дегідратація насичених одноатомних спиртів відбувається, залежно від умов, з утворенням або алкенів, або етерів.
- Між вуглеводневою і гідроксильною групами спостерігається взаємний вплив. Порівняно з водою спирти менш енергійно взаємодіють з металічним натрієм, а порівняно з насиченими вуглеводнями — легше окиснюються.
- Багатоатомні спирти реагують за однією або кількома гідроксигрупами.
- Метанол і етанол, гліцерол і етиленгліколь широко застосовують, тому їх виробляють у промислових масштабах.
- Уживання алкоголю справляє отруйну дію на організм людини. Це може врешті-решт призвести до хвороби, що супроводжується деградацією особистості.

## § 19. ФЕНОЛ

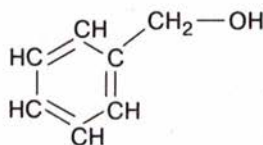
**СКЛАД І БУДОВА МОЛЕКУЛИ.** Якщо гідроксильна група сполучена безпосередньо з бензеновим ядром, то утворюється сполука **фенол**, представник класу **фенолів**. Структурна формула фенолу



Мал. 71. Модель молекули фенолу



Модель молекули фенолу наведено на мал. 71. Слід розрізняти фенол й ароматичні спирти, в яких гідроксильна група сполучена з бензеновим ядром через бічну вуглеводневу групу. Наприклад, бензиловий спирт



**ФІЗИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ.** Фенол — кристалічна речовина, безбарвна, має характерний запах. У разі зберігання в нещільно закритому посуді внаслідок окиснення набуває рожевого кольору.

Фенол — низькоплавка речовина ( $t_{\text{пл}}^{\circ} = 42^{\circ}\text{C}$ ).

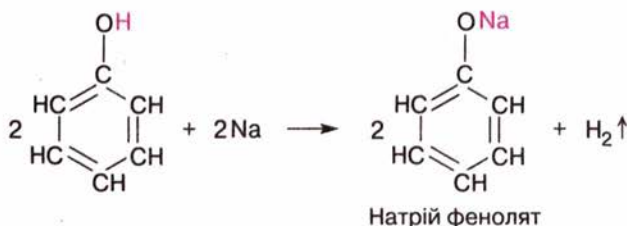
Помістимо пробірку з фенолом у посудину з гарячою водою: речовина розплавиться. У холодній воді фенол розчиняється погано. Але швидко розчиняється, якщо додати в пробірку з фенолом гарячої води.

**ХІМІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ.** За наявності в молекулі фенолу гідроксильної групи можна припустити його подібність до спиртів, а за наявності бензенового ядра — до бензену. З'ясуємо це.

**Реакції заміщення.** Спершу розглянемо реакції фенолу за *гідроксильною групою*.

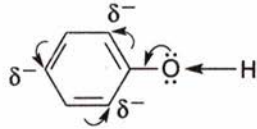
◆ Пригадайте, як взаємодіє етанол з металічним натрієм. Складіть рівняння реакції.

Нагріємо фенол у пробірці до плавлення і помістимо в нього шматочки металічного натрію. Спостерігається виділення водню, утворюється також натрій фенолят у результаті реакції заміщення гідроксильного Гідрогену на Натрій:



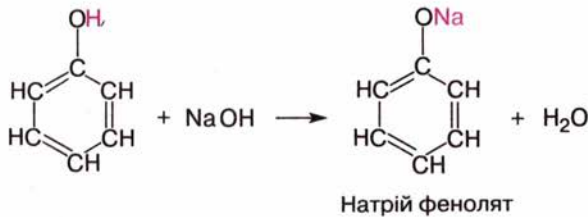


Отже, фенол реагує з *натрієм* так само, як спирти. Проте гідроксильна група у спиртах і фенолі зазнає впливу різних вуглеводневих груп: алкільної та ароматичної. У фенолі неподілена пара електронів атома Оксигену відтягується бензеновим ядром і взаємодіє з його  $\pi$ -електронною системою. У свою чергу, атом Оксигену відтягує до себе електронну густину зв'язку O—H:



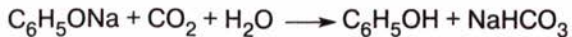
Як наслідок, зв'язок O—H послаблюється, атом Гідрогену набуває рухливості більшої, ніж у спиртах. У цьому разі можна припустити, що фенол *виявлятиме властивості кислоти* сильніше порівняно зі спиртами.

Справді, етанол не реагує з розчином лугу, а фенол вступає в цю реакцію як кислота, утворюючи фенолят:



У даній реакції фенол поводить себе як кислота, що нейтралізує луг, утворюючи сіль і воду. Зважаючи на кислотні властивості фенолу, його називають ще *карболовою кислотою*. Це дуже слабка кислота, навіть слабша за карбонатну. У цьому можна переконатися на досліді.

До водної емульсії фенолу добавлятимемо по краплях розчин *лугу* — утвориться розчин феноляту. Крізь порцію феноляту в пробірці пропустимо вуглекислий газ — розчин знову стає каламутним, бо виділяється вільний фенол:



Отже, фенол — слабша кислота, ніж карбонатна, оскільки остання витісняє його з феноляту.

Ми розглянули реакції фенолу за гідроксильною групою. Тепер розглянемо реакції *за бензеновим ядром*.

Ви вже знаєте, що бензен не реагує з бромною водою. Якщо ж до розчину фенолу додати бромної води, то відбудеться реакція заміщення (бромовання) з утворенням білого осаду трибромфенолу:



У реакціях фенолу виявляється взаємний вплив атомів у молекулі. Бензенове ядро так впливає на гідроксильну групу, що полегшується відщеплення гідроксильного Гідрогену і фенол виявляє кислотні властивості; гідроксильна група так впливає на бензенове ядро, що полегшується заміщення атомів Гідрогену ядра і фенол реагує з бромною водою.

*Характерною реакцією фенолу, за якою його можна виявити серед інших речовин, є реакція з розчином ферум(III) хлориду. Внаслідок зливання розчинів речовин утворюється сполука фіолетового кольору. Її формулу не наводимо через складність будови.*

**ЗАСТОСУВАННЯ ФЕНОЛУ.** Фенол було виділено з кам'яно-вугільної смоли в першій половині XIX ст. Його застосування тісно пов'язане з розвитком синтетичної органічної хімії. Фенол є вихідною речовиною для виробництва барвників, ліків, пластичних мас, вибухових речовин.

Фенол має антисептичні властивості, які було виявлено ще в другій половині XIX ст. Вони зумовлюють використання його розчину (5 %-го) для знезаражування приміщень, хірургічних інструментів, його додають до деяких сортів мила, ним протравлюють деревину, щоб запобігти гниттю.

Разом з тим це токсична речовина, що може спричинити опіки шкіри. Оскільки фенол є продуктом коксохімічної промисловості, то вкупі з іншими промисловими викидами він потрапляє в стічні води, тим самим забруднює навколишнє середовище. Щоб запобігти цьому, фенол окиснюють до нешкідливих речовин або видаляють за допомогою розчинників.

## Висновки .....

- У молекулі фенолу функціональна гідроксильна група сполучена безпосередньо з бензеновим ядром.
- Фенол розчиняється у воді завдяки утворенню водневих зв'язків.
- Фенол вступає в реакції за гідроксильною групою і бензеновим ядром.
- Гідроксильна група так впливає на бензенове ядро, що зростає його активність у реакціях заміщення атомів Гідрогену бензенового ядра.
- Під впливом бензенового ядра послаблюється зв'язок O—H у гідроксильній групі, і фенол виявляє кислотні властивості.
- Фенол розпізнають 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. Які реакції доводять, що фенол має кислотні властивості?

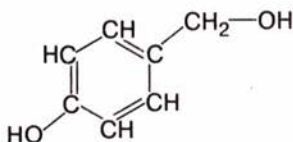


- У чому полягає вплив гідроксильної групи на бензенове ядро (порівняйте з бензеном)?
- Поясніть вплив бензенового ядра на гідроксильну групу (порівняйте з метанолом).
- На якій властивості фенолу ґрунтується його застосування як антисептика?



### Додаткові завдання .....

- Схарактеризуйте подібні хімічні властивості фенолу й одноатомних спиртів. До якого типу реакцій належить реакція фенолу з лугом?
- У трьох пробірках містяться етанол, гліцерол, розчин фенолу. Як розрізнити вміст пробірок за фізичними і хімічними властивостями цих сполук?
- До розчину натрій феноляту обережно по краплях додають розчин сульфатної кислоти. Розчин каламутніє. Чому? Складіть рівняння реакції.
- Обчисліть масу трибромфенолу, що утвориться в результаті бромовання фенолу масою 235 г, в якому масова частка домішок становить 20 %.
- Позначте, в які реакції вступатиме речовина, що має будову



- А** з натрієм і натрій гідроксидом;  
**Б** тільки з натрієм;  
**В** тільки з натрій гідроксидом.  
 Складіть рівняння реакцій.
- Розчином фенолу обробляють залізничні шпали завдяки його:
    - А** кислотним властивостям;
    - Б** характерному запаху;
    - В** антисептичним властивостям;
    - Г** здатності окиснюватися на повітрі.
  - Користуючись додатковою літературою, підготуйте стисле повідомлення про вплив фенолу на довкілля.



## АЛЬДЕГІДИ І КАРБОНОВІ КИСЛОТИ

Наприкінці вивчення теми ви зможете:

- назвати альдегіди і карбонові кислоти за правилами номенклатури;
- скласти формули структурних ізомерів;
- описати фізичні властивості сполук, багатоманітність карбонових кислот;
- пояснити реакційну здатність альдегідів і карбонових кислот;
- пояснити електронну суть взаємного впливу атомів у молекулі карбонної кислоти;
- записати рівняння реакцій окиснення, відновлення, нейтралізації, естерифікації, дегідратації, гідратації етину за методом Кучерова;
- пояснити методи добування сполук;
- розповісти про їхнє застосування;
- класифікувати карбонові кислоти;
- засвоїти терміни: *альдегід, карбонільна група, альдегідна група, димер.*

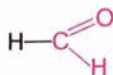
### § 20. АЛЬДЕГІДИ

**СКЛАД І БУДОВА МОЛЕКУЛ.** До класу альдегідів належать речовини, в молекулах яких функціональна *альдегідна група*

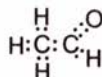
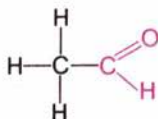
$\text{—C(=O)H}$  сполучена з вуглеводневим залишком (у найпростішого альдегіду — з атомом Гідрогену).

Загальна формула альдегідів —  $\text{C}_n\text{H}_{2n+1}\text{CHO}$ , або  $\text{R—CHO}$ .

Порівняно зі спиртами у складі молекул альдегідів на два атоми Гідрогену менше. Це відбивається в назві «альдегіди», що походить від слів «алкоголь» і «дегідрування», тобто дегідрований алкоголь. Назва першого члена гомологічного ряду — **метаналь**, або формальдегід, або мурашиний альдегід:



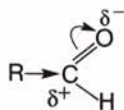
Наступний у гомологічному ряду — **етаналь**, або ацетальдегід, або оцтовий альдегід:



В альдегідній групі атом Карбону утворює подвійний зв'язок з атомом Оксигену. Цей зв'язок поляризований за рахунок відтягування



електронів до атома Оксигену як більш електро-негативного елемента. На ньому виникає частковий негативний заряд, а на атомі Карбону — частковий позитивний заряд:



Саме це визначає хімічну активність альдегідів.

**ІЗОМЕРІЯ, НОМЕНКЛАТУРА.** Альдегідам властива *структурна ізомерія* карбонового скелета.



Мал. 72. Модель молекули етаналю

◆ Складіть кілька формул структурних ізомерів альдегідів, наведених у табл. 12.

Систематичні **назви** альдегідів утворюють від назв алканів з відповідним числом атомів Карбону додаванням суфікса *-аль*.

Формули і назви деяких інших альдегідів наведено в табл. 12, модель молекули етаналю — на мал. 72.

Таблиця 12

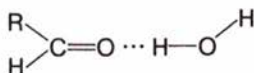
### Характеристики альдегідів

Назва		Структурна формула	Температура кипіння, °С
систематична	тривіальна		
Метаналь	Мурашиний альдегід (формальдегід)	$\text{H}-\text{C}(=\text{O})-\text{H}$	-21
Етаналь	Оцтовий альдегід (ацетальдегід)	$\text{CH}_3-\text{C}(=\text{O})-\text{H}$	21
Пропаналь	Пропіоновий альдегід	$\text{H}_3\text{C}-\text{H}_2\text{C}-\text{C}(=\text{O})-\text{H}$	49
Буганаль	Масляний альдегід	$\text{H}_3\text{C}-\text{H}_2\text{C}-\text{H}_2\text{C}-\text{C}(=\text{O})-\text{H}$	79

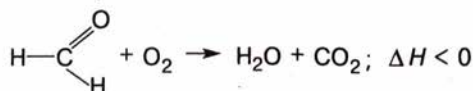
**ФІЗИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ.** Альдегіди — леткі рідини (метаналь — газ). Переважна більшість їх мають характерний запах. Температури кипіння цих сполук нижчі порівняно зі спиртами, що засвідчує відсутність міжмолекулярних водневих зв'язків.

Нижчі альдегіди, в 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.** Реакції повного і часткового окиснення. Альдегіди легко вступають у реакції окиснення. Повне окиснення (горіння) відбувається за схемою:



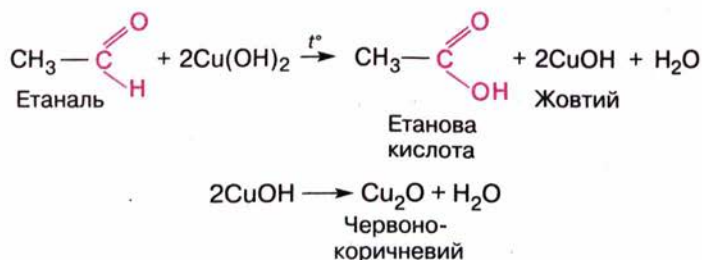
Часткове окиснення альдегіду можна провести за допомогою купрум(II) гідроксиду.



### Лабораторний дослід 5.

### Окиснення етаналю купрум(II) гідроксидом

У пробірці добудьте купрум(II) гідроксид, добавивши до кількох крапель розчину купрум(II) сульфату розчин натрій гідроксиду. До осаду, що утворився, добавте 1 мл етаналю, суміш нагрійте. У пробірці утворюється жовтий осад купрум(I) гідроксиду, що відразу розкладається на купрум(I) оксид червоного кольору і воду:



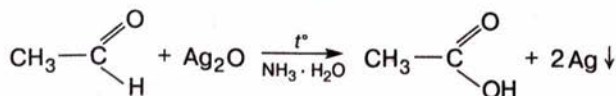
Окиснити альдегід можна й іншим реактивом — амоніаковим розчином аргентум(I) оксиду.



### Лабораторний дослід 6.

### Окиснення етаналю аргентум(I) оксидом

Ретельно вимийте пробірку содою і водою. Налийте в неї 1 мл амоніакового розчину аргентум(I) оксиду й обережно добавте кілька крапель етаналю. Нагрійте пробірку в стакані з гарячою водою. На стінках посудини осідає металічне срібло (мал. 73). Цю реакцію називають реакцією «срібного дзеркала»:



Проведені реакції *характерні* для альдегідів і використовуються з метою їх аналітичного визначення.

**Реакції приєднання.** Оскільки альдегідна група містить подвійний зв'язок, можна припустити, що альдегіди вступатимуть у реакцію приєднання за місцем цього зв'язку.

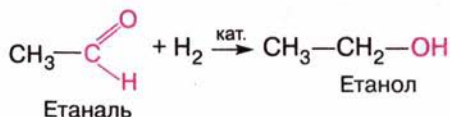


Мал. 73. У результаті реакції «срібного дзеркала» срібло утворює осад на стінках колби



- ♦ Для якої групи органічних речовин характерні реакції приєднання? Наведіть рівняння реакції гідратування.

Приєднуючи водень, етаналь перетворюється на етанол:



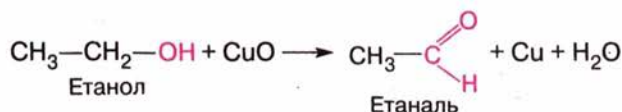
Отже, альдегіди відновлюються до спиртів. Крім того, спирт можна окиснити до альдегіду.



### Лабораторний дослід 7. Окиснення спирту до альдегіду

Мідний дріт розжарте у полум'ї спиртівки. Коли він вкриється мідною окалиною (CuO), опустіть його в пробірку з етанолом. Відчувається характерний запах етаналю.

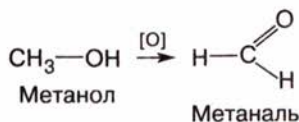
Зверніть увагу на колір мідного дроту — окалина відновилася до металічної міді:



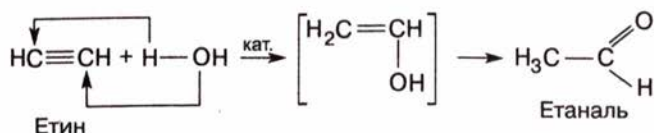
- ♦ Доповніть свої записи в темі «Спирти» інформацією про властивість спиртів окиснюватися до альдегідів, запишіть відповідне рівняння реакції.

Розглянуті реакції окиснення й відновлення важливі для здійснення взаємних перетворень речовин різних класів.

**ДОБУВАННЯ.** Загальний метод добування альдегідів — *окиснення первинних спиртів*. Метаналь утворюється в результаті окиснення метанолу, етаналь — окиснення етанолу:



Етаналь добувають також *гідратацією етину* за наявності катализатора — 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.







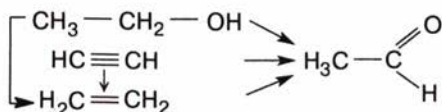
### Завдання для самоконтролю.....

1. Яку функціональну групу називають альдегідною?
2. Чи можливі водневі зв'язки між молекулами: альдегідів; альдегідів і води?
3. Чим зумовлена хімічна активність альдегідів?
4. Наведіть рівняння реакцій приєднання за місцем подвійного зв'язку в альдегідній групі.
5. До яких сполук відбувається окиснення альдегідів? Складіть рівняння реакцій.
6. Сума коефіцієнтів у рівнянні повного окиснення пропаналу становить:  
**А 9; Б 10; В 11; Г 12.**
7. Які реакції використовують для розпізнавання альдегідів?
8. Що таке реакція Кучерова? Як вона відбувається?
9. Який спосіб добування етаналу є найперспективнішим?



### Додаткові завдання.....

1. Чому в назвах альдегідів не зазначають місце функціональної групи?
2. Поясніть, чому різняться між собою температури кипіння сполук, що мають близькі відносні молекулярні маси:  
 пентан 36 °С, бутаналь 79 °С, бутан-1-ол 117,4 °С.
3. Складіть рівняння реакцій за схемою:



4. Як хімічним способом розрізнити гліцерол і етаналь?
5. Як хімічним способом розпізнати етаналь?
6. Як двома способами добути етаналь з етину?
7. Складіть рівняння реакцій за схемою:  
 Етаналь  $\rightarrow$  А  $\rightarrow$  Етен  $\rightarrow$  Етанол.
8. У реакції «срібного дзеркала» етаналь прореагував з аргентум(I) оксидом масою 116 г. Утворилося срібло масою 106,2 г. Вихід продукту становить:  
**А 95 %; Б 47,5 %; В 98 %; Г 49 %.**
9. Якого об'єму метаналь (це газ за н. у.) треба розчинити у воді, щоб виготовити 200 г 40%-го розчину?

## § 21. НАСИЧЕНІ ОДНООСНОВНІ КАРБОНОВІ КИСЛОТИ

**СКЛАД І БУДОВА МОЛЕКУЛ.** Вам відомо, що до карбонових кислот належать сполуки, в молекулах яких вуглеводнева група сполучена з функціональною *карбоксильною групою*

$-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{OH}$ . Пригадайте, що її назва походить від назв двох груп, з яких вона складається:

карбонільної  $-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}$  та гідроксильної  $-\text{OH}$ .

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 13, модель молекули етанової кислоти — на мал. 74).

Загальна формула цих сполук:

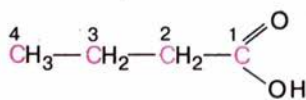


У найпростішій карбоновій кислоті — **метановій** (мурашиній) — карбоксильна група сполучена з атомом Гідрогену (порівняйте хімічну будову метаналю і метанової кислоти).

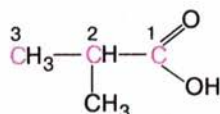
**НОМЕНКЛАТУРА, ІЗОМЕРІЯ.** Тривіальні **назви** карбонових кислот часто відбивають їхнє походження, а за систематичною номенклатурою назви утворюють *від назв вуглеводнів додаванням суфікса -анов-, закінчення -а та слова кислота*.

◆ Пригадайте з курсу хімії 9 класу, де в природі, побуті трапляються карбонові кислоти.

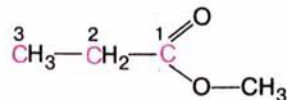
Карбоновим кислотам властива *структурна ізомерія* вуглеводневого ланцюга та між класами сполук карбонові кислоти — естери:



Бутанова кислота



2-Метилпропанова кислота



Метилпропаноат (естер)

**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, —



Мал. 74. Модель молекули етанової кислоти

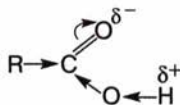


Мал. 75. Чиста («льодяна») етанова кислота замерзає за температури 16,7 °C





**ХІМІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ. Електролітична дисоціація.** Хімічні властивості карбонових кислот визначаються наявністю функціональної карбоксильної групи, в якій електронна густина хімічного зв'язку C=O зміщується до атома Оксигену, внаслідок чого зв'язок O—H поляризується і Гідроген набуває здатності відщеплюватися у вигляді протону:



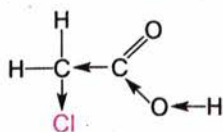
Це зумовлює кислотні властивості карбонових кислот. Їхні розчини мають кислий смак, змінюють забарвлення індикаторів, що засвідчує перебіг електролітичної дисоціації.

### Лабораторний дослід 8. Дія етанової кислоти на індикатори

У дві пробірки налейте розчин етанової кислоти об'ємом 1—2 мл. В одну з них додайте кілька крапель розчину лакмусу, в іншу — розчин метилового оранжевого. Спостерігайте зміну забарвлення індикаторів.

Карбонові кислоти (крім метанової) — слабкі електроліти, мають низькі ступені дисоціації (див. табл. 13). Тому в рівняннях йонних реакцій формули карбонових кислот записують у молекулярній формі.

Кислотність карбонових кислот зростає, якщо у вуглеводневій групі з'являється замісник, здатний притягувати до себе електронну густина (має більшу електронегативність), наприклад атом галогену:

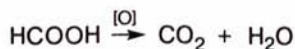


Хлороетанова кислота

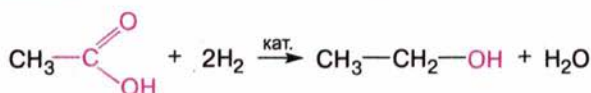
Хлороетанова кислота значно сильніша за етанову, а трихлороетанова кислота належить до сильних кислот, подібна до сульфатної.

Складіть схему зміщення електронної густини в молекулі трихлороетанової кислоти.

**Реакції повного і часткового окиснення.** Як вам уже відомо, карбонові кислоти можуть утворюватися в результаті окиснення вуглеводнів, спиртів, альдегідів, проте самі вони (за винятком метанової) *стійкі проти окисників*. Метанова кислота окиснюється (наприклад, калій перманганатом) до карбонатної кислоти, яка розкладається на вуглекислий газ і воду:



**Реакції відновлення.** Відновлюються карбонові кислоти до спиртів у жорстких умовах (за участю каталізаторів):





**Реакції з металами, основними оксидами й основами, солями.** Карбонові кислоти подібно до неорганічних взаємодіють з активними металами, основними оксидами й основами, солями слабших кислот з утворенням сполук з йонним зв'язком — солей.



### Лабораторний дослід 9.

### Взаємодія етанової кислоти з магнієм

У пробірку з розчином етанової кислоти додайте порошок магнію або вмістіть у неї стружку магнію. Спостерігайте виділення газу. Доведіть, що цей газ — водень. Складіть рівняння реакції.



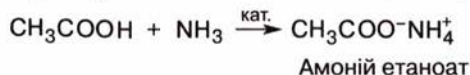
### Лабораторний дослід 10.

### Взаємодія етанової кислоти з лугом

У пробірку з розчином натрій гідроксиду об'ємом 1—2 мл додайте кілька крапель фенолфталеїну. До забарвленого розчину по краплях добавляйте розчин етанової кислоти до знебарвлення вмісту пробірки. Що засвідчує цей дослід? Складіть рівняння реакції.

З побуту вам відома взаємодія питної соди з оцтом. Поясніть реакцію, що відбувається. Складіть рівняння реакції.

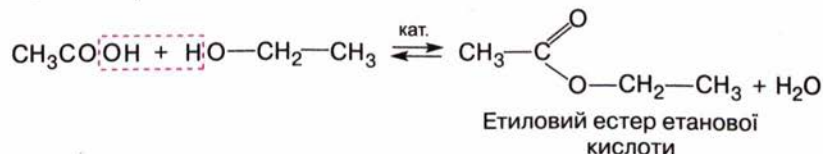
Карбонові кислоти реагують також з амоніаком з утворенням солі:



Загальна назва солей етанової (ацетатної) кислоти — *етаноати* (ацетати).

**Реакція естерифікації.** Карбонові кислоти реагують зі спиртами. За нагрівання та наявності каталізатора (сульфатної кислоти) відбувається реакція *естерифікації*.

До суміші етанолу із сульфатною кислотою добавимо етанової кислоти і суміш нагріємо. Поширяться приємний запах, що засвідчує утворення речовини, яка належить до класу естерів:

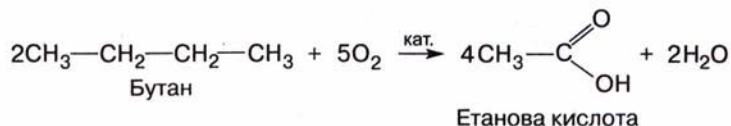


Якщо реакцію проводити в приладі, зображеному на мал. 64, то продукт реакції як летку сполуку можна зібрати під шаром льоду.

**ДОБУВАННЯ.** Загальний спосіб добування карбонових кислот — окиснення первинних спиртів та альдегідів такими окисниками, як калій перманганат, калій дихромат, нітратна кислота:



У промисловості використовують спосіб добування карбонових кислот окисненням алканів киснем повітря за наявності каталізаторів. Під час реакції розриваються карбон-карбонів зв'язки й 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.



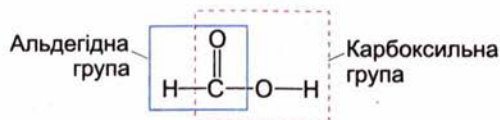
### Завдання для самоконтролю.....

- Які сполуки належать до класу карбонових кислот?
- Поясніть розподіл електронної густини в карбоксильній групі.
- Складіть формули ізомерів масляної кислоти.
- Поясніть утворення водневих зв'язків між молекулами карбонових кислот.
- Поясніть, чому хлороетанова кислота сильніша за етанову.
- Натрієву сіль трихлоретанової кислоти використовують як гербіцид. Складіть формулу цієї сполуки.
- У яких реакціях карбонові кислоти поведуться подібно до неорганічних? Складіть рівняння реакцій.
- Етанова кислота витискує карбонатну кислоту з її солей. Про що це свідчить? Складіть рівняння реакції.
- Поясніть відношення карбонових кислот до окисників і відновників. Складіть рівняння реакцій.
- Карбонові кислоти можна добути:
  - А** гідратуванням етену; **Б** окисненням парафінів; **В** дегідратацією спиртів; **Г** окисненням альдегідів.
- Складіть рівняння таких хімічних перетворень:  
Етанол → Етаналь → Етанова кислота → Цинк етаноат.



