

Л. П. Величко  
Н. М. Буринська

# Хімія

Профільний рівень

Підручник для 11 класу  
загальноосвітніх навчальних закладів

*Рекомендовано Міністерством освіти і  
науки України*

Київ  
«Школяр»  
2013

ББК 24.2я721  
УДК 547(075.3)  
В97

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

Автори розділів:

*Л. П. Величко* — I розділ;

*Н. М. Буринська* — II розділ

Рецензенти:

*А. Я. Ільченко* — доктор хімічних наук, професор, Інститут органічної хімії НАН України;

*В. І. Кизенко* — кандидат педагогічних наук, старший науковий співробітник, Інститут педагогіки НАПН України

Величко Л. П. та ін.

В97 **Хімія** : підруч. для 11 кл. загальноосвіт. навч. закладів : профіл. рівень / Л. П. Величко, Н. М. Буринська. — К. : Школяр, 2013. — 384 с. : іл.

ISBN 978-966-1650-35-9.

УДК 547(075.3)  
ББК 24.2я71

ISBN 978-966-1650-35-9

© Величко Л. П., Буринська Н. М., 2013  
© УВЦ «Школяр», 2013  
© УВЦ «Школяр», художнє оформлення, 2013

## ЗМІСТ

<i>До учнів</i> .....	7
<b>Розділ I. ОРГАНІЧНА ХІМІЯ</b>	
§ 1. Повторення основних відомостей про органічні сполуки .....	8
<b>ТЕОРІЯ БУДОВИ ОРГАНІЧНИХ СПОЛУК</b>	
§ 2. З історії органічної хімії .....	11
§ 3. Теорія хімічної будови органічних сполук .....	13
§ 4. Ізомерія. Утвердження і розвиток теорії хімічної будови .....	17
<b>ВУГЛЕВОДНІ</b>	
<b>Алкани. Циклоалкани</b> .....	21
§ 5. Метан. Утворення хімічних зв'язків .....	21
§ 6. Склад і будова алканів .....	26
<i>Лабораторний дослід 1. Виготовлення моделей молекул</i> алканів (ізомерів, конформацій) .....	28
§ 7. Фізичні властивості алканів .....	34
§ 8. Спектральні методи встановлення структури органічних сполук .....	37
§ 9. Хімічні властивості алканів .....	41
§ 10. Добування і застосування алканів .....	47
§ 11. Галогенопохідні алканів .....	51
§ 12. Циклоалкани .....	55
<b>Алкени. Алкадієни</b> .....	60
§ 13. Етен. Гомологи етену .....	60
§ 14. Алкадієни .....	72
<b>Алкіни</b> .....	77
§ 15. Етин. Гомологи етину .....	77
<b>Арени</b> .....	86
§ 16. Бензен .....	86
§ 17. Гомологи бензену .....	94
§ 18. Хімічні засоби захисту рослин .....	99
§ 19. Багатоядерні ароматичні вуглеводні .....	101
§ 20. Взаємозв'язок і взаємоперетворення вуглеводнів .....	104
<b>ГЕТЕРОЦИКЛІЧНІ СПОЛУКИ</b>	
§ 21. Піридин .....	106
<b>ПРИРОДНІ ДЖЕРЕЛА ВУГЛЕВОДНІВ</b>	
§ 22. Природний газ .....	114
§ 23. Нафта і продукти її переробки .....	116
§ 24. Кам'яне вугілля і продукти його переробки .....	126
<i>Лабораторний дослід 2. Ознайомлення зі зразками</i> нафтопродуктів і продуктів коксування кам'яного вугілля .....	128
§ 25. Вуглеводнева сировина й охорона довкілля .....	128
<i>Лабораторний дослід 3. Ознайомлення з різними видами палива</i> .....	130

## ОКСИГЕНОВМІСНІ СПОЛУКИ

Спирти і фенол .....	133
§ 26. Насичені одноатомні спирти .....	133
§ 27. Етиленгліколь. Гліцерол .....	147
Лабораторний дослід 4. Розчинність гліцеролу у воді .....	148
Лабораторний дослід 5. Взаємодія гліцеролу з купрум(II) гідроксидом .....	149
§ 28. Фенол .....	153
Альдегіди і кетони. Карбонові кислоти .....	159
§ 29. Альдегіди і кетони .....	159
Лабораторний дослід 6. Окиснення етаналю купрум(II) гідроксидом .....	162
Лабораторний дослід 7. Окиснення етаналю аргентум(II) оксидом .....	162
Лабораторний дослід 8. Окиснення спирту до альдегіду .....	164
§ 30. Насичені одноосновні карбонові кислоти .....	168
Лабораторний дослід 9. Дія етанової кислоти на індикатори .....	171
Лабораторний дослід 10. Взаємодія етанової кислоти з магнієм .....	173
Лабораторний дослід 11. Взаємодія етанової кислоти з лугом .....	173
§ 31. Окремі представники карбонових кислот .....	176
Лабораторний дослід 12. Відношення олеїнової кислоти до бромної води й розчину калій перманганату .....	178
Естери. Жири. Мило .....	183
§ 32. Естери .....	183
§ 33. Жири. Мило .....	187
Лабораторний дослід 13. Розчинність жирів .....	187
Лабораторний дослід 14. Доведення ненасиченого характеру рідких жирів .....	188
Лабораторний дослід 15. Порівняння властивостей мила й синтетичного мийного засобу .....	192
Вуглеводи .....	195
§ 34. Глюкоза .....	196
Лабораторний дослід 16. Взаємодія глюкози з купрум(II) гідроксидом .....	199
§ 35. Інші моносахариди. Оптична ізомерія .....	200
§ 36. Сахароза .....	204
§ 37. Крохмаль .....	207
Лабораторний дослід 17. Відношення крохмалю до води .....	208
Лабораторний дослід 18. Взаємодія крохмалю з йодом .....	209
§ 38. Целюлоза (клітковина) .....	210

## НІТРОГЕНОВМІСНІ СПОЛУКИ

§ 39. Нітросполуки .....	216
§ 40. Аміни .....	217
§ 41. Анілін .....	221
§ 42. Добування і застосування аніліну .....	223
§ 43. Амінокислоти .....	229



§ 44. Білки .....	234
<i>Лабораторний дослід 19. Кольорові реакції білків .....</i>	<i>237</i>
§ 45. Нуклеїнові кислоти.....	240

## **СИНТЕТИЧНІ ВИСОКОМОЛЕКУЛЯРНІ СПОЛУКИ**

§ 46. Загальна характеристика .....	246
§ 47. Пластичні маси .....	250
<i>Лабораторний дослід 20. Дослідження властивостей</i> <i>термопластичних полімерів .....</i>	<i>255</i>
§ 48. Синтетичні каучуки .....	255
<i>Лабораторний дослід 21. Порівняння властивостей каучуку і гуми .....</i>	<i>257</i>
§ 49. Синтетичні волокна .....	257
<i>Лабораторний дослід 22. Відношення синтетичних волокон до розчинів</i> <i>кислоти і луку .....</i>	<i>259</i>
§ 50. Розмаїття органічних речовин, взаємозв'язок між ними .....	260

## **ПРАКТИЧНІ РОБОТИ**

<i>Практична робота 1. Розділення й очищення речовин:</i> <i>перекристалізація, перегонка за атмосферного тиску .....</i>	<i>265</i>
<i>Практична робота 2. Виявлення Карбону, Гідрогену і Хлору</i> <i>в органічних речовинах .....</i>	<i>267</i>
<i>Практична робота 3. Добування етену й досліди з ним .....</i>	<i>268</i>
<i>Практична робота 4. Добування і вивчення властивостей</i> <i>етанової кислоти .....</i>	<i>269</i>
<i>Практична робота 5. Розв'язування експериментальних задач</i> <i>з тем: «Спирти і феноли», «Карбонові кислоти» .....</i>	<i>271</i>
<i>Практична робота 6. Синтез етилетаноату .....</i>	<i>271</i>
<i>Практична робота 7. Гідроліз ацетилсаліцилової кислоти .....</i>	<i>272</i>
<i>Практична робота 8. Розв'язування експериментальних задач .....</i>	<i>272</i>
<i>Практична робота 9. Розпізнавання деяких пластмас і волокон .....</i>	<i>273</i>
<i>Практична робота 10. Функціональний аналіз органічних сполук .....</i>	<i>273</i>
<i>Практична робота 11. Розв'язування експериментальних задач</i> <i>з вивченого курсу .....</i>	<i>274</i>

## **Розділ II. УЗАГАЛЬНЮВАЛЬНЕ ПОВТОРЕННЯ НАЙВАЖЛИВІШИХ ПИТАНЬ КУРСУ ХІМІЇ**

### **ОСНОВНІ ХІМІЧНІ ЗАКОНИ, ТЕОРІЇ, ВЧЕННЯ**

§ 51. Основні хімічні закони. Теорія будови .....	275
§ 52. Використання основних хімічних законів для обчислень за хімічними рівняннями .....	284
§ 53. Періодичний закон і Періодична система хімічних елементів Д. І. Менделєєва у світлі теорії будови атома .....	288
§ 54. Електронні конфігурації атомів .....	293
§ 55. Періодична зміна властивостей атомів хімічних елементів та їхніх сполук.....	297

## РОЗВИТОК НАУКОВИХ ЗНАНЬ ПРО ХІМІЧНИЙ ЗВ'ЯЗОК І БУДОВУ РЕЧОВИНИ

§ 56. Ковалентний зв'язок, способи його утворення.....	301
§ 57. Йонний зв'язок .....	308
§ 58. Металічний зв'язок.....	310
§ 59. Міжмолекулярна взаємодія .....	311
§ 60. Валентність елементів у світлі електронної теорії хімічного зв'язку .....	315
§ 61. Валентність і ступінь окиснення. Окисно-відновні реакції.....	317

## ДИСПЕРСНІ СИСТЕМИ

§ 62. Загальні уявлення про дисперсні системи. Колоїдні розчини .....	322
§ 63. Істинні розчини.....	324
§ 64. Способи вираження складу розчинів.....	326
§ 65. Електролітична дисоціація .....	329
§ 66. Дисоціація електролітів у водних розчинах .....	331
§ 67. Ступінь електролітичної дисоціації.....	334
§ 68. Дисоціація води. Водневий показник. Реакції у розчинах електролітів .....	338
Лабораторні дослід. Реакції обміну між розчинами електролітів .....	340
69. Гідроліз солей.....	341

## ХІМІЧНІ РЕАКЦІЇ

§ 70. Класифікація хімічних реакцій .....	344
§ 71. Енергетика хімічних перетворень .....	350
§ 72. Швидкість хімічних реакцій .....	351
§ 73. Каталіз.....	356
§ 74. Оборотно й необоротні реакції .....	361
§ 75. Генетичний зв'язок неорганічних і органічних речовин .....	363

## РОЛЬ ХІМІЇ В ЖИТТІ СУСПІЛЬСТВА

§ 76. Місце хімії серед наук про природу, її значення для розуміння наукової картини світу.....	365
§ 77. Роль хімії у розв'язуванні глобальних проблем людства .....	367

## ПРАКТИЧНІ РОБОТИ

Практична робота 1. Виконання окисно-відновних реакцій і вправ на складання їхніх рівнянь.....	370
Практична робота 2. Реакції обміну між розчинами електролітів.....	370
Практична робота 3. Складання йонних рівнянь .....	371
Практична робота 4. Гідроліз солей і визначення рН середовища .....	372
Практична робота 5. Якісні реакції на деякі неорганічні й органічні речовини .....	372
ВІДПОВІДІ ДО ЗАВДАНЬ .....	373
ДОДАТКИ .....	375
ІМЕННИЙ ПОКАЖЧИК.....	378
ПРЕДМЕТНИЙ ПОКАЖЧИК.....	379



## До учнів

В 11 класі триватиме вивчення хімії, зокрема органічної, та узагальнення знань з усього курсу.

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

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

Розділ «Узагальнювальне повторення найважливіших питань курсу хімії» допоможе вам підсумувати знання з хімії, сформувані цілісні уявлення про неорганічні й органічні речовини на єдиній теоретичній основі, осмислити основні хімічні поняття, значення законів і теорій, усвідомити місце хімії серед наук про природу і роль цієї науки в житті суспільства.

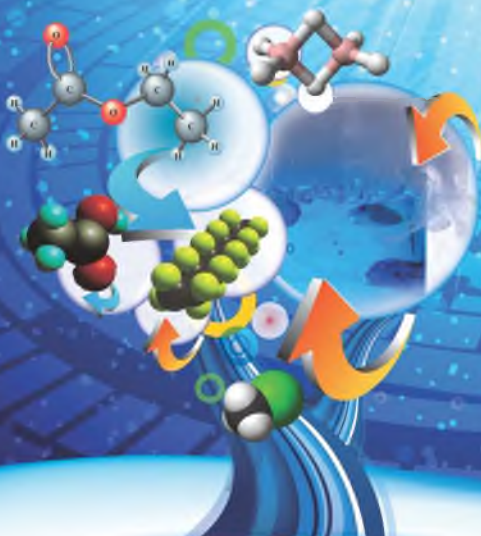
У вивченні хімії вам допоможе структура підручника. Фактичний матеріал про органічні сполуки викладається в рубриках: *Склад і будова молекул, Фізичні властивості, Хімічні властивості, Застосування, Добування*. Матеріал про хімічні властивості як найважливіший подається у зручному вигляді: рівняння хімічних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

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

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

Сподіваємося, що вивчення хімії буде для вас цікавим і корисним. Успіхів вам!

Автори



# Розділ I

# ОРГАНІЧНА

# ХІМІЯ



## § 1. ПОВТОРЕННЯ ОСНОВНИХ ВІДОМОСТЕЙ ПРО ОРГАНІЧНІ СПОЛУКИ

Поновіть свої знання про органічні речовини і виконайте завдання.

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



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

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

- Органічні речовини добувають із природної сировини, а також шляхом синтезу з інших органічних і неорганічних речовин.
  - 11. Наведіть приклади природних і синтетичних органічних речовин.
  - 12. Наведіть приклади взаємних перетворень органічних речовин.
- Поділ на органічні й неорганічні речовини є умовним.
  - 13. Поясніть відносність поділу речовин на органічні й неорганічні, а також умовність терміна «органічна хімія».
  - 14. Наведіть приклади кругообігу речовин у природі. Який висновок можна зробити?
  - 15. Наведіть власний приклад взаємозв'язку неорганічних і органічних речовин.
- Метан — найпростіша органічна сполука.
  - 16. Складіть молекулярну і структурну формули метану і його хлоропохідних.
  - 17. Що означає риска у структурній формулі?

18. Складіть розповідь про застосування метану і його хлоропохідних.

● **Гомологи метану належать до групи насичених вуглеводнів.**

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

20. Укажіть пропущені слова: бутан, пентан, ..., ..., октан:

- |                  |                   |
|------------------|-------------------|
| А нонан, декан   | В гексан, гептан  |
| Б пропан, гексан | Г гексан, пропан. |

21. Укажіть спільні ознаки гомологів метану:

- |                    |                        |
|--------------------|------------------------|
| А якісний склад    | В фізичні властивості  |
| Б кількісний склад | Г хімічні властивості. |

22. Укажіть відмінні ознаки гомологів метану:

- |  |
|--|
| А наявність у молекулах атомів Карбону й Гідрогену |
| Б температури плавлення                            |
| В ковалентні зв'язки між атомами                   |
| Г хімічні властивості.                             |

23. Укажіть характеристику, що стосується гомологів метану:

- |                      |                            |
|----------------------|----------------------------|
| А молекулярна будова | В негорючість              |
| Б розчинність у воді | Г мало поширені у природі. |

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

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

● **Функціональні групи визначають властивості речовин.**

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

● **Крохмаль, целюлоза, білки — природні полімери.**

26. Схарактеризуйте біологічне значення цих сполук.