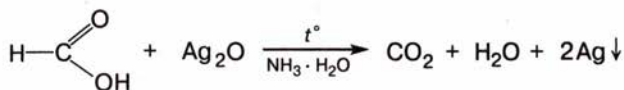
## § 22. ОКРЕМІ ПРЕДСТАВНИКИ КАРБОНОВИХ КИСЛОТ

**Метанова** (форміатна, мурашина) кислота. Ця сполука має особливості порівняно з іншими карбоновими кислотами, оскільки в її молекулі поєднані альдегідна і карбоксильна групи:



Альдегідна група зумовлює відновні властивості мурашиної кислоти. Наприклад, вона відновлює срібло з амоніакового розчину аргентум(І) оксиду, а сама окиснюється при цьому до карбонатної кислоти, яка відразу розкладається на вуглекислий газ і воду:





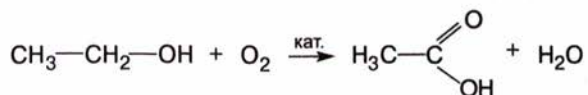
Проведемо цю реакцію. У ретельно вимиту колбу чи пробірку наллємо амоніаковий розчин аргентум(I) оксиду. Обережно по стінках посудини доллємо 1 мл метанової кислоти і злегка нагріємо суміш. На стінках колби утвориться «срібне дзеркало» або випаде чорний осад металічного срібла.

Складіть рівняння реакцій метанової кислоти за карбоксильною групою.

Мурашину кислоту використовують як відновник у техніці, як протраву під час фарбування тканин. Хворі на невралгію послуговуються 1% -м розчином мурашиної кислоти в етиловому спирті (мурашиним спиртом) для розтирання; бджолярі використовують мурашину кислоту для боротьби з хворобами бджіл. Завдяки бактерицидним властивостям мурашина кислота є консервантом зелених кормів для худоби. Широко застосовують її в органічному синтезі.

**Етанова** (ацетатна, оцтова) **кислота** — найвідоміша з карбонових кислот, що пов'язано передусім з її застосуванням у харчовій промисловості як консерванта і смакової приправи (9% -й розчин). У природних умовах етанова кислота утворюється в результаті бродіння (скисання) вина.

Який хімізм цього процесу? Вам уже відомо, що внаслідок реакції бродіння глюкози утворюється етанол. Але за доступу кисню процес на цьому не припиняється, й етанол окиснюється до етанової кислоти:



Отже, процес спиртового бродіння за наявності кисню переходить у процес оцтовокислого бродіння.

Незважаючи на широке застосування, оцтову кислоту було виділено в практично чистому вигляді лише у XVIII ст., її хімічний склад визначено на початку XIX ст., а структурну формулу — в середині XIX ст.

Оцтову 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 і стеаринова кислоти** належать до вищих насичених карбонових кислот. Вуглеводневі ланцюги становлять значну частину їхніх молекул. Масштабну модель молекули стеаринової кислоти наведено на мал. 76. У пальмітиновій кислоті в ланцюзі містяться

п'ятнадцять послідовно сполучених атомів Карбону, в стеариновій — сімнадцять:

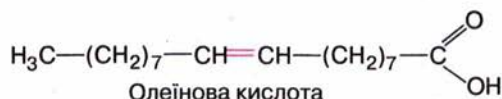


◆ Складіть структурні формули цих кислот.

Вищі карбонові кислоти цікаві з хімічного погляду тим, що беруть участь в утворенні жирів, а натрієві й калієві солі є основою мила (відповідно твердого й рідкого).

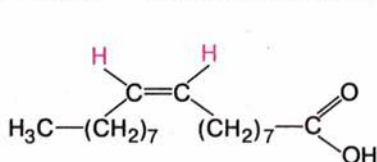
◆ Складіть формулу солі натрій стеарату (твердого мила).

**Олеїнова кислота** належить до вищих ненасичених карбонових кислот:

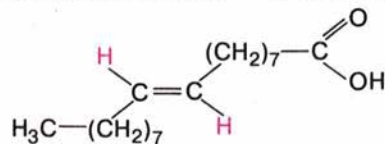


◆ Складіть загальну формулу олеїнової кислоти, порівняйте її з формулою стеаринової кислоти.

Олеїнова кислота існує у вигляді двох геометричних ізомерів: *цис*-ізомер — це власне *олеїнова* кислота, а *транс*-ізомер — *елаїдинова*:



*цис*-ізомер,  
олеїнова кислота ( $t_{пл}^*$  14 °C)

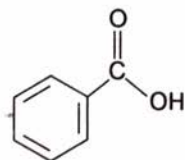


*транс*-ізомер,  
елаїдинова кислота ( $t_{пл}^*$  52 °C)

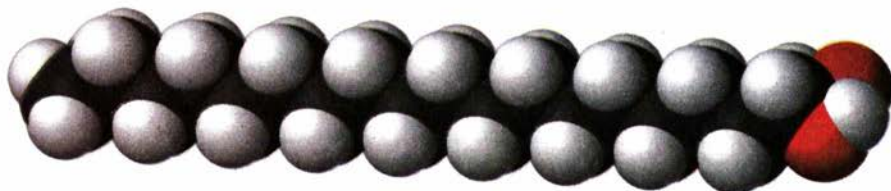
За кратним зв'язком ці кислоти здатні до реакцій приєднання та окиснення.

◆ Складіть рівняння реакції олеїнової кислоти з бромом.

До *ароматичних* карбонових кислот належить **бензойна кислота**:



Бензойна кислота

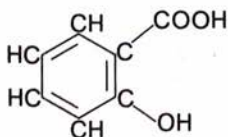


Мал. 76. Масштабна модель молекули стеаринової кислоти





4. Яка реакція відбуватиметься швидше — між магнієм і сульфатною кислотою чи між магнієм і етановою кислотою? Відповідь поясніть.
5. Як відбуватиметься реакція саліцилової кислоти



- з лугом? Складіть рівняння реакції і поясніть відповідь.
6. Складіть рівняння послідовних хімічних перетворень: від метану до етанової кислоти; від етену до етанової кислоти.
  7. Складіть рівняння хімічних реакцій бензойної кислоти.
  8. Парафін — це суміш вищих насичених вуглеводнів, стеарин — суміш стеаринової, пальмітинової та незначної кількості олеїнової кислот. Запропонуйте хімічний спосіб розпізнавання парафіну й стеарину.
  9. Складіть рівняння реакцій за схемою:  

$$\text{C}_2\text{H}_5\text{Br} \rightarrow \text{C}_2\text{H}_5\text{OH} \rightarrow \text{CH}_3\text{CHO} \rightarrow \text{CH}_3\text{COOH} \rightarrow \text{CH}_3\text{COO}^-\text{NH}_4^+$$
  10. Обчисліть маси безводної етанової кислоти та її 10 %-го розчину, необхідні для приготування 80 %-го розчину оцтової кислоти масою 225 г.

## Висновки

- Молекули карбонових кислот містять вуглеводневий залишок і функціональну карбоксильну групу.
- За кількістю карбоксильних груп розрізняють одно-, дво-, багатоосновні карбонові кислоти, за характером вуглеводневого ланцюга — 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) за рахунок 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 з металами, основами, основними оксидами, солями, спиртами, змінюють забарвлення індикаторів.
- Одноосновні карбонові кислоти добувають окисненням альдегідів, спиртів, алканів.



## ЕСТЕРИ



Наприкінці вивчення теми ви зможете:

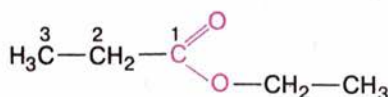
- назвати естери за правилами номенклатури;
- скласти формули естерів, жирів, мила;
- описати фізичні властивості сполук;
- записати рівняння реакцій естерифікації і гідролізу естерів, омилення і гідрування жирів;
- пояснити мийну дію мила;
- пояснити роль жирів у харчуванні людини;
- розповісти про застосування сполук;
- порівняти мило і синтетичні мийні засоби;
- засвоїти терміни: *реакції естерифікації, омилення, синтетичні мийні засоби, детергенти.*

### § 23. ЕСТЕРИ. ЖИРИ. МИЛО

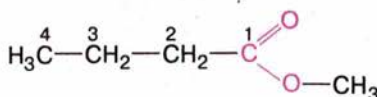
**СКЛАД І БУДОВА МОЛЕКУЛ ЕСТЕРІВ.** Загальна формула естерів



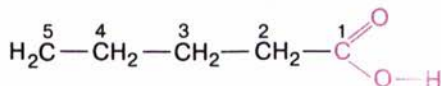
Естерам властиві *структурна ізомерія* карбонового скелета й ізомерія між класами сполук *естери* — *карбонові кислоти*. Наприклад:



Етилпропанат  
(етиловий естер  
пропанової кислоти)



Метилбутанат  
(метиловий естер  
бутанової кислоти)



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) та суфікса -оат-.** Інакше кажучи, префікс походить від назви спирту, а корінь — від назви карбонової кислоти, з яких утворився естер.

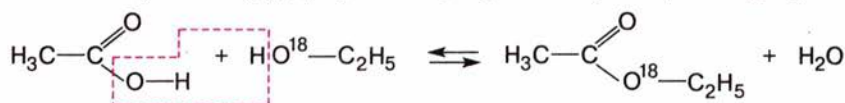


Мал. 78. Модель молекули етилетаноату

**ФІЗИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ.** Естери — переважно рідини, безбарвні, мають приємний запах, як правило, малорозчинні у воді. Порівняно з карбоновими кислотами, з яких вони утворюються, естери киплять за значно нижчих температур. Це засвідчує відсутність у них міжмолекулярних водневих зв'язків. Характеристики деяких естерів наведено в табл. 14.

Запах фруктів, квітів зумовлюється переважно естерами (мал. 79). Деякі рослини, наприклад ясенець, виділяють таку велику кількість естерів, що навколо рослини утворюється естерна хмаринка. Оскільки естери — легкозаймісті речовини, то якщо піднести полум'я до цієї хмаринки, вона швидко займеться й згорить, не встигнувши підпалити саму рослину. Подібне явище описане в біблійній оповіді про неопалиму купину — кущ, який горить і не згорає.

**РЕАКЦІЯ ЕСТЕРИФІКАЦІЇ.** Реакцію між карбоною кислотою і спиртом, унаслідок якої утворюється естер, називають **реакцією естерифікації**. Експериментально, за допомогою методу мічених атомів, доведено, що від молекули карбонової кислоти відщеплюється гідроксильна група, а від молекули спирту — атом Гідрогену, внаслідок цього утворюється молекула води. Якщо важкий ізотоп Оксигену з атомною масою 18 ввести в молекулу спирту, то цей ізотоп можна виявити в молекулі естеру, добутого в результаті реакції естерифікації:



Таблиця 14

## Характеристики естерів

Назва		Структурна формула	Температура, °С	
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





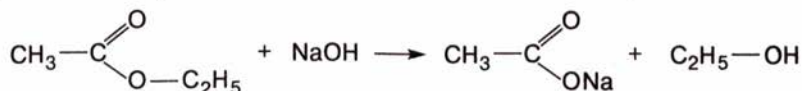
Мал. 79. Естери належать до речовин, що зумовлюють запах фруктів

Ця реакція оборотна: одночасно з естерифікацією відбувається взаємодія естеру з водою, або **гідроліз** (розклад водою) естеру на спирт і кислоту. Після встановлення рівноваги в суміші містяться кислота, спирт, естер і вода.

Пригадайте, що таке хімічна рівновага. За яких умов вона встановлюється?

Оборотність реакції становить певну незручність для добування естерів, а тому, щоб збільшити вихід продукту реакції, треба змістити її рівновагу в потрібному напрямку. Для цього можна збільшувати концентрацію однієї з вихідних речовин. Можна також видаляти із зони реакції один із продуктів, тим самим стимулюючи його утворення. Для видалення естеру його відганяють, а воду видаляють за допомогою осушувальних засобів.

Тепер уявімо, що наша мета — добути кислоту з естеру за допомогою реакції гідролізу. Для цього треба хімічно зв'язати кислоту або спирт, щоб вони не вступали в реакцію естерифікації, і тим самим змістити рівновагу реакції ліворуч. Для зв'язування кислоти можна використати луг, з яким реагуватиме кислота, утворюючи сіль:



Спирт можна відокремити відгонкою, а кислоту добути із солі дією сильнішої кислоти, що витісняє етанову з її солей:

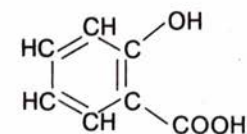


На цьому прикладі ви переконалися, що на основі теоретичних знань можна скерувати синтез і добути потрібну речовину.

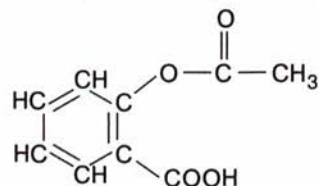
**ЗАСТОСУВАННЯ.** Як правило, естери мають приємний запах і завдяки цьому використовуються в парфумерній та харчовій промисловості. Наприклад, метиловий естер масляної кислоти має запах яблук, етиловий естер цієї кислоти — запах ананасів, а пентиловий естер етанової кислоти пахне бананами.



Мал. 80. Модель молекули аспірину



Саліцилова кислота



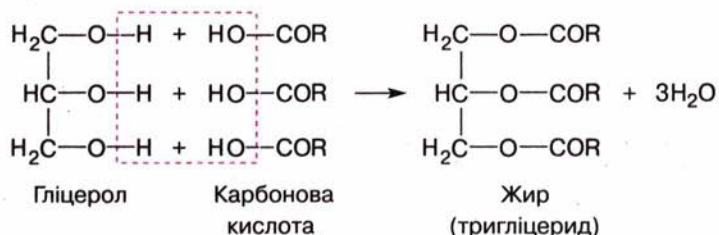
Аспірин

Із цих та інших естерів виготовляють есенції, що їх додають до прохолоджувальних напоїв, цукерок, кремів, парфумерних та косметичних виробів. Оскільки крім природних запахних речовин використовуються й синтетичні, естери добувають у промисловості у великій кількості.

До естерів належить відомий жарознижувальний препарат *аспірин* (ацетилсаліцилова кислота), що є похідною саліцилової кислоти (мал. 80):

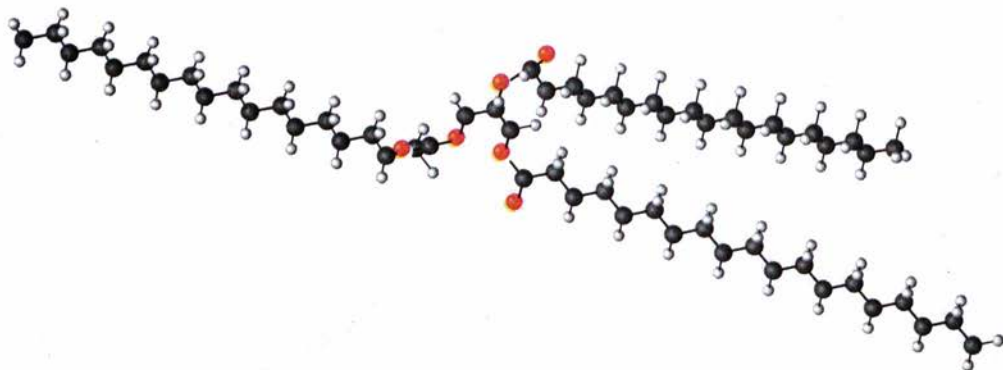
**СКЛАД І БУДОВА МОЛЕКУЛ ЖИРІВ.** Вам відомо, що серед естерів найбільше значення мають жири, що утворені триатомним спиртом гліцеролом і вищими карбоновими кислотами — стеариною, пальмітиною, олеїною та іншими.

У загальному вигляді реакція естерифікації з утворенням жиру записується так:



Модель молекули тристеарину наведено на мал. 81.

У першій чверті XIX ст. французький учений М. Шеврель установив хімічний склад жирів, а перший синтез жироподібної речовини здійснив його співвітчизник М. Бертло (1854 р.), нагріваючи гліцерол зі стеариною кислотою.



Мал. 81. Модель молекули тристеарину



**ФІЗИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ.** Жири легші за воду, нерозчинні в ній, але розчиняються в неполярних органічних розчинниках.



### Лабораторний дослід 11. Розчинність жирів

У 4 пробірки налийте по 1 мл води, етанолу, бензину, етоксигетану і додайте в кожен з них по кілька крапель рідкого жиру. Збовтайте вміст пробірок. У якій пробірці жир розчинився?

Нагрійте пробірку з водою. Чи розчинився жир?  
Зробіть висновок.

Властивості жирів залежать від складу і будови карбонових ланцюгів тригліцеридів. Нижче наведено температури плавлення деяких жирів:

Вуглеводнева група	Жир	$t_{\text{пл}}^{\circ}, ^{\circ}\text{C}$
$-\text{C}_{15}\text{H}_{31}$	Трипальмітин	72
$-\text{C}_{17}\text{H}_{35}$	Тристеарин	65
$-\text{C}_{17}\text{H}_{33}$	Триолеїн	-4

♦ Поясніть, як залежить агрегатний стан жиру від характеру (насиченості чи ненасиченості) карбонового ланцюга.

♦ Пригадайте з вивченого в 9 класі, що таке олії.

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.

Цікаво, що до складу молекул жиру морських тварин входять залишки ненасичених карбонових кислот. До складу вершкового масла входять змішані естери насичених і ненасичених кислот (мал. 82).



### Лабораторний дослід 12. Доведення ненасиченого характеру рідких жирів

Налийте у дві пробірки по кілька мілілітрів бензинових розчинів рослинного і тваринного жирів. Додайте до них бромної води. Що спостерігаєте? Що засвідчують ваші спостереження?

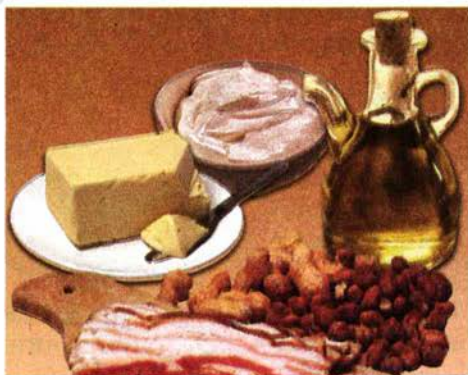
Випробуйте жири розчином калій перманганату. Зробіть висновок.



#### П'єр Ежен Марселен Берто

(1827—1907)

Французький хімік, член Паризької академії наук. Один із фундаторів синтетичної органічної хімії. Синтезував нафтален, ацетилен, бензен, фенол, метан, жири та чимало інших сполук. Автор праць у галузі термохімії, хімічної кінетики, агрохімії, історії хімії. Громадський діяч, педагог.



Мал. 82. Ці продукти містять жири

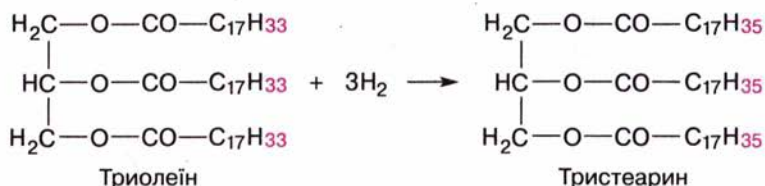
**ХІМІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ЖИРІВ.**

**Реакції окиснення.** На повітрі, під дією теплоти і світла жири окиснюються до жирних кислот, альдегідів, інших сполук, які й зумовлюють появу неприємних запаху і смаку.

**Реакція гідрування.** У молекулах рідких жирів за місцем подвійних карбон-карбонових зв'язків можлива реакція приєднання Гідрогену. У результаті цієї реакції ненасичена сполука перетворюється на насичену, а рідкий жир — на твердий.

- ◆ Пригадайте, як відбувається реакція гідрування етену. Складіть рівняння реакції.

Гідрування (тверднення) жирів відбувається за такою схемою:



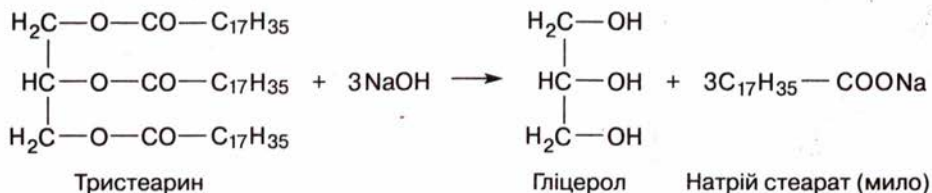
На цьому процесі ґрунтується виробництво маргарину (від грец. *маргароу* — перлина).

- ◆ Підготуйте повідомлення про виробництво маргарину.

**Реакція гідролізу.** Жири як естери піддаються гідролізу, в результаті утворюються гліцерол та карбонові кислоти.

- ◆ Складіть рівняння гідролізу жиру (в загальному вигляді).

Практичне значення має гідроліз жиру в присутності лугу, внаслідок чого утворюються солі вищих карбонових кислот — *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, називають *ядровим*, воно відоме як господарське.





Мал. 83. Так виготовляли мило в 1600 р.



Мал. 84. Фасування мила

Туалетне мило відрізняється від господарського наявністю добавок: барвників, ароматизаторів, антисептиків тощо.

Процес виготовлення мила відомий людям здавна (мал. 83, 84). Миловаріння полягало в нагріванні тваринного жиру (сала) з поташем ( $K_2CO_3$ ), 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 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. 85, 86). Часточки бруду і вода мають різну хімічну природу: вода — полярна сполука, часточки бруду (жиру), як правило, неполярні. Вода їх не змочує, отже, бруд не змивається. Для поліпшення змочування використовують речовини-посередники, такі як мило. Молекули мила розміщуються між полярними молекулами води і неполярними часточками бруду і тим самим полегшують змочування їх водою.

Запишемо формулу мила в загальному вигляді  $R-COONa$ . За хімічною природою — це сіль, йонна сполука. Крім полярної частини  $-COO^-Na^+$  вона містить неполярну групу  $-R$ , до складу якої можуть входити від 12 до 17 атомів Карбону.



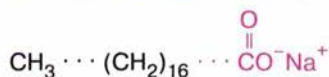
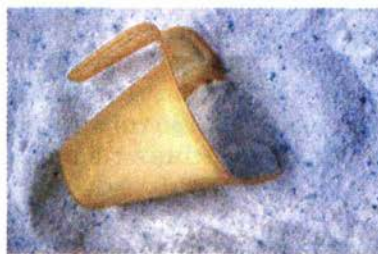
Мал. 85. Рідина не змочує поверхню



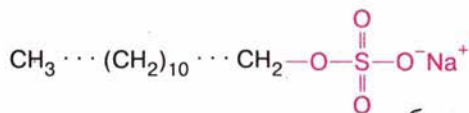
Мал. 86. Жук тримається на поверхні води завдяки поверхневому натягу рідини







а



б

Мал. 88. Порівняння будови молекул мила (а) і СМЗ (б)

### Лабораторний дослід 13.

### Порівняння властивостей мила і синтетичного мийного засобу

Приготуйте в колбі або хімічному стакані по 20—25 мл розчинів (1 %-х) господарського мила і будь-якого прального порошку в дистильованій воді. У дві пробірки налийте по 2—3 мл твердої води. Додайте в одну пробірку розчин мила, в іншу — розчин прального порошку і збовтайте їх вміст.

Де утворюється стійкіша піна? Якого засобу доводиться добавляти більше для утворення стійкої піни?

Мило і 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 до природних водойм, 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 в природі на нешкідливі речовини, що не забруднюють стічних вод. Крім того, ці засоби треба економно використовувати в господарстві.

**БІОДИЗЕЛЬ.** Біодизельне пальне за хімічною природою — це переважно метилові естери карбонових кислот, добутих із жирів, наприклад, виділених із насіння ріпаку. Побічним продуктом виробництва є гліцерол. Для виробництва біодизеля придатні й соняшникова олія, і тваринний жир, зокрема той, що міститься у відходах м'ясної промисловості.

Вважають, 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—80) супроводжується певними екологічними ризиками: це виснаження землі (доцільно вирощувати ріпак на одному місці раз на 5 років), необхідність обробки рослин отрутохімікатами впродовж усього періоду росту, отже, їх треба транспор-

тувати, зберігати, утилізувати. Збільшення посівних площ під ріпак пропорційно зменшує посівні площі під зерно, отже, зменшується кількість кормів для тварин, знижується їх поголів'я, а водночас — виробництво м'яса. До того ж треба будувати заводи з виробництва біодизеля. Пошук заміників пального триває.

### 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 та парфумерній промисловості.
- Жири — це естери гліцеролу і вищих карбонових кислот.
- Тверді жири утворюються насиченими карбоновими кислотами, рідкі — ненасиченими.
- Жири вступають у реакції окиснення, гідрування, гідролізу.
- У результаті омилення жирів утворюється мило.
- Під час миття мило є посередником між полярними молекулами води і неполярними часточками бруду.
- Синтетичні мийні засоби на відміну від звичайного мила зберігають мийну дію у твердій воді.



### Завдання для самоконтролю

1. Яка реакція називається реакцією естерифікації?
2. Складіть рівняння реакцій добування згаданих у тексті естерів, що мають запах яблук і бананів.
3. За яких умов можна змістити рівновагу реакції естерифікації у бік утворення естеру; кислоти і спирту?
4. Обчисліть масу естеру, що утвориться в результаті взаємодії етанолу масою 69 г з етановою кислотою, якщо вихід продукту становить 64 %.
5. Поясніть хімічну будову жирів.
6. Чим різняться за складом рідкі й тверді жири?
7. Які особливості реакцій окиснення жирів?
8. Яку хімічну реакцію покладено в основу виготовлення маргарину?
9. Що таке «омилення жиру»?
10. Чим різняться між собою за хімічним складом: тверде мило і рідке; господарське і туалетне?
11. Поясніть мийну дію мила.
12. Чи можна випрати білизну в морській воді з милом? Відповідь поясніть.
13. Позначте переваги синтетичних мийних засобів порівняно з милом:  
**А** економічність; **Б** не забруднюють довкілля; **В** миють у твердій воді; **Г** утворюють стійку піну; **Г** живлять мікроорганізми.



### Додаткові завдання

1. Яку сполуку ви можете запропонувати як ароматизатор для виготовлення мила із запахом ананасів? Складіть формулу цієї сполуки.
2. Як хімічним шляхом добути етилетаноат, виходячи з етену? Складіть рівняння послідовних реакцій.
3. Запропонуйте хімічний дослід, за допомогою якого можна відрізнити олію від мінерального мастила.
4. Мило є сіллю слабкої кислоти й сильної основи, синтетичний мийний



засіб — сіль сильної кислоти й сильної основи. Яке значення має ця обставина для прання?

5. Де в побуті відбувається реакція:  
Натрій пальмітат  $\rightarrow$  Кальцій пальмітат?
6. Кількість речовини трипальмітину, необхідного для добування рідкого мила масою 1 кг, становить:  
А 1,2 моль; Б 3,6 моль; В 2,3 моль.

## § 24. СПЕКТРАЛЬНІ МЕТОДИ ВСТАНОВЛЕННЯ СТРУКТУРИ ОРГАНІЧНИХ СПОЛУК

Найперше завдання, що постає перед хіміком-органіком, який синтезував нову сполуку, — це необхідність установлення її хімічного складу. Речовину ретельно очищають, визначають її фізичні властивості (температури плавлення і кипіння, густину, розчинність у різних розчинниках тощо). Щоб визначити, атоми яких елементів містяться в сполуці, виконують якісний елементний аналіз. Прикладом такого аналізу є визначення Карбону, Гідрогену та Хлору під час практичної роботи. Далі з'ясовують співвідношення визначених хімічних елементів у сполуці, тобто кількісний склад молекул. Для цього хіміки розробили спеціальні методи, які ми не розглядаємо.

Коли добуто нову сполуку, треба встановити її структуру. Тут сучасному хімікові знадобляться різноманітні хімічні (вивчення реакцій сполуки) та фізичні методи, найважливіші з яких — спектральні.

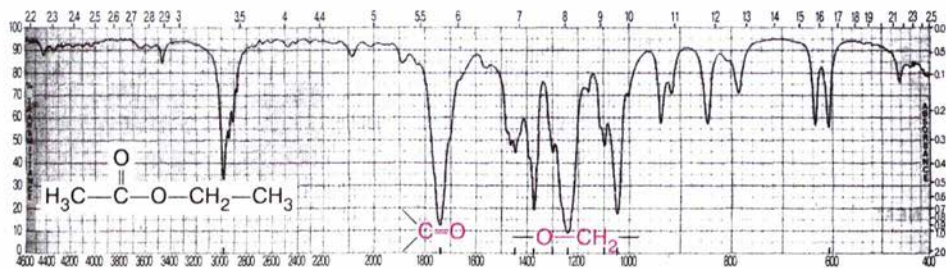
Методи спектроскопії ґрунтуються на явищі взаємодії речовини з електромагнітним випромінюванням. З курсу фізики вам відомі різні типи електромагнітного випромінювання (назвемо їх у порядку зменшення довжини хвилі): радіохвилі, інфрачервоні (ІЧ-), видимі, ультрафіолетові (УФ-), рентгенівські, гамма-промені. 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 проходять крізь неї або поглинаються. У разі поглинання енергія хвилі витрачається 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 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 пальців» 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 і довжину електромагнітної хвилі, за якої відбуваються коливання. За певними смугами поглинання можна





Мал. 89. Інфрачервоний спектр етилетаноату

визначити наявність різних груп атомів у молекулі і тим самим отримати інформацію про структуру невідомої речовини.

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

Розгляньте ІЧ-спектр етилетаноату  $\text{CH}_3\text{—COO—CH}_2\text{—CH}_3$  на мал. 89. Наявність смуги поглинання в ділянці  $1742 \text{ см}^{-1}$  свідчить про валентні<sup>1</sup> 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 надходить 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 залежності інтенсивності поглинання від енергії електромагнітного випромінювання. Процедура триває кілька хвилин.

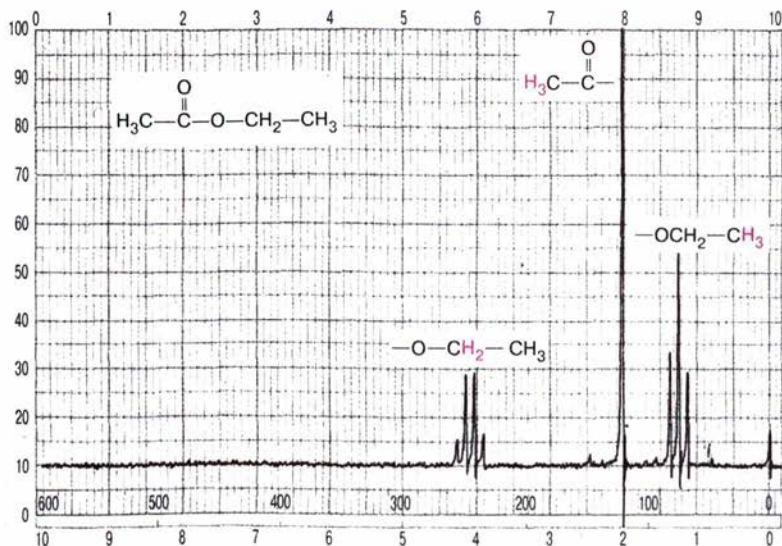
### СПЕКТРОСКОПІЯ ЯДЕРНОГО МАГНІТНОГО РЕЗОНАНСУ (ЯМР)

ґрунтується на тому, що речовина, вміщена 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 поведуться 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 затрачається певна енергія, яку фіксує спектрометр і відтворює у вигляді графіка — спектра ЯМР. Коли дія зовнішнього магнітного поля закінчується, ядро повертається до початкового стану.

Важливо, що до складу всіх органічних сполук входять атоми Гідрогену. Вони поглинають радіохвилі різної довжини (частоти) не лише залежно від атомів, з якими безпосередньо сполучені, а й залежно від

<sup>1</sup> Валентні коливання відбуваються вздовж хімічного зв'язку між атомами. Це можна уявити як скорочення та видовження зв'язку.





Мал. 90. ЯМР-спектр етилетаноату

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 розміщується в однаковому оточенні, тим більшою є 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. ЯМР-спектр етилетаноату, зображений на мал. 90, 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, що її надано ІЧ- та ЯМР-спектрами, дає змогу зробити висновок, що структура сполуки відповідає естеру етилетаноату.

Метод ЯМР прислужився не лише в хімії, його широко використовують у медицині для діагностики захворювань. У спеціальному приладі біологічний об'єкт вміщують у сильне постійне магнітне поле. На об'єкт діють радіочастотним полем, 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 вважають дуже інформативним і водночас неруйнівним для тканин і органів.

Явище ЯМР відкрили американські фізики Ф. Блох і Е. Пьорселл у 1946 р., за що й отримали Нобелівську премію 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.

## ВУГЛЕВОДИ

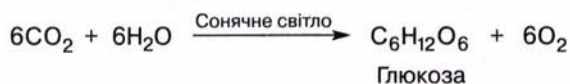


Наприкінці вивчення теми ви зможете:

- класифікувати вуглеводи;
- скласти формули найважливіших вуглеводів;
- порівняти хімічну будову крохмалю й целюлози;
- описати фізичні властивості сполук;
- записати рівняння реакцій окиснення, відновлення, бродіння, естерифікації, гідолізу вуглеводів;
- розповісти про застосування сполук;
- засвоїти терміни: *моно-, ди-, оліго-, полісахариди, перспективні формули, фруктоза, 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 пігмента хлорофілу, що вибирає 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);

*олігосахариди* можна розглядати як продукти сполучення кількох молекул моносахаридів. Найважливішими з них є *дисахариди* (сахароза, лактоза);

*полісахариди* — полімерні сполуки, продукти конденсації великої кількості молекул моносахаридів.

Серед моносахаридів розрізняють *тетрози, пентози, гексози*, молекули яких складаються, відповідно, з чотирьох, п'яти, шести атомів Карбону. Глюкоза і фруктоза належать до гексоз, рибоза — до пентоз.

*Належність сполук до класу вуглеводів підкреслюється в їхній назві закінченням -оза.*

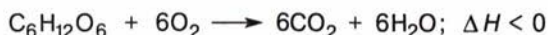




У рівняннях хімічних реакцій глюкозу у відкритій формі прийнято зображувати у спрощеному вигляді:  $\text{HOCH}_2-(\text{CHOH})_4-\text{CHO}$ . Відкрита форма характеризується наявністю в молекулі альдегідної групи.

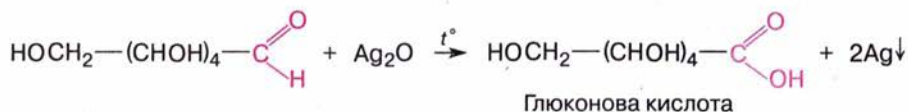
**ФІЗИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ.** Глюкоза — безбарвна кристалічна речовина, добре розчинна у воді, солодка на смак (пригадайте походження терміна *глюкоза*). У вільному стані міститься в багатьох фруктах, зокрема у винограді (звідси походить інша назва глюкози — *виноградний цукор*), у меду, є вона і в корінні, листках і квітах рослин, у крові людини і тварин (близько 0,1 %).

**ХІМІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ.** Внаслідок **повного окиснення** глюкози сильними окисниками вона перетворюється на вуглекислий газ і воду.



Оскільки молекула глюкози містить функціональні альдегідну й гідроксильні групи, можна припустити, що ця речовина вступатиме в реакції, характерні для альдегідів і багатоатомних спиртів.

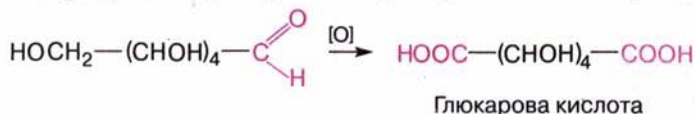
Як альдегід глюкоза реагує з амоніаковим розчином аргентум(I) оксиду (реакція «срібного дзеркала») — альдегідна група **окиснюється** до карбоксильної й утворюється *глюконова кислота*:



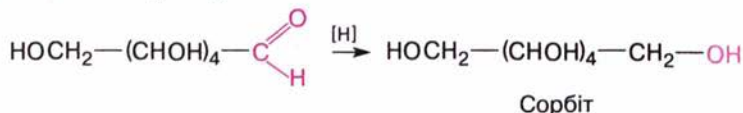
Як альдегід глюкоза окиснюється і в результаті нагрівання з купрум(II) гідроксидом.

◆ Складіть рівняння цієї реакції за аналогією з альдегідами.

Енергійніший окисник (наприклад, концентрована нітратна кислота) окиснює не лише альдегідну, а й первинну спиртову групу відкритої форми глюкози. У результаті утворюється дикарбонова *глюкарена кислота*:



Унаслідок **відновлення** альдегідної групи до спиртової утворюється шестиатомний спирт *сорбіт*:



Ця сполука є заміником цукру в дієті хворих на діабет.

Як багатоатомний спирт глюкоза реагує з купрум(II) гідроксидом .



### Лабораторний дослід 14. Взаємодія глюкози з купрум(II) гідроксидом

Налийте у пробірку 1 мл розчину натрій гідроксиду і додайте кілька крапель розчину купрум(II) сульфату. Спостерігайте утворення осаду купрум(II) гідроксиду. До осаду додайте розчин глюкози і суміш збов-

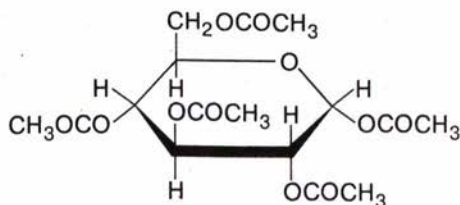


тайте. Спостерігайте утворення прозорого розчину комплексної солі синього кольору.

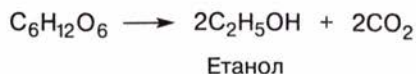
Нагрійте суміш. Що спостерігаєте?

Отже, залежно від умов реакції за допомогою купрум(II) гідроксиду можна виявити і спиртові, й альдегідну групи в молекулі глюкози.

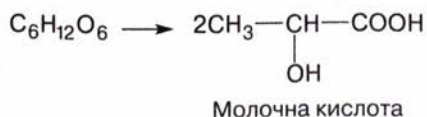
За наявності гідроксильних груп можна припустити, що глюкоза здатна до реакції **естерифікації**. Справді, глюкоза утворює повний естер — пентаетаноат:



Важливою реакцією глюкози є реакція **бродиння**. Під впливом ферментів (природних каталізаторів), що їх виробляють мікроорганізми, відбувається розщеплення молекули глюкози. Зокрема, під дією ферментів дріжджів та 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 оцтова кислота (див. с. 118). Скисання молока, квашення капусти, силосування зелених кормів для худоби — все це приклади *молочнокислого бродіння*, в результаті якого утворюється молочна кислота:



**ДОБУВАННЯ І ЗАСТОСУВАННЯ.** Глюкозу добувають як продукт кислотного гідролізу полісахаридів, наприклад крохмалю.

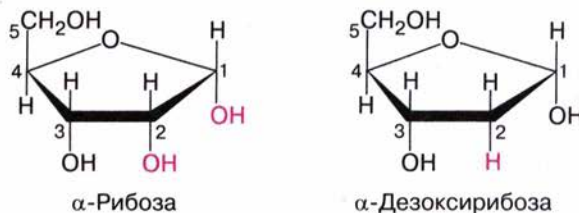
◆ Складіть розповідь про застосування глюкози як поживної речовини, зокрема в медицині.

**ІНШІ МОНОСАХАРИДИ.** Моносахарид **фруктоза** має таку саму молекулярну формулу, що й глюкоза, а саме  $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ . Отже, глюкоза і фруктоза — *структурні ізомери*, тобто відрізняються хімічною будовою. У водному розчині фруктоза також існує в трьох формах:  $\alpha$ -,  $\beta$ - і відкрита. На відміну від глюкози фруктоза утворює не шести-, а п'ятичленний цикл, а у відкритій формі не містить альдегідної групи, тому й не дає реакції «срібного дзеркала».



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 і 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 (*дезокс* означає «без Оксигену»).



Рибоза є невід'ємною складовою 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 та джерелом спадкової інформації живого організму.

(Структурні формули наведено не для запам'ятовування.)



### Завдання для самоконтролю.....

1. Який зв'язок існує між назвою і смаком глюкози?
2. Які форми глюкози вам відомі? В яких агрегатних станах вони існують?
3. Чим різняться за хімічною будовою  $\alpha$ - і  $\beta$ -форми глюкози?
4. Які функціональні групи визначають здатність глюкози до реакцій окиснення і відновлення, естерифікації?
5. До яких сполук окиснюється і відновлюється глюкоза?
6. У чому полягає подібність глюкози і: гліцеролу; етанолу? Як довести цю подібність експериментально?
7. Під впливом яких речовин відбувається реакція бродіння? Від чого залежить її напрямок?
8. Яке біологічне значення реакції повного окиснення глюкози?
9. У процесі спиртового бродіння розчину глюкози утворився вуглекислий газ об'ємом 112 м<sup>3</sup>. Якої маси безводний етанол утворився, якщо реакція відбувалася з виходом 85 %?  
**А** 19,55 кг; **Б** 112 кг; **В** 39,1 кг.
10. Наведіть приклади гексоз і пентоз.
11. Чим різняться за хімічною будовою глюкоза і фруктоза?
12. Чому фруктоза не дає реакції «срібного дзеркала»?
13. Поясніть назву вуглеводу «дезоксирибоза».







Мал. 92. Цукровий буряк — джерело сахарози

**Утворення сахаратів.** Сахароза містить вісім гідроксильних груп і, як будь-який спирт, здатна утворювати алканоліати (тривіальна назва — *сахарати*), але за участю максимально трьох спиртових груп. Особливо важливі кальцій сахарати, оскільки цей процес використовують під час промислового виробництва цукру.

До 20 %-го розчину цукру додано, перемішуючи, вапняне молоко. Утворюється прозорий розчин сахарату складу  $C_{12}H_{22}O_{11} \cdot CaO$ . У результаті нагрівання добутого розчину випадає осад кальцій трисахарату складу  $C_{12}H_{22}O_{11} \cdot 3CaO$ :



**ДОБУВАННЯ І ЗАСТОСУВАННЯ.** Сахароза у вигляді тростинного цукру була відома з давніх-давен як лікувальний засіб. У Європі цукор з тростини з'явився в XVI ст., а з цукрового буряку був виділений уперше в середині XVIII ст.

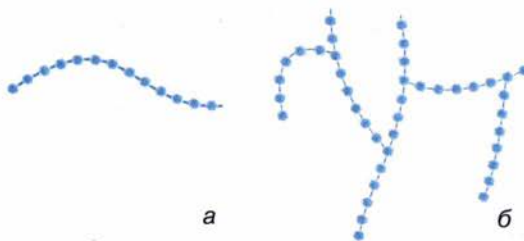
Доведено, що середньорічна потреба людини в цукрі становить близько 30 кг. Оскільки сахароза — цінний харчовий продукт, її добувають у великій кількості. Світове виробництво цукру перевищує 50 млн тонн на рік. Україна виробляє кілька мільйонів тонн цукру на рік із цукрового буряку (мал. 92, 93).



Мал. 93. У цехах цукрового заводу







Мал. 94. Будова полімерних ланцюгів амілози (а) й амілопектину (б)

дзи — 62—82 %. Це резервний полісахарид рослин. У формі крохмалю вуглеводи відкладаються рослинами на запас і використовуються ними як джерело енергії, необхідної, наприклад, для проростання насіння.

У вільному стані крохмаль — білий аморфний порошок, у холодній воді нерозчинний. Якщо суспензію крохмалю у воді нагріти, то крохмаль набрякне й утворить в'язкий розчин. Після його охолодження утворюється клейстер. У цьому можна переконатися на досліді.



### Лабораторний дослід 15. Відношення крохмалю до води

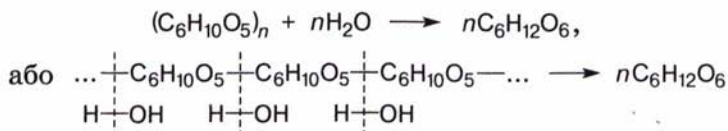
Насипте у пробірку трохи крохмалю, додайте холодної води і розмішайте суміш. Дайте їй відстоятися. Що спостерігається? Чи розчинився крохмаль у холодній воді?

Закип'ятіть воду в склянці. Збовтайте суміш крохмалю з водою і вилийте її з пробірки в гарячу воду. Що спостерігається? Зробіть висновок про відношення крохмалю до води.

Збережіть крохмальний клейстер для наступного досліду.

**ХІМІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ. Реакція гідролізу.** 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 із 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 крохмаль, 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*.

**Реакція з йодом.** Лінійні молекули амілози, що входить до складу крохмалю, скручуються в спіралі, всередину 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).



### Лабораторний дослід 16. Взаємодія крохмалю з йодом

До крохмального клейстеру додайте краплю спиртового розчину йоду. Спостерігайте появу синього забарвлення.

Цю реакцію використовують для *виявлення крохмалю* або йоду. За її допомогою можна, наприклад, контролювати перебіг процесу гідролізу крохмалю. Зі зменшенням кількості молекул крохмалю синє забарвлення поступово переходить у червоне і врешті-решт зникає зовсім.

**ДОБУВАННЯ І ЗАСТОСУВАННЯ.** Крохмаль виділяють механічним способом із крохмалевмісних продуктів (злаків, картоплі). Після подрібнення сировини її обробляють водою, відціджують і добуту суспензію відстоюють; далі продукт відділяють від води і висушують.

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 етилового спирту. З цією метою крохмаль піддають гідролізу, в результаті утворюється глюкоза, яка далі за допомогою спиртового бродіння перетворюється на етанол.

◆ Складіть рівняння послідовних реакцій.

У текстильній промисловості крохмаль використовують для проклеювання тканин, у паперовій — для склеювання паперу і 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. За яких умов можливий гідроліз крохмалю?
5. До якої сполуки гідролізує крохмаль?
6. Що таке декстрини?
7. Які процеси відбуваються під час приготування крохмалевмісної їжі?
8. Які особливості реакції йоду з крохмалем?
9. Вдома випробуйте на наявність крохмалю: свіжі зрізи картоплини і зеленого яблука, варену ковбасу, плавлений сир, борошно, печиво, зубний порошок, косметичну пудру тощо. Зробіть висновки.
10. Крохмаль є клітинним паливом організму людини. Поясніть це твердження.
11. На яких властивостях ґрунтується добування крохмалю з картоплі?

## § 28. ЦЕЛЮЛОЗА (КЛІТКОВИНА)

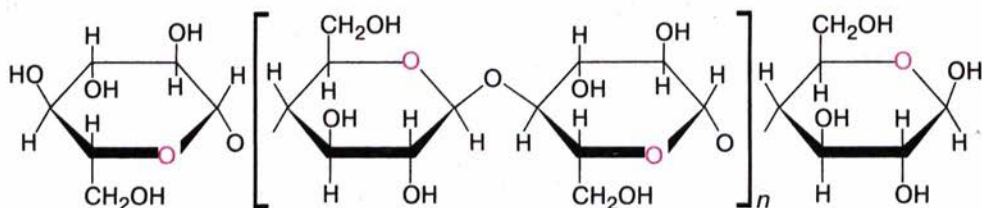
**СКЛАД І БУДОВА МОЛЕКУЛ.** Целюлоза, як і крохмаль, — природний полімер, побудований із ланок складу  $-\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5-$ , такого самого, як у крохмалю. Загальна формула целюлози, як і крохмалю, —  $(\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5)_n$ , проте молекулярна маса целюлози набагато більша, ніж у крохмалю:  $n$  становить 10—14 тисяч.

Вам відома також інша назва целюлози — клітковина.

- ◆ Пригадайте або з'ясуйте за словником походження слова «целюлоза».
- ◆ Складіть розповідь про поширення целюлози у природі.

Молекули целюлози ниткоподібні, лінійні, вона має волокнисту структуру.

Істотною є відмінність складу полімерних ланцюгів крохмалю і целюлози. 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 один відносно одного на  $180^\circ$ .

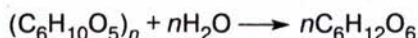
**ФІЗИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ.** Целюлоза — аморфна волокниста речовина, нерозчинна у воді та органічних розчинниках. Не плавиться, але за нагрівання до близько  $350^\circ\text{C}$  розкладається — обуглюється.

**ХІМІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ.** Реакція повного окиснення. Целюлоза горить з утворенням вуглекислого газу та води і виділенням енергії:



Під час спалювання деревини, хмизу, соломи тощо відбувається саме ця реакція.

**Реакція гідролізу.** Як і крохмаль, целюлоза зазнає гідролізу під час нагрівання з розбавленими кислотами, перетворюючись на глюкозу. Сумарне рівняння реакції:



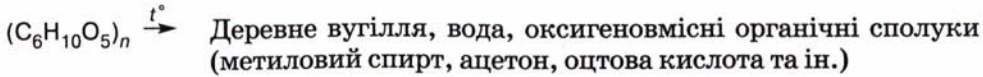
В організмі людини целюлоза, спожита з рослинною їжею, не гідролізується, отже, не засвоюється.



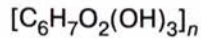
Пригадайте, які тварини здатні перетравлювати целюлозу.

Целюлоза зазнає часткового гідролізу під час силосування соломи, кукурудзи тощо, такі продукти є цінним кормом для сільськогосподарських тварин.

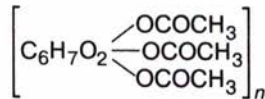
**Реакція розкладу.** У результаті нагрівання деревини без доступу повітря відбувається розклад целюлози з утворенням деревного вугілля, метанолу і ряду інших цінних оксигеновмісних сполук:



**Реакція естерифікації.** Гідроксильні групи целюлози можуть брати участь у реакції естерифікації. Щоб показати наявність гідроксильних груп, формулу целюлози записують у такому вигляді:



Естер целюлози — триетаноат (триацетат)



на відміну від целюлози розчиняється в органічних розчинниках, тому з нього можна виробляти волокна і плівку.

**ЗАСТОСУВАННЯ.** Целюлозу застосовують у вигляді деревини (назвіть, де саме), тканин (яких?), з неї виготовляють папір.

Щоб виготовити папір, целюлозу треба спершу виділити з деревини. Для цього застосовують спеціальні речовини, що розчиняють супутні компоненти, але не розчиняють целюлозу, яку можна виділити фільтруванням.

Велика кількість цінних речовин утворюється в результаті хімічної переробки целюлози: штучний шовк, вибухові речовини, спирти.

**Штучний шовк.** Нині природні волокнисті матеріали не можуть задовольнити зрослі потреби людства, тому широко використовують їхні замінники, добуті штучно. Серед них — *штучний ацетатний шовк*, що його виробляють із 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 *фільтери* — пристрої з отворами малого діаметра, що нагадують сітку душа (мал. 95). Тонкі цівки розчину обдувають гарячим повітрям у вертикальній шахті. Розчинник випаровується, а триацетат перетворюється на тонкі нитки, що є основою для скручування товстих ниток, з яких виробляють тканини.



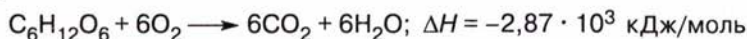
Мал. 95. Фільтера

Іншим видом штучного шовку є *віскозний шовк*. Оскільки у процесі його виробництва целюлоза регенерується, можна вважати, що віскозне волокно більш наближене до натурального порівняно з ацетатним.

**Біоетанол.** Сучасна наука пропонує використовувати природну целюлозу для розв'язування сировинної та енергетичної проблем людства. Річ у тім, що на земній кулі нагромаджена величезна кількість біомаси рослин, основним компонентом якої є целюлоза. Певні види ферментів (біохімічних каталізаторів) уможливають переробку цієї біомаси (побутових відходів, бадилля рослин, качанів, соломи, тирси, мулу) на *біоетанол*, який можна використовувати як добавку до бензину. Виробництво біоетанолу потребує спеціального оснащення, однак біотехнологічні методи переробки біомаси з енергетичною метою мають значні перспективи.

**БІОЛОГІЧНЕ ЗНАЧЕННЯ ВУГЛЕВОДІВ.** Вуглеводи виконують важливі функції в живих організмах. З глюкози та інших моносахаридів, що утворюються в результаті фотосинтезу, в рослинах синтезуються полісахариди крохмаль (енергетичний резерв) і целюлоза (будівельний матеріал клітин).

Вуглеводи посідають чільне місце в раціоні людини, це клітинне паливо організму. Сахароза і крохмаль, спожиті у вигляді їжі, під дією ферментів розщеплюються в організмі до глюкози, а вже вона окиснюється в клітинах з вивільненням енергії. Сумарно цей процес можна описати рівнянням:



Надлишки глюкози відкладаються в печінці у вигляді «запасного» вуглеводню глікогену, близького за структурою до крохмалю. Якщо людина витрачає енергію, наприклад під час фізичних чи розумових навантажень, то глікоген знову перетворюється на глюкозу, яка живить організм. Кожен грам вуглеводів у результаті окиснення в організмі дає 19,2 кДж енергії.

Отже, крохмаль — запасна речовина рослин, а тварини запасують енергію у вигляді глікогену. На думку фахівців, енергетичні потреби людини на 60 % мають задовольнятися за рахунок рослинної їжі, зокрема овочів і фруктів.



### Завдання для самоконтролю.....

1. Чим різняться між собою крохмаль і целюлоза: за складом; за хімічною будовою? Складіть порівняльну таблицю.
2. Які продукти утворюються в результаті термічного розкладу целюлози?
3. На якій реакції целюлози ґрунтується виробництво штучного волокна?
4. Позначте назви речовин у схемі реакції:



- A** 1 — метан, 2 — етанол, 3 — глюкоза, 4 — вуглекислий газ;  
**B** 1 — глюкоза, 2 — сахароза, 3 — етанол, 4 — метан;  
**B** 1 — целюлоза, 2 — глюкоза, 3 — етанол, 4 — вуглекислий газ.