● **Поліетилен — синтетичний полімер.**

27. Розкажіть про використання поліетилену.

28. Установіть відповідність між змістом лівої і правої колонок:

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





# Теорія будови органічних сполук

## Нові поняття і терміни:

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



## § 2. З ІСТОРІЇ ОРГАНІЧНОЇ ХІМІЇ

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

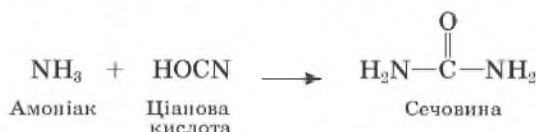
**Перші синтези органічних речовин.** Нині кожному знайоме словосполучення «синтетичні речовини», кожен їх використовує. Проте так було не завжди, шлях, який пройшла органічна хімія від вивчення природних органічних речовин до їх синтезу, був достатньо довгим. Ще на початку XIX ст. жоден учений не міг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



**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.

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



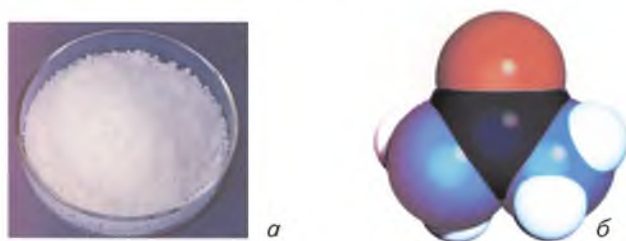
Сечовина належить до речовин тваринного походження і є продуктом білкового обміну в організмі (мал. 1, 2). У листі до Берцеліуса Велер написав, що може робити сечовину, не потребуючи для цього ні нирок, ні живої істоти взагалі — чи то людини, чи собаки. Це повідомлення стало науковою сенсацією.

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

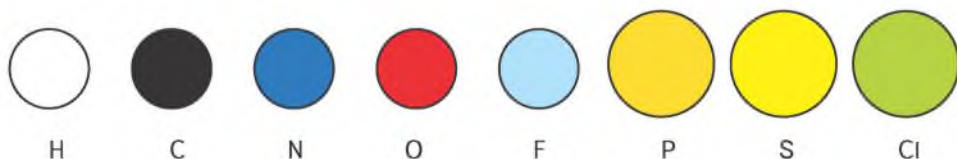
У 1854 р. французький учений М. Бертло вперше синтезував жироподібну речовину, а в 1861 р. російський учений О. М. Бутлеров — цукристу речовину. Серед авторів перших синтезів органічних речовин є й український учений, академік Іван Якович Горбачевський. У 1882 р. він синтезував сечову (уреатну) кислоту.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

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

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



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



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





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

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

(1858—1906), А. І. Кіпріанова (1896—1972), Є. О. Шилова (1893—1970), О. В. Кірсанова (1902—1992). Докладніше про цих учених ви довідаєтеся під час вивчення органічної хімії.



### Завдання для самоконтролю

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



## § 3. ТЕОРІЯ ХІМІЧНОЇ БУДОВИ ОРГАНІЧНИХ СПЛУК

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

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

пливає з цієї теорії, є сповільнення плинності подій у разі швидкостей, наближених до швидкості світла.

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

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

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

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

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

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

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

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



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

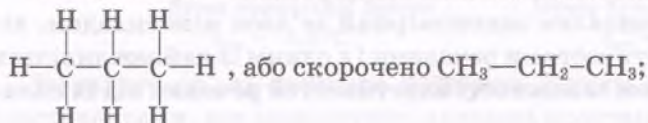
**Теорія хімічної будови органічних сполук О. М. Бутлерова.** Як засвідчує історія науки, для створення теорії недостатньо одних лише передумов. Потрібні нові ідеї, на основі яких можна будувати цілісну теорію. Які ж наукові ідеї було покладено в основу нової теорії її автором — російським ученим О.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

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

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

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

Наприклад, сполука пропан складу  $C_3H_8$  має структурну формулу



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

Хімічну будову можна встановити на основі хімічних перетворень речовини. Визначення того, які атоми, скільки їх і в якій послідовності вони сполучені між собою, 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 себе в цих хімічних реакціях залежно від того, з атомом якого елемента він сполучений. Отже, властивості речовин не зводяться до суми властивостей окремих атомів, оскільки ці атоми 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 натурою елементарних складових частин, кількістю їх і хімічною будовою».





**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 підручника з органічної хімії, в якому матеріал уперше викладався з позицій цієї теорії. Власними синтезами ізомерів, передбачених за допомогою теорії, підтвердив її справедливість. Вперше синтезував цукристу речовину.

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

Згідно із сучасними поняттями це положення формують 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 із молекулами органічних речовин. Проте ця теорія є загальнохімічною і поширюється також на речовини немалекулярної будови. Відома вам залежність між типом хімічного зв'язку, кристалічною будовою неорганічних речовин та їх властивостями — це також вияв цього закону.



### Завдання для самоконтролю

1. Наведіть приклади наукової класифікації, відомі вам із курсів біології та неорганічної хімії.
2. Наведіть приклади теорії, закону, постулату, гіпотези, аксіоми з різних галузей знань.
3. Схарактеризуйте положення, що склалося в органічній хімії в середині XIX ст.
4. Видатні відкриття невіддільні від історичної доби, в яку їх було зроблено. Пригадайте історичні умови, що склалися в Росії 60-х років XIX ст. (суспільно-політична ситуація, просвітницький рух тощо). Назвіть наукові передумови створення теорії хімічної будови органічних сполук.
5. Що таке хімічна будова органічних речовин?
6. Як ви розумієте взаємний вплив атомів у молекулі?
7. Що виражає структурна формула речовини?
8. Який закон сформулював О. М. Бутлеров?

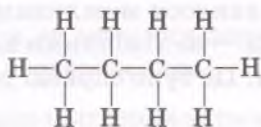




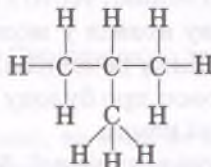
## § 4. ІЗОМЕРІЯ. УТВЕРДЖЕННЯ І РОЗВИТОК ТЕОРІЇ ХІМІЧНОЇ БУДОВИ

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

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



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



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

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

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

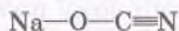
Для пентану складу  $C_5H_{12}$  можливі три варіанти будови, тобто такому складу відповідають три різні речовини.

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

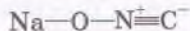
*Сполуки, що мають однакові молекулярні формули, але різну будову, а тому й різні властивості, називають ізомерами (від грец. ἰσος — однаковий і μέρος — частина).*

Ми розглянули приклади так званої *структурної ізомерії*, зумовленої будовою (структурою) 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  $560^\circ\text{C}$ , а друга — вибухає від нагрівання. Причина полягає в тому, що ці речовини — ізомери, атоми в них сполучені в різному порядку, а саме:



Натрій ціанат



Натрій фульмінат



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

Пригадайте, які наукові відкриття сприяли утвердженню Періодичного закону.

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

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

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

Закономірність взаємозв'язку будови речовин та 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 чи засобів захисту рослин.

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

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



просторову будову молекул і нова галузь хімічної науки — стереохімія (від грец. *στερεός* — просторовий).

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

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

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

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

Якщо теорія підтверджується практикою, то вона не відкидається, коли поглиблюються наукові знання, а включається до змісту нових теорій. Такий приклад вам відомий із фізики і стосується співвідношення теорії відносності й законів класичної механіки. Коли виявилось, що тіла, які рухаються зі швидкістю, наближеною до швидкості світла, не підлягають законам класичної механіки 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 порівняно зі швидкістю світла. Інший приклад — синтетична теорія еволюції, що інтегрувала теорії класичної і молекулярної генетики та природного добору.

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



### Завдання для самоконтролю

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



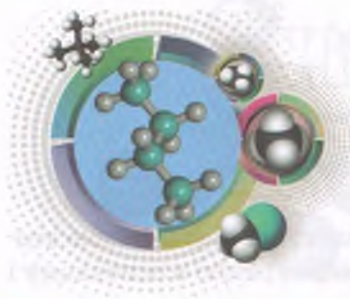
## Додаткові завдання

8. Які нові наукові ідеї запропонував О. М. Бутлеров?
9. Що є функцією, а що — аргументом у законі Бутлерова?
10. Як теорія хімічної будови пояснює явище ізомерії?
11. Назвіть спільні й відмінні ознаки ізомерів.
12. Кожній сполуці відповідає лише одна хімічна формула. Чи можна стверджувати, що певній хімічній формулі відповідає тільки одна сполука? Для обґрунтування відповіді наведіть приклади органічних і неорганічних сполук.
13. Який зміст вкладає сучасна наука в поняття «будова речовини»?
14. Що означає схарактеризувати органічну речовину з погляду теорії будови?
15. Чи справедливий закон Бутлерова для неорганічних сполук? Наведіть приклади.
16. Що, на вашу думку, відбувається з науковою теорією, якщо вона не розвивається разом із наукою? Наведіть приклади.
17. Назвіть етапи розвитку теоретичних поглядів у галузі органічної хімії.
18. Теорію хімічної будови органічних речовин називають ще структурною теорією. Поясніть правомірність такої назви.

## Висновки

- Термін «органічна хімія» запропонував шведський учений Я. Берцеліус.
- На початку XIX ст. в органічній хімії панувала віталістична теорія.
- Сечовина — перша синтезована органічна сполука.
- Перші синтези органічних речовин відкрили шлях розвитку синтетичної органічної хімії.
- Створення теорії хімічної будови органічних сполук було зумовлено логікою розвитку органічної хімії.
- Теоретичні передумови створення теорії хімічної будови: утвердження атомно-молекулярного вчення в хімії, розроблення вчення про валентність, установлення чотиривалентності атомів Карбону та їх здатності сполучатися між собою.
- О. М. Бутлеров запровадив у науку поняття про хімічну будову і взаємний вплив атомів у молекулі, сформулював закон залежності властивостей органічних речовин від складу й хімічної будови їхніх молекул.
- Хімічну будову речовин можна виразити 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 за рахунок просторових і електронних уявлень про будову речовин.
- Сучасна теорія будови органічних речовин розглядає цю будову в єдності трьох аспектів: хімічної, просторової та електронної будови.





# Вуглеводні

## Алкани.

## Циклоалкани

### Нові поняття і терміни:

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



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

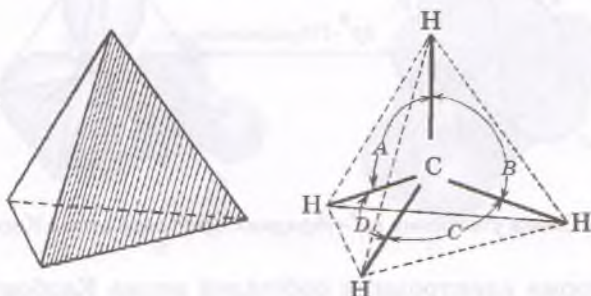
**Склад і будова молекули.** З курсу хімії 9 класу вам відомо, що сполуки, до складу яких входять два елементи — Карбон і Гідроген, називають *вуглеводнями* (від раніше вживаних назв елементів — *вуглець* і *водень*). Ви знаєте про існування насичених вуглеводнів, до яких належить найпростіша органічна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

Складіть структурну й електронну формули метану.

Чи відображає структурна формула реальну просторову будову молекули?

Яку просторову форму має молекула метану?

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



Тетраедр

$$A = B = C = D = 109,5^\circ$$

Мал. 3. Тетраедрична будова молекули метану



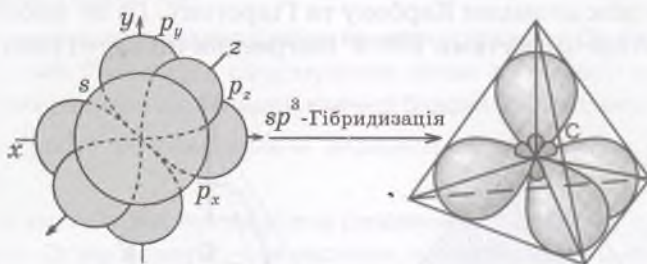
Мал. 4. Електронна конфігурація атома Карбону

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

У результаті переміщення одного  $2s$ -електрона на вільну  $2p$ -орбіталь атом має чотири неспарені електрони, здатні 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 із  $s$ -електронними орбіталями атомів Гідрогену мали б утворитися нерівноцінні зв'язки C—H. Однак відомо, що в молекулі метану всі зв'язки однакові, тобто утворені однаковими електронними орбіталями.

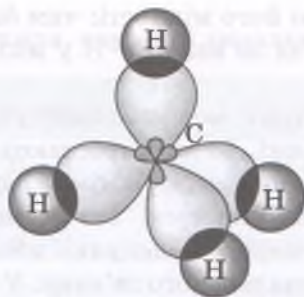
Для пояснення такої суперечності було запропоновано *гіпотезу гібридизації електронних орбіталей*. Згідно з цією гіпотезою в момент утворення молекули метану одна  $s$ - і певна кількість  $p$ -електронних орбіталей атома Карбону гібридизуються (змішуються), і в результаті утворюються нові гібридні електронні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

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

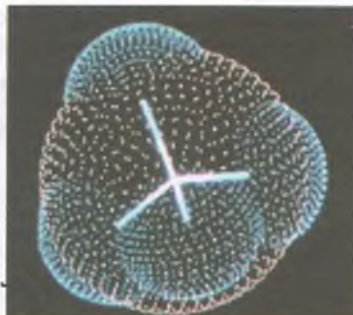
Мал. 5. Схема утворення  $sp^3$ -гібридних орбіталей атома Карбону

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





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



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

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

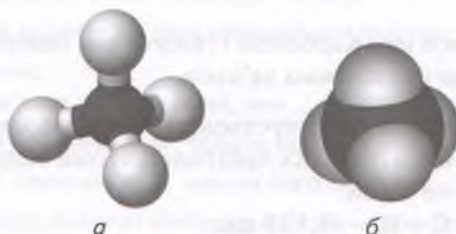
Складіть кулестержневу й масштабну моделі молекули метану, порівняйте їх із комп'ютерною моделлю (мал. 7, 8).

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

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

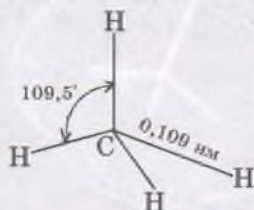
Згідно з одним із основних принципів природи система найстійкіша, коли вона перебуває в стані з мінімумом енергії. Молекула як стійка система утворюється в тому разі, коли зі зближенням атомів її внутрішня енергія зменшується, тобто енергія молекули менша від суми енергій окремих атомів.

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



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

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



Мал. 9. Геометрія молекули метану

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

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

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

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



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

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

На прикладі зв'язків між Карбоном і галогенами пояснить залежність між довжиною та енергією хімічних зв'язків.

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



Таблиця 1

Довжина, енергія і дипольний момент деяких ковалентних зв'язків

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



## Завдання для самоконтролю

- Поясніть відмінність між основним і збудженим станами атома Карбону.
- Які електронні орбіталі беруть участь у  $sp^3$ -гібридизації?
- Який вид зв'язків у молекулі метану?
- Укажіть, що позначає риска у структурній формулі:
  - зміщення електронної густини хімічного зв'язку
  - електронну пару
  - енергію зв'язку
  - електронегативність.
- Яку просторову будову має молекула метану?
- Назвіть основні характеристики ковалентних зв'язків.
- Закінчіть речення:  
Ковалентний зв'язок тим міцніший, чим ...
  - менша його довжина
  - більша його енергія
  - більша його довжина
  - менша його енергія.
- Чи можна вважати енергію хімічного зв'язку мірою його міцності? Відповідь поясніть.
- Перелічіть параметри молекули метану.
- Зв'язки C—H слабополярні, а молекула метану неполярна. Поясніть це.

## Додаткові завдання

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



## § 6. СКЛАД І БУДОВА АЛКАНІВ

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

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

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

Таблиця 2

Характеристики алканів

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



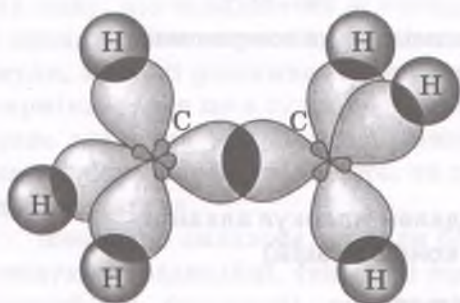
До складу наведених сполук входять лише атоми Карбону й Гідрогену, причому валентності атомів Карбону (вуглецю) повністю використані для зв'язку між собою та атомами Гідрогену (водню), тобто «насичені». Такі сполуки називають *насиченими вуглеводнями*, або *алканами* (за міжнародною номенклатурою).

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

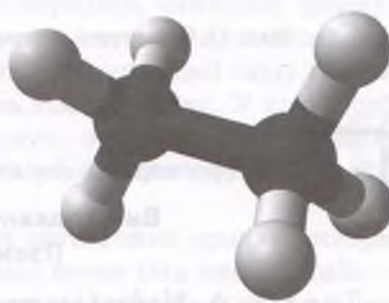
Складіть формулу алкану, що містить 15 атомів Карбону (пентадекан).

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

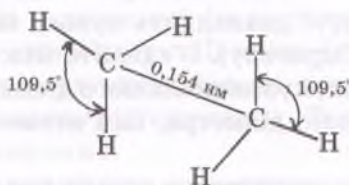
**Будова молекул.** У молекулах алканів, як і в метані, валентні електрони атомів Карбону перебувають у стані  $sp^3$ -гібридизації. Гібридні електронні орбіталі, перекриваючись між собою та з  $s$ -електронними орбіталями атомів Гідрогену, утворюють  $s$ -зв'язки (мал. 10, 11). Довжина зв'язків C—C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



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

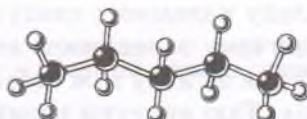
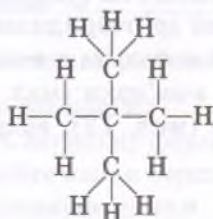
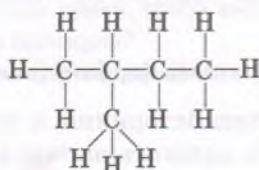
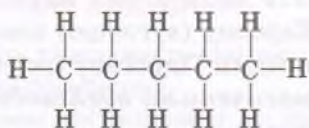


Мал. 11. Модель молекули етану

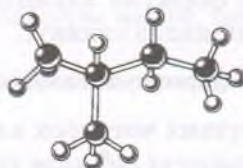


Мал. 12. Геометрія молекули етану

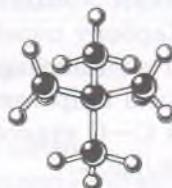
**Ізомерія.** Насиченим вуглеводням властива *структурна ізомерія*, що зумовлена послідовністю сполучення атомів у молекулі (хімічною будовою). Наприклад, у молекулі пентану атоми можуть сполучатися трьома способами, тобто пентан має три ізомери (мал. 13).



Пентан нормальної будови  
 $t_{\text{кип}} = 36^\circ\text{C}$



Ізомер пентану  
 $t_{\text{кип}} = 28^\circ\text{C}$



Ізомер пентану  
 $t_{\text{кип}} = 10^\circ\text{C}$

Мал. 13. Структурні формули й моделі молекул ізомерів пентану



### Лабораторний дослід 1

#### Виготовлення моделей молекул алканів (ізомерів, конформацій)

##### Дослід А. Моделі ізомерів пентану.

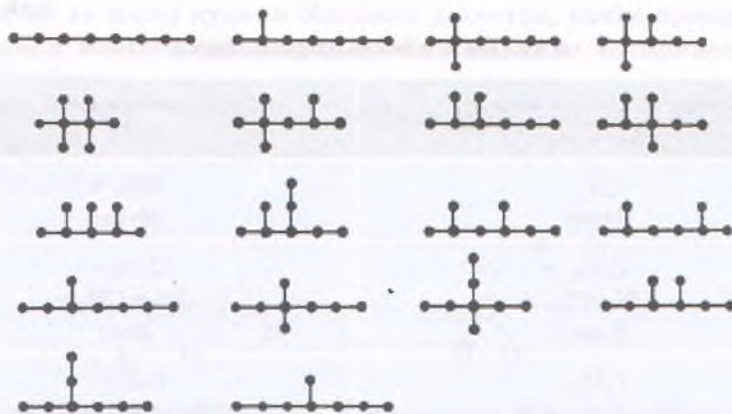
Моделі молекул можна зібрати з деталей стандартного заводського набору або виготовити власноруч із пластиліну й сірників.

Для складання моделі молекули пентану  $\text{C}_5\text{H}_{12}$  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 чотиривалентність атомів Карбону.

Змініть послідовність сполучення атомів Карбону і приєднайте до них атоми Гідрогену. Ви переконаєтесь, що атоми можуть сполучатися в послідовності, якій відповідають структурні формули, наведені на мал. 13.

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





Мал. 14. Схематична будова молекул ізомерів октану

На мал. 14 зображено схеми «скелетів» ізомерів октану  $C_8H_{18}$ . Складіть структурні формули за цими схемами.

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

Історично склалося, що для багатьох органічних сполук використовують традиційні, так звані *тривіальні* назви (від лат. *trivialis* — звичайний, буденний), які не підлягають жодним правилам і які можна лише запам'ятати. Наукові (*систематичні*) назви органічних речовин, зрозумілі для всіх хіміків світу, складаються за правилами, розробленими міжнародною науковою спільнотою, і відображають хімічну будову речовин.

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

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

Щоб скласти назву алкану розгалуженої будови, треба:

- визначити головний (найдовший) ланцюг атомів Карбону;
- пронумерувати, починаючи від найближчого відгалуження (алкільного замісника);

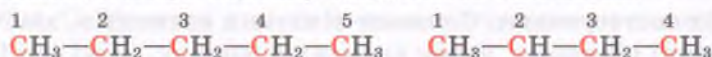
## Алкани й алкільні замісники

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

• *перед назвою сполуки цифрами вказати місця алкільних замісників і їхні назви в алфавітному порядку.*

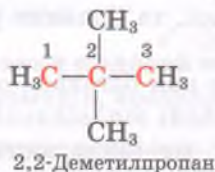
*За наявності однакових замісників вживають множинні суфікси ди-, три-.*

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



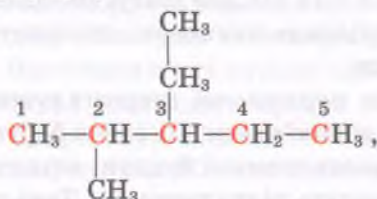
Пентан

2-Метилбутан



2,2-Деметилпропан

Сполука, що має формулу



називається 3-етил-2-метилпентаном.

**Конформації.** Для подальшого вивчення будови алканів скористаємося моделями молекул.

Дослід В. *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 сірни-



ків (хімічні зв'язки) кульки більшого діаметра, потім приєднайте до них кульки меншого діаметра, пам'ятаючи про чотиривалентність атомів Карбону.

Зверніть увагу, що групи атомів  $\text{CH}_3$  можна вільно обертати навколо зв'язку  $\text{C}-\text{C}$ , при цьому можлива безліч взаємних положень атомів Гідрогену, зокрема:



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

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

За низьких температур молекули перебувають в енергетично найвигіднішому стані, або, інакше кажучи, у *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 конформацію називають *загальмованою*. Найменш імовірну (з максимумом енергії) форму молекули етану називають *затіненою* (мал. 15).

### Дослід В. Модель молекули пентану.

Складіть модель молекули пентану  $\text{C}_5\text{H}_{12}$ . Переконайтеся, що ланцюг карбонових атомів може набувати різних просторових форм унаслідок вільного обертання навколо  $\sigma$ -зв'язків (мал. 16). Енергетично найвигіднішою конформацією є зигзагоподібна, оскільки в цьому разі атоми максимально віддалені один від одного (мал. 16, а).

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

Зигзагоподібну будову алканів відбивають їхні спрощені структурні формули:



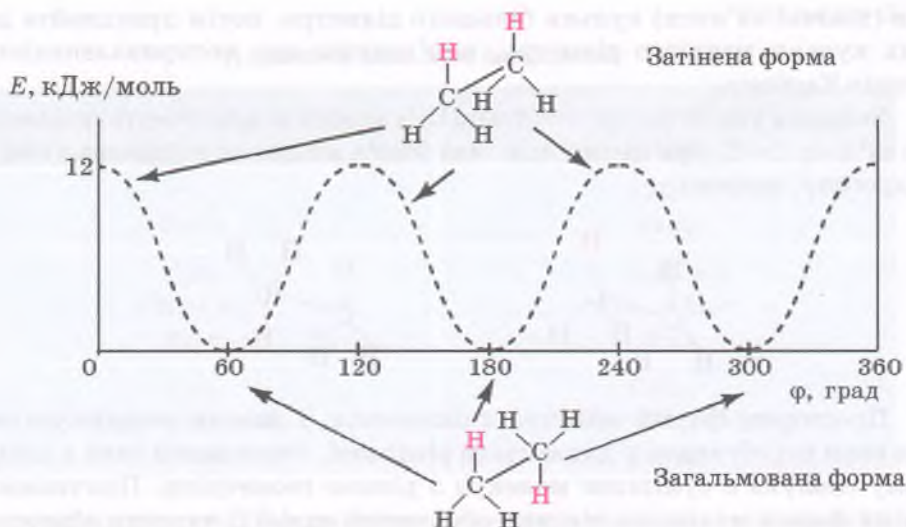
Пропан



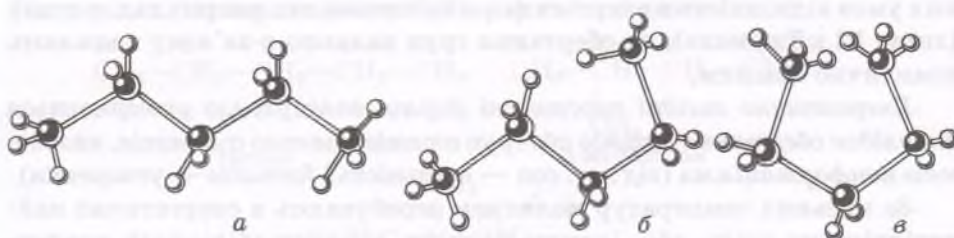
Бутан



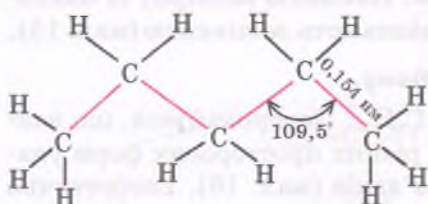
Пентан



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



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



Мал. 17. Геометрія молекули пентану

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

Оскільки існування конформацій пов'язане з енергетичними характеристиками сполук, знання про них, їхню структуру має значення для пояснення реакційної здатності речовин, механізмів реакцій тощо. Конформації позначаються на властивостях полімерів, функціонуванні біологічно активних речовин, таких як білки та нуклеїнові кислоти.

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



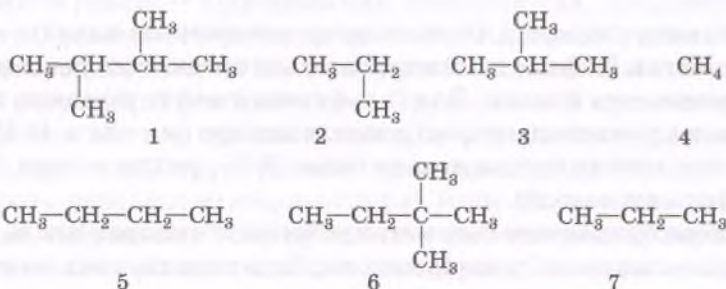


## Завдання для самоконтролю

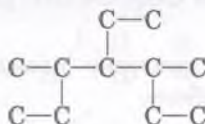
1. Складіть молекулярну і структурну (повну і скорочену) формули алкану, який містить 12 атомів Карбону.
2. Поясніть, як утворюються зв'язки між атомами в молекулах алканів.
3. Складіть характеристику молекули етану за схемою: тип гібридизації електронів, вид зв'язків, довжина C—C-зв'язку, енергія C—C-зв'язку,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

## Додаткові завдання

9. Назвіть ізомери октану, схеми яких зображено на мал. 14 (с. 29).
10. Доведіть на моделях, що зигзагоподібна форма карбонового ланцюга є просторово найвигіднішою.
11. Чи є індивідуальними сполуками: а) ізомери; б) конформери? Відповідь поясніть.
12. Поясніть, чим різняться між собою конформери й ізомери.
13. Поясніть, чому графік, зображений на мал. 15 (с. 32), має три мінімуми і три максимуми.
14. Яка конформація молекули етану і чому є переважною?
15. Чи правильною є назва ізомера пентану — тетраметилметан — за систематичною номенклатурою?
16. Укажіть ізомери серед наведених сполук:  
 А 2, 7    Б 3, 5    В 1, 6    Г 2, 3.



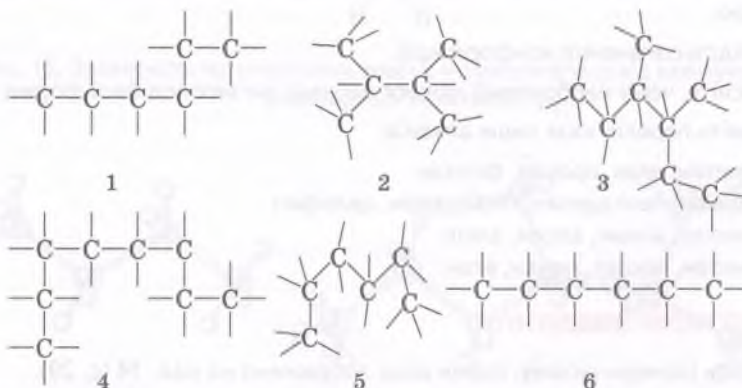
17. Укажіть назву алкану з такою будовою карбонового скелета:



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

18. Укажіть число сполук, яким належать карбонові скелети:

- А 3 Б 4 В 5 Г 6.



Складіть молекулярні формули цих сполук. Назвіть ізомери.