### Додаткові завдання

1. Поясніть класифікацію вуглеводів. Наведіть приклади.
2. Як за допомогою одного й того самого реактиву можна розпізнати сахарозу і глюкозу?
3. Які з вивчених вуглеводів дають реакцію «срібного дзеркала»? Що це засвідчує?
4. Яку спільну властивість мають оліго- і полісахариди?
5. Яке значення реакцій гідролізу вуглеводів? Відповідь поясніть.
6. Складіть рівняння послідовних реакцій, за допомогою яких можна добути кальцій глюконат з крохмалю.
7. Поясніть залежність властивостей речовини від складу і будови молекул на прикладі крохмалю і целюлози.
8. Поясніть взаємозв'язок органічних та неорганічних речовин на прикладі вуглеводів.
9. Поясніть значення і перспективи біотехнологічної переробки целюлози. Підготуйте повідомлення на цю тему.
10. Чи можна дрова назвати біопаливом?
11. Унаслідок окиснення жирів у організмі виділяється вдвічі більше енергії, ніж під час окиснення вуглеводів. Яке значення це має для підтримання нормальної маси тіла?
12. Визначте речовини, що утворюються в результаті перетворень:



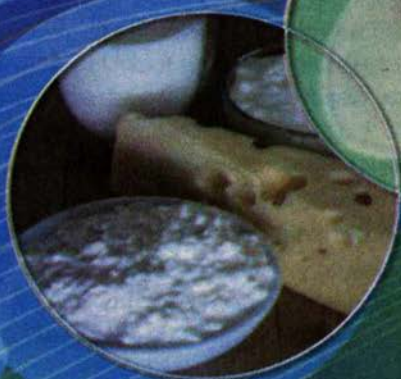
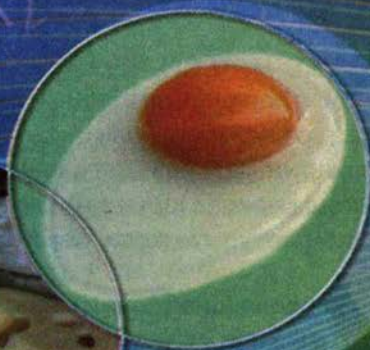
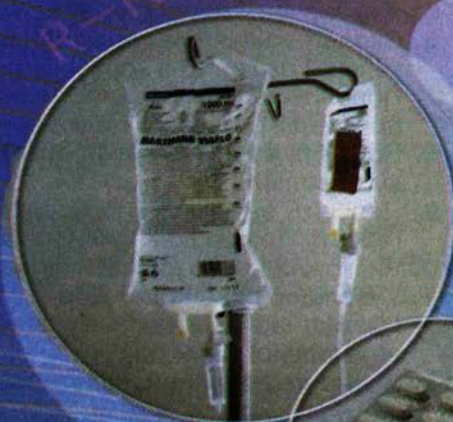
13. Якої маси сахарозу слід гідролізувати, щоб добути фруктозу масою 5 кг?

### Висновки

- У природі вуглеводи утворюються завдяки реакції фотосинтезу.
- Вуглеводи поділяються на моно-, оліго- та полісахариди.
- Глюкоза — моносахарид, гексоза. Загальна формула —  $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ .
- У кристалічному стані глюкоза існує в циклічній формі ( $\alpha$ - і  $\beta$ - глюкоза).
- У розчині частина молекул глюкози перетворюється на відкриту альдегідну форму.
- Глюкоза вступає в реакції відновлення і окиснення, естерифікації, бродиння.
- Фруктоза — ізомер глюкози.
- Рибоза і дезоксирибоза належать до пентоз.
- Сахароза — дисахарид, загальна формула —  $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$ .
- У результаті гідролізу сахарози утворюються глюкоза і фруктоза.
- 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; він складається з амілози й амілопектину.
- Проміжні продукти гідролізу крохмалю — декстрини, кінцевий продукт — глюкоза.
- Целюлоза вступає в реакції окиснення, гідролізу (до глюкози), термічного розкладу, естерифікації.
- Естери целюлози є основою виробництва штучних волокон.
- Целюлоза є сировиною для використання у процесах біотехнології.
- Вуглеводи — цінні поживні речовини.



# НІТРОГЕНОВІСНІ СПОЛУКИ







## ✓ АМІНИ



## ✓ АМІНОКИСЛОТИ



## ✓ БІЛКИ



## ✓ НУКЛЕЇНОВІ КИСЛОТИ

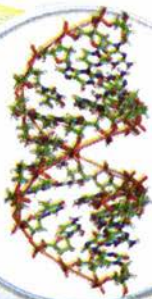
Багато органічних речовин містять, крім Карбону, Гідрогену, Оксигену, ще й Нітроген. Із попередніх тем вам відомі нітрогліцерол, нітробензен; з курсів хімії та біології 9 класу ви можете пригадати, що Нітроген входить до складу таких важливих сполук, як амінокислоти, білки, нуклеїнові кислоти. Важливими для людини є й аміни, з яких ви розпочнете вивчення нової теми.

Пригадайте:

- які функціональні групи входять до складу амінокислот;
- як амінокислоти сполучаються між собою, утворюючи білки;
- що таке подвійна спіраль ДНК;
- яке біологічне значення білків і нуклеїнових кислот.



# НІТРОГЕНОВМІСНІ СПОЛУКИ

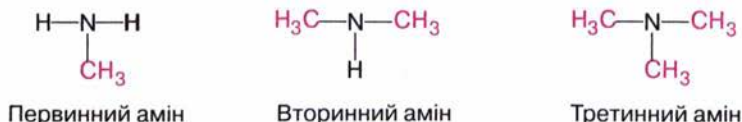


Наприкінці вивчення теми ви зможете:

- назвати сполуки за правилами номенклатури;
- скласти формули структурних ізомерів амінів, амінокислот;
- пояснити електронну будову амінів і амінокислот;
- пояснити електронну суть взаємного впливу атомів у молекулі аніліну;
- пояснити рівні структурної організації білків і нуклеїнових кислот;
- описати фізичні властивості сполук;
- записати рівняння реакцій амінів як основ і амінокислот як амфотерних сполук;
- пояснити схему утворення нуклеїнових кислот;
- пояснити роль амінокислот і білків у харчуванні людини;
- розповісти про добування та застосування сполук;
- засвоїти терміни: *анілін*, *анілінові барвники*, *біполярний іон*.

## § 29. АМІНИ. АНІЛІН

**АЛІФАТИЧНІ АМІНИ. СКЛАД І БУДОВА МОЛЕКУЛ.** Аміни становлять клас сполук, ознакою якого є наявність функціональної *аміногрупи*  $\text{—NH}_2$ . Їх можна розглядати як похідні амоніаку, в молекулі якого один або кілька атомів Гідрогену заміщені на алкільні групи. Залежно від числа заміщених атомів розрізняють *первинні*, *вторинні* та *третинні* аміни:



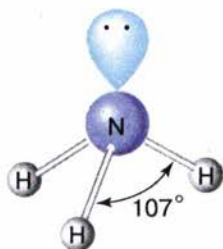
Експериментально встановлено, що молекула амоніаку має форму піраміди, кути між зв'язками становлять  $107^\circ$  (мал. 96). Близькі до них і валентні кути в молекулах амінів —  $106\text{—}108^\circ$  (мал. 97, 98).

Порівняємо електронні формули амоніаку  $\text{NH}_3$  та метанаміну  $\text{CH}_3\text{—NH}_2$ :



В обох цих сполуках атом Нітрогену має неподілену пару електронів, що впливає на властивості речовин.

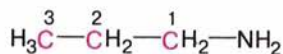
**НОМЕНКЛАТУРА. ІЗОМЕРІЯ.** Назви первинних амінів утворюють поєднанням назви алкану та слова *амін*, перед яким цифрою позначають місце аміногрупи. Назви вторинних і третинних амінів не розглядаємо.



Мал. 96. Валентні кути в молекулі амоніаку

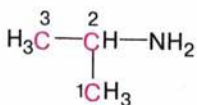


Для амінів характерна *структурна ізомерія* карбонового скелета і положення аміногрупи, а також ізомерія між первинними, вторинними і третинними амінами:

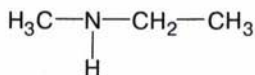


Пропан-1-амін

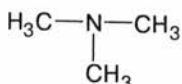
Первинні аміни



Пропан-2-амін



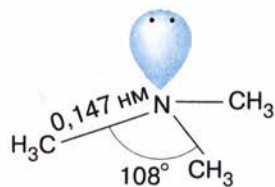
Вторинний амін



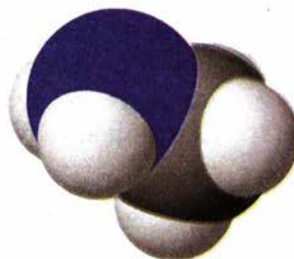
Третинний амін

Ми розглядатимемо первинні аміни, загальна формула яких  $\text{R}-\text{NH}_2$ .

**ФІЗИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ.** Серед амінів є гази, рідини, тверді речовини. Нижчі аміни мають запах амоніаку, розчинні у воді. Первинні й вторинні аміни утворюють водневі зв'язки, тому їхні температури кипіння значно вищі, ніж третинних амінів.



Мал. 97. Геометрія молекули третинного аміну



Мал. 98. Модель молекули метанаміну

Складіть схеми утворення водневих зв'язків між молекулами метанаміну.

Характеристики деяких амінів наведено в таблиці 15.

Таблиця 15

### Характеристики амінів

Назва	Структурна формула	Температура кипіння, °С
Метанамін	$\text{H}_3\text{C}-\text{NH}_2$	-6,5
Етанамін	$\text{C}_2\text{H}_5-\text{NH}_2$	17,0
Пропан-1-амін	$\text{C}_3\text{H}_7-\text{NH}_2$	48,0
Бутан-1-амін	$\text{C}_4\text{H}_9-\text{NH}_2$	78,0

### ХІМІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ

Пригадайте, які хімічні властивості амоніаку зумовлені наявністю неподіленої електронної пари в атома Нітрогену.

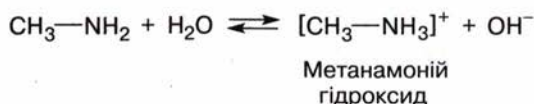
**Реакція окиснення.** На відміну від амоніаку, який окиснюється киснем повітря лише за наявності каталізатора і горить в атмосфері кисню, аміни горять на повітрі з утворенням азоту, вуглекислого газу і води:



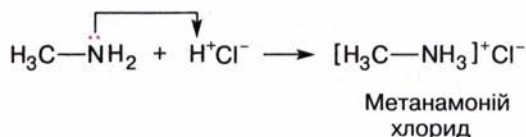
Метанамін

**Реакції амінів як основ.** Зважаючи на подібність будови молекул амінів та амоніаку, можна припустити, що вони мають і спільні властивості. Вам відомо, що водний розчин амоніаку має лужні властивості, змінює забарвлення індикаторів. Аміни так само взаємодіють з водою. Перевіримо це на досліді.

До розчину метанаміну додамо фенолфталеїн — він забарвлюється в малиновий колір. Отже, розчин має лужні властивості:

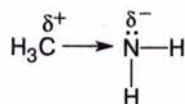


Завдяки наявності неподіленої пари електронів аміни так само, як і амоніак, реагують з кислотами. Якщо до отвору газовідвідної трубки, з якої виділяється метанамін, піднести склянку з хлоридною кислотою або скляну паличку, змочену цією кислотою, то можна спостерігати утворення білої хмаринки солі:

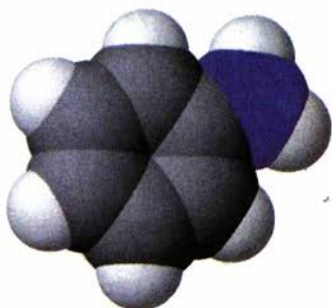


◆ Пригадайте, як утворюється йон амонію, яку роль відіграє неподілена електронна пара.

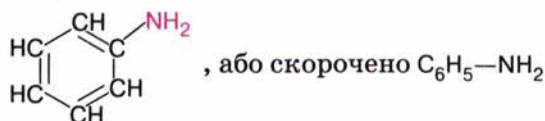
Реакції амінів підтверджують основні властивості цих сполук, через це аміни називають *органічними основами*. Аліфатичні аміни — сильніші основи, ніж амоніак, оскільки під впливом вуглеводневих груп на атомі Нітрогену зростає електронна густина, і він міцніше утримує протон:



**АНІЛІН. СКЛАД І БУДОВА МОЛЕКУЛИ.** У разі, якщо аміногрупа сполучена з бензеновим ядром, то утворюється ароматичний амін **феніламін**, або **анілін** (мал. 99):



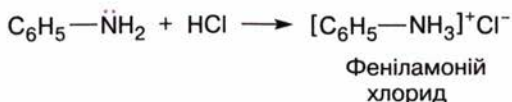
Мал. 99. Модель молекули аніліну



За фізичними властивостями анілін — безбарвна оліїста рідина, малорозчинна у воді.

**ХІМІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ** аніліну дещо відмінні від властивостей аліфатичних амінів. Випробування розчинами фенолфталеїну і фіолетового лакмусу засвідчують, що анілін **не змінює забарвлення індикаторів**. Він реагує лише із **сильними кислотами**, утворюючи солі:

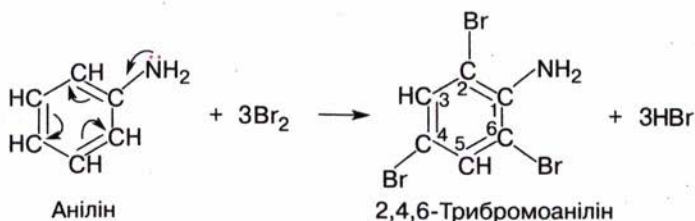




Із цього можна зробити висновок, що анілін — слабкіша основа, ніж амоніак та аліфатичні аміни. Така відмінність хімічної поведінки, як ви вже знаєте, пояснюється будовою молекули. Очевидно, наявність у молекулі аніліну бензенового ядра спричиняє послаблення основних властивостей. Інакше кажучи, **бензенове ядро впливає на аміногрупу**.

Проте вам відомо, що вплив атомів у молекулі взаємний, отже, й **аміногрупа впливає на бензенове ядро**. Перевіримо це на досліді, порівнявши дію бромної води на бензен й анілін.

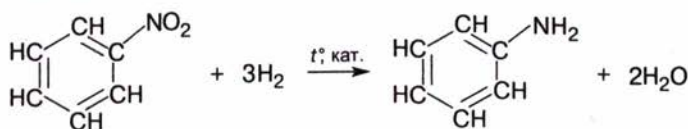
Ви можете пригадати, що бромна вода не діє на бензен, а якщо її додати до розчину аніліну, то утворюється білий осад 2, 4, 6-трибромоаніліну:



Отже, реакції аніліну підтверджують, що завдяки впливу аміногрупи анілін реагує з бромною водою; з іншого боку, через вплив бензенового ядра послаблюються основні властивості аніліну порівняно з аліфатичними амінами.

Зважаючи на велике теоретичне і практичне значення аніліну, розглянемо докладніше його добування і застосування.

**ДОБУВАННЯ АНІЛІНУ.** Основний спосіб добування аніліну — відновлення нітробензену воднем за температури 250—350 °С та наявності каталізатора:

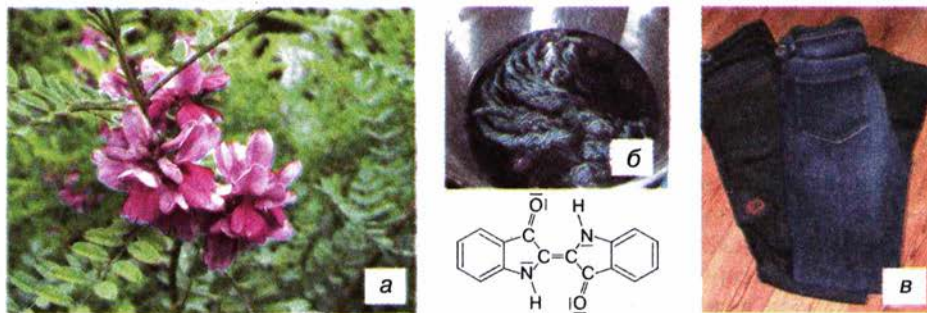


Відновлення можна також проводити металічними залізом, цинком, оловом у середовищі хлоридної кислоти.

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 та лікарських засобів*.

Сама назва аніліну пов'язана з барвниками, його вперше було виділено з продуктів розкладу індиго — синього барвника рослинного походження (португ. *anil* — індиго (блакитний)) (мал. 100). Перші



Мал. 100. Природний індиго добувають із рослин (а, б), а джинси фарбують синтетичним індиго (в)

синтетичні барвники мовеїн (фіолетового кольору) та фуксин (червоного кольору) було добуто в результаті хімічних перетворень з аніліну. Поступово він ставав основною сировиною для синтезу інших барвників, що дістали назву *анілінових*.

Розвиток анілінофарбової промисловості потребував великої кількості аніліну як вихідної сировини. Найдешевший спосіб його добування — з бензену, оскільки бензен є одним із продуктів переробки кам'яного вугілля. У результаті реакції нітрування бензену утворюється нітробензен, який за реакцією Зініна відновлюється до аніліну.

Склався такий ланцюг перетворень:

Кам'яне вугілля → Продукти коксування → Бензен →  
→ Нітробензен → Анілін → Синтетичні анілінові барвники.

У цьому ланцюзі тісно переплелися теорія і практика, наука і потреби промисловості. Розвиток теоретичних уявлень про взаємозв'язок між будовою та властивостями органічних речовин сприяв з'ясуванню будови барвників, відкрив шлях для їх синтезу та широкого використання. У свою чергу, розвиток хімічних виробництв стимулював розвиток теоретичної органічної хімії. Згодом було розроблено теорію кольоровості органічних речовин, що пов'язує їхній колір та електронну будову.

У розробці теорії кольоровості значна роль належить українським ученим, зокрема А. І. Кіпріанову та його учням. Застосування цієї теорії дало змогу розв'язати такі важливі практичні завдання, як



### Микола Миколайович Зінін

(1812—1880)

Російський хімік, випускник, згодом професор Казанського університету, професор Медико-хірургічної академії в Петербурзі. Синтезував низку органічних сполук, вивчав 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. Бородин.





## Висновки

- Аміни містять функціональну аміногрупу  $\text{—NH}_2$ , сполучену з вуглеводневим залишком.
- Аміни — полярні сполуки.
- Через наявність неподіленої пари електронів у атома Нітрогену алкіламіни виявляють основні властивості й реагують з кислотами і водою.
- Порівняно з амоніаком алкіламіни — сильніші основи, а анілін — слабша основа.
- Анілін виявляє властивості, зумовлені взаємним впливом аміногрупи та бензенового ядра: не діє на індикатори, реагує лише з сильними кислотами, а також з бромною водою.
- Основний спосіб добування амінів — відновлення нітросполук.
- Анілін добувають з нітробензену за реакцією Зініна.
- Анілін та його похідні широко використовують у різних галузях промисловості, зокрема в анілінофарбовій та фармацевтичній.



## Завдання для самоконтролю

1. Які сполуки належать до класу амінів?
2. Чим зумовлена ізомерія амінів? Наведіть приклади.
3. Чим зумовлена здатність метанаміну розчинятися у воді?
4. Як відбуваються реакції горіння амінів?
5. Як відбувається реакція метанаміну з хлоридною кислотою?
6. Як позначається на хімічних властивостях аніліну вплив аміногрупи на бензенове ядро?
7. Поясніть вплив бензенового ядра на аміногрупу в молекулі аніліну.
8. Схарактеризуйте значення реакції Зініна.
9. Яку роль відіграв анілін у розвитку хімічної промисловості?
10. Для виробництва аніліну масою 1 т затратили нітробензен масою 1,35 т та водень об'ємом  $800 \text{ м}^3$ . Обчисліть вихід продукту.
11. Порівняйте галузі застосування аніліну й фенолу.
12. Поясніть на прикладі виробництва анілінових барвників, як ви розумієте взаємозв'язок теорії і практики.

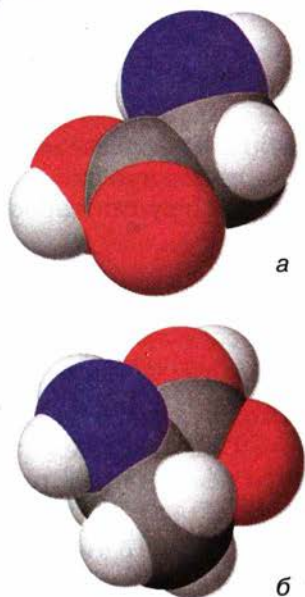


## Додаткові завдання

1. Складіть формули ізомерів бутанаміну.
2. Поясніть, чому третинні аміни не утворюють водневих зв'язків.
3. Поясніть, чому аміни виявляють властивості основ.
4. Складіть порівняльну таблицю хімічних властивостей амоніаку й метанаміну.
5. Солі амінів містяться в оселедцевому розсолі. Обробивши його лугом, можна виділити суміш амінів і використовувати їх для дослідів. Складіть у загальному вигляді рівняння реакції, про яку йдеться.
6. Яка основа сильніша: амоніак чи метанамін; анілін чи метанамін? Відповідь поясніть.
7. Назвіть відомі вам йонні органічні сполуки, напишіть їхні формули.
8. Якщо масова частка Нітрогену в аніліні становить 12 %, то масова частка домішок:  
**A** 20,3 %; **B** 15,05 %; **B** 12 %.







Мал. 102. Моделі молекул гліцину (а) й аланіну (б)

**НОМЕНКЛАТУРА. ІЗОМЕРІЯ.** Назви амінокислот за систематичною номенклатурою утворюють від назв відповідних алканів (нумерація від атома Карбону карбоксильної групи) додаванням префікса *аміно-*, суфікса *-ова* і 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 —  $\alpha$ -амінопропанова кислота). Для амінокислот, що входять до складу білків, як правило, використовують тривіальні назви, причому скорочені, в тому числі й у латинському написанні: гліцин — *гли*, *Gly*; аланін — *ала*, *Ala*; цистеїн — *цис*, *Cys* і т. д.

Масштабні моделі молекул гліцину і аланіну наведено на мал. 102.

Амінокислотам властиві *структурна ізомерія* карбонового скелета та ізомерія положення аміногрупи.

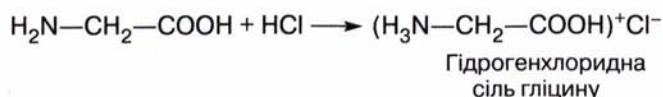
◆ Складіть формули структурних ізомерів  $\alpha$ -амінобутанової кислоти і назвіть їх за систематичною номенклатурою.

**ФІЗИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ.** Амінокислоти на відміну від амінів та 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 аміноетанової кислоти  $\text{H}_2\text{N}-\text{CH}_2-\text{COOH}$  нейтральний, а розчин лізину  $\text{H}_2\text{N}-(\text{CH}_2)_4-\text{CH}(\text{NH}_2)-\text{COOH}$  має лужну реакцію.

**РЕАКЦІЇ З КИСЛОТАМИ І ЛУГАМИ.** 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:







**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 людину і тварин. Лише деякі необхідні для життєдіяльності амінокислоти організм може виробляти самостійно, інші ж мають надходити з їжею. Нестача незамінних амінокислот призводить до патологічних процесів у організмі.

♦ З курсу біології вам відоме значення амінокислот. Яким має бути склад їжі, щоб організм отримував усі необхідні амінокислоти?

Хворим, виснаженим людям іноді вводять амінокислоти у кров, тим самим полегшується їх засвоєння і підтримуються сили організму. Деякі амінокислоти є ліками.

Для відгодівлі сільськогосподарських тварин використовують синтетичні амінокислоти.

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. Чи можна скласти загальну формулу амінокислот?
2. Як утворюється біполярний іон амінокислоти?
3. Схарактеризуйте фізичні властивості амінокислот як йонних сполук.
4. Поясніть дію амінокислот на індикатори.
5. Схарактеризуйте амінокислоти як амфотерні сполуки.
6. У які реакції вступають амінокислоти за: аміногрупою; карбоксильною групою? Складіть рівняння відповідних реакцій.
7. Як утворюється пептидний зв'язок?
8. Складіть формулу трипептиду, утвореного будь-якими амінокислотами, наведеними в таблиці 16.
9. Чому амінокислоти називають «цеглинками» білків?

## § 31. БІЛКИ

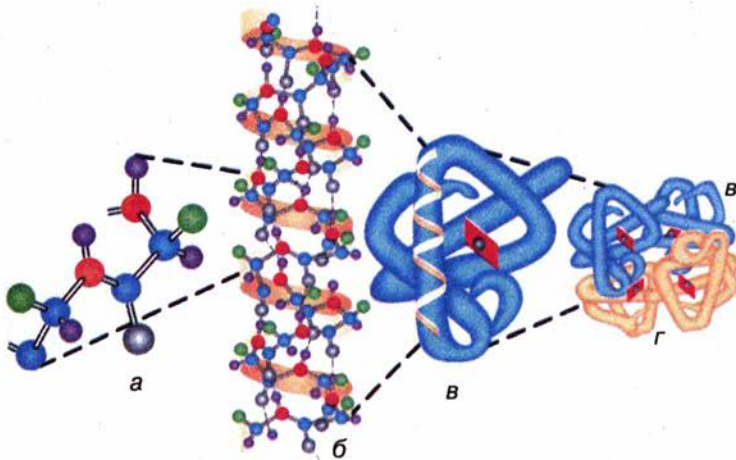
**СКЛАД І БУДОВА.** Думку про те, що амінокислоти є «цеглинками», з яких побудовані білки, уперше висловив видатний український біохімік і хімік Іван Якович Горбачевський.

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. Кожен 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. На відміну від поліетилену чи целюлози білки мають сталий склад і певне зна-





Мал. 104. Структура білка: а, б, в, г — відповідно первинна, вторинна, третинна, четвертинна структури

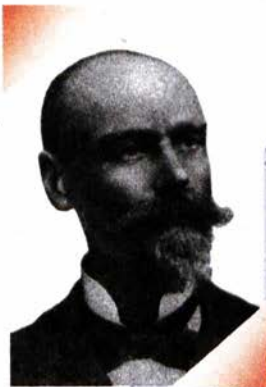
чення відносної молекулярної маси. Для вивчених білків можна скласти загальну формулу, наприклад для білка гемоглобіну — це  $C_{3032}H_{4816}Fe_4N_{780}O_{872}S_8$ . Заміна хоча б однієї амінокислоти в полімерному ланцюзі на іншу амінокислоту має серйозні наслідки для його функціонування в організмі.

Розрізняють чотири рівні структурної організації білків — *первинну, вторинну, третинну* і *четвертинну* (мал. 104).

**Первинну** структуру зумовлює послідовність сполучення амінокислотних залишків у молекулі білка.

Самі амінокислоти дуже різняться за складом, містять різні за електронегативністю атоми Гідрогену, Оксигену, Нітрогену, Сульфуру. Ці атоми взаємодіють між собою, «змушуючи» поліпептидний ланцюг вигинатися і набувати просторової будови. Завдяки утворенню водневих зв'язків між пептидними групами певні ділянки білка можуть скручуватися у формі спіралі (*вторинна* структура білків).

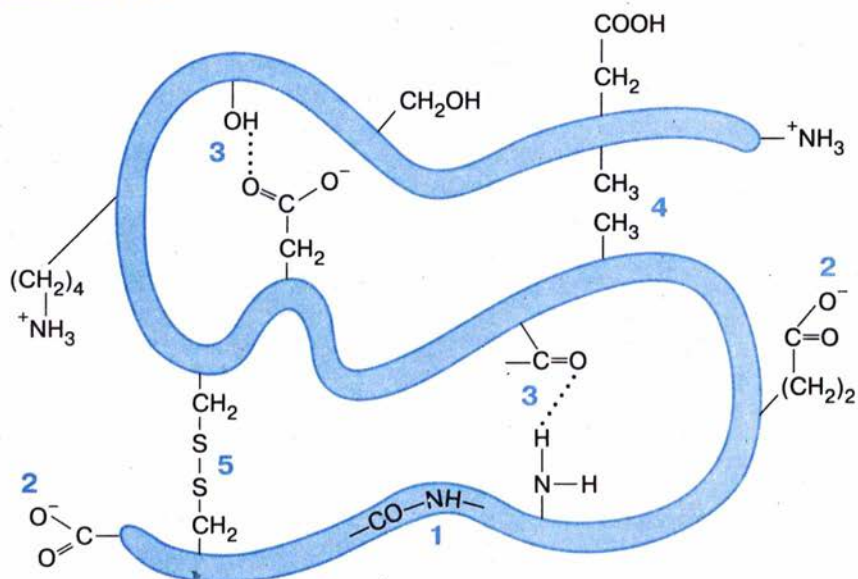
Між ділянками полімерного ланцюга, де є залишки сульфуровмісних амінокислот, можуть утворюватися дисульфідні містки, а між карбоксильними та аміногрупами — сольові містки (мал. 105).