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



## § 7. ФІЗИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ АЛКАНІВ

**Поширення у природі.** Основні природні джерела алканів — нафта і природний газ. Нафта є сумішшю багатьох органічних речовин, серед яких переважають алкани. Для їх добування нафту піддають переробці, про що ви дізнаєтесь згодом (докладніше про це — на с. 113). У природному газі масова частка метану сягає 98 %, решта — етан, пропан, бутан та інші вуглеводні.

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



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

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



Клітковина

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

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

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

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

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

На використанні фізичних властивостей речовин ґрунтується багато промислових процесів, зокрема перегонка нафти, тобто розділення її на компоненти за температурами кипіння. Розділення або очищення речовин перекристалізацією з розчину залежить від розчинності речовин у різних розчинниках, 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 речовин (від лат. *identicus* — тотожний та *ficatio* — здійснювання, ототожнення, прирівнювання).

Фізичні властивості речовин залежать від їхньої будови. Розглянемо, як це 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 неорга-



нічних сполук йонної будови. У йонних кристалах структурні одиниці утримуються значно більшими за значенням міжйонними силами, отже, треба затратити більше енергії, щоб подолати їх і розплавити речовину.

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

Чим довший карбоновий ланцюг молекули, тим більше сумарне притягання між такими молекулами, і тим важче його подолати під час нагрівання цієї речовини. Звернувшись до наведених у таблиці 2 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 °C.

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, рідкі (складу  $C_5$ — $C_{17}$ ) мають характерний запах бензину.

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

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



### Завдання для самоконтролю

1. З якою властивістю метану пов'язано те, що його можна спостерігати у вигляді бульбашок на поверхні заболоченої водойми?
2. З якою метою вивчають фізичні властивості речовин?



3. Перелічіть характерні фізичні властивості алканів.
4. Чи існує залежність між агрегатним станом алканів і їхньою відносною молекулярною масою? Відповідь поясніть.
5. Чи можна виявити метан за запахом?
6. Чи можна змити водою нафтову пляму з тканини?

### Додаткові завдання

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



## § 8. СПЕКТРАЛЬНІ МЕТОДИ ВСТАНОВЛЕННЯ СТРУКТУРИ ОРГАНІЧНИХ СПОЛУК

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

Якщо відомий відсотковий уміст елементів, то можна обчислити найпростішу (емпіричну) формулу речовини. Наприклад, для етану найпростішою є формула  $C_2H_6$ . Лише визначивши відносну молекулярну масу сполуки, наприклад за густиною її пари, можна встановити істинну, тобто молекулярну, формулу речовини. Для етану визначено молекулярну масу 30, отже, формула сполуки  $C_2H_6$ .



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

Методи спектроскопії ґрунтуються на явищі взаємодії речовини з електромагнітним випромінюванням. З курсу фізики вам відомі різні типи електромагнітного випромінювання (назвемо їх 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 найінтенсивнішого поглинання — *смугою поглинання*.

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

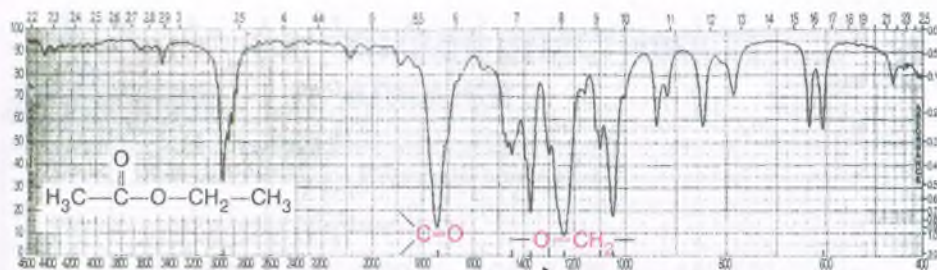
Кожна група атомів, у якій сполучі вона не містилася б, поглинає хвилі лише певної довжини, що вимірюють у різних одиницях — від метрів до нанометрів. Але у спектроскопії користуються переважно так званим хвильовим числом, що є величиною, оберненою до довжини хвилі (вимірюють в обернених сантиметрах,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

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

Як отримують ІЧ-спектри речовин? Для цього використовують спеціальні прилади — спектрометри. Потік теплових променів у спектро-

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





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

метрі йде від керамічного стержня, який розжарюється електричним струмом. Промені спрямовуються на речовину, вміщену в спеціальну кювету, проходять крізь неї, змінюючи свою інтенсивність за рахунок поглинання речовиною, і фіксуються на виході спеціальними пристроями у вигляді графіка. Процедура триває кілька хвилин.

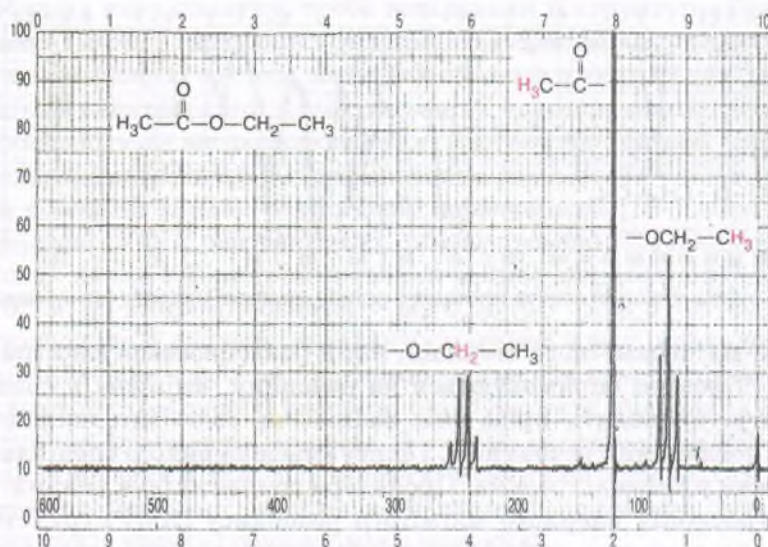
**Спектроскопія ядерного магнітного резонансу (ЯМР)** ґрунтується на тому, що речовина, вміщена в сильне магнітне поле, поглинає випромінювання в ділянці радіохвиль. Але це стосується лише речовин, які містять атоми з ядрами, що мають власний магнітний момент і поводяться як маленькі магніти. Магнетизм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

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

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

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.





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

Об'єкт піддають дії радіочастотного поля, яке резонує з магнітним полем атомів Гідрогену, що входять до складу тканин об'єкта. Місця резонансу, його інтенсивність узагальнюються комп'ютером, який створює на моніторі специфічну «картинку», за якою можна встановити патологічні зміни в об'єкті. Цей метод вважають дуже інформативним і водночас неруйнівним для тканин і органів.

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



## Завдання для самоконтролю

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

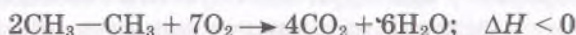




## § 9. ХІМІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ АЛКАНІВ

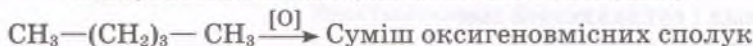
### Реакції алканів

#### Повне окиснення (горіння)

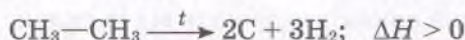


#### Часткове окиснення

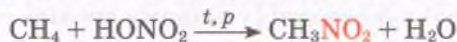
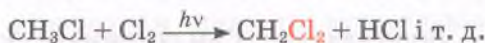
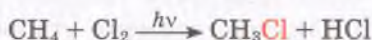
Відбувається важко (каталітичне окиснення)



#### Розклад



#### Заміщення

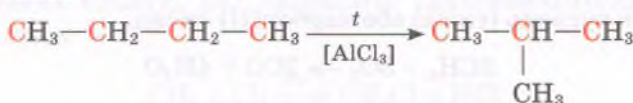


Нітрометан

#### Приєднання

Не відбувається

#### Ізомеризація



Бутан

Метилпропан

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

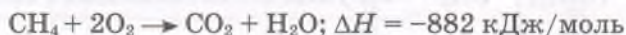
Низька реакційна здатність алканів зумовлена порівняно високою енергією зв'язків С—С і С—Н (відповідно 343 і 414 кДж/моль). Для розриву цих зв'язків та ініціювання реакції за їх участю потрібні достатньо жорсткі умови, наприклад висока температура, наявність каталізатора, дія УФ-випромінювання.

Пригадайте, за яких умов розпочинається робота двигуна внутрішнього згоряння, в якому як паливе використовуються вуглеводневі продукти.

Саме хімічною стійкістю насичених вуглеводнів, відносною інертністю пояснюється їхня історична назва — **парафіни** (від лат. *parum* — мало, *affinis* — причетний).

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

Продукти реакції можна виявити експериментально. Якщо підпалити метан, зібраний у циліндрі, або опустити газовідвідну трубку з полум'ям метану в скляний циліндр, то через деякий час можна помітити утворення вологи на стінках циліндра. Вапняна вода, налита в циліндр, стає каламутною. Отже, 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. Запахло в порцеляновій чашці шматочки твердого вуглеводню, попередньо розплавивши його. Спостерігатимемо утворення кіптяви під час горіння.

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

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

У разі нестачі кисню метан також згоряє не повністю, і в результаті утворюються 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 пари рідких вуглеводнів з киснем або повітрям є вибухонебезпечними. Утворення таких сумішей у кам'яновугільних шахтах, квартирах, на виробництві може призвести до значних руйнувань. Вибух може статися навіть від іскри, якщо концентрація горючої речовини в повітрі досягає критичної. Ось чому слід дотримуватися правил безпеки, постійно провітрювати приміщення, де встановлено газові опалювальні прилади.

**Часткове окиснення** алканів киснем може відбуватися за наявності каталізатора (наприклад, солей Мангану) та за температури



150—200 °С. У результаті утворюється суміш оксигеновмісних органічних сполук, зокрема карбонових кислот, спиртів, альдегідів, кетонів. Такі реакції використовують у промисловості.

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

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

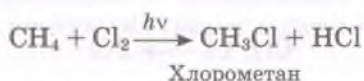


Етин (ацетилен)

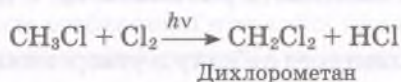
Розщеплення сполук під впливом нагрівання називають *піролізом* (від грец. *πῦρ* — вогонь і *λύσις* — розкладати). Щодо піролізу алканів, якщо, зокрема, йдеться про переробку нафти, вживають термін *крекінг* (від англ. *cracking* — розщеплювати).

Розрізняють термічний, каталітичний, гідрокрекінг (за наявності водню). Залежно від умов крекінг алканів супроводжується відщепленням водню, утворенням нижчих вуглеводнів, ізомеризацією, циклізацією тощо. Про все це ви дізнаєтесь під час вивчення процесів переробки нафти.

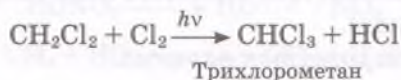
За нагрівання до 250—400 °С або під дією УФ-випромінювання алкани вступають у реакцію заміщення з галогенами (крім йоду). Атоми Гідрогену поступово заміщуються на атоми галогену. На практиці, за умови достатньої кількості хлору, утворюється суміш моно-, ди-, три-, тетразаміщених сполук, які називають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



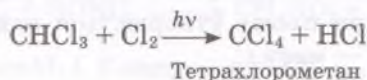
Хлорометан



Дихлорометан



Трихлорометан



Тетрахлорометан

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



**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.

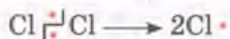
**Механізм реакції галогенування.** Щоб керувати хімічною реакцією, впливати на її результат, вихід продуктів та умови їх утворення, треба знати, яким шляхом ця реакція відбувається, з яких стадій складається, як впливають на неї зовнішні чинники. Такий опис хімічної реакції називають *механізмом реакції*.

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

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

**Перша стадія: ініціювання реакції.**

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



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

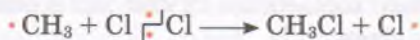
Розривання ковалентного зв'язку з утворенням частинок із неспареним електроном називається *гомолітичним* (від грец. ομόζ — однаковий і λύσις — розклад).

**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:







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

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

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



Ланцюг може розвиватися далі:



Третя стадія: *обривання ланцюга*.

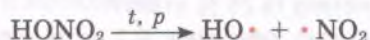
У разі зіткнення радикалів між собою ланцюг обривається:



Реакція припиняється, коли зникають усі вільні радикали.

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

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



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

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

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

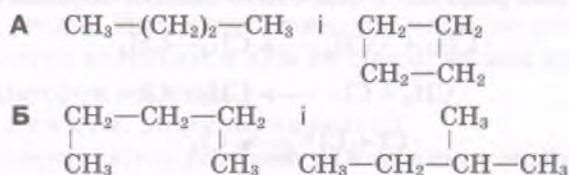


## Завдання для самоконтролю

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

## Додаткові завдання

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



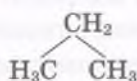
Чи можна розрізнити ці речовини за об'ємом газів (разом із водяною парою), що утворилися в результаті згоряння?

12. Визначте об'єм метану (в кубічних метрах), на спалювання якого вистачить кисню, що міститься в повітрі кухні (площа —  $10 \text{ м}^2$ , висота —  $2,5 \text{ м}$ ):  
 А 2,5      Б 5      В 10      Г 20.
13. Який об'єм кисню потрібно на спалювання суміші газів об'ємом  $1 \text{ м}^3$ , що складається з 75 % метану та 25 % етану?
14. Спалили алкан кількістю речовини 0,1 моль; добули вуглекислий газ (0,5 моль) і воду (0,6 моль). Укажіть формулу алкану:  
 А  $\text{CH}_4$       Б  $\text{C}_2\text{H}_4$       В  $\text{C}_5\text{H}_{10}$       Г  $\text{C}_5\text{H}_{12}$ .
15. Для спалювання суміші метану і пропану об'ємом  $10 \text{ см}^3$  затратили кисень об'ємом  $41 \text{ см}^3$ . Визначте склад суміші газів (у відсотках):  
 А 50 і 50      Б 30 і 70      В 15 і 85      Г 55 і 45.
16. Поясніть, чому метан є хімічно найстійкішим з алканів.
17. Поясніть, чому саме УФ-випромінювання ініціює реакцію хлорування метану. Енергія зв'язку  $\text{Cl}-\text{Cl}$  становить  $243 \text{ кДж/моль}$ , енергія одного кванта УФ-світла —  $396 \text{ кДж/моль}$ , ІЧ-світла —  $3,96 \text{ кДж/моль}$ .
18. За влучним висловом М. Зелінського, реакцією нітрування алканів М. Коновалов «оживив хімічних мерців». Поясніть цей вислів.
19. Складіть формулу алкану розгалуженої будови і назвіть його.

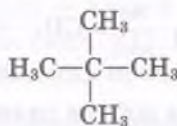


20. Укажіть гомологи серед наведених сполук:

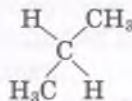
А 1, 5, 6    Б 1, 3    В 3, 4    Г 2, 4.



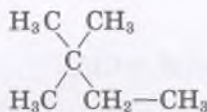
1



2



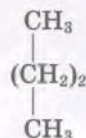
3



4

C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>

5



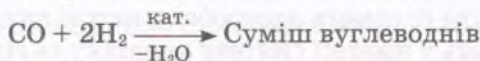
6



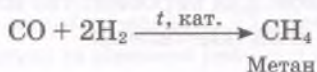
## § 10. ДОБУВАННЯ І ЗАСТОСУВАННЯ АЛКАНІВ

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

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

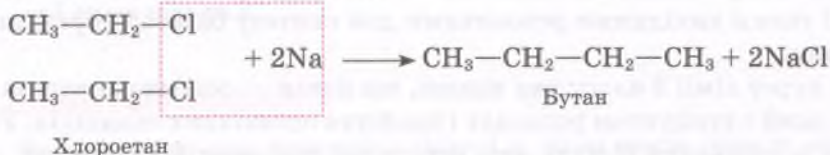


Нагріванням вуглецю з воднем можна *синтезувати метан*:



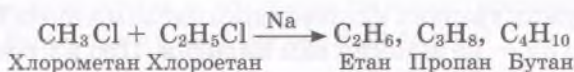
Чому, на вашу думку, ця реакція становить теоретичний інтерес?

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

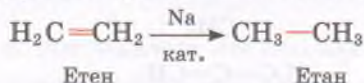


Цю реакцію у 1855 р. відкрив французький хімік Ш. Вюрц, її названо його іменем.

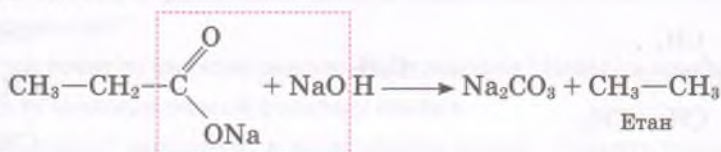
Якщо в реакцію вступають різні галогенопохідні, то утворюється суміш продуктів:



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



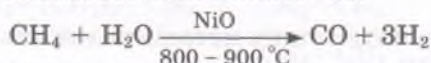
Насичені вуглеводні можна добути *сплавленням солей карбонових кислот із лугом*:



Натрій пропаноат

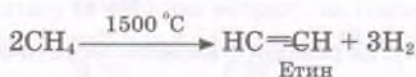
**Застосування. Метан.** Оскільки внаслідок згоряння метану виділяється велика кількість теплоти, його використовують як відносно дешеве паливо в побуті й багатьох промислових процесах.

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



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

З метану добувають етин (ацетилен):



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

Ці гази є вихідними речовинами для синтезу багатьох органічних речовин.

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

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

Природна суміш твердих вуглеводнів з числом атомів Карбону в молекулі від 18 до 35 — це відомий вам *парафін*. Про його використання



йшлося в курсі хімії 9 класу. Поновіть свої знання і підготуйте повідомлення на цю тему.

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



Мал. 20. Резервуари для зберігання скрапленого природного газу



Мал. 21. Парафін і озокерит застосовують у медицині



### Завдання для самоконтролю

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

### Додаткові завдання

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

## Теплота згоряння вуглеводнів

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

## Висновки

- Карбон в органічних сполуках може утворювати чотири ковалентні зв'язки.
- Ковалентні зв'язки характеризуються просторовою напрямленістю, довжиною, енергією, полярністю.
- Молекула метану має тетраедричну будову.
- Основні параметри молекул алканів:
  - тип гібридизації електронних орбіталей атомів Карбону —  $sp^3$ -гібридизація;
  - вид зв'язків —  $\sigma$ -зв'язки;
  - довжина зв'язку  $\text{C}-\text{C}$  — 0,154 нм;
  - енергія зв'язку  $\text{C}-\text{C}$  — 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  $\text{C}-\text{C}$ -зв'язків. Найімовірніша форма карбонового ланцюга — зигзагоподібна.
- Насичені вуглеводні нормальної будови належать до гомологічного ряду метану.
- Загальна формула насичених вуглеводнів (алканів, парафінів) —  $\text{C}_n\text{H}_{2n+2}$ .
- 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.



- Найпоширеніші фізичні методи встановлення структури органічних речовин — ІЧ- та ЯМР-спектроскопія.
- ІЧ-спектроскопія дає змогу визначити наявність функціональних груп у молекулі речовини.
- Спектроскопія ЯМР надає докладну інформацію про структуру речовини завдяки виявленню типів атомів Гідрогену (їхнього хімічного оточення).
- Ідентичність сполук можна виявити за банком спектральних даних.
- Завдяки значній міцності С—С-зв'язків алкани хімічно стійкі за стандартних умов.
- За певних умов алкани вступають у реакції трьох типів: окиснення, розкладу, заміщення.
- Алкани горять з утворенням вуглекислого газу й води.
- Реакції заміщення в алканах відбуваються за радикальним механізмом.
- Природними джерелами алканів є корисні копалини: природний газ, нафта, кам'яне вугілля.



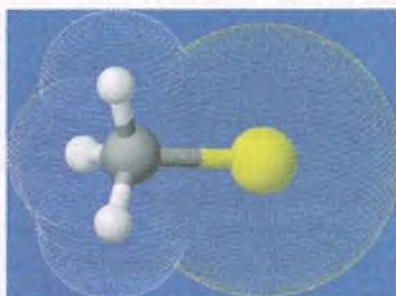
## § 11. ГАЛОГЕНОПОХІДНІ АЛКАНІВ

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

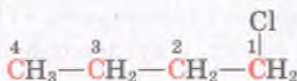
Загальна формула моногалогенопохідних алканів —  $C_nH_{2n+1}X$  ( $X$  — галоген).

Модель молекули хлорометану зображено на мал. 22.

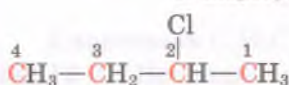
Галогеноалканам властива *структурна ізомерія*, зумовлена будовою карбонового ланцюга та положенням атома галогену в молекулі. Наприклад, сполука складу  $C_4H_9Cl$  має такі ізомери:



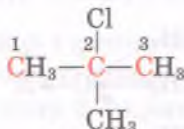
Мал. 22. Модель молекули хлорометану



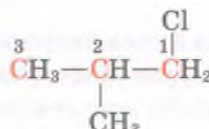
1-Хлоробутан



2-Хлоробутан

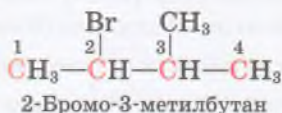


2-Метил-2-хлоропропан

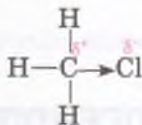


2-Метил-1-хлоропропан

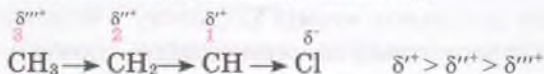
Назви галогенопохідних утворюють від назв відповідних алканів із зазначенням цифрами місця галогену й алкільного замісника в абетковому порядку. Нумерують атоми Карбону з того кінця, до якого ближче розташований замісник, назва якого починається з літери, ближчої від початку алфавіту.



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



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

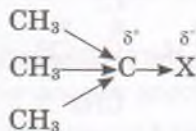


Вплив атома галогену зменшується з віддаленням атомів Карбону від атома галогену, тому частковий позитивний заряд на атомі С<sup>2</sup> менший, ніж на атомі С<sup>1</sup>, а на атомі С<sup>3</sup> — менший, ніж на атомі С<sup>2</sup>.

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

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

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

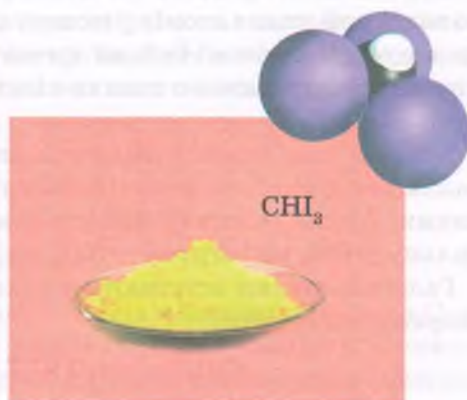








Мал. 23. Тетрахлорометан



Мал. 24. Трийодометан (йодоформ)

### Висновки

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



### Завдання для самоконтролю

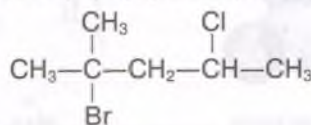
- Назвіть сполуки за наведеними формулами й укажіть серед них ізомери:  
 $\text{CH}_3\text{—CHCl—}(\text{CH}_2)_2\text{—CH}_3$ ;  $\text{CH}_3\text{—}(\text{CH}_2)_2\text{—CHCl—CH}_3$ ;  $\text{CH}_3\text{—CH}_2\text{—Cl}$ ;  
 1 2 3  
 $\text{CH}_3\text{—CHCl—CH}_3$ ;  $\text{CH}_2\text{Cl—CH}_2\text{—}(\text{CH}_2)_3\text{—CH}_3$ ;  $\text{CHCl}_2\text{—CH}_3$   
 4 5 6  
**А** 1, 2 **Б** 3, 4 **В** 1, 5 **Г** 3, 6.
- Поясніть суть індукційного ефекту на основі електронних уявлень.
- Який вплив чинить метильна група в молекулі хлорометану?
- Чому на атомах галогену та Карбону виникає частковий, а не повний заряд?
- Поясніть, у чому полягає хімічна активність галогеноалканів.
- У яких галузях застосовуються галогеноалкани?
- Вставте пропущені слова:  
 1) найпростіша органічна сполука — ... ;



- 2) похідна метану ... не містить атомів Гідрогену;
- 3) у  $sp^3$ -гібридизації беруть участь ...  $s$ - і ...  $p$ -електрони атома ...;
- 4) 2,2,4-триметилпентан — ізомер ... нормальної будови.

## Додаткові завдання

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

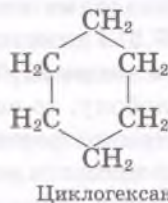
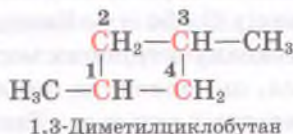
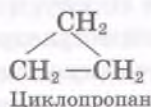


9. Складіть формули сполук за назвами:
  - 1) 4-бromo-3-етил-2-метилгексан
  - 2) 2,3-диметил-1,2-дихлоробутан.
10. Яка реакція відбувається легше: утворення хлорометану чи дихлорометану? Чому?
11. Зв'язки  $\text{C}-\text{Cl}$  полярні, а молекула  $\text{CCl}_4$  неполярна. Поясніть причину цього явища.
12. Порівняйте реакційну здатність алканів і галогеналканів.
13. Які продукти утворюються за реакцією Вюрца з бромометану і 2-бромпропану? Складіть рівняння хімічних реакцій.
14. 2-Бromo-1,1,1-трифлуоро-2-хлороетан використовують у медицині для інгаляційного наркозу. Складіть структурну формулу цієї сполуки.
15. Процес повного хлорування метану відбувається з виходом 95 %. Визначте об'єм хлору (в літрах), що його потрібно затратити для добування продукту масою 100 г:  
 А 116 л   Б 61,2 л   В 95 л   Г 100 л.

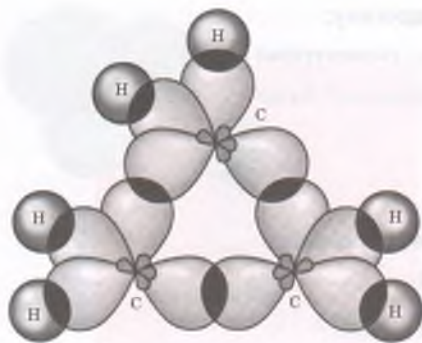


## § 12. ЦИКЛОАЛКАНИ

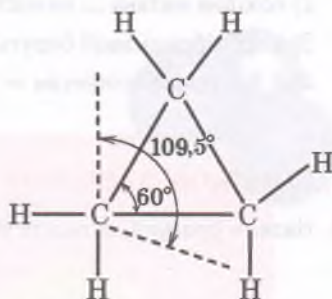
**Склад і будова молекул. Номенклатура.** Атоми Карбону в стані  $sp^3$ -гібридизації можуть сполучатися з утворенням не лише ланцюгових, а й циклічних молекул, наприклад:



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



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



Мал. 26. Геометрія молекули циклопропану

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

Розглянемо будову молекули циклопропану, що має трикутну форму (мал. 25, 26). Оскільки кути у правильному трикутнику дорівнюють  $60^\circ$ , тобто менші від тетраедричного кута  $109,5^\circ$ , електронні орбіталі атомів Карбону, що перебувають у стані  $sp^3$ -гібридизації, не здатні перекриватися максимально й утворювати міцні C—C-зв'язки. Відхилення від тетраедричного кута створює в молекулі певне напруження, внаслідок чого молекула циклопропану нестійка. Це напруження дістало назву **кутового, або байєрівського, напруження** за іменем німецького хіміка А. Байєра, який створив так звану теорію напруження циклів (1885 р.).

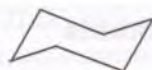
У правильному п'ятикутнику кути дорівнюють  $105^\circ$ , тобто вони близькі до тетраедричних. Отже, можна припустити, що циклопентан — стійкіша сполука.

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

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

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

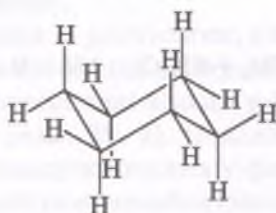




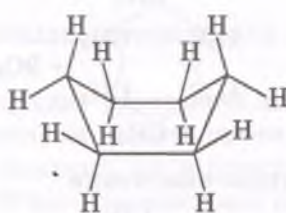
«Крісло»



«Човен»



а



б

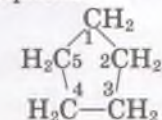
Мал. 27. Конформації циклогексану: а — «крісло»; б — «човен»

Для циклопентану енергетично найвигіднішою є форма «конверт»:

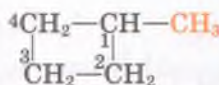


«Конверт»

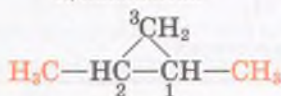
**Ізомерія** циклоалканів зумовлена будовою циклу і будовою бічних відгалужень. Наприклад, складу  $C_5H_{10}$  відповідають такі ізомерні циклопарафіни:



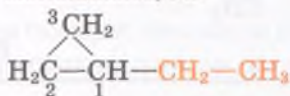
Циклопентан



Метилциклобутан



Диметилциклопропан



Етилциклопропан

Циклоалкани ізомерні алкенам (про це в наступному параграфі).

**Хімічні властивості.** Рівняння реакцій циклоалканів наведено на с. 58. Подібно до алканів циклоалкани **горять**, утворюючи вуглекислий газ і воду. У результаті реакції **часткового окиснення** утворюються оксигеновмісні органічні сполуки.

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

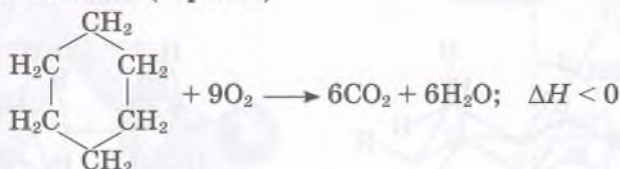
Циклопропан і циклобутан, молекули яких найменш стійкі, вступають у реакції **приєднання** водню з розкриванням циклу. У результаті реакції «знімається» напруження в циклі й утворюється стійка молекула алкану.

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

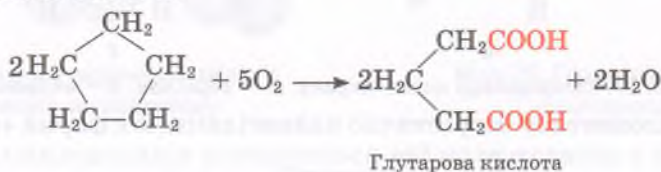
**Добування.** Циклопентан, циклогексан та їхні гомологи (загальна назва — **нафтени**) входять до складу деяких сортів нафти, зокрема каліфорнійської та бакинської.