### 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 з хімії українською мовою.



Мал. 105. Хімічні зв'язки у молекулах білків: 1 — пептидні; 2 — йонні; 3 — водневі; 4 — неполярні; 5 — дисульфідні.

Як наслідок відбувається специфічна просторова орієнтація полімерного ланцюга, яка й зумовлює *третинну* структуру білка.

Деякі білки характеризуються *четвертинною* структурою. У білку гемоглобіні (від грец. *гема* — кров і лат. *globus* — куля) цю структуру утворюють чотири макромолекули, певним чином зорієнтовані одна відносно одної. У складі кожної міститься йон  $\text{Fe}^{2+}$ . Чотирма рівнями структурної організації характеризується білок волосся  $\beta$ -кератин: це суперспіраль, що нагадує багатожильний кабель.

Через складність будови вивчення білків — надзвичайно важке завдання.

**ВЛАСТИВОСТІ. Денатурація.** Нагріємо розчин білка курячого яйця і спостерігатимемо, як він зсідається, або денатурує (від лат. *denaturare* — втрата природних якостей). Саме цей процес **денатурації** ви спостерігаєте під час приготування їжі з м'яса, яєць, риби.



**Еміль Герман Фішер**  
(1852—1919)

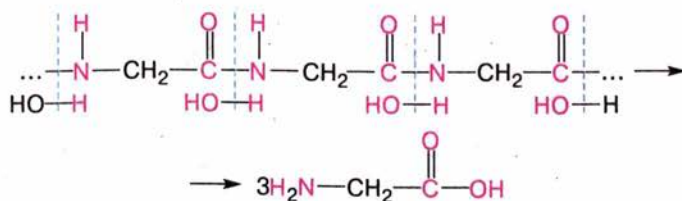
Німецький хімік, член Берлінської академії наук. Наукові праці присвячено хімії фізіологічно активних речовин. Синтезував низку вуглеводів, зокрема глюкозу й фруктозу. Встановив, що амінокислоти сполучаються між собою за допомогою пептидних зв'язків з утворенням поліпептидів, уперше добув дипептид. Лауреат Нобелівської премії 1902 р.



З хімічного боку денатурацію спричиняє руйнування слабких міжмолекулярних зв'язків, а отже, вторинної і третинної структур. Білок втрачає властиву йому просторову будову та залежні від неї функції (мал. 106).

У результаті денатурації білки втрачають біологічну активність, живі клітини гинуть. Саме тому висока температура тіла, дія агресивних хімічних сполук на шкіру, яка має білкову природу, небезпечні для організму.

**Гідроліз.** Це процес, зворотний утворенню поліпептидного ланцюга. Під час гідролізу молекули води приєднуються за місцем пептидних зв'язків, утворюються карбокси- та аміногрупи. Внаслідок цього білок розщеплюється на амінокислоти, з яких він побудований:



Процес гідролізу відбувається під час нагрівання білків з 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 чи риба).

◆ До яких способів вдаються, щоб запобігти розкладу білків у складі їжі?

Для аналітичного виявлення білків використовують так звані кольорові реакції.

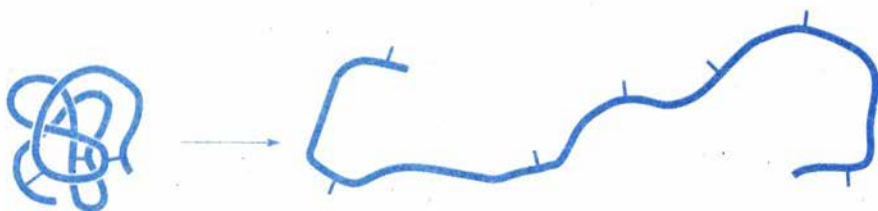
### Лабораторний дослід 17. Кольорові реакції білків

**Дослід А.** До розчину білка курячого яйця у пробірці додайте розчин лугу такого самого об'єму і кілька крапель слабого розчину купрум(II) сульфату.

Що спостерігається? Як змінилося забарвлення розчину?

**Дослід Б.** До розчину білка у пробірці додайте трохи концентрованої нітратної кислоти.

Що спостерігаєте? Як змінився колір суміші?



Мал. 106. Денатурація білка

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.

**БІОЛОГІЧНЕ ЗНАЧЕННЯ АМІНОКИСЛОТ І 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 надходять з їжею (мал. 107). Проте білки їжі безпосередньо не засвоюються організмом, спершу вони гідролізують до амінокислот під дією речовин, що містяться у травному тракті, потім амінокислоти всмоктуються у кров, а вже з нею переносяться до клітин організму, де синтезуються властиві йому білки.

Проблема синтезу білків *in vitro* давно цікавить учених, хоча досягнення в цій галузі незначні: добуто лише окремі білки нескладної будови. Причину цього ви, напевне, можете пояснити самі. Певний поступ спостерігається завдяки автоматизації процесів синтезу.

Значно більших успіхів досягнуто в розробці 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 та багато інших корисних речовин.

Щоправда, ця користь іноді обертається негативним впливом на 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 дотримувати високої культури виробництва, за якої апаратура для вирощування мікроорганізмів надійно герметизується, а відходи знешкоджуються.



Мал. 107. Співвідношення поживних речовин у збалансованому харчуванні





### Завдання для самоконтролю.....

1. Яка хімічна будова білків?
2. Поясніть причини багатоманітності білків.
3. Які чинники визначають первинну, вторинну, третинну і четвертинну структури білка?
4. Схарактеризуйте термічну стійкість білків.
5. Поясніть хімізм процесів гідролізу і розкладу білків.
6. Схарактеризуйте біологічне значення білків.



### Додаткові завдання.....

1. Поясніть, як будова амінокислот позначається на їхніх властивостях.
2. Зробіть припущення про хімічні властивості серину.
3. У чому полягає складність вивчення структури білків?
4. Схарактеризуйте значення процесу гідролізу білків, жирів, вуглеводів для функціонування організму.
5. Чи можна повністю замінити білкову їжу на вуглеводну? Чому?

### Висновки.....

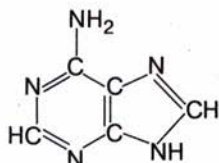
- Усі амінокислоти містять карбоксильну та аміногрупи. Деякі амінокислоти містять інші функціональні групи.
- Амінокислоти існують у вигляді «внутрішніх солей».
- Амінокислоти — амфотерні сполуки.
- Найважливіша властивість амінокислот — утворення поліпептидів.
- Амінокислоти сполучаються між собою за допомогою пептидних зв'язків.
- Білки — це біополімери.
- Білкам властива 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.



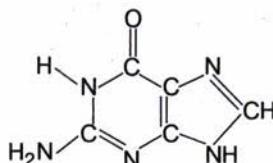
## § 32. НУКЛЕЇНОВІ КИСЛОТИ

**СКЛАД І БУДОВА МОЛЕКУЛ.** У кожній живій клітині містяться нуклеїнові кислоти (НК). Про існування НК відомо давно, однак лише в останні 50 років розкрилося значення цих сполук. НК відкрив швейцарський учений Ф. Мішер у 1868 р. Він також визначив у їх складі наявність Карбону, Гідрогену, Оксигену, Нітрогену, Фосфору. Чисті нуклеїнові кислоти вперше добув у 90-х роках XIX ст. І. Я. Горбачевський.

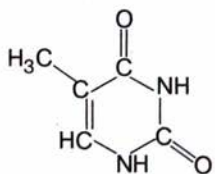
Спершу з'ясувалося, що Фосфор міститься у вигляді залишку ортофосфатної кислоти. Пізніше було виявлено, що до складу НК входять нітрогеновмісні сполуки (*азотисті основи*):



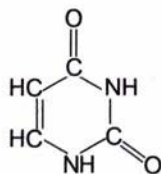
Аденін



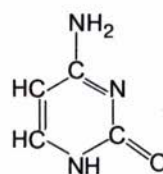
Гуанін



Тимін

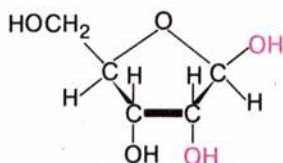


Урацил

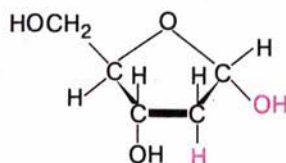


Цитозин

До 1910 р. не було відомо, яким чином сполучені між собою азотисті основи й ортофосфатна кислота, аж поки не виявили, що опосередковують цей зв'язок залишки вуглеводів — моносахаридів. З'ясувалося, що існують два типи НК: до складу одних входить залишок моносахариду рибози, а до складу інших — дезоксирибози. Відповідно кислоти були названі *рибонуклеїною* (РНК) і *дезоксирибонуклеїною* (ДНК).



β-Рибоза



α-Дезоксирибоза

Отже, у складі НК поєднуються азотисті основи, моносахариди й залишок ортофосфатної кислоти. У молекулі НК азотиста основа сполучена з моносахаридом — цей фрагмент називається *нуклеозидом*. Нуклеозид, сполучений із залишком ортофосфатної кислоти, утворює *нуклеотид*. Нуклеотиди є мономерними ланками в полімері НК. У загальному вигляді схему полімерного ланцюга НК можна представити, як на мал. 108.

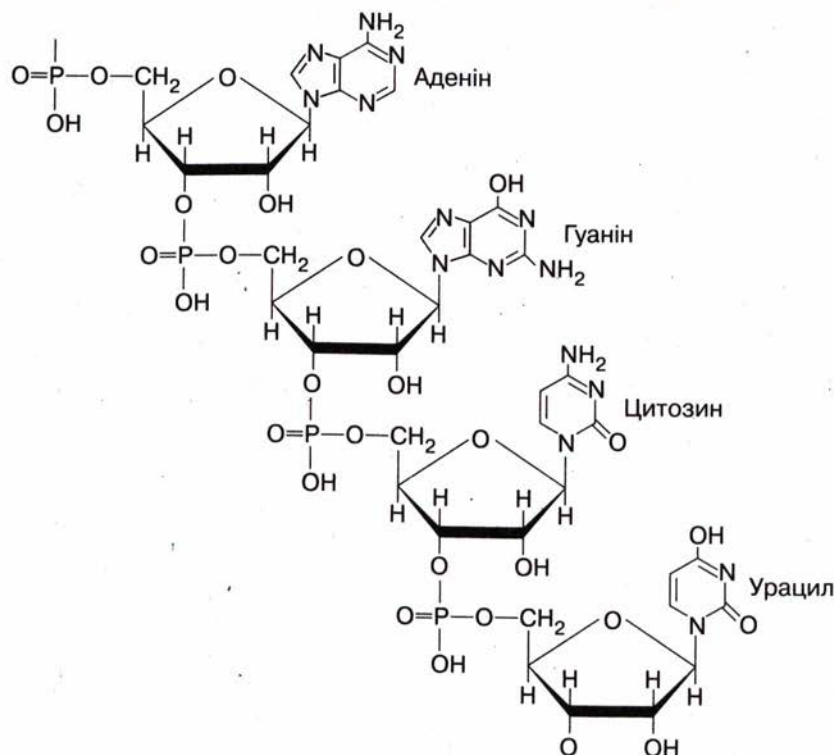
Хімічну будову полімерного ланцюга РНК (фрагмент) наведено на мал. 109.

ДНК і РНК містять різні азотисті основи. До складу ДНК входять аденін, гуанін, тимін, цитозин, РНК — аденін, гуанін, цитозин, урацил.



Мал. 108. Схема будови нуклеїнової кислоти





Мал. 109. Фрагмент полімерного ланцюга нуклеїнової кислоти

У макромолекулах ДНК і РНК з'єднуються тисячі нуклеотидів. Відносна молекулярна маса НК становить від кількохсот тисяч до кількох мільйонів.

Послідовність розміщення нуклеотидів зумовлює *первинну структуру* НК.

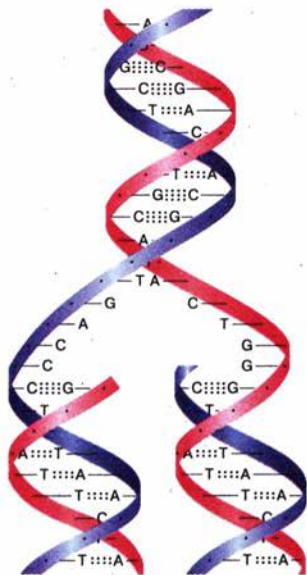
**ПОДВІЙНА СПІРАЛЬ ДНК.** *Вторинна структура* краще вивчена для ДНК. Це два полінуклеотидні ланцюги, закручені у подвійну спіраль (мал. 110). Кожна азотиста основа одного ланцюга спрямована вглиб спіралі і водневим зв'язком сполучена з азотистою основою іншого ланцюга. Важливим є те, що аденін завжди розміщується в парі з тиміном, а цитозин — з гуаніном (мал. 111).

Отже, азотисті основи ніби доповнюють одна одну. Інакше кажучи, вони розміщуються згідно з *принципом комплементарності* (від лат. *complementum* — доповнення).

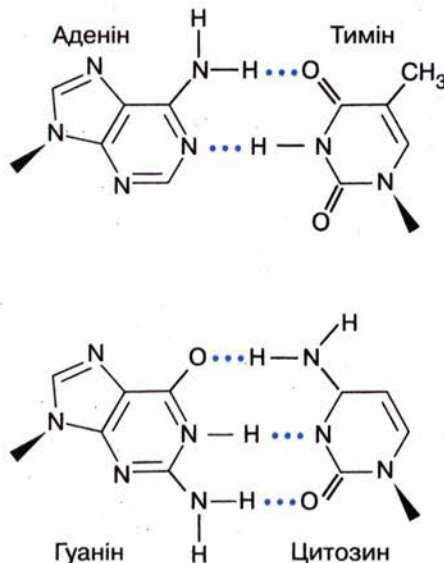
◆ Пригадайте, яку роль відіграють водневі зв'язки у структурі білків.

Модель подвійної спіралі ДНК запропонували в 1953 р. американський учений Д. Уотсон і англійський учений Ф. Крік, за що були удостоєні Нобелівської премії 1962 р. (мал. 112, 113).

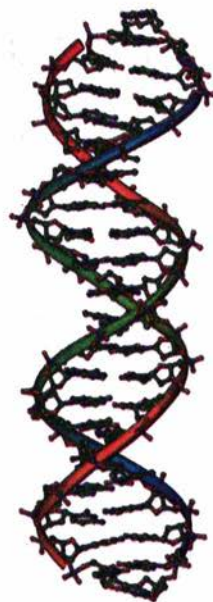
Подвійну спіраль ДНК порівнюють з гвинтовими сходами. «Стояки» сходів — це ланцюги з вуглеводних і фосфатних груп, а власне «східці» утворюють азотисті основи.



Мал. 110. Схема подвійної спіралі ДНК та її реплікації



Мал. 111. Схема утворення водневих зв'язків між азотистими основами паралельних ланцюгів ДНК



Мал. 112. Модель подвійної спіралі ДНК

**БІОЛОГІЧНЕ ЗНАЧЕННЯ ДНК.** Подвійна спіраль ДНК зберігає спадкову інформацію, яка записана (закодована) у вигляді послідовності азотистих основ у полінуклеотидному ланцюзі. Передача інформації відбувається завдяки здатності ДНК до *реплікації* (від лат. *replicatio* — відбиття) (мал. 110). ДНК подвоюється, щоб забезпечити дочірню клітину повним набором відповідних молекул. У момент поділу клітини розриваються водневі зв'язки, подвійна спіраль починає розкручуватися, поділяючись на два ланцюги.



Мал. 113. Майбутні нобелівські лауреати Д. Уотсон і Ф. Крік біля першої моделі ДНК

На кожному з них добудовується додатковий ланцюг за рахунок нуклеотидів, що постачаються з навколишнього середовища і розміщуються за принципом комплементарності. Між азотистими основами утворюються нові водневі зв'язки. У результаті відбувається точне відтворення вихідної подвійної спіралі.

Цей процес є молекулярною основою спадковості. Будь-яка помилка у відтворенні подвійної спіралі спричиняє *мутацію* (від лат. *mutatio* — зміна), тобто зміну спадкових структур організму.

ДНК спрямовує синтез білка в організмі. Послідовність азотистих основ у НК визначає послідовність



амінокислотних залишків у білку. Кожній амінокислоті відповідає свій набір азотистих основ. Отже, структура молекул НК визначає структуру молекул білків, що синтезуються в організмі.

## Висновки

- Нуклеїнові кислоти — природні полімери.
- Мономерні ланки НК — нуклеотиди — складаються з хімічно зв'язаних нуклеозидів (азотистої основи та вуглеводу) і залишків ортофосфатної кислоти.
- Є два типи НК: рибонуклеїнові (РНК) і дезоксирибонуклеїнові (ДНК). Вони різняться між собою за складом азотистих основ та вуглеводів.
- 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.
- 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. Чим різняться між собою за складом ДНК і РНК?
4. Покажіть на мал. 108 мономерну ланку НК.
5. Як, на вашу думку, відбувається частковий і повний гідроліз НК? Які сполуки при цьому утворюються?
6. Що означає парність азотистих основ у структурі ДНК?
7. Поясніть, як утворюються водневі зв'язки між ланцюгами ДНК.
8. До чого може призвести помилка в послідовності нуклеотидів?
9. Позначте функції ДНК в живому організмі:  
**А** слугує будівельним матеріалом; **Б** акумулює енергію; **В** зберігає генетичну інформацію; **Г** передає генетичну інформацію.
10. Поясніть зв'язок між НК і білками в організмі.
11. Схарактеризуйте значення відкриття структури ДНК, спираючись на знання з курсу біології.
12. Зробіть узагальнення щодо взаємозв'язку між складом, структурою і функціями біологічно активних речовин.



# СИНТЕТИЧНІ ВИСОКОМОЛЕКУЛЯРНІ СПОЛУКИ







## ✓ ПЛАСТИЧНІ МАСИ



## ✓ СИНТЕТИЧНІ КАУЧУКИ



## ✓ СИНТЕТИЧНІ ВОЛОКНА

Розрізняють полімери натуральні (природні), штучні та синтетичні. Серед органічних речовин, що ви вивчали, були представники усіх 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 із целюлози. Треті є продуктами органічного синтезу, вони утворюються з речовин неpolімерної будови, наприклад поліетилен.

Пригадайте:

- що таке реакція полімеризації;
- як називають вихідні низькомолекулярні речовини в реакції полімеризації;
- як називають групи атомів, що повторюються і становлять основу хімічної будови полімерного ланцюга;
- що таке ступінь полімеризації.





## СИНТЕТИЧНІ ВИСОКОМОЛЕКУЛЯРНІ СПОЛУКИ

Наприкінці вивчення теми ви зможете:

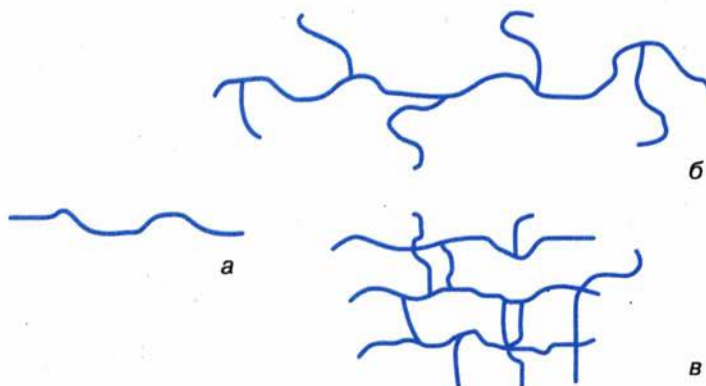
- назвати найважливіші полімери;
- скласти їхні загальні формули;
- навести приклади пластичних мас, синтетичних волокон, синтетичних каучуків;
- класифікувати полімери;
- пояснити застосування синтетичних високомолекулярних сполук;
- порівняти натуральні та синтетичні волокна, природний і синтетичний каучуки;
- засвоїти терміни: *термопластичні, термореактивні полімери, вулканізація каучуку, поліамідні волокна.*



### § 33. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ПОЛІМЕРІВ. ПЛАСТИЧНІ МАСИ

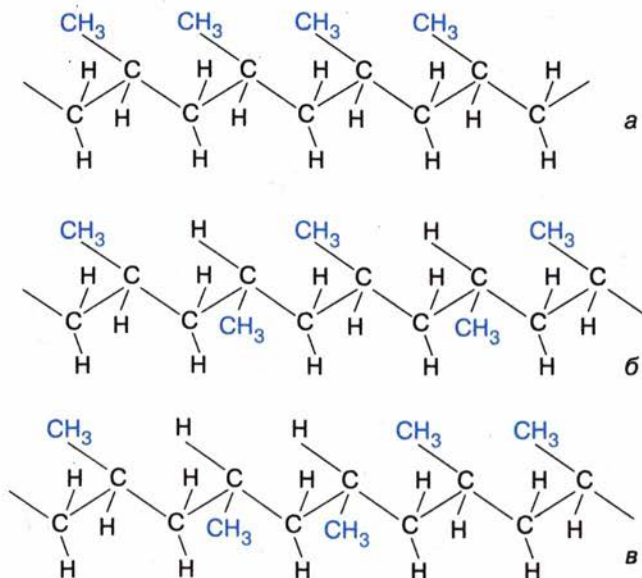
**БУДОВА ПОЛІМЕРІВ.** За будовою полімерного ланцюга розрізняють *лінійні, розгалужені і просторові (сітчасті)* полімери (мал. 114). До перших належать поліетилен, поліпропілен і целюлоза. Лінійну й розгалужену будову має крохмаль, сітчасту — вулканізований каучук.

Залежно від розміщення бічних радикалів чи функціональних груп у полімерному ланцюзі розрізняють *регулярні* (переважно стереорегулярні) та *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. 115).



Мал. 114. Схема будови: лінійного (а), розгалуженого (б) і просторового (сітчастого, в) полімерних ланцюгів





Мал. 115. Схема регулярної (а,б) і нерегулярної (в) будови поліпропілену

Характеризуючи будову полімерів, слід брати до уваги також взаємодію між полімерними ланцюгами в масі полімеру. Між молекулами значної довжини виникає взаємодія, в тому числі встановлюються водневі зв'язки.

Ступінь полімеризації, розгалуженість, упорядкованість структури, міжмолекулярні зв'язки — все це позначається на властивостях полімерів.

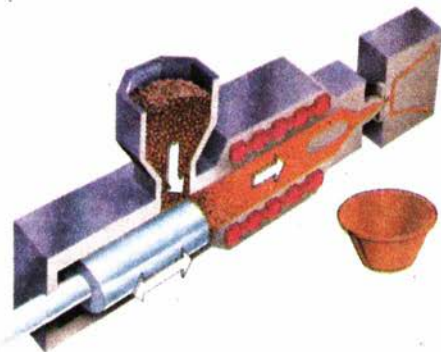
**ВЛАСТИВОСТІ** полімерів залежать від наявності в речовині молекул різної довжини, а отже, різної маси. Насамперед це стосується плавлення полімерів. Процес плавлення має свої особливості, зумовлені взаємодією між молекулами, що мають значну довжину. У процесі нагрівання в розплавлений стан спершу переходять коротші молекули, потім — довші, отже, плавлення відбувається в широкому діапазоні температур.

За відношенням до нагрівання полімери поділяються на дві групи: термопластичні й терморективні.

*Термопластичні* полімери під час нагрівання розм'якшуються, в цьому стані їм можна надати будь-якої форми, що зберігається й після охолодження. 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 *терморективні* полімери в результаті нагрівання втрачають пластичність і після тверднення їх неможливо повернути до початкового стану.

♦ Утилізація полімерів має важливе екологічне та економічне значення. Схарактеризуйте з цих позицій термопластичні й терморективні полімери.



Мал. 116. Виготовлення пластмасових виробів методом лиття

З'ясуйте, з якою метою використовують у пластмасах пластифікатори, стабілізатори, піноутворювачі, антиоксиданти, антистатиками, наповнювачі, пігменти.

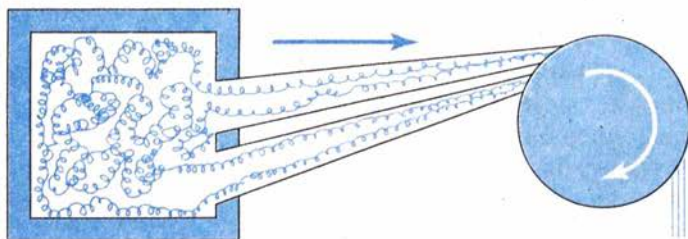
Цінні властивості пластмас: низька густина (легкість) і теплопровідність, хімічна стійкість, здатність до забарвлювання, високі оптичні якості, а також можливість змінювати ці властивості в широких межах унаслідок зміни структури полімерів роблять їх використання економічно вигідним і зручним.

Виготовлення пластмасових виробів відзначається технічною і технологічною простотою — від складних за формою до плівок (мал. 116, 117, 118).

Зразки виробів із пластмас зображено на мал. 119.

**Поліетилен**  $(-\text{CH}_2-\text{CH}_2-)_n$  добувають у промисловості полімеризацією етилену (етену), яку можна проводити за різних умов — високого і низького тиску. Властивості полімерів залежать від умов добування. 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.



Мал. 117. «Витягування» полімерних ланцюгів під час виготовлення плівок і волокон

Полімери регулярної будови і просторові мають більшу механічну міцність і хімічну стійкість.

Під впливом зовнішніх чинників (нагрівання, радіації, світла, вологи, механічного напруження тощо) може відбуватися *деструкція* (від лат. *destructio* — руйнування) полімеру з розриванням хімічних зв'язків у макромолекулах. Цей процес призводить до старіння полімерів, вони стають непридатними до експлуатації.

**ПЛАСТИЧНІ МАСИ.** Щоб виготовити пластмасу, до полімерної маси додають спеціальні речовини.





Мал. 118. Установа з виробництва поліетиленової плівки

За хімічною будовою поліетилен подібний до парафіну, суміші вищих вуглеводнів складу  $C_{18}-C_{35}$ . Пригадайте, що у структурі таких речовин повторюються групи  $-CH_2-CH_2-$ . Цим пояснюється подібність речовин: поліетилен масний на дотик, як і парафін.

Як і насичені вуглеводні, поліетилен не проводить електричного струму, стійкий проти дії кислот, лугів, бромної води, окисників.

Поліетилен — термопластичний полімер. У розплавленому стані йому можна надати будь-якої форми, що зберігається після охолодження.

Завдяки описаним властивостям поліетилен набув широкого застосування.



Мал. 119. Зразки виробів із пластмас

Наведіть приклади застосування поліетилену, відомі вам з побуту.

**Поліпропілен**  $(-\text{CH}_2-\underset{\text{CH}_3}{\text{CH}}-)_n$  дуже близький за властивостям до поліетилену. Фрагмент ланцюга цього полімеру можна подати такою структурною формулою:  $\dots-\text{CH}_2-\underset{\text{CH}_3}{\text{CH}}-\text{CH}_2-\underset{\text{CH}_3}{\text{CH}}-\text{CH}_2-\underset{\text{CH}_3}{\text{CH}}-\dots$

За фрагментом молекули поліпропілену визначте мономер, мономерну ланку полімеру; напишіть їхні структурні формули.

За участю каталізаторів добувають поліпропілен стереорегулярної будови (див. мал. 115). 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.

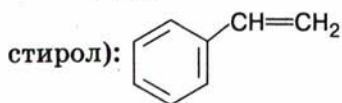
**Поліхлорвініл** добувають з хлорвінілу:



Пластмаси, що 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.