## Реакції циклоалканів

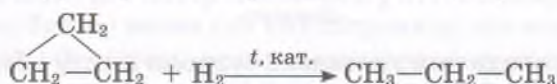
## Повне окиснення (горіння)



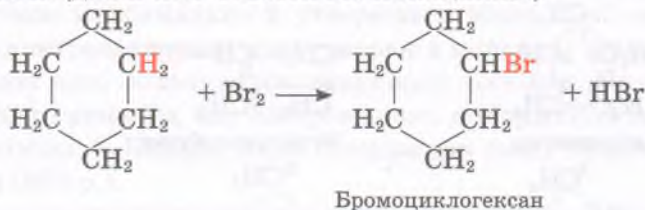
## Часткове окиснення



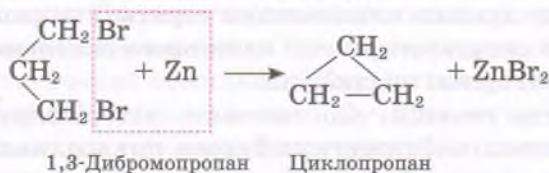
## Приєднання (для три- і чотиричленних циклів)



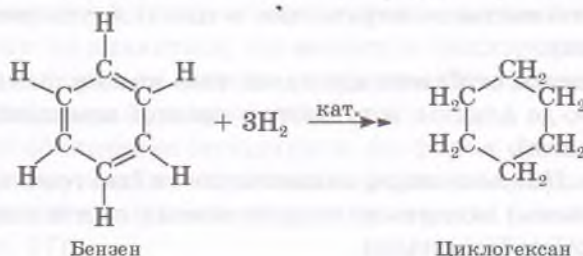
## Заміщення (для п'яти- і шестичленних циклів)



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



Циклогексан утворюється також унаслідок приєднання водню до бензену:



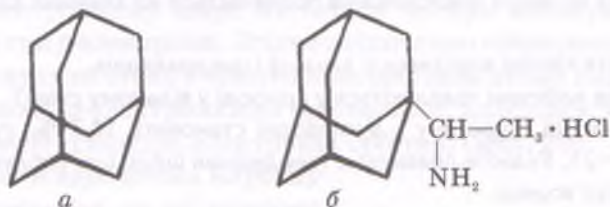


**Застосування.** Циклопропан використовують у медицині як засіб для наркозу (у суміші з киснем).

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

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

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



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

## Висновки

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



## Завдання для самоконтролю

1. Поясніть назву «циклоалкани».
2. Наведіть загальну формулу циклоалканів.
3. Наведіть структурні формули декількох ізомерів циклогексану.
4. Опишіть будову молекули циклогексану. Яка конформація є переважною для цієї молекули?
5. У чому полягала помилка А. Байєра?

- Поясніть, чи зберігаються параметри молекули в різних конформаціях.
- Які реакції характерні для п'яти- і шестичленних циклоалканів?
- Як відбувається приєднання водню до циклопропану?
- Що таке нафтени?
- Схарактеризуйте значення циклоалканів та їхніх похідних для медицини.

### Додаткові завдання

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

## Алкени. Алкадієни

### Нові поняття і терміни:

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



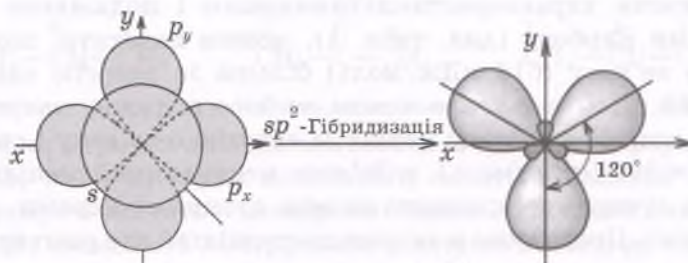
### § 13. ЕТЕН. ГОМОЛОГИ ЕТЕНУ

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



Щоб з'ясувати природу подвійного зв'язку, звернемося до електронної будови атома Карбону. Відомо, що у збудженому стані в його зов-





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

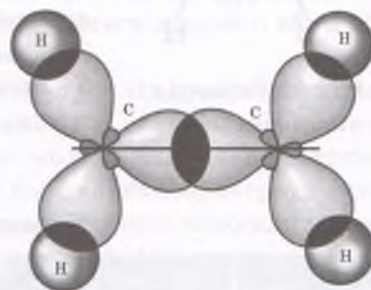
нішньому електронному шарі містяться чотири неспарені електрони — один  $s$ - і три  $p$ -електрони. Згідно з гіпотезою гібридизації в момент утворення молекули етену  $s$ -електронна орбіталь атома Карбону гібридується з двома  $p$ -електронними орбіталями, внаслідок чого утворюються три нові  $sp^2$ -гібридні електронні орбіталі (мал. 29).

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

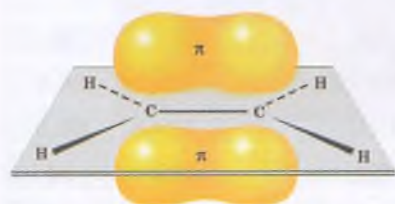
Гібридні електронні орбіталі двох атомів Карбону, перекриваючись, утворюють  $\sigma$ -зв'язок (мал. 30).

Негібридизовані  $p$ -електронні орбіталі двох атомів Карбону, перекриваючись, утворюють так званий  $\pi$ -зв'язок. Оскільки  $p$ -електронні орбіталі мають форму об'ємних вісімок, то перекривання відбувається над і під віссю  $\sigma$ -зв'язку (мал. 31).

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



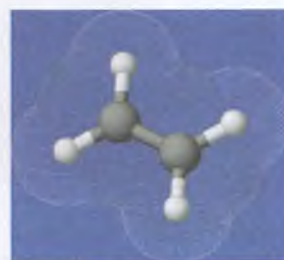
Мал. 30. Схема утворення  $\sigma$ -зв'язків у молекулі етену



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



а

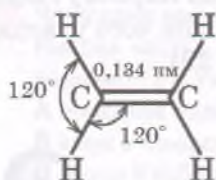


б

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

Порівнюючи характеристики одинарного і подвійного зв'язків між атомами Карбону (див. табл. 1), можна помітити, що енергія подвійного зв'язку (614 кДж/моль) більша за енергію одинарного зв'язку (348 кДж/моль), але менша за його подвоєну енергію. Очевидно, що енергія  $\pi$ -зв'язку менша за енергію  $\sigma$ -зв'язку 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 впливом він поляризується й розривається.

Довжина подвійного  $C=C$ -зв'язку в молекулі етену (0,134 нм) менша, ніж у молекулі етану, оскільки в утворенні подвійного зв'язку беруть участь чотири електрони (по два від кожного атома Карбону), а простого — лише два електрони. Позитивно заряджені ядра атомів



Мал. 33. Геометрія молекули етену

Карбону в молекулі етену зв'язуються міцніше, ніж у молекулі етану, оскільки між ними містяться електрони, які мають більший сумарний негативний заряд (мал. 33).

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

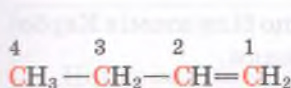
Таблиця 5

### Характеристики алкенів

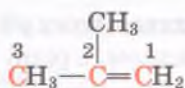
Назва	Формула		Температура, °C	
	молекулярна	скорочена структурна	плавлення	кипіння
Етен	$C_2H_4$	$CH_2-CH_2$	-169	-104
Пропен	$C_3H_6$	$CH_2=CH-CH_3$	-188	-48
Бут-1-ен	$C_4H_8$	$CH_2=CH-CH_2-CH_3$	-185	-6
Бут-2-ен	$C_4H_8$	$CH_3-CH=CH-CH_3$	-105 (цис) -139 (транс)	3,7 0,9
Пент-1-ен	$C_5H_{10}$	$CH_2=CH-(CH_2)_2-CH_3$	-138	30
Пент-2-ен	$C_5H_{10}$	$CH_3-CH_2-CH=CH-CH_3$	-151	36,9
Гекс-1-ен	$C_6H_{12}$	$CH_2=CH-(CH_2)_3-CH_3$	-139,8	63,5
Гепт-1-ен	$C_7H_{14}$	$CH_2=CH-(CH_2)_4-CH_3$	-119	94
Окт-1-ен	$C_8H_{16}$	$CH_2=CH-(CH_2)_5-CH_3$	-102	122

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

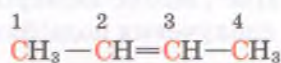




Бут-1-ен

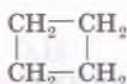


2-Метилпроп-1-ен

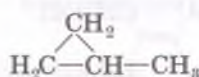


Бут-2-ен

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



Циклобутан

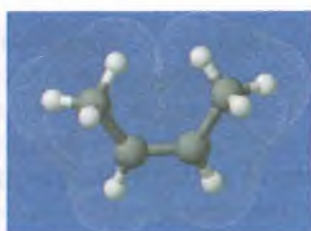


Метилциклопропан

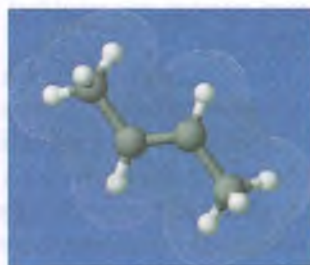
Поява в молекулі подвійного зв'язку спричиняє збільшення числа можливих ізомерів. Для етенових вуглеводнів характерний ще один вид ізомерії, який вам досі не траплявся. Розглянемо його на прикладі молекули бут-2-ену. На моделях ви можете переконаватися, що можливі два варіанти будови молекули залежно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

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

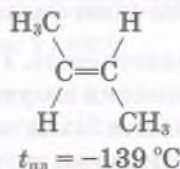
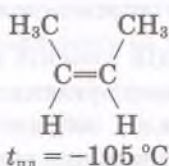
Вид ізомерії, зумовлений взаємним просторовим розміщенням атомів, називають *цис-*, *транс*-ізомерією, або *геометричною ізомерією* (від лат. *cis* — по цей бік, *trans* — по різні боки). Геометрична ізомерія є одним із видів *просторової*, або *стереоізомерії* (від грец. *стереос* — просторовий).



а



б

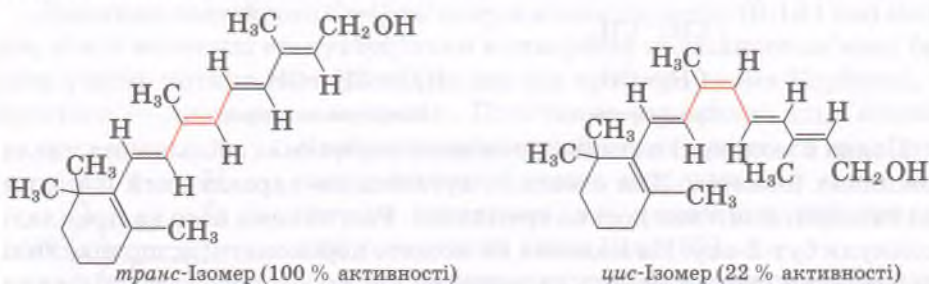


Мал. 34. Моделі просторових ізомерів бут-2-ену: а — *цис*-ізомер; б — *транс*-ізомер

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

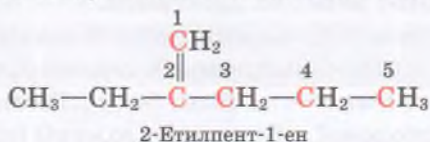
З'ясуйте, чи можлива просторова (*цис-, транс-*) ізомерія для сполуки  $(\text{CH}_3)_2\text{—C}=\text{C}—(\text{CH}_3)_2$ .

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



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

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



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

**Фізичні властивості.** Алкени легші за воду й нерозчинні у воді сполуки, розчиняються в неполярних розчинниках — хлороформі, бензені, етері. Так само, як у алканів, їхні температури плавлення й кипіння зростають зі збільшенням довжини карбонового ланцюга (див. табл. 4). Алкени розгалуженої будови мають нижчі температури плавлення порівняно зі сполуками нормальної будови.

Пригадайте фізичні властивості алканів і поясніть причину цього явища.

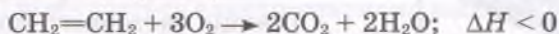
**Хімічні властивості.** Рівняння реакцій алкенів наведено на с. 65. Етен та інші алкени згоряють з утворенням вуглекислого газу і води.

Добудемо етен за допомогою приладу, зображеного на мал. 36 (с. 66). Підпалимо газ, що виділяється, біля кінця газовідвідної трубки спостерігатимемо світне полум'я.



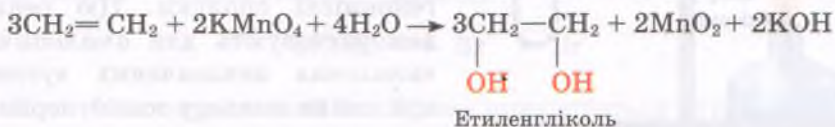
## Реакції алкенів

### Повне окиснення (горіння)



### Часткове окиснення

Відбувається легко (розчин калій перманганату знебарвлюється)



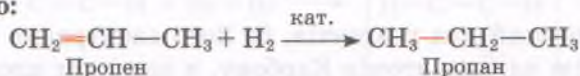
### Заміщення

За місцем кратного зв'язку неможливе

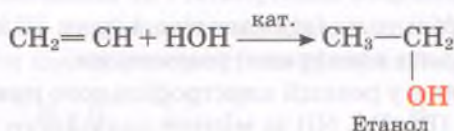
### Приєднання

Відбувається легко

водню:



води:

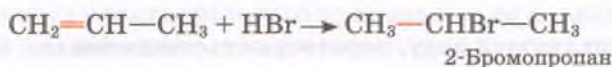


галогенів:

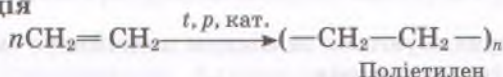


гідроген галогенідів:

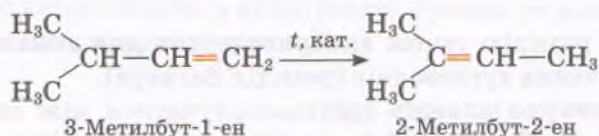
1,2-Дибромоетан



### Полімеризація

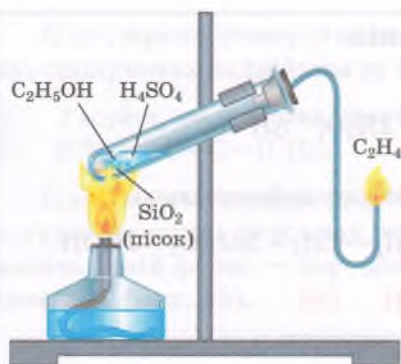


### Ізомеризація



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

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



Мал. 36. Прилад для добування етену в лабораторії

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

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

Оскільки подвійний зв'язок є комбінацією міцнішого  $\sigma$ -зв'язку

і слабшого  $\pi$ -зв'язку, то під час реакцій насамперед розривається  $\pi$ -зв'язок.

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

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

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

Важливою є реакція алкенів із водою, 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 броду зникає.

Цю реакцію також використовують для **аналітичного виявлення** ненасичених вуглеводнів (реакція Вагнера).

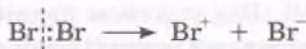
Молекули алкенів здатні сполучатися між собою з утворенням **полімерів**. У результаті реакції **полімеризації** етену (етилену) утворюється **поліетилен**.

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

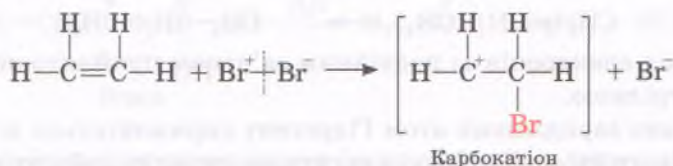
Алкени можуть **ізомеризуватися** під впливом високої температури й каталізатора. У цьому разі подвійний зв'язок переміщується від кінцевої групи  $-\text{CH}_2$  до центра молекули.



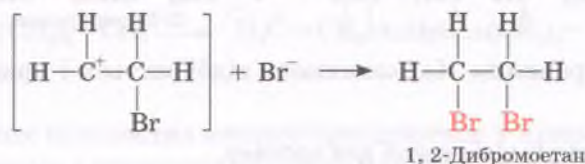
**Механізм реакції приєднання за місцем подвійного зв'язку.** Реакцію приєднання галогену до етену розглядають як двостадійну. На першій стадії відбувається електростатична взаємодія між молекулою галогену й електронною хмарою  $\pi$ -зв'язку. Внаслідок цього зв'язок між атомами розривається з утворенням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



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



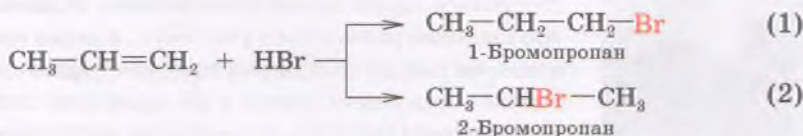
На другій стадії карбокатион взаємодіє з негативно зарядженим йоном Броду, при цьому утворюється кінцевий продукт реакції:



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

Поясніть механізм приєднання полярної молекули гідроген галогеніду до етену.

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



У результаті дослідження подібних реакцій російський хімік В. В. Марковников (1869 р.) сформулював правило, згідно з яким у

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

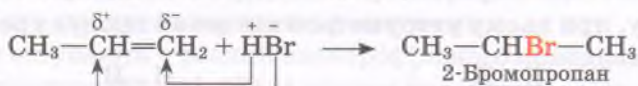
разі приєднання гідроген галогенідів до несиметричних алкенів атом Гідрогену приєднується за місцем подвійного зв'язку до того атома Карбону, що сполучений із більшою кількістю атомів Гідрогену. Цю закономірність названо **правилом Марковникова**. Отже, з пропенном реакція приєднання гідроген броміду відбувається за схемою (2).

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



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

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



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.

■ Пригадайте галузі застосування поліетилену, його переваги і недоліки.



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

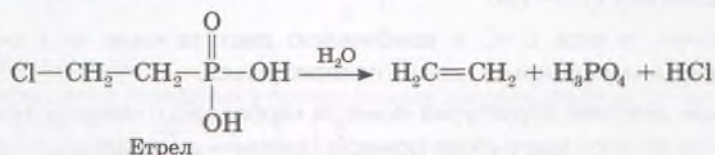
Російський учений. Закінчив Казанський університет, працював у Новоросійському університеті в Одесі, в Московському університеті. Учень О. М. Бутлерова. Наукові праці стосуються галузі органічного синтезу. Розвивав учення про взаємний вплив атомів у молекулі, відкрив правило про напрямок реакції приєднання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



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

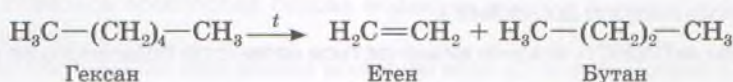
Продукт приєднання хлору до етену — 1,2-дихлороетан  $\text{CH}_2\text{Cl}-\text{CH}_2\text{Cl}$  є розчинником і засобом боротьби зі шкідниками сільськогосподарських культур.

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



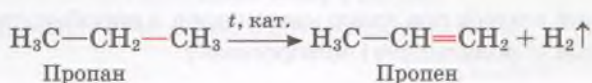
Обґрунтуйте застосування алкенів їхніми хімічними властивостями.

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

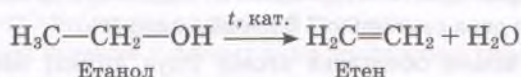


У дуже малих кількостях алкени трапляються у природному газі, їх виділяють також з продуктів переробки кам'яного вугілля.

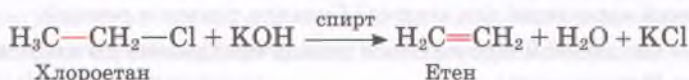
Промисловим методом добування алкенів є *дегідрування* (відщеплення водню) алканів за підвищеної температури і наявності каталізатора:



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



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



## Висновки

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



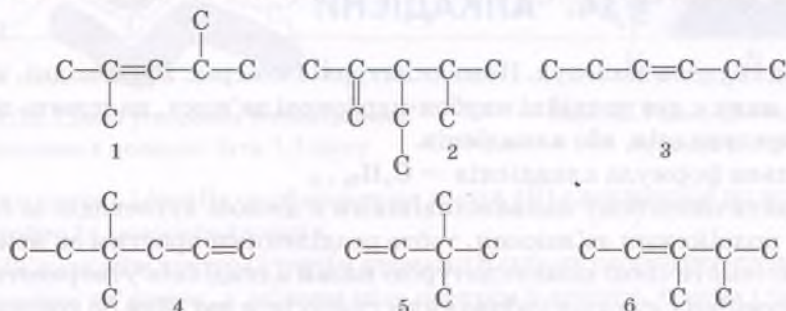
## Завдання для самоконтролю

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



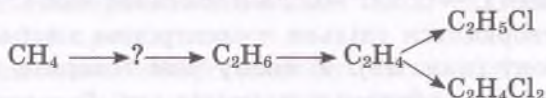
## Додаткові завдання

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



Назвіть сполуки.

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



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



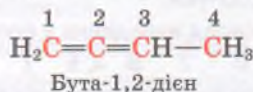
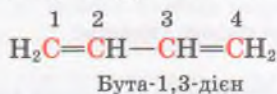
## § 14. АЛКАДІЄНИ

**Склад і будова молекул. Номенклатура. Ізомерія.** Вуглеводні, в молекулах яких є два подвійні карбон-карбонів зв'язки, належать до дієнових вуглеводнів, або алкадієнів.

Загальна формула алкадієнів —  $C_nH_{2n-2}$ .

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

За систематичною номенклатурою **назви алкадієнів утворюють від назв відповідних алканів додаванням суфіксів -а та -дієн до кореня назви; перед суфіксом -дієн зазначають місця подвійних зв'язків.**

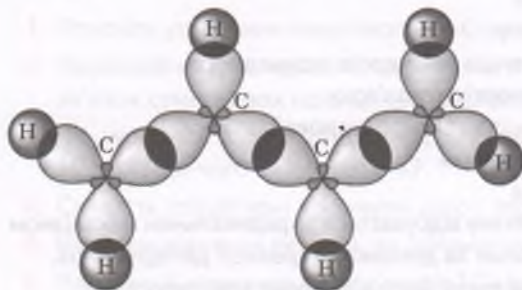


Бута-1,3-дієн називається ще *дивінілом*, оскільки до складу його молекули входять дві вінільні групи  $CH_2=CH-$ .

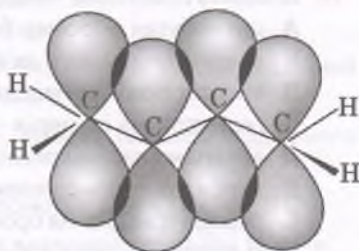
Наведені вище сполуки бута-1,3-дієн та бута-1,2-дієн є *структурними ізомерами*, що зумовлено взаємним положенням кратних зв'язків. Для алкадієнів можлива також ізомерія карбонового скелета і міжгрупової ізомерії алкадієнів — алкінів (про останні ви дізнаєтеся згодом).

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

Будова дієнових вуглеводнів зі *спряженими* зв'язками має деякі особливості. Розглянемо їх на прикладі бута-1,3-дієну. У цій молекулі всі чотири атоми Карбону перебувають у стані  $sp^2$ -гібридизації. Гібридні електронні орбіталі, перекриваючись, утворюють  $\sigma$ -зв'язки (мал. 37). Негібридизовані  $p$ -електронні орбіталі перекриваються не лише між атомами  $C^1-C^2$  і  $C^3-C^4$ , а й частково між  $C^2-C^3$  (мал. 38). У результаті утворюється спільна  $\pi$ -електронна хмара, що охоплює всі атоми Карбону (мал. 39). У цьому разі говорять про *спряжену  $\pi$ -електронну систему і делокалізацію* (від лат. *de* — скасування, усу-



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

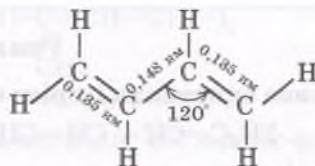


Мал. 38. Схема перекривання  $p$ -електронних орбіталей у молекулі бута-1,3-дієну





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



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

нення чогось і *localis* — обмеження місця дії) електронів по всій системі, тобто їх розосередження.

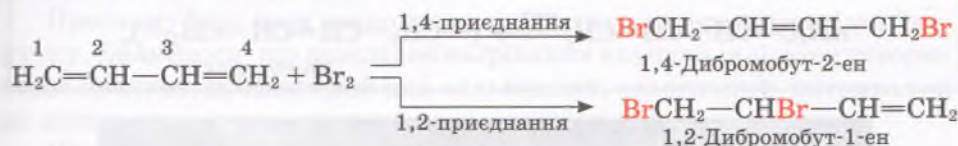
Зв'язок між другим і третім атомами Карбону скорочується порівняно з простим зв'язком, а зв'язки між першим і другим, третім і четвертим атомами дещо видовжуються порівняно з подвійним зв'язком (мал. 40).

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

**Хімічні властивості.** Рівняння реакцій алкадієнів наведено на с. 74. Повне окиснення дієнів відбувається з виділенням теплоти й утворенням вуглекислого газу і води.

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

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



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

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

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

Каучук міститься також у деяких інших рослинах, наприклад у стеблах кульбаби, молочаю, кок-сагизу. У вигляді білого соку він вступає на зрізі стебла.

## Реакції алкадієнів

### Повне окиснення (горіння)

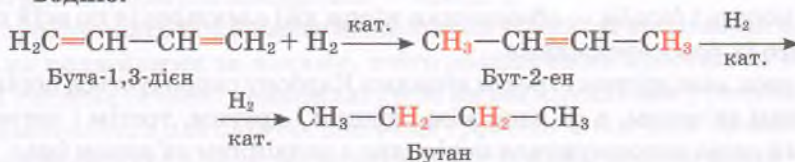


### Заміщення

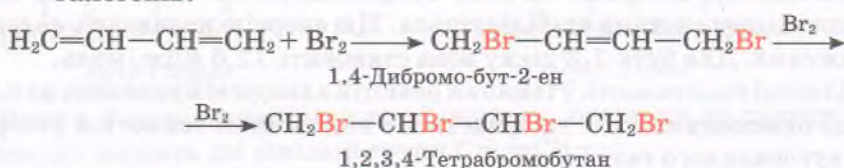
За місцем кратного зв'язку неможливе

### Приєднання

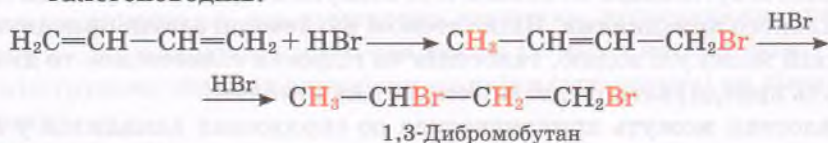
водню:



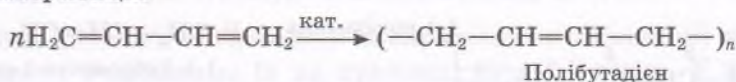
галогенів:



галогеноводнів:



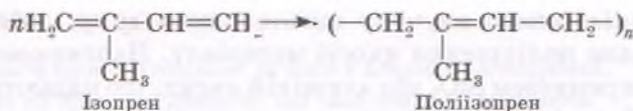
### Полімеризація



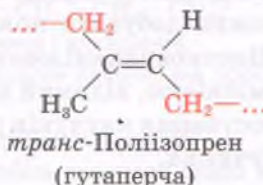
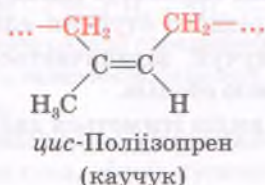
Мал. 41. Збирання соку каучукового дерева *Hevea brasiliensis*.  
Латекс виділяється на зрізі

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

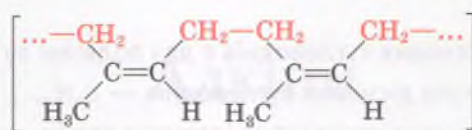




Мономерні ланки поліізопрену можуть мати *цис*- або *транс*-форму:



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

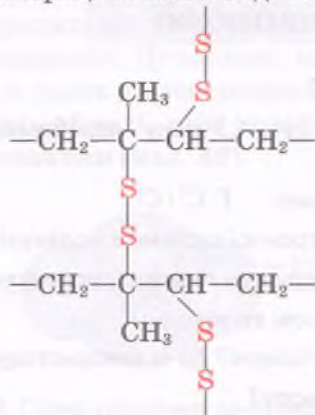


Полімер, утворений *транс*-формою, називають *гуттаперчею*. Вона відрізняється від каучуку тим, що позбавлена його найціннішої властивості — еластичності.

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

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

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



Фрагмент будови  
вулканізованого каучуку (гуми)

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

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

Про застосування каучуків різних видів ітиметься далі в окремому розділі підручника.

### Висновки

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



### Завдання для самоконтролю

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



## Додаткові завдання

8. Порівняйте прості й подвійні зв'язки в алкенах і алкадієнах.
9. Поясніть на прикладі дивінілу, що таке енергія спряження.
10. Як зміниться електронна будова молекули в результаті реакції:  

$$\text{H}_2\text{C}=\text{CH}-\text{CH}=\text{CH}_2 + 2\text{H}_2 \longrightarrow \text{H}_3\text{C}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_3?$$
11. Порівняйте реакції приєднання до алкенів і алкадієнів.
12. Поясніть залежність фізичних властивостей каучуку від просторової будови молекул.
13. Як впливає процес вулканізації на властивості каучуку?
14. Що таке гума, ебоніт, гутаперча? Зробіть висновок щодо впливу складу й будови молекул на властивості речовин.
15. Обчисліть об'єм кисню (н. у.), необхідного для спалювання пропандієну, що вступає в реакцію з бромом масою 320 г.