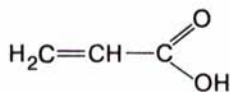
Якими властивостями, на вашу думку, зумовлене використання поліхлорвінілу для виготовлення лінолеуму?

**Полістирол**  $\left[ -\text{CH}_2-\underset{\text{C}_6\text{H}_5}{\text{CH}}- \right]_n$  — полімер стирену (колишня назва —

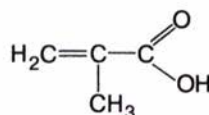


Це термопластичний матеріал, хімічно стійкий, діелектрик, хоча досить крихкий. З нього виготовляють предмети побуту, дитячі іграшки, оздоблювальні матеріали тощо (мал. 120).

**Поліметилметакрилат** — полімер, який добувають з метилового естеру метакрилової кислоти.



Акрилова кислота

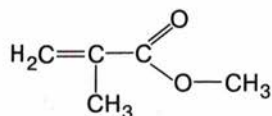


Метакрилова кислота

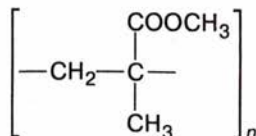


Мал. 120. Жуйна гумка містить полімер стирену — полістирол





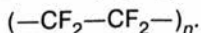
Метиловий естер метакрилової кислоти



Поліметил-метакрилат

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. 121).

**Тефлон**, який виробляють з 1,1,2,2-тетрафлуоретену  $\text{CF}_2=\text{CF}_2$ , має унікальні властивості. Загальна формула полімеру:

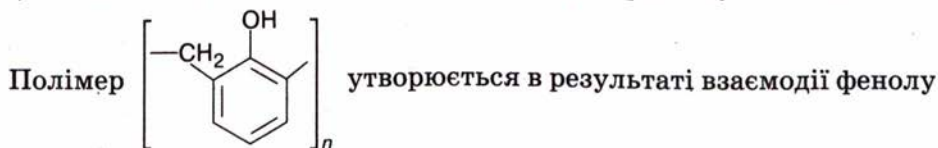


За особливу хімічну стійкість його називають «органічною платиною». Він не розчиняється ні в «царській воді» (суміші нітратної та хлоридної кислот), ні в органічних розчинниках, стійкий проти холоду, нагрівання та світла, неотруйний.

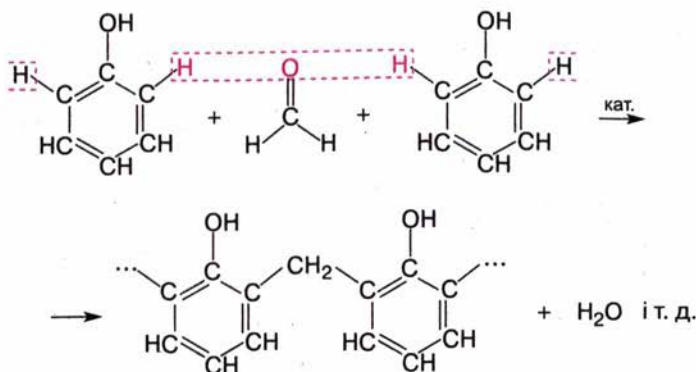
Завдяки цим властивостям з тефлону виготовляють деталі машин і приладів, апаратів, що працюють у хімічно агресивних середовищах та в харчовій промисловості (мал. 122).

Пригадайте, де в побуті використовують вироби з тефлоновим покриттям.

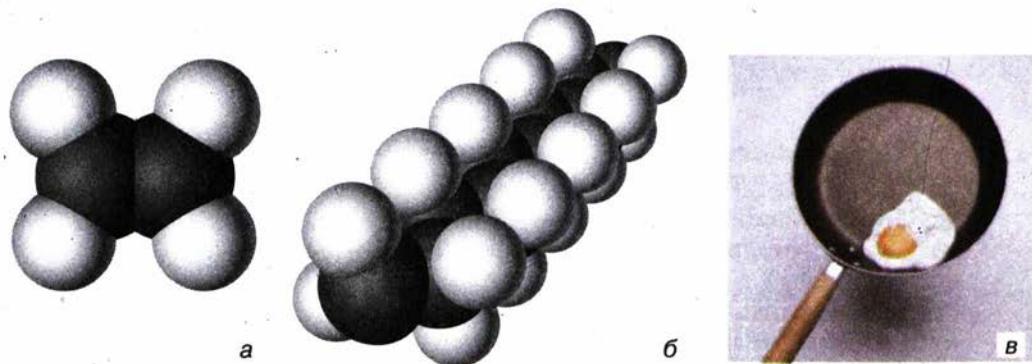
**Феноло-формальдегідні пластмаси** були добути в XIX ст. й дістали назву «бакеліт» (від прізвища американського хіміка Л. Х. Бакеланда, який на початку XX ст. здійснив цю реакцію у промислових умовах). Хоча це перші в історії пластмаси, їх використовують донині.



й формальдегіду (метаналу):



Мал. 121. Куленепробивне скло виготовляють із полімерних матеріалів



Мал. 122. Моделі молекули тетрафлуоретену (а), фрагмента молекули політетрафлуоретену (б) і виріб з тефлоновим покриттям (в)

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 — скловолокном.

Ці матеріали застосовують у ракето- і машинобудуванні, будівництві. Відходи деревини, що їх оброблено феноло-формальдегідною смолою, перетворюються на матеріал, придатний для виготовлення меблів.

### Лабораторний дослід 18. 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 поліхлорвінілом і полістиролом.

Що спостерігаєте?

**Дослід В. Дія на полімери кислоти, лугу, окисника.**

У три пробірки налийте розчини сульфатної кислоти, натрій гідроксиду, калій перманганату. У кожен пробірку вмістіть шматочки поліетиленової плівки і збовтайте вміст. Чи відбулися зміни?

Поясніть спостереження.

### Завдання для самоконтролю.....

1. Що таке синтетичні полімери?
2. Наведіть приклади лінійного, розгалуженого і просторового синтетичного полімерів.



3. Наведіть приклади природних полімерів лінійної, розгалуженої та просторової будови.
4. Поясніть вплив структури полімерів на їхні фізичні властивості.
5. На які групи поділяють полімери за відношенням до нагрівання?
6. Що таке пластмаси?
7. Назвіть основні галузі застосування пластмас.
8. Схарактеризуйте відомі вам полімери, з яких виготовляють пластмаси (мономер, реакція добування, мономерна ланка).
9. Схарактеризуйте поліетилен високого і низького тиску.
10. Поліпропілен стереорегулярної будови — кристалічна, високоплавка речовина, що утворює міцні волокна, а нестереорегулярний полімер м'який, еластичний. Поясніть це з погляду теорії будови.



### Додаткове завдання

Складіть рівняння послідовних реакцій, за допомогою яких можна добути бакеліт, виходячи з коксу.

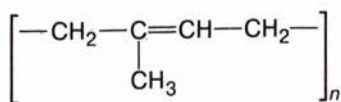
## § 34. СИНТЕТИЧНІ КАУЧУКИ

Упродовж певного часу потреби промисловості задовольнялися природним каучуком, який виготовляли з молочного соку (латексу) каучукового дерева (гевеї) (мал. 123).

Той факт, що природний каучук є полімером дієнового вуглеводню ізопрену  $\text{CH}_2=\underset{\text{CH}_3}{\text{C}}-\text{CH}=\text{CH}_2$ , було встановлено в 1910 р.



Хімічна назва полімеру — поліізопрен:



Природний каучук втрачає цю властивість за низької температури, стає твердим і крихким, а за високої температури — липким.

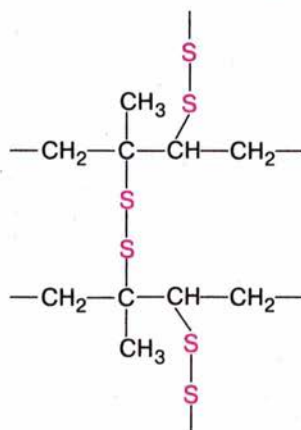
Свого часу це обмежувало його використання, наприклад для виготовлення водонепроникного одягу.

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



Мал. 123. Збирання соку каучукового дерева *Hevea brasiliensis*. Латекс виділяється на зрізі

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:



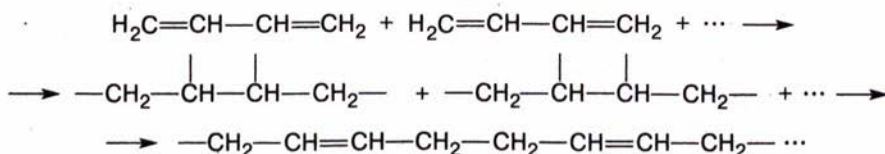
Вулканізований каучук (гума)

З вулканізованого каучуку виготовляють *гуму*, додаючи наповнювачі для поліпшення якості матеріалу. Наповнювачами можуть бути сажа, кремнезем  $\text{SiO}_2$  або алюміній оксид  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , що надають гумі пружності та стійкості проти стирання.

Залежно від умісту сірки можна добувати полімери різного ступеня еластичності й твердості. Високовулканізований каучук, відомий під назвою *ебоніт*, відзначається високими твердістю й міцністю.

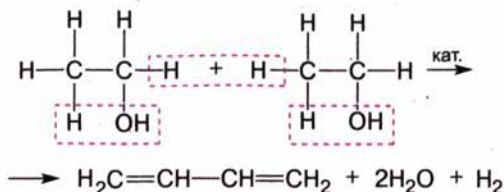
Автомобільний транспорт, що розвивався, інші потреби техніки та й важкодоступність сировини змушували вчених шукати способи добування синтетичного каучуку.

Один із перших синтезів каучуку було проведено в 1931 р. за методом російського хіміка С. В. Лебедева. Це був бутадієновий каучук, що утворювався полімеризацією бутадієну за участю каталізатора (металічного натрію):



Складіть загальну формулу полімеру.

Бутадієн для цього синтезу добували з етилового спирту за реакціями дегідратації та дегідрування:





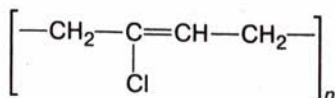
Нині промисловість виготовляє багато різних видів каучуків, за властивостями наближених до натурального. Це стало можливим завдяки застосуванню спеціальних каталізаторів. Сировиною є продукти переробки нафти.

Бутадієновий та ізопреновий — це каучуки загального призначення. Вони використовуються для виготовлення шин та інших гумових виробів для техніки, побуту тощо (мал. 124).



Мал. 124. Цех шинного заводу

До каучуків спеціального призначення належить хлоропреновий:



Це негорючий матеріал, а за властивостями світло-, термо-, масло-стійкості цей каучук переважає натуральний.



### Лабораторний дослід 19. Порівняння властивостей каучуку і гуми

Дослід А. Еластичність каучуку і гуми.

Випробуйте шматки каучуку і гуми на розтяг і розрив.

Який матеріал розтягується легше і швидше повертається до початкового стану?

Який матеріал легше розірвати?

Зробіть висновки.

Дослід Б. Відношення каучуку і гуми до розчинників.

Опустіть по шматочку каучуку і гуми в пробірки з бензином. Запишіть пробірки до наступного уроку.

Що спостерігаєте?



### Завдання для самоконтролю.....

1. Поясніть відмінність у будові натурального ізопренового й синтетичного бутадієнового каучуку.
2. Зобразіть фрагмент стереорегулярного ланцюга хлоропренового каучуку.
3. У чому, на вашу думку, полягає значення синтезу за методом Лебедева?
4. Назвіть галузі застосування синтетичних каучуків.



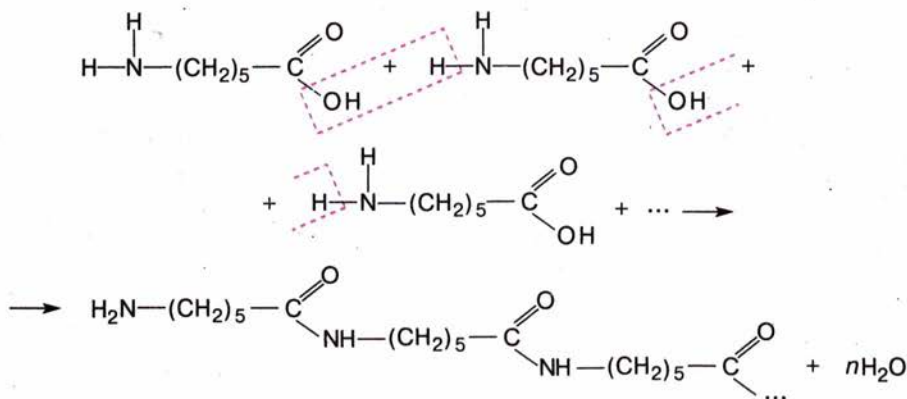
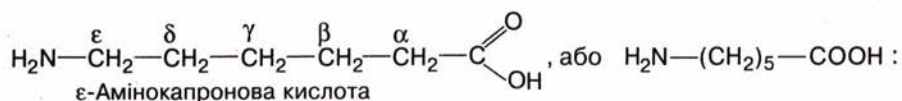
### Додаткове завдання.....

Складіть рівняння послідовних реакцій перетворення крохмалю на бутадієновий каучук.

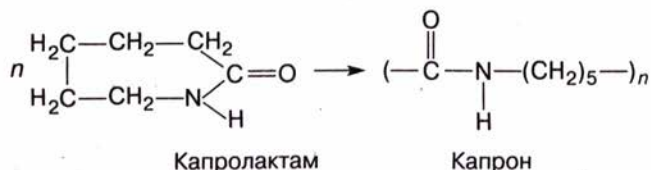
## § 35. СИНТЕТИЧНІ ВОЛОКНА

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 і льон — полімерні матеріали, мономером яких є вуглевод, то вовна і шовк — полімери білкової природи. Їхні макромолекули утворюються в результаті взаємодії 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:

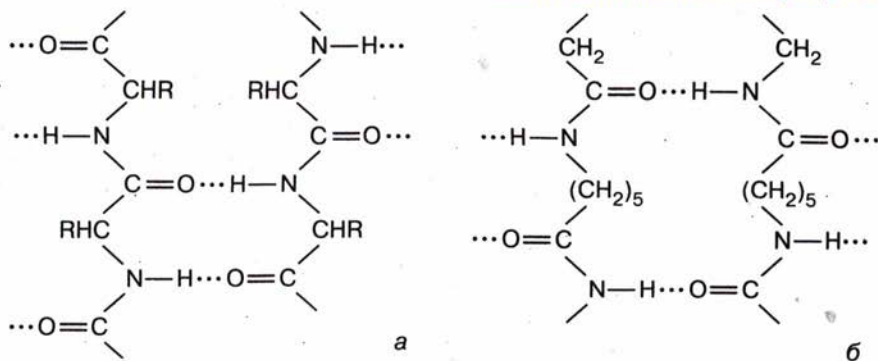


Волокно, що його вироблено з такого полімеру, називають *капроном*.

Капрон належить до *поліамідних* волокон, оскільки утворюється за рахунок амідних (пептидних) зв'язків. Подібність структури капрону до природних волокон білкового походження, зокрема шовку, можна виявити, порівнявши загальні схеми їхньої будови (мал. 125).

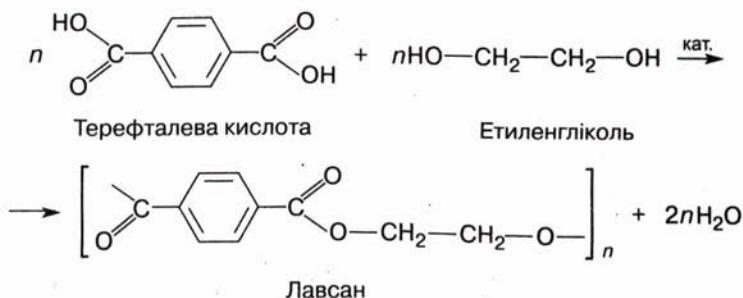
Бачимо, що в обох структурах є міжмолекулярні водневі зв'язки. Це надає волокнам високої міцності. Крім того, капронове волокно має ще ряд цінних властивостей: не вбирає вологи і через це швидко висихає, стійке проти стирання.





Мал. 125. Фрагмент будови макромолекули натурального шовку (а) і капрону (б)

Іншу групу синтетичних волокон становлять *поліестерні* волокна. Неважко 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 дикарбонової терефталевої кислоти та етиленгліколю. 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, з лавсану роблять фільтрувальні тканини, канати тощо.



### Лабораторний дослід 20. Відношення синтетичних волокон до розчинів кислоти і лугу

Налийте у дві пробірки по кілька мілілітрів розбавленої сульфатної кислоти, у дві інші — розчин лугу. Опустіть у різні розчини шматочки тканин з капрону і 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 і шовку?
3. Схарактеризуйте структуру капрону. Поясніть, чому він належить до поліамідних волокон.
4. Які переваги і вади капрону?
5. Схарактеризуйте структуру поліестерних волокон. Поясніть їхню назву.
6. Поясніть застосування синтетичних волокон на основі їхніх властивостей.



### Додаткове завдання.....

Найлон — поліамідне волокно, утворене внаслідок взаємодії діаміну  $\text{H}_2\text{N}-(\text{CH}_2)_6-\text{NH}_2$  та дикарбонової кислоти  $\text{HOOC}-(\text{CH}_2)_4-\text{COOH}$ . Складіть хімічне рівняння цього процесу.

### Висновки.....

- Полімерні ланцюги бувають лінійної, розгалуженої та просторової будови.
- 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 і спеціального призначення.
- Капрон належить до синтетичних поліамідних волокон, а лавсан — до поліестерних.
- Широке застосування пластмас, синтетичних каучуків і волокон зумовлене їхніми унікальними експлуатаційними властивостями.



## § 36. РОЗМАЙТТЯ ОРГАНІЧНИХ РЕЧОВИН, ВЗАЄМОЗВ'ЯЗОК МІЖ НИМИ

Вивчення органічної хімії побудовано за принципом ускладнення структури і 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 при всьому своєму розмаїтті 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 різноманітність органічних речовин.

Насамперед це **характер карбонового ланцюга**. Навіть за однакового числа атомів Карбону можуть утворюватися молекули у формі ланцюга чи кільця.



Інша ознака — **характер міжкарбонів хімічних зв'язків**. Між атомами Карбону можуть установлюватися прості, кратні та ароматичні зв'язки.

**Наявність функціональних груп** зумовлює існування різних класів органічних речовин — спиртів, альдегідів, карбонів кислот, естерів, амінів тощо. Різноманітності додають і сполуки, які містять кілька функціональних груп — амінокислоти, вуглеводи та багато інших, що їх вивчають у курсі органічної хімії у вищих навчальних закладах.

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 різноманітності органічних речовин.

Здатність деяких органічних сполук до реакцій **полімеризації** розширяє кількість органічних сполук, насамперед добутих синтезом.

**Ізомерія** усіх видів — одна з найважливіших причин розмаїття органічних речовин. Навіть за умови одного й того самого складу молекул можливі різні варіанти їхньої хімічної та просторової будови. Для алкану складу  $\text{C}_{25}\text{H}_{52}$  варіантів хімічної будови існує аж 36 797 588. Щоб обчислити кількість структурних ізомерів алканів, які містять від 1 до 100 атомів Карбону, хімікам Київського національного університету імені Тараса Шевченка довелося розробити спеціальну комп'ютерну програму (додаток 2). Зважте, що наведене вище число ізомерів відбиває не всі можливі варіанти будови сполуки, до цього слід додати ще й число можливих конформерів.

Отже, розмаїття органічних сполук, ускладнення їхньої будови і функцій — від метану до ДНК — пов'язане переважно з необмеженими можливостями комбінування структур, взаємного розміщення атомів і фрагментів молекул за умови одного й того самого складу.

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 складових. Такими складовими можуть бути елементарні частинки, атоми, молекули, полімери (макромолекули), надмолекулярні утворення. Останні ще називають супрамолекулярними (від лат. *supra* — над). Очевидно, що молекулярні речовини складніші за будовою порівняно з атомними, а полімерні — порівняно з молекулярними. У зв'язку з цим речовини можна розташувати в певному порядку, за рівнями складності — від нижчого до вищого, тобто в їхній ієрархії (від грец. *священний* і *влада*; в широкому розумінні — розташування частин у певному порядку, від вищого до нижчого). Такими рівнями структурної організації хімічних сполук є: атомний, молекулярний, полімерний, супрамолекулярний. Кожний вищий рівень ґрунтується на нижчому і 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 специфічні 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 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 в природному й денатурованому білку. Але оскільки в останньому зруйновано вторинну і третинну структури, то такий білок позбавлений біологічних функцій. Для їх здійснення у білка має бути структурна організація не будь-якого, а певного рівня.

Якщо розглядати рівні організації не лише речовин, а матерії в цілому, то атомний рівень організації межує із субатомним (від лат. *sub* — під), тобто рівнем елементарних частинок, який вивчає фізика; супрамолекулярний рівень — з клітинним, організменним та надорганізменним рівнями, які вивчає біологія. Отже, органічні речовини пов'язують у єдиний ланцюг усі рівні організації матерії — від неживої до живої, а органічна хімія як галузь науки є важливою ланкою у зв'язках між природничими науками.

**Генетичні зв'язки.** За всієї різноманітності органічні речовини здатні до взаємоперетворень. З простіших можна добути складніші, від сполук одного класу перейти до сполук іншого. Окреслимо, наприклад, шлях хімічних перетворень вуглеводнів у амінокислоти (схема 3).

Схема 3



◆ Складіть рівняння реакцій за схемою 3.

◆ Доповніть схему 3 неорганічними сполуками. Зробіть висновок.

Завдяки взаємоперетворенню органічних сполук можна здійснювати синтези, спрямовані на добування речовин із заздалегідь заданими властивостями. Так, з порівняно простих за будовою вуглеводнів можна синтезувати велику кількість складних речовин, потрібних і корисних людині. Вуглеводні є продуктами переробки нафти і природного газу, а тому найдоступнішою хімічною сировиною. Нафтохімічна промисловість забезпечує величезну кількість виробництв — синтетичних каучуків, мийних засобів, волокон, пластичних мас, ліків, засобів захисту рослин та багато інших.





### Завдання для самоконтролю.....

1. Складіть формули і назви органічних речовин, що ілюструють ознаки розмаїття органічних сполук.
2. Складіть схему класифікації органічних сполук, наведіть приклади речовин, визначте їхні функціональні групи.
3. Наведіть приклади ізомерії карбонового скелета, положення кратного зв'язку, положення функціональної групи, міжгрупової та міжкласової ізомерії, *цис-*, *транс-*ізомерії. Складіть структурні формули і назви речовин.
4. Наведіть приклади реакцій органічних сполук: гідрування, гідролізу, гідратації, дегідроциклізації, ізомеризації, омилення. Складіть рівняння реакцій.
5. Назвіть речовини, що є основою таких продуктів органічного походження: мило, цукор, оцет, бензин, картопляне борошно, алкоголь, папір, сало, гума, капрон.
6. Складіть кілька схем генетичних перетворень органічних речовин, запропонуйте розв'язати їх вашим однокласникам.
7. Які речовини і яких класів можна було б виявити в колбах, що належали: Миколі Зініну, Миколі Зелінському, Івану Горбачевському, Фрідріху Кекуле, Емілю Фішеру?
8. Прокоментуйте висловлювання одного з літературних героїв А. П. Чехова: «Незабаром хімічним шляхом виготовлятимуть молоко і дійдуть, мабуть, до м'яса!.. З нічого не вартих газів і подібного виготовлятимуть усе, що заманеться!».
9. Уявіть, яким міг бути лист Ф. Велера до Я. Берцеліуса (див. с. 9), якби вчений писав його в наш час. Спробуйте скласти такого листа.

## § 37. ХІМІЯ: НАУКА ДЛЯ ХХІ СТОЛІТТЯ

От і завершується курс хімії, що супроводжував вас із 7 класу. Для когось навчання хімії триватиме й далі, коли ви здобуватимете вищу чи професійну освіту в галузях, так чи інакше пов'язаних із цією наукою, — біології, медицини, екології, фізики, геології, харчової, легкої промисловості, будівельної індустрії, технології та багатьох інших. Хтось більше ніколи не повернеться до вивчення хімічних теорій, внутрішньої будови речовин, закономірностей хімічних реакцій. Але кожного з вас упродовж усього життя оточуватимуть матеріали хімічних виробництв, завдяки яким працюють комп'ютери й мобільні телефони, рухаються автомобілі, проводять медичні обстеження й лікування, з яких виготовляють одяг, якими облаштовують житло, які підвищують врожай і зберігають його. Ви житимете в довкіллі, де відбуваються численні хімічні перетворення, що впливають на повітря, річки, ґрунти і визначають не лише їхній стан, а й стан вашого здоров'я. Вчителі та автори підручників хімії намагалися пояснити вам, як улаштований довколишній світ і як він функціонує — адже саме хімія дає відповіді на ці питання. Саме для того, щоб розуміти внутрішню будову речовин, закони, що керують хімічними явищами в природі, в організмі, в техніці, використо-

увати ці знання з користю для природи, для збереження здоров'я, примноження добробуту суспільства, ви й вивчали хімію.

Спробуйте разом узагальнити знання про здобутки хімії в різних сферах життя, обговорити деякі актуальні проблеми, що їх допомагає розв'язати хімія. Для цього вам треба пригадати вивчене, скориставшись у разі потреби підручником, довідником, енциклопедією, інтернет-ресурсами тощо, і поміркувати над питаннями, які будуть сформульовані нижче.

У наш час відбувається колосальне розширення й поглиблення хімічних знань. Досягнення цивілізації останніх десятиріч тісно пов'язані з успіхами хімії у науковій та виробничій галузях, 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 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 тис., 1910 р. — 150 тис., 1940 р. — 500 тис. Нині ніхто не ризикне назвати точну кількість відомих речовин, бо щороку синтезують від 200 до 300 тис. лише органічних сполук. Останніх на сьогодні відомо вже 20 млн і до цього слід додати близько 700 тис. неорганічних сполук.

◆ Поясніть, як ви розумієте такі висловлювання вчених-хіміків щодо багатоманітності речовин:

*«Розвиток хімії показав, що різноманітність речовин у природі пояснюється 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).

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 (мал. 126).

Якщо біолог, геолог, астроном досліджують природу, то хімік-синтетик повинен спершу добути речовину, якої до цього в природі не існувало, дослідити її властивості й перетворення. 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 воістину творить нові світи, які не існували, поки не вийшли, оформившись, із його рук, подібно до того, як матеріал, щойно вийшовший з рук майстра, набуває сили й виразності витвору мистецтва»*.

◆ Наведіть ваше власне тлумачення цих висловлювань.





Мал. 126. Усе починається з лабораторії органічного синтезу

Будучи яскраво самобутньою і посідаючи виняткове місце серед інших природничих наук, хімія водночас тісно пов'язана з ними.

Речовина як вид матерії є об'єктом вивчення і хімії, і фізики, і біології. Фізика розглядає дискретну будову речовини, різні її стани, вплив будови на властивості, що «цікавить» також і 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 хімічних знань (мал. 127).

Плідність провідних ідей хімії доведено розвитком усіх галузей природознавства, передусім біології. Вам відомо, що органічна хімія розпочиналася з дослідження речовин рослинного і 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 розшифрування структури і штучне відтворення таких складних біологічних об'єктів, як жири, деякі білки, вуглеводи, вітаміни. Хімія сприяє розумінню перебігу процесів у організмах на молекулярному рівні.

Хімію біологічно активних речовин, що становлять вищий рівень речовинної форми організації матерії, порівнюють з молекулярною інформатикою, предметом якої є збереження й зчитування інформації, записаної в параметрах молекул.