## Алкини

## Нові поняття і терміни:

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

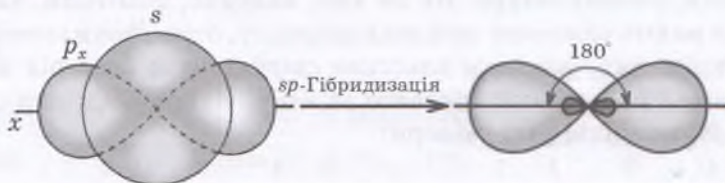


## § 15. ЕТИН. ГОМОЛОГИ ЕТИНУ

**Склад і будова молекул.** Найпростіший із алкінів — етин (тривіальна назва — ацетилен) має склад  $\text{C}_2\text{H}_2$ . Молекула етину містить на два атоми Гідрогену менше, ніж молекула етену, що формально засвідчує ще більш ненасичений характер цієї сполуки. Атоми Карбону сполучені в молекулі етину потрійним зв'язком:



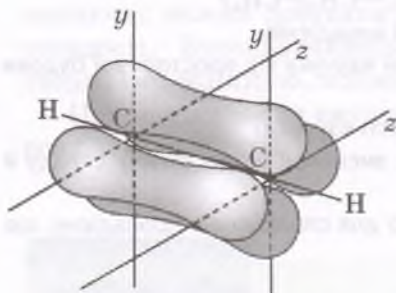
Розглянемо електронну природу потрійного зв'язку. Згідно з гіпотезою гібридизації атоми Карбону в молекулі етину перебувають у стані *sp*-гібридизації. Це означає, що *s*-електронна орбіталь «змішується» з однією із трьох *p*-електронних орбіталей, утворюючи дві *sp*-гібридні електронні орбіталі, а дві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



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



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



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

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

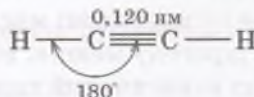
Мал. 44. Схема утворення  $\pi$ -зв'язків у молекулі етину

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

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



Мал. 45. Модель молекули етину

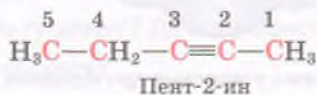
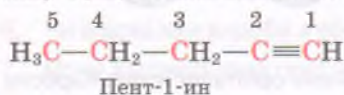


Мал. 46. Геометрія молекули етину

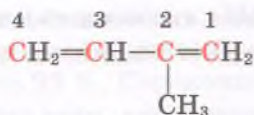
Пригадайте, як електронна теорія пояснює зменшення довжини подвійного зв'язку в молекулі етену порівняно з одинарним зв'язком у молекулі етану. Дайте аналогічне пояснення щодо потрібного зв'язку в молекулі етину.

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

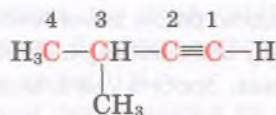
**Ізомерія, номенклатура.** Як ви вже, напевно, помітили, алкіни та алкадієни мають однакову загальну формулу, отже, вони ізомерні між собою. Окрім того, алкінам властива *структурна ізомерія* карбонового скелета і положення кратного зв'язку. Наприклад, для сполуки складу  $C_5H_8$  можливі такі ізомери:







2-Метилбута-1,3-дієн



3-Метилбут-1-ин

З'ясуйте, чи можливі інші структурні ізомери складу  $\text{C}_5\text{H}_8$ .

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 потрібний зв'язок, і пронумерувати атоми з кінця, ближчого до потрібного зв'язку; перед назвою цифрою зазначити місця замісників і їх назви в алфавітному порядку; перед суфіксом цифрою вказати атом Карбону, після якого слідує потрібний зв'язок*.

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

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

Таблиця 6

## Характеристики алкінів

Назва	Формула		Температура, °C	
	молекулярна	скорочена структурна	плавлення	кипіння
Етин	$\text{C}_2\text{H}_2$	$\text{HC}\equiv\text{CH}$	-81	-83,8
Пропін	$\text{C}_3\text{H}_4$	$\text{HC}\equiv\text{C}-\text{CH}_3$	-102,7	-23,2
Бут-1-ин	$\text{C}_4\text{H}_6$	$\text{HC}\equiv\text{C}-\text{CH}_2-\text{CH}_3$	-126	-8,6
Бут-2-ин	$\text{C}_4\text{H}_6$	$\text{H}_3\text{C}-\text{C}\equiv\text{C}-\text{CH}_3$	-32	27
Пент-1-ин	$\text{C}_5\text{H}_8$	$\text{HC}\equiv\text{C}-(\text{CH}_2)_2-\text{CH}_3$	-98	40
3-Метилбут-1-ин	$\text{C}_5\text{H}_8$	$\begin{array}{c} \text{H}_3\text{C} \\ \diagup \\ \text{CH}-\text{C}\equiv\text{CH} \\ \diagdown \\ \text{H}_3\text{C} \end{array}$	—	29,3
Гекс-1-ин	$\text{C}_6\text{H}_{10}$	$\text{HC}\equiv\text{C}-(\text{CH}_2)_3-\text{CH}_3$	-132	72
Гепт-1-ин	$\text{C}_7\text{H}_{12}$	$\text{HC}\equiv\text{C}-(\text{CH}_2)_4-\text{CH}_3$	-81	100
Окт-1-ин	$\text{C}_8\text{H}_{14}$	$\text{HC}\equiv\text{C}-(\text{CH}_2)_5-\text{CH}_3$	-80	128

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

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

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

Пригадайте, метан горить майже безбарвним полум'ям, а етен — світлим. Яскравість полум'я залежить від відносного вмісту Карбону

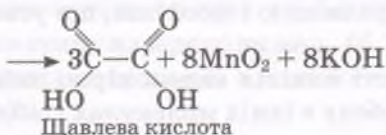
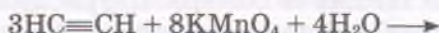
### Реакції алкінів

#### Повне окиснення (горіння)



#### Часткове окиснення

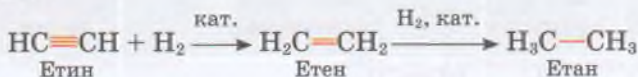
Відбувається легко (розчин калій перманганату знебарвлюється)



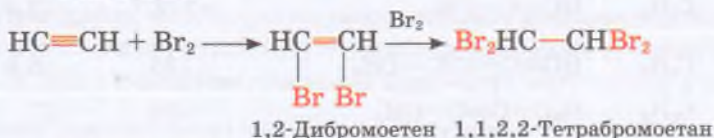
#### Заміщення



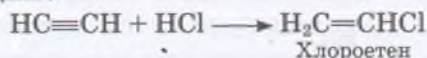
#### Приєднання водню:



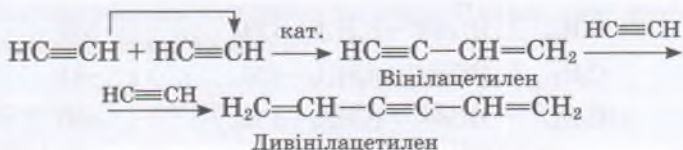
#### галогенів:



#### галогеноводнів:



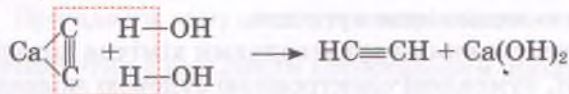
#### Ди-, тримеризація





в молекулах цих сполук. Можна припустити, що етин горітиме ще яскравішим полум'ям, оскільки масова частка Карбону в його молекулі становить 92 %. Переконаємося в цьому на досліді.

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



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



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 вибухо-небезпечні!

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

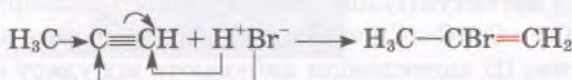
Алкіни вступають у реакції електрофільного приєднання за місцем кратного зв'язку. За наявності каталізатора вони приєднують водень, відновлюючись при цьому до алканів. Як проміжні продукти утворюються відповідні алкени.

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

Ці реакції відбуваються за йонним механізмом подібно до реакцій алкенів.

Спробуйте скласти схему механізму реакції приєднання бром до пропіну.

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

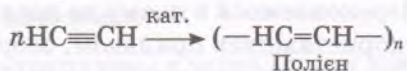


Молекули алкінів здатні сполучатися між собою з утворенням сполук різної будови. З двох молекул етину утворюється важлива для практики сполука вінілацетилен  $\text{HC}_2=\text{CH}-\text{C}\equiv\text{CH}$ .



Мал. 47. Добування етину в лабораторії

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



Можлива також полімеризація з утворенням *карбіну* ( $=\text{C}=\text{C}=$ )<sub>n</sub>, який вважають алотропною видозміною вуглецю.

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

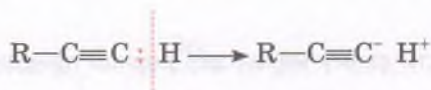
Гібридні електронні орбіталі трьох типів —  $sp^3$ ,  $sp^2$ ,  $sp$  — різняться часткою, що припадає на  $s$ -компоненту: вона найбільша в разі  $sp$ -гібридизації, оскільки одна  $s$ -орбіталь «змішується» з однією  $p$ -орбіталлю. Теоретичними обчисленнями доведено, що збільшення частки  $s$ -орбіталі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

Таблиця 7

Порівняння електронегативностей атома Карбону в різних станах

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

Зв'язок  $\text{C—H}$  у молекулах алкінів з кінцевим потрійним зв'язком виявляється настільки поляризованим, що може розриватися за гетеролітичним механізмом з утворенням протона:



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

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

Складіть рівняння останньої реакції.



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

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

Пригадайте, чому ця галузь використання не набула поширення.

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

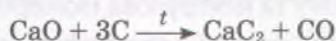
**Добування.** Етин, що його використовують для зварювальних робіт, добувають часто на місці змішуванням *кальцій карбіду і води*.



Донедавна саме так добували етин і в промисловості.

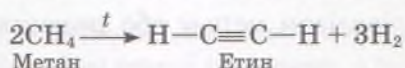
Якщо ви спостерігали цю реакцію під час спорудження чи ремонту будівель, опишіть (усно) апарати, в яких вона відбувається. Порівняйте цей спосіб з лабораторним способом добування етину.

Кальцій карбід утворюється внаслідок нагрівання в електродових печах суміші негашеного вапна  $\text{CaO}$  та коксу до температури 2500 °C:



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

Економічно вигідніше добувати етин з *метану* нагріванням його до температури 1 500 °C (*піролізом*). Реакція відбувається за схемою:



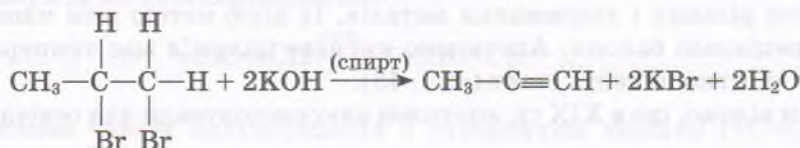
а



б

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

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



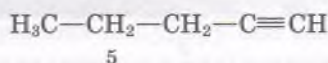
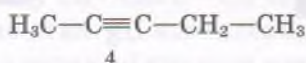
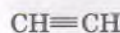
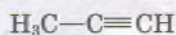
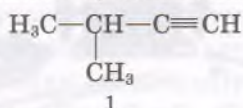
### Висновки

- Алкіни — ненасичені вуглеводні, в молекулах яких є потрійний карбон—карбонів зв'язок.
- Загальна формула алкінів —  $\text{C}_n\text{H}_{2n-2}$ .
- Потрійний зв'язок є поєднанням одного  $\sigma$ - і двох  $\pi$ -зв'язків.
- Основні параметри молекули етину:
  - тип гібридизації електронних орбіталей атомів Карбону —  $sp$ ;
  - види зв'язків —  $\sigma$ -,  $\pi$ -зв'язки;
  - довжина зв'язку  $\text{C} \equiv \text{C}$  — 0,120 нм;
  - енергія зв'язку  $\text{C} \equiv \text{C}$  — 839 кДж/моль;
  - валентний кут —  $180^\circ$ .
- Алкінам властива структурна ізомерія карбонového ланцюга, положення кратного зв'язку та міжгрупова ізомерія алкіни—алкадієни.
- Для алкінів характерні реакції електрофільного приєднання за місцем потрійного зв'язку.
- Етин — найважливіший серед алкінів. Його використовують у промисловості для добування синтетичних каучуків і пластмас, а також для газового зварювання і різання металів.
- Етин добувають піролізом метану або реакцією кальцій карбіду з водою.



### Завдання для самоконтролю

- Поясніть утворення  $sp$ -гібридних електронних орбіталей атома Карбону.
- Поясніть утворення потрійного зв'язку в молекулі етину.
- Укажіть серед наведених сполук ізомери і гомологи:



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



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

### Додаткові завдання

9. Порівняйте будову молекул етену й етину.
10. Як змінюватиметься геометрія молекули етину в результаті його поступового гідронування?
11. Наведіть структурні формули і назви ізомерів складу  $C_6H_{10}$ .
12. Чим різняться між собою реакції приєднання, в які вступають алкени й алкіни? Наведіть приклади.
13. Реакція калій перманганату відбувається швидше з етеном, ніж з етином. Поясніть це явище.
14. Поясніть причину появи слабких кислотних властивостей в етині.
15. Обґрунтуйте галузі застосування етину його хімічними властивостями.
16. Схарактеризуйте способи добування етину з погляду їх економічності.
17. Складіть рівняння послідовних реакцій добування бромоетану з етину.
18. Установіть послідовність використання речовин для добування 1,1,2,2-тетрабромоетану:
  - А 1,2-дибромоетен
  - Б кальцій карбід
  - В етин
  - Г кальцій оксид
  - Д 1,1,2,2-тетрабромоетан.
19. Обчисліть масову частку домішок у технічному кальцій карбіді, якщо внаслідок розчинення у воді його зразка масою 40 г виділився етин об'ємом 12,6 л.

# Арени

## Нові поняття і терміни:

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

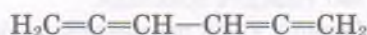
Вам уже відомі вуглеводні ланцюгової та циклічної форми, з простими і кратними зв'язками між атомами Карбону. Окрему групу сполук зі специфічними будовою і властивостями становлять так звані **ароматичні вуглеводні, або арени**. Перша назва, як і багато інших в органічній хімії, є даниною історії, оскільки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



## § 16. БЕНЗЕН

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

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



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

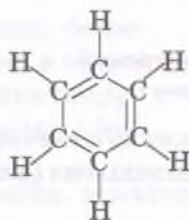
Німецький хімік. Праці вченого сприяли становленню теоретичних основ органічної хімії. Висловив думку про чотиривалентність атомів Карбону та їх здатність сполучатися між собою, утворюючи ланцюги. Запропонував циклічну формулу бензену. Синтезував чимало органічних сполук.



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

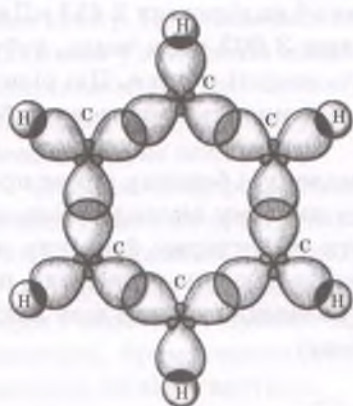


У 1865 р. німецький хімік А. Кекуле запропонував зображати структурну формулу бензену у вигляді шестичленного циклу з атомів Карбону, між якими чергуються прості й подвійні зв'язки:

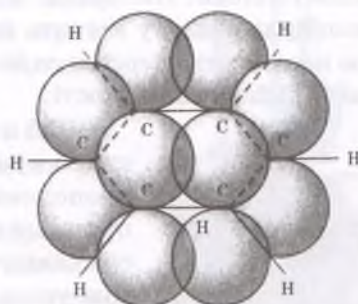


За такої будови очевидно, що всі