Мал. 127. Модель молекули білка міоглобіну

◆ Пригадайте, як передається генетична інформація, які сполуки беруть участь у цьому процесі.

Відбувається взаємопроникнення біології і хімії: остання, наприклад, використовує природні ферменти як хімічні реагенти 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 (мал. 128) 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 біо- й нанотехнології.

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 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, такими як колір, запах, твердість, еластичність, температури 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. 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 в цих галузях: ядерний магнітний резонанс, спектроскопія у видимій, ультрафіолетовій та інфрачервоній ділянках спектра, полярографія, хроматографія та ін.



Мал. 128. Карбонові нанотрубки — основа перспективних матеріалів

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 хімічних операцій, як екстрагування, настоювання, розчинення, змішування, фільтрування, возгонка тощо.

У XV—XVI ст., коли завдяки географічним відкриттям значно розширилися контакти між



державами і людьми, розповсюдилися і 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 і тваринного походження. Пізніше з рослинних продуктів почали виділяти активні речовини, наприклад хінін з кори хінного дерева, морфін з 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 усієї 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. Таким чином технічні й технологічні проблеми переробки кам'яного вугілля переплелися з проблемами теоретичної і практичної хімії, фармакології, медицини.

Іншим прикладом розв'язування 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.
- ◆ Наведіть приклади взаємозв'язків хімії й геології, хімії й математики, хімії й інших наук і технологій.

Величезну кількість хімічних сполук «задіяно» в розв'язуванні **глобальних проблем людства**: продовольчої, сировинної, енергетичної, екологічної. Саме остання пов'язується суспільною думкою зі здобутками й прорахунками хімії. Створений 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 реакції природних об'єктів на вплив цих продуктів. Наприклад, поява нових ліків призводить до формування нових резистентних (стійких) штамів мікроорганізмів.

Вплив хімії на довкілля й наше життя в цілому постійно зростає. Об'єктивно існуючи в техносфері, сучасна людина використовує штучно створені речовини і матеріали, що є продуктами хімічного виробництва. Використання цих продуктів потребує певних хімічних знань, хімічної культури, що стають чинником виживання в реальних умовах екологічних ризиків.

- ◆ Підготуйте повідомлення про вплив хімічних сполук на довкілля, здоров'я людини та про засоби запобігання їх шкідливому впливу.
- ◆ Людство докладає величезних зусиль до пошуку нових джерел енергії (мал. 129). Яка, на вашу думку, роль хімії у розв'язуванні цієї проблеми?



Мал. 129. Ріпак — сировина для виробництва біопалива

Сучасні наукові хімічні знання 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 їх упередження й розв'язування, оскільки саме хімія володіє методами поліпшення екологічної ситуації, забезпечує людство матеріалами, енергією, засобами боротьби з хворобами.

Вплив хімічних знань на духовну й матеріальну культуру людства не потребує додаткової аргументації. Вивчаючи хімію, ви переконалися, що ці знання використовуються 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 таємниці живого може здійснитися через пізнання процесів у організмах на молекулярному рівні. Усе це визначає важливу гуманістичну функцію знань з 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 хімічних знань для гармонійного життя в довіклі.
- ◆ Наприкінці вивчення курсу хімії напишіть твір на тему: «Чому я люблю (не люблю) хімію».



## ПРАКТИЧНІ РОБОТИ

### Практична робота 1

#### Виявлення Карбону, Гідрогену і Хлору в органічних речовинах

Дослід 1. Виявлення Карбону і 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 і хімічний посуд:** пробірка з газовідвідною трубкою, пробірка для вапняної води, нагрівальний прилад, штатив.

**Парафін** — суміш твердих високомолекулярних насичених вуглеводнів білого або жовтого кольору;  $t_{\text{пл}}^{\circ} = 50\text{—}55\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

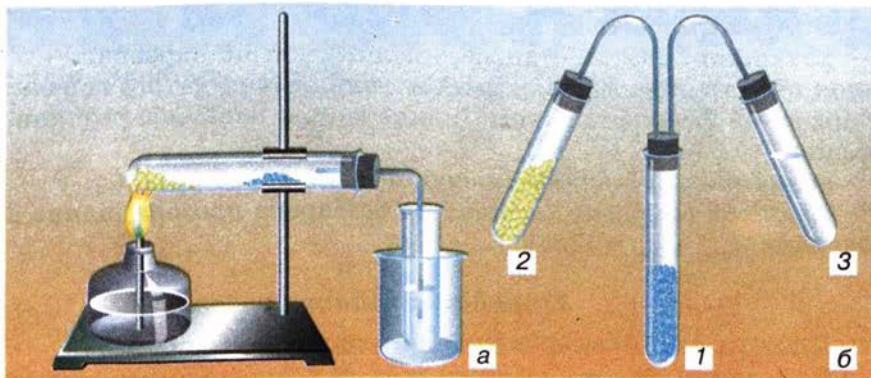
**Збирання приладів.** Дослід можна проводити у приладі для добування газів (мал. 130, а) або у спеціальному приладі для визначення Карбону і Гідрогену (мал. 130, б).

#### Порядок виконання досліду

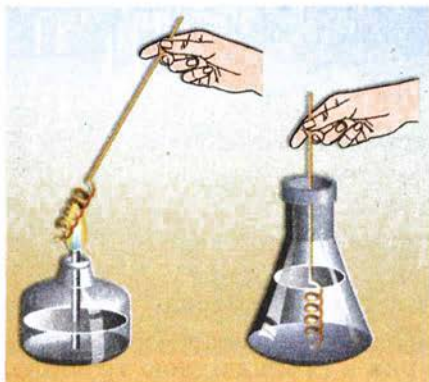
Суміш досліджуваної речовини (парафіну) з купрум(II) оксидом вмістіть у суху пробірку (мал. 130, а) і закріпіть її у штативі в горизонтальному положенні. Обережно внесіть на її стінку безводний купрум(II) сульфат і закрийте пробірку пробкою з газовідвідною трубкою, кінець якої опустіть у пробірку з вапняною 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, щоб після припинення нагрівання рідина не потрапила по трубці у прилад.



Мал. 130. Виявлення Карбону і Гідрогену в органічній сполуці: 1 — суміш досліджуваної речовини з купрум(II) оксидом; 2 — безводний купрум(II) сульфат; 3 — вапняна вода



Мал. 131. Виявлення галогену в органічній сполуці

сильним запахом;  $t_{\text{кип}}^{\circ} = 83,5^{\circ}\text{C}$ .

**Проба Бейльштейна:** якщо в полум'я внести окиснену мідну дrottину з органічною речовиною, до складу якої входить галоген, полум'я забарвиться в зелений чи синьо-зелений колір.

### Порядок виконання дослідів

Кінець мідної дrottини зігніть петелькою або спіраллю діаметра 1—2 мм. Прожарте дrottину в полум'ї доти, доки полум'я стане безбарвним, охолодіть її. Занурте дrottину в досліджувану хлоровмісну речовину і знову внесіть у полум'я (мал. 131). Зелене забарвлення полум'я засвідчує наявність Хлору в сполуці, виданій вам для аналізу.

**Увага!** Легкозаймисті органічні сполуки тримайте якнайдалі від вогню!

## Практична робота 2

### Властивості етанової кислоти

*Для роботи потрібні*

**реактиви:** розчин етанової кислоти, натрій карбонат — 5 г, порошок або стружка магнію, розбавлений розчин натрій гідроксиду, забарвлений фенолфталеїном, індикаторний папір або розчини індикаторів;

**обладнання і хімічний посуд:** штатив з пробірками.

**Етанова (оцтова) кислота** — безбарвна прозора рідина з різким запахом;  $t_{\text{кип. безв}}^{\circ} = 118,1^{\circ}\text{C}$ .

### Порядок виконання роботи

**Дослід 1.** Дія етанової кислоти на індикатори.

До розчину етанової кислоти додайте розчин лакмусу чи метилового оранжевого.

Як змінилося забарвлення розчину?

**Дослід 2.** Взаємодія етанової кислоти з основами.

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:** хлоровмісна 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;  $t_{\text{кип}}^{\circ} = 61,1^{\circ}\text{C}$ .

**Дихлороетан** — безбарвна рідина із



До розчину натрій гідроксиду, забарвленого фенолфталеїном, по краплях добавляйте розчин етанової кислоти до знебарвлення розчину фенолфталеїну.

Що засвідчує цей дослід? Напишіть рівняння реакції.

Дослід 3. Взаємодія етанової кислоти з металами.

У пробірку з розбавленим розчином етанової кислоти вмістіть стружку магнію. Спостерігайте виділення газу.

Який газ виділяється? Напишіть рівняння реакції.

Дослід 4. Взаємодія етанової кислоти із солями.

У пробірку з розчином етанової кислоти додайте сіль кислоти, слабкішої за етанову, наприклад натрію карбонат. Спостерігайте виділення газу.

Який газ виділяється?

Свої спостереження під час дослідів підтвердіть рівняннями реакцій.

### Практична робота 3

#### Розв'язування експериментальних задач

*Задача 1.* Доведіть експериментально, що в пронумерованих пробірках міститься: а) гліцерол; б) фенол; в) олеїнова кислота.

Складіть перелік реактивів та обладнання, потрібних для виконання дослідів. Напишіть рівняння реакцій.

*Задача 2.* Доведіть експериментально, що етанова кислота належить до слабких кислот.

Складіть перелік реактивів та обладнання, потрібних для виконання дослідів. Напишіть рівняння реакцій.

*Задача 3.* Визначте хімічним способом, у якій з виданих вам пробірок міститься кислота: а) метанова; б) етанова.

Складіть перелік реактивів та обладнання, потрібних для виконання дослідів. Напишіть рівняння реакцій.

*Задача 4.* Добудьте стеаринову кислоту з мила.

Складіть перелік реактивів та обладнання, потрібних для виконання дослідів. Напишіть рівняння реакцій.

## ВІДПОВІДІ ДО ДОДАТКОВИХ ЗАВДАНЬ

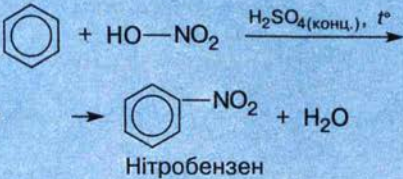
- § 5. 2. Б, В. 3. Б. 6.  $C_4H_{10}$ . 7. 2,375 м<sup>3</sup>. 8. Б. 9. (1) так; (2) ні. 14. Г. 15. А, Г.  
§ 6. 5. А, В, Г.  
§ 7. 2. А, В, Г. 9. А, В, Г, Д. 11.  $C_2H_4$ .  
§ 10. 6. 80 %.  
§ 16. 11. 1,2 т. 12. 1,05 т.  
§ 17.  $C_2H_6O$ .  
§ 18. 7. Б.  
§ 19. 4. 662 кг. 5. А.  
§ 20. 8. В. 9. 60 л.  
§ 22. 10. 175 г.  
§ 23. 6. А.  
§ 25. 10. А.  
§ 26. 7. В.  
§ 28. 13. 9,5 кг.  
§ 29. 8. А.



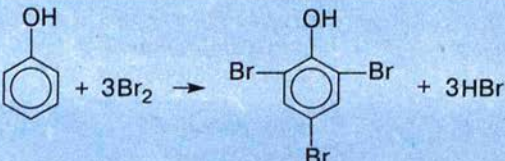
## ДОДАТКИ

## Додаток 1

## Якісні реакції на деякі органічні речовини

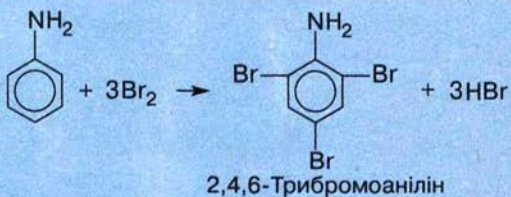
Речовина	Реактив та ознака реакції	Рівняння реакції
Насичені вуглеводні	За стандартних умов не вступають у хімічні реакції	—
Етен	Знебарвлення розчину калій перманганату	$3\text{CH}_2=\text{CH}_2 + 2\text{KMnO}_4 + 4\text{H}_2\text{O} \rightarrow$ $\rightarrow 3\begin{array}{c} \text{CH}_2-\text{CH}_2 \\   \quad   \\ \text{OH} \quad \text{OH} \end{array} + 2\text{MnO}_2 + 2\text{KOH}$ Етиленгліколь
	Знебарвлення бромної води	$\text{CH}_2=\text{CH}_2 + \text{Br}_2 \rightarrow \text{CH}_2\text{Br}-\text{CH}_2\text{Br}$ 1,2-Дибромоетан
Етин	Знебарвлення розчину калій перманганату (повільніше порівняно з аналогічною реакцією етену)	$3\text{CH}\equiv\text{CH} + 8\text{KMnO}_4 + 4\text{H}_2\text{O} \rightarrow$ $\rightarrow 3\begin{array}{c} \text{O} \quad \quad \text{O} \\ \diagdown \quad \diagup \\ \text{C} \quad \quad \text{C} \\ \diagup \quad \diagdown \\ \text{HO} \quad \quad \text{OH} \end{array} + 8\text{MnO}_2 + 8\text{KOH}$ Щавлева кислота
	Знебарвлення бромної води (повільніше порівняно з аналогічною реакцією етену)	$\text{CH}\equiv\text{CH} + 2\text{Br}_2 \rightarrow \text{CHBr}_2-\text{CHBr}_2$ 1,1,2,2-Тетрабромоетан
	Утворення білого осаду з амоніачним розчином аргентум(I) оксиду	$\text{HC}\equiv\text{CH} + 2[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]\text{OH} \rightarrow$ $\rightarrow \text{Ag}-\text{C}\equiv\text{C}-\text{Ag}\downarrow + 4\text{NH}_3\uparrow + 2\text{H}_2\text{O}$ Аргентум ацетиленід
	Утворення червоно-коричневого осаду з амоніачним розчином купрум(I) хлориду	$\text{HC}\equiv\text{CH} + 2[\text{Cu}(\text{NH}_3)_2]\text{Cl} \rightarrow$ $\rightarrow \text{Cu}-\text{C}\equiv\text{C}-\text{Cu}\downarrow + 4\text{NH}_3\uparrow + 2\text{HCl}$ Купрум(I) ацетиленід
Бензен	Утворення важкої жовтуватої рідини із запахом гіркої мигдалю в результаті дії суміші нітратної і сульфатної кислот	 $\text{C}_6\text{H}_6 + \text{HO}-\text{NO}_2 \xrightarrow[\text{H}_2\text{SO}_4(\text{конц.}), t^\circ]{}$ $\rightarrow \text{C}_6\text{H}_5-\text{NO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ Нітробензен



Речовина	Реактив та ознака реакції	Рівняння реакції
Етанол	Утворення жовтого осаду з йодом у лужному середовищі	$\text{CH}_3\text{—CH}_2\text{—OH} + 4\text{I}_2 + 6\text{NaOH} \rightarrow$ $\rightarrow \text{CHI}_3 + \text{HCOONa} + 5\text{NaI} + 5\text{H}_2\text{O}$ <p>Йодоформ</p>
Гліцерол	Утворення яскраво-синього розчину з купрум(II) гідроксидом	$\begin{array}{c} \text{CH}_2\text{—OH} \\   \\ 2\text{CH—OH} \\   \\ \text{CH}_2\text{—OH} \end{array} + \text{Cu(OH)}_2 \rightarrow$ $\rightarrow \begin{array}{c} \text{H} \\   \\ \text{H}_2\text{C—O} \quad \text{O—CH}_2 \\   \quad \quad   \\ \text{HC—O} \quad \text{O—CH} \\   \quad \quad   \\ \text{H} \quad \quad \text{HO—CH}_2 \\   \\ \text{H}_2\text{C—OH} \end{array} + 2\text{H}_2\text{O}$ <p>Купрум(II) гліцерат</p>
Фенол	Утворення білого осаду з бромною водою	 <p>2,4,6-Трибромфенол</p>
	Утворення фіолетового розчину з ферум(III) хлоридом	$\text{C}_6\text{H}_5\text{OH} + \text{FeCl}_3 \rightarrow \text{Комплексна сполука}$
Альдегіди	Утворення червоного осаду з купрум(II) гідроксидом під час нагрівання	$\text{R—C} \begin{array}{l} \text{O} \\ // \\ \text{OH} \end{array} + 2\text{Cu(OH)}_2 \xrightarrow{t^\circ}$ $\xrightarrow{t^\circ} \text{R—C} \begin{array}{l} \text{O} \\ // \\ \text{OH} \end{array} + \text{Cu}_2\text{O} \downarrow + 2\text{H}_2\text{O}$
	Утворення «срібного дзеркала» з амоніачним розчином аргентум(I) оксиду	$\text{R—C} \begin{array}{l} \text{O} \\ // \\ \text{H} \end{array} + 2[\text{Ag(NH}_3)_2]\text{OH} \rightarrow$ $\rightarrow \text{R—C} \begin{array}{l} \text{O} \\ // \\ \text{OH} \end{array} + 2\text{Ag} \downarrow + 4\text{NH}_3 \uparrow + \text{H}_2\text{O}$



Речовина	Реактив та ознака реакції	Рівняння реакції
Карбонові кислоти	Зміна забарвлення індикаторів лакмусу і метилового оранжевого на червоний колір	$R-COOH \rightleftharpoons R-COO^- + H^+$
Етанова кислота	Утворення темно-червоного осаду з ферум(III) хлоридом	$CH_3COOH + FeCl_3 \rightarrow$ Комплексна сполука
Метанова кислота	Утворення «срібного дзеркала» з амоніачним розчином аргентум(I) оксиду	$HCOOH + Ag_2O \xrightarrow[NH_3 \cdot H_2O]{t^\circ} CO_2 \uparrow + H_2O + 2Ag \downarrow$
Глюкоза	<p>Проба на альдегідну групу</p> <p>Утворення червоного осаду з купрум(II) гідроксидом під час нагрівання</p>	$CH_2OH-(CHOH)_4-\overset{\overset{O}{\parallel}}{C}-H + 2Cu(OH)_2 \xrightarrow{t^\circ}$ $\xrightarrow{t^\circ} CH_2OH-(CHOH)_4-\overset{\overset{O}{\parallel}}{C}-OH + Cu_2O \downarrow + 2H_2O$ <p style="text-align: center;">Глюконова кислота</p>
	<p>Проба на гідроксильні групи</p> <p>Утворення синього розчину з купрум(II) гідроксидом</p>	$\begin{array}{c} O \\ \parallel \\ C \\   \\ H \\   \\ (CHOH)_2 \\   \\ 2H-C-OH \\   \\ H-C-OH \\   \\ CH_2-OH \end{array} + Cu(OH)_2 \rightarrow$ $\rightarrow \begin{array}{c} O \qquad \qquad O \\ \parallel \qquad \qquad \parallel \\ C \qquad \qquad \qquad C \\   \qquad \qquad \qquad   \\ H \qquad \qquad \qquad H \\   \qquad \qquad \qquad   \\ (CHOH)_2 \qquad (CHOH)_2 \\   \qquad \qquad \qquad   \\ H-C-O \qquad \qquad O-C-H \\   \qquad \qquad \qquad   \\ H-C-O \qquad \qquad O-C-H \\   \qquad \qquad \qquad   \\ CH_2-OH \qquad \qquad CH_2-OH \end{array} + 2H_2O$ <p style="text-align: center;">Купрум(II) глюконат</p>

Речовина	Реактив та ознака реакції	Рівняння реакції
Глюкоза	Утворення «срібного дзеркала» з амоніачним розчином аргентум(I) оксиду	$\text{CH}_2\text{OH}-(\text{CHOH})_4-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{H} + \text{Ag}_2\text{O} \xrightarrow[\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}]{t^\circ}$ $\rightarrow \text{CH}_2\text{OH}-(\text{CHOH})_4-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{OH} + 2\text{Ag}\downarrow$
Крохмаль	Поява синього забарвлення в результаті взаємодії з йодом	
Анілін	Утворення білого осаду з бромною водою	 <p style="text-align: center;">2,4,6-Триброманілін</p>
Білок	Поява фіолетового забарвлення внаслідок взаємодії з купрум(II) гідроксидом	—
	Поява жовтого забарвлення внаслідок взаємодії з концентрованою нітратною кислотою	—



### Число ізомерів алканів

Назва	Формула	Число ізомерів
Бутан	$C_4H_{10}$	2
Пентан	$C_5H_{12}$	3
Гексан	$C_6H_{14}$	5
Гептан	$C_7H_{16}$	9
Октан	$C_8H_{18}$	18
Нонан	$C_9H_{20}$	35
Декан	$C_{10}H_{22}$	75
Ундекан	$C_{11}H_{24}$	159
Додекан	$C_{12}H_{26}$	355
Тридекан	$C_{13}H_{28}$	802
Тетрадекан	$C_{14}H_{30}$	1858
Пентадекан	$C_{15}H_{32}$	4347
Ейкозан	$C_{20}H_{42}$	366 319
Пентакозан	$C_{25}H_{52}$	36 797 588
Тріаконтан	$C_{30}H_{62}$	4 111 846 763
Тетракоктан	$C_{40}H_{82}$	62 491 178 805 831

## 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 і 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. В дужках наведено відносні молекулярні маси алкільних та фенільної груп.



## Розчинність основ, кислот, амфотерних гідроксидів і солей у воді (за температури 20—25 °С)

Катіон	H <sup>+</sup>	Li <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ag <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Ba <sup>2+</sup>	Zn <sup>2+</sup>	Mn <sup>2+</sup>	Pb <sup>2+</sup>	Cu <sup>2+</sup>	Hg <sup>2+</sup>	Fe <sup>2+</sup>	Fe <sup>3+</sup>	Al <sup>3+</sup>	Cr <sup>3+</sup>
Аніон																	
OH <sup>-</sup>		р	р	р	—	м	м	р	н	н	н	н	—	н	н	н	н
F <sup>-</sup>	р	м	р	р	р	м	м	м	р	р	м	р	#	м	н	м	р
Cl <sup>-</sup>	р	р	р	р	н	р	р	р	р	р	м	р	р	р	р	р	р
Br <sup>-</sup>	р	р	р	р	н	р	р	р	р	р	м	р	р	р	р	р	р
I <sup>-</sup>	р	р	р	р	н	р	р	р	р	р	м	—	м	р	—	р	р
S <sup>2-</sup>	р	р	р	р	н	#	#	р	н	н	н	н	н	н	#	#	#
SO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	р	р	р	р	н	р	м	м	р	м	м	—	#	м	—	—	—
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	р	р	р	р	м	р	м	н	р	р	м	р	р	р	р	р	р
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	р	р	р	р	р	р	р	р	р	р	р	р	р	р	р	р	р
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	р	м	р	р	н	м	н	н	н	м	н	#	#	н	н	н	н
CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	р	р	р	р	м	м	н	н	н	н	н	#	—	н	—	—	—
CH <sub>3</sub> COO <sup>-</sup>	р	р	р	р	р	р	р	р	р	р	р	р	р	р	р	р	р

Умовні позначення:

«р» — розчинна речовина (розчинність понад 1 г речовини в 100 г води);

«м» — малорозчинна речовина (розчинність від 1 до 0,001 г речовини в 100 г води);

«н» — практично нерозчинна речовина (розчинність менше від 0,001 г речовини в 100 г води);

«—» — речовина не існує;

«#» — речовина існує, але не реагує з водою (її розчинність визначити не можна).

## Видатні відкриття в галузі органічної хімії (синхроністична таблиця)

Дата	Органічна хімія	Інші природничі науки і техніка	Література і мистецтво	Світова історія
IX—X ст.	Праці з алхімії Абу-ар-Разі (лат. Разес)			988 р. Прийняття християнства в Київській Русі
X—XI ст.	IX—XI ст. Добування оцтової кислоти. XI ст. Винайдення дистильційного апарата і добування етилового спирту	XI ст. Винайдення збільшувального скла	1037 р. Спорудження Софійського собору в Києві; перша бібліотека на Русі	1019 — 1054 рр. Князювання Ярослава Мудрого 1054 р. Поділ християнської церкви на православу і католицьку 1096 р. Перший хрестовий похід
XVI ст.	Виникнення ятрохімії, використання хімічних сполук як ліків (Парацельс) Розвиток технічної хімії (твори «Про піро-техніку», «Про мистецтво фарбування») Налагоджено виробництво мила	1543 р. Геліоцентрична система світу (М. Коперник. «Про обертання небесних сфер»)	1501 р. Мікеланджело. «Давид» 1503 р. Леонардо да Вінчі. «Мона Ліза» 1509 р. Е. Роттердамський. «Похвала Глупоті» 1515 р. Рафаель. «Сикстинська мадонна» 1517 р. Друкування «Руської біблії» (Ф. Скорина) 1532 р. Ф. Рабле. «Гаргантюа і Пантагрюель»	1517 р. Початок Реформації в Німеччині 1517—1521 рр. Подорож Ф. Магеллана навколо світу 1550 р. Заснування Запорозької Січі 1558—1603 рр. Правління королеви Єлизавети I (Англія)



Дата	Органічна хімія	Інші природничі науки і техніка	Література і мистецтво	Світова історія
1700—1750	1747 р. Виявлення кристалів цукру в буряках (А. Маргграф)	1700 р. Теорія ймовіроностей (Я. Бернуллі) 1703 р. «Арифметика» Л. Магніцького 1741—1750 рр. Кінетична теорія теплоти (М. Ломоносов, Р. Бойль, Р. Гук, Д. Бернуллі)	1719 р. Д. Дефо. «Робінзон Крузо» 1726 р. Дж. Свіфт. «Подорож Гулівера» 1729 р. Й. С. Бах. «Страсті за Матфеєм»	1709 р. Полтавська битва 1712 р. Конституція П. Орлика 1721 р. Проголошення Росії імперією
1750—1780	1780 р. Киснева теорія горіння (А. Лавуазьє)		1773 р. М. Березовський. «Демофонт»	1757 р. Початок панування Англії на Сході (Індія) 1775 р. Зруйнування Запорозької Січі
1780—1800	1785 р. Встановлення складу болотного газу (К. Бертолле)	1783 р. Перший політ на повітряній кулі (брати Монгольф'є) 1784 р. Парова машина (Дж. Уатт) 1785 р. Закон Кулона	1784 р. Ф. Шиллер. «Підступність і любов» 1785 р. Г. Сковорода. «Сад божественних пісень»; Р. Распе. «Пригоди барона Мюнхгаузена»	1783 р. Визнання незалежності США 1789 р. Узяття Бастилії. «Декларація прав людини і громадянина»
1810—1820	1814 р. Введення символів хімічних елементів (Й. Берцеліус)	1814 р. Потяг на рейках (Дж. Стефенсон)	1816 р. Дж. Россіні. «Севільський цирульник»	1812 р. Битва під Бородіно 1815 р. Битва під Ватерлоо



Дата	Органічна хімія	Інші природничі науки і техніка	Література і мистецтво	Світова історія
1810—1820	1817—1830 рр. Введення формул хімічних сполук (Й. Берцеліус)	1820 р. Закон А. Ампера	1819—1824 рр. Д. Байрон. «Дон Жуан»	1815 р. Священний союз
1820—1830	1823 р. Явище ізомерії (Ю. Лібіх, Ф. Велер) 1828 р. Добування сечовини з амоній цанату (перший синтез органічної речовини, Ф. Велер)	1826 р. Закон Г. Ома 1829—1830 рр. Геометрія М. Лобачевського	1822 р. Е. Делакруа. «Данте і Вергілій» 1829—1830 рр. Ф. Шопен. Фортепіанні концерти	1821—1829 рр. Національно-визвольна боротьба в Греції 1825 р. Повстання декабристів у Росії
1830—1840	1831 р. Відкриття хлороформу 1835 р. Запропоновано термін «альдегід» (Ю. Лібіх)		1831 р. О. Пушкін. «Євгеній Онегін»; А. Стендаль. «Червоне і чорне» 1832 р. В. Гете. «Фауст»	1830 р. Липнева революція у Франції 1836 р. Початок чартиського руху в Англії 1837—1901 рр. Правління королеви Вікторії (Англія)
1840—1850	1842 р. Реакція відновлення нітробензену (М. Зінін) 1844 р. Встановлення гомології органічних сполук (Ш. Жерар)	1841 р. Експериментальне обґрунтування закону збереження енергії (Д. Джоуль)	1840 р. Т. Шевченко. «Кобзар»; М. Лермонтов. «Герой нашого часу» 1842 р. М. Гоголь. «Мертві душі»	1845—1847 рр. Діяльність Кирило-Мефодіївського братства



Дата	Органічна хімія	Інші природничі науки і техніка	Література і мистецтво	Світова історія
1840—1850	<p>1845 р. Синтез оцтової кислоти з елементів (А. Кольбе)</p> <p>Виділення бензену з кам'яновугільної смоли і перетворення його на нітробензен і анілін (А. Гофман)</p> <p>1849 р. Добування першої металорганічної сполуки (Е. Франкланд)</p>		<p>1843 р. В. Беретті. Інститут шляхетних дівчат у Києві</p> <p>1844 р. Т. Шевченко. Офорт «Живописна Україна»</p> <p>1845 р. Р. Вагнер. «Тангейзер»</p> <p>1848 р. В. Теккерей. «Ярмарок суєти»</p> <p>1850 р. Ч. Діккенс. «Девід Копперфілд»</p>	<p>1848—1849 рр. Революції у країнах Європи</p> <p>1848 р. «Маніфест комуністичної партії»</p>
1850—1860	<p>1852 р. Введення поняття валентності (Е. Франкланд)</p> <p>1854 р. Синтез жироподібної речовини (М. Бертло)</p> <p>1855 р. Синтез парафінів (Ш. Вюрц)</p> <p>1856 р. Синтез першого барвника (мовейн, У. Перкін)</p> <p>1857—1860 рр. Дослідження процесів бродиння (Л. Пастер)</p>	<p>1850 р. Друге начало термодинаміки (Р. Клаузіус)</p> <p>1859 р. Ч. Дарвін. «Походження видів». Введення поняття ймовірності (Дж. Максвелл)</p> <p>1860 р. Двигун внутрішнього згоряння (Е. Ленуар)</p>	<p>1851 р. Дж. Верді. «Ріголетто»</p> <p>1855 р. У. Угтмен. «Листя трави»</p> <p>1857 р. Г. Флобер. «Мадам Боварі»; Ш. Бодлер. «Квіти зла»</p>	<p>1851 р. Перша Всесвітня промислова виставка (Лондон)</p> <p>1853—1856 рр. Кримська війна</p> <p>1856 р. Мирний конгрес у Парижі</p> <p>1860 р. Похід «тисячі» Гарібальді</p>



Дата	Органічна хімія	Інші природничі науки і техніка	Література і мистецтво	Світова історія
1850—1860.	<p>1858 р. Встановлення чотиривалентності Карбону і його здатності утворювати ланцюги (А. Кекуле, А. Кулер)</p> <p>1859 р. Застосування спектрального аналізу (Р. Бунзен, Г. Кірхгоф)</p> <p>1860 р. I Міжнародний з'їзд хіміків (м. Карлсруе). Означення поняття атом, молекула, еквівалент</p>			
1860—1870	<p>1861 р. Повідомлення О. Бутлерова на з'їзді німецьких природодослідників і лікарів «Про хімічну будову речовин»</p> <p>1864 р. Передбачення будови і синтез третинного бутилового спирту (О. Бутлеров)</p> <p>Введення позначення хімічних зв'язків рисками (А. Крум-Браун)</p> <p>1865 р. Запропоновано циклічну структуру бензену (А. Кекуле)</p>	<p>1863 р. Закони спадковості (Г. Мендель)</p>	<p>1861 р. Помер Т. Шевченко</p> <p>1863 р. С. Гулак-Артемовський. «Запорожець за Дунаєм»;</p> <p>В. Гюго. «Знедолені»</p> <p>1865 р. Л. Керролл. «Аліса у країні чудес»</p>	<p>1861 р. Скасування кріпацтва в Росії</p> <p>1861—1865 рр. Громадянська війна у США. Президент А. Лінкольн</p> <p>1863 р. Скасування рабства у США. Валуєвський указ про заборону друкування навчальних книжок українською мовою</p>



Дата	Органічна хімія	Інші природничі науки і техніка	Література і мистецтво	Світова історія
1860—1870	<p>1869 р. Повідолення на засіданні Російського фізико-хімічного товариства від імені Д. Менделєєва про відкриття Періодичного закону</p> <p>Правило В. В. Марковникова</p>	<p>1866 р. І. Сеченов. «Рефлекси головного мозку»</p> <p>1867 р. Винайдення динаміту (А. Нобель)</p>	<p>1866 р. Ф. Достоєвський. «Злочин і кара»</p> <p>1868 р. Ж. Верн. «Діти капітана Гранта»</p> <p>1869 р. Л. Толстой. «Війна і мир»</p> <p>1870 р. Товариство пересувних художніх виставок («передвижники»)</p>	<p>1867 р. К. Марк. «Капітал»</p> <p>1868 р. Товариство «Просвіта»</p> <p>1869 р. Відкриття Суецького каналу</p> <p>1870 р. Франко-пруссська війна</p>
1870—1880	<p>1870—1872 рр. Якісна реакція на галогени у складі органічних сполук (проба Ф. Бейльштейна)</p> <p>1874 р. Закладено основи стереохімії (Я. Вант-Гофф, Ж. Ле Бель)</p> <p>1876 р. Хромофорна теорія органічних барвників (О. Вітт)</p>	<p>1871 р. Ч. Дарвін. «Походження людини»</p> <p>1879 р. Винайдення лампи розжарювання (Т. Едісон)</p> <p>1880 р. Винайдення велосипеда</p>	<p>1873 р. Літературне товариство ім. Т. Шевченка у Львові</p> <p>1874 р. Перша виставка імпресіоністів</p> <p>1875 р. Рисувальна школа М. Мурашка в Києві</p> <p>1876 р. П. Чайковський. «Лебедине озеро»;</p> <p>М. Твен. «Пригоди Тома Сойера»</p> <p>1878 р. І. Репін. «Запорожці пишуть листа турецькому султану»</p> <p>1880 р. О. Роден. «Мислитель»</p>	<p>1871 р. Паризька комуна</p> <p>1876 р. Ємський указ про заборону ввезення з-за кордону книжок українською мовою</p> <p>1877—1878 рр. Російсько-турецька війна</p>



Дата	Органічна хімія	Інші природничі науки і техніка	Література і мистецтво	Світова історія
1880—1890	<p>1881 р. Відкриття реакції гідратації ацетилену (М. Кучеров)</p> <p>1882 р. Синтез сечової (уреатної) кислоти (І. Горбачевський)</p> <p>1883 р. Завершення синтезу індиго (А. Байєр)</p> <p>1885 р. Теорія напруження А. Байєра</p> <p>1887 р. Реакція С. Реформатського</p> <p>1888 р. Відкриття реакції нітрування парафінів (М. Коновалов)</p>	<p>1882 р. Відкриття збудника туберкульозу (Р. Кох)</p> <p>1885 р. Перший автомобіль з двигуном внутрішнього згоряння (Г. Даймлер, К. Бенц)</p> <p>1886—1889 рр. Виявлено електромагнітні хвилі (Г. Герц)</p> <p>1889 р. Апарат для дистиляції нафти (В. Шухов)</p>	<p>1886 р. М. Врубель. «Дівчинка на тлі перського килима»;</p> <p>В. Ван Гог. «Соняшники»</p> <p>1890 р. М. Лисенко. «Тарас Бульба»</p>	<p>1882 р. Троїстий союз</p>
1890—1900	<p>1896 р. Відкриття радіоактивності солей урану (П. Беккерель)</p> <p>1897 р. Встановлення будови кокаїну (Р. М. Вільшetter).</p> <p>Розкриття хімічної суті дії ферментів (Е. Бухнер)</p>	<p>1895 р. Винайдення радіо (О. Попов)</p> <p>Відкриття X-променів (В. Рентген).</p> <p>Створення кінематографа (брати Люм'єр)</p>	<p>1893 р. І. Франко. «Украдене щастя»;</p> <p>М. Пимоненко. «По воду»</p> <p>1898 р. Об'єднання «Світ мистецтва» («Мир мистецтва»)</p> <p>1900 р. О. Мурашко. «Похорони кошового»</p>	<p>1891—1893 рр. Франко-російський союз</p> <p>1894 р. Справа Дрейфуса</p> <p>1899—1902 рр. Британо-бурська війна</p>



Дата	Органічна хімія	Інші природничі науки і техніка	Література і мистецтво	Світова історія
1890—1900		1897 р. Відкриття електрона (Дж. Томсон) 1899 р. Відкриття $\alpha$ - і $\beta$ -променів (Е. Резерфорд) 1900 р. Теорія кванта (М. Планк)		
1900—1910	1901 р. Синтез дипептиду (Е. Фішер) 1902 р. Синтез метану з карбон(II) оксиду і водню (П. Сабатьє) 1903 р. Синтез снодійного засобу вероналу (Е. Фішер)	1901 р. Теорія імунітету (І. Мечников) 1902 р. Теорія радіоактивного розпаду (Е. Резерфорд, Ф. Содді) 1903 р. Обґрунтування міжпланетних польотів (К. Цюлковський) 1904 р. Теорія індивідуальності хромосом (Т. Бовері, К. Рабль) 1907 р. Кольорова фотографія (Л. Люм'єр) 1907—1916 рр. Загальна теорія відносності (А. Ейнштейн) 1908 р. Лічильник Х. Гейгера	1901 р. А. Чехов. «Три сестри» 1903 р. В. Городецький. Будинок з химерами в Києві 1904 р. О. Блок. «Стихи о прекрасной даме» 1909 р. Д. Лондон. «Мартін Іден» 1910 р. М. Коцюбинський. «Fata morgana»	1904—1905 рр. Російсько-японська війна 1905—1907 рр. Перша революція в Росії



Дата	Органічна хімія	Інші природничі науки і техніка	Література і мистецтво	Світова історія
1910—1920	1916 р. Створення про-тигазу (М. Д. Зелінський, А. Кумант)	1911 р. Відкриття атомного ядра (Е. Резерфорд) 1913 р. Квантова теорія атома (Н. Бор) 1915—1917 рр. Лекції З. Фрейда «Вступ до психоаналізу» 1919 р. Звукове кіно	1912 р. Леся Українка. «Лісова пісня»; Б. Шоу. «Пігмаліон»; Р. Роллан. «Жан Кристоф» 1913 р. К. Малевич. «Чорний квадрат» 1916 р. Ф. Кафка. «Перетворення» 1918 р. П. Тичина. «Сонячні кларнети» 1920 р. М. Хвильовий. «Сині етюди»	1913 р. Формування загонів січових стрільців 1914—1918 рр. Перша світова війна 1916 р. Транссибірська магістраль 1917 р. Лютнева революція в Росії. Жовтневий заколот у Росії. 1917 р. Центральна Рада в Україні. Проголошення УНР 1918 р. Заснування Всеукраїнської Академії наук 1920 р. Взяття більшовиками Києва
1920—1930	1925 р. Макромолекулярна (полімерна) хімія (Г. Штаудінгер)	1922 р. Теорія виникнення життя на Землі (О. Опарін) 1923 р. І. Павлов. «Умовні рефлекси» 1925 р. Квантова механіка (В. Гейзенберг)	1922 р. Театр «Березіль» (Лесь Курбас); Д. Джойс. «Улісс» 1924 р. «Перший маніфест сюрреалізму» (А. Бретон) 1924 р. А. Петрицький. «Інваліди» 1925 р. С. Ейзенштейн. «Броненосець «Потьомкін»»	1922 р. Утворення СРСР. Прихід Муссоліні до влади в Італії 1924 р. Смерть В. Леніна



Дата	Органічна хімія	Інші природничі науки і техніка	Література і мистецтво	Світова історія
1920—1930	<p>1929 р. Синтез геміну (Г. Фішер)</p> <p>1929 р. Гідроліз целюлози (Р. Вільштеттер)</p> <p>1930 р. Виявлення конформації «крісла» в циклогексані (О. Хасель)</p>	<p>1929 р. Відкриття пеніциліну (А. Флемінг).</p> <p>Створення біогеохімічної лабораторії (В. Вернадський)</p> <p>1930 р. Виробництво телевізорів</p>	<p>1927 р. Ф. Кричевський. Триптих «Життя»</p> <p>М. Булгаков. «Біла гвардія»</p> <p>1929 р. Е. Хемінгуей. «Прощавай, зброє!»</p> <p>1930 р. О. Довженко. «Земля»</p>	<p>1932—1933 рр. Голодомор в Україні</p> <p>1933 р. Перемога фашистів на виборах у Німеччині</p> <p>1936 р. Громадянська війна в Іспанії</p> <p>1939 р. Початок Другої світової війни</p>
1930—1940	<p>1931 р. Створення теорії резонансу (О. Полінг).</p> <p>Добування синтетичного каучуку за методом С. Лебедева</p> <p>1932 р. Початок виробництва синтетичного бензину (Німеччина)</p> <p>1933 р. Синтез вітаміну С (У. Хейорс та ін.)</p> <p>1934 р. Створення теорії ланцюгових реакцій (М. Семенов).</p> <p>Синтез гормону тестостерону (А. Бугенандт, Л. Ружичка)</p> <p>1938 р. Синтез найлону (Каротерс)</p> <p>1939—1940 рр. Встановлення структури хлорофілу (Г. Фішер)</p>	<p>1932 р. Відкриття нейтронів (Д. Чедвік), позитронів (К. Андерсон)</p> <p>1934 р. Штучна радіоактивність (І. Ф. Жоліо-Кюрі).</p> <p>Виділення вірусу в кристалічному стані (У. Стенлі)</p> <p>1940 р. Відкриття резус-фактора.</p> <p>Перші ЕОМ</p>	<p>1931 р. С. Далі. «Сталість пам'яті»</p> <p>1932 р. П. Елюар. «Саме життя»</p> <p>1933 р. Г. Лорка. «Криваве весілля»;</p> <p>М. Куліш. «Маклена Граса»</p> <p>1936 р. С. Прокоф'єв. «Ромео і Джульєтта»</p> <p>1937 р. П. Пікассо. «Герніка»</p> <p>1938 р. Е. М. Ремарк. «Три товариші»;</p> <p>Ж. П. Сартр. «Нудота»</p>	



Дата	Органічна хімія	Інші природничі науки і техніка	Література і мистецтво	Світова історія
1940—1950	1945 р. Розшифрування структури пеніциліну (Р. Вудворд) 1949—1954 рр. Розшифрування структури інсуліну (Ф. Сенгер)	1941 р. Ядерний реактор (Е. Фермі) 1948 р. Створення кібернетики (Н. Вінер)	1941 р. Д. Шостакович. «Ленінградська симфонія» 1943 р. А. Сент-Екзюпері. «Маленький принц» 1945 р. Р. Росселіні. «Рим — відкрите місто» 1947 р. А. Камю. «Чума»	1941 р. Напад Німеччини на СРСР 1942—1943 рр. Сталінградська битва 1942 р. Створення УПА 1945 р. Капітуляція Німеччини. Атомне бомбардування Хіросіми і Нагасакі. Створення ООН 1948 р. Прийняття «Загальної декларації прав людини» 1949 р. Створення НАТО
1950—1960	1953 р. Побудова моделі ДНК (Д. Уотсон, Ф. Крік) 1954 р. Розробка способу каталітичної полімеризації етилену за низького тиску (К. Циглер) 1956 р. Синтез ДНК (А. Корнберг) 1960 р. Побудова моделі молекул гемоглобіну (М. Перутц) та міоглобіну (Дж. Кендрю). Синтез хлорофілу (Р. Вудворд)	1952 р. Реакція термоядерного синтезу 1955 р. Виділення вірусу поліомієліту (У. Стенлі) 1957 р. Запуск першого штучного супутника Землі (СРСР) 1958 р. Створення лазера (М. Басов та ін.)	1950 р. П. Неруда. «Всесвітня пісня» 1957 р. Б. Пастернак. «Доктор Живаго»; І. Бергман. «Сунична галлявина» 1959 р. Ю. Лавріненко. «Розстріляне Відродження»; М. Рильський. «Голосівська осінь»	1953 р. Смерть Й. Сталіна 1956 р. XX з'їзд КПРС 1957 р. Створення ЄЕС



Дата	Органічна хімія	Інші природничі науки і техніка	Література і мистецтво	Світова історія
1960—1980	1964 р. Синтез інсуліну (Я-Банг та ін.) 1971 р. Синтез вітаміну B <sub>12</sub> (Р. Вудворд) 1975 р. Синтез гена транспортної РНК (Х. Корана)	1961 р. Політ людини в космос (Ю. Гагарін, СРСР) 1963 р. Відкриття квазарів 1967 р. Відкриття пульсарів 1968 р. Трансплантація серця людини (К. Барнард) 1969 р. Висадка людини на Місяці (Н. Армстронг, США)	1965 р. Й. Бродський. «Вірші й поеми» 1967 р. Г. Маркес. «Сто років самотності» 1968 р. О. Гончар. «Собор» 1975 р. М. Глуценко. «Блакитний березень» 1979 р. Ліна Костенко. «Маруся Чурай»	1961 р. Будівництво Берлінського муру 1964—1973 рр. Війна у В'єтнамі 1966—1968 рр. «Культурна революція» в Китаї 1968 р. «Празька весна» 1973 р. Військовий заколот у Чілі 1975 р. Гельсінгська конференція 1978 р. Обрання Папи Іоанна Павла II

## ІМЕННИЙ ПОКАЖЧИК

- |                            |                        |
|----------------------------|------------------------|
| Байєр А. 40                | Кольбе А. 9            |
| Бертло П. Е. 9, 126        | Коновалов М. І. 9      |
| Берцеліус Й. Я. 8          | Купер А. 11            |
| Бунге М. А. 141            | Кучеров М. Г. 111      |
| Бутлеров О. М. 10          | Марковников В. В. 48   |
| Велер Ф. 8                 | Менделєєв Д. І. 14, 69 |
| Горбачевський І. Я. 9, 163 | Реформатський С. М. 9  |
| Зелінський М. Д. 62        | Сабатьє П. 69          |
| Зінін М. М. 156            | Фішер Е. Г. 164        |
| Кекуле Ф. А. 11, 59        | Франкленд Е. 11        |
| Кіпріанов А. І. 9, 157     | Шеврель М. 126         |
| Кірсанов О. В. 9, 65       | Шилов Е. О. 9, 34      |



## ПРЕДМЕТНИЙ ПОКАЖЧИК

- А**  
 Адамтан 42  
 Азотисті основи 167  
 Алкани 25,26  
 Алканолати 94  
 Алкени 43  
 Алкільні замісники 27, 28  
 Алкіни 52  
 Алкоголь 97,98  
 Альдегіди 108, 109  
 Амілоза 143  
 Амілопектин 143  
 Аміни 152  
 Аміногрупа 152  
 Амінокислоти 159  
 Анілін 154  
 Антифриз 101  
 Арени 58  
 Ароматизація 62  
 Аспірин 126  
 Ацетати 117
- Б**  
 Барвники анілінові 156  
 Бензен 58, 63  
 Бензин 75  
 Білки 162  
 — структура 163  
 Біодизель 131  
 Біоетанол 148  
 Біотехнологія 148  
 Біполярний іон 160  
 Бутан 26, 35  
 Бутанол 90
- В**  
 Взаємний вплив атомів 11, 106, 155  
 Волокна  
 — натуральні 184  
 — синтетичні 184  
 — штучні 184  
 Вугілля кам'яне 79  
 Вуглеводи 136  
 Вуглеводні 18  
 — ароматичні 58  
 — насичені 25  
 — ненасичені 43, 52  
 Вулканізація 182
- Г**  
 Газ  
 — коксовий 80  
 — природний 31  
 — супутній 70  
 — чадний 32  
 Газойль 75  
 Галогенопохідні 33  
 Гас 75  
 Гексан 26  
 Гексахлоробензен 62  
 Гексахлороциклогексан (гексахло-  
 ран) 61  
 Генетичний зв'язок 67  
 Гептан 26  
 Гібридизація електронних орбіталей 20  
 Глікоген 148  
 Гліцерол 99  
 Глюкоза 137  
 Гомологічний ряд 25, 43, 52, 89  
 Група  
 — альдегідна 108  
 — гідроксильна 88  
 — естерна 123  
 — карбоксильна 113  
 — пептидна 161  
 — функціональна 87, 88  
 Гума 182
- Д**  
 Дезоксирибоза 140  
 Декан 26  
 Декстрини 144  
 Делокалізація електронів 60  
 Денатурація 164  
 Детонація 78  
 Динаміт 102  
 Дипептид 161  
 Дисоціація карбонових кислот 116  
 Дихлороетан 49  
 Дихлорометан 33  
 Додатки харчові 112,121  
 Довжина зв'язку 19
- Е**  
 Елементи-органогени 5  
 Енергія зв'язку 18

- Естери 123, 124  
 Етан 22, 26  
 Етаналь 108, 112  
 Етаноат 117  
 Етанол (етиловий спирт) 90, 97  
 Етанолят 94  
 Етен 23, 43, 49  
 Етери 95  
 Етил 28  
 Етиленгліколь 99  
 Етин 23, 52, 55
- Жири**  
 — рідкі 127  
 — тверді 127
- Закон Бутлерова** 12  
**Заряд частковий** 19  
**Зв'язок**  
 — водневий 92  
 — генетичний (див. Генетичний зв'язок)  
 — ковалентний 18  
 — пептидний 161  
 — подвійний 22  
 — полуторний (ароматичний) 60  
 — потрійний 23  
 — полярність (див. Полярність зв'язку)  
 — простий 20  
 — просторова напрямленість 19
- Ізобутан** 13  
**Ізомери** 13  
**Ізомерія** 12  
 — міжгрупова 44  
 — міжкласова 96, 114  
 — просторова (стереоізомерія) 44  
 — структурна 25, 43, 53, 90, 109, 114, 153, 160  
 — *цис*, *транс* (геометрична) 44  
**Ізооктан** 78  
**Індиго** 156
- Кам'яновугільна смола** (див. Смола кам'яновугільна)
- Капрон 184  
 Карбід 55  
 Каучук  
 — натуральний 181  
 \* — синтетичний 181  
 Кислота карбонова 113, 115  
 — бензойна 120  
 — етанова 119  
 — карболова 105  
 — метанова 118  
 — олеїнова 120  
 — пальмітинова 119  
 — саліцилова 126  
 — стеаринова 119  
 — цавлева 121  
 Клітковина 146  
 Кокс 79  
 Коксова піч 80  
 Коксування 80  
 Комплементарності принцип 169  
 Конформації 28, 29  
 Крекінг 76  
 Крохмаль 143
- Мазут** 75  
 Маргарин 128  
 Метан 21, 35  
 Метаналь 108, 112  
 Метанол 90, 96  
 Метил 28  
 Механізм реакції  
 — галогенування 33  
 — приєднання 47  
 Мийні засоби синтетичні 130  
 Мило 128  
 Моделі молекул 21
- Нафта** 71  
 — перегонка (див. Перегонка нафти)  
 Нафтени 42  
 Нафтопродукти 76, 77  
 Нафтохімія 76  
 Нітробензен 62  
 Номенклатура 27  
 — алканів 25, 27  
 — алкенів 44



- алкінів 53
- альдегідів 109
- амінів 152
- амінокислот 160
- естерів 123
- карбонових кислот 114
- спиртів 90
- циклоалканів 39
- Нонан 26
- Нуклеїнові кислоти 167
  - структура 169
- Нуклеозид 168
- Нуклеотид 168
  
- Октан** 26, 27
- Октанове число 78
- Олія 127
  
- Парафін** 36
- Парафіни 25
- Патока 145
- Пентан 26
- Перегонка нафти 72, 75
- Пестициди 65
- Піроліз 56
- Пластмаси 176
  - феноло-формальдегідні 179
- Подвійна спіраль ДНК 170
- Поліетилен 176
- Полімери 174
  - термопластичні 175
  - терморективні 175
- Поліметилметакрилат 178
- Поліпептид 161
- Поліпропілен 178
- Полістирол 178
- Поліхлорвініл 178
- Полярність зв'язку 19
- Правило Марковникова 48
- Пропан 26, 35
- Пропен 45
- Пропіл 28
  
- Радикали** 34
- Реакція
  - бродіння 139, 145
  - відновлення 111, 116, 138
  - галогенування 33
  - гідратації 97, 111
  - гідролізу 128, 141, 144, 146, 165
  - гідрування 46, 128
  - дегідратації 50, 95
  - дегідроциклізації 63
  - дегідрування 50
  - естерифікації 117, 124, 147
  - заміщення 33, 42, 54, 62, 93, 104
  - Зініна 155
  - ізомеризації 34, 76
  - йодокрохмальна 145
  - Кучерова 111
  - ланцюгова 34
  - окиснення 32, 41, 46, 53, 61, 93, 100, 110, 111, 116, 128, 138, 146, 153
  - омилення 128
  - полімеризації 47
  - приєднання 41, 46, 54, 61, 110
  - розкладу 32, 147, 165
  - «срібного дзеркала» 110, 138
- Ректифікація 73
- Ремантадин 42
- Рибоза 140
  
- Сажа** 35
- Сахароза 141
- Сечовина 9
- Синтезгаз 35
- Синтетичні мийні засоби (*див. Мийні засоби синтетичні*)
- Смог фотохімічний 82
- Смола кам'яновугільна 80
- Спектроскопія
  - ІЧ 133
  - ЯМР 134
- Спирти
  - багатоатомні 88
  - вторинні 89
  - одноатомні 88
  - первинні 89
  - третинні 89
- Стеарин 122
- Стереохімія 14

Стрептоцид 157  
Структурна формула (див.  
Формула структурна)

Теорія 10  
Теорія хімічної будови 10  
Тетрахлорометан 33  
Тефлон 179  
Трипептид 161  
Трихлорометан 33

Уротропін 112

Фенол 104  
Формалін 112

Формула структурна 11  
Фотосинтез 136  
Фруктоза 139

Харчові добавки (див. Добавки харчові)  
Хімічна будова 11  
Хлоробензен 62  
Хлорометан 33  
Хлорофіл 136

Целюлоза 146  
Циклоалкани (циклопарафіни) 39  
Цукор 142

Шовк штучний 147



Навчальне видання

*ВЕЛИЧКО Людмила Петрівна*

## **ХІМІЯ**

Підручник для 11 класу  
загальноосвітніх навчальних закладів

*Академічний рівень*

*Рекомендовано Міністерством освіти і науки України*

Редактори *Н. В. Демиденко, О. В. Іванова*  
Художній редактор і дизайнер обкладинки *Н. Г. Антоненко*  
Технічний редактор *Ц. Б. Федосіхіна*  
Комп'ютерна верстка *Л. О. Кулагіної*  
Коректор *Н. Г. Сніцарук*

Формат 70x100 1/16. Умов.-друк. арк. 18,2 + 0,33 форзац.  
Обл.-вид. арк. 14 + 0,55 форзац.  
Наклад 2000 пр. Вид. № 37439. Зам. № 11-0037.

Видавництво «Освіта», 04053, Київ, вул. Юрія Коцюбинського, 5  
Свідоцтво про державну реєстрацію ДК № 27 від 31.03.2000 р.

Віддруковано ТОВ «Побутелектротехніка»  
Св. ДК № 3179 від 08.05.2008 р.  
61024, м. Харків, вул. Ольмінського, 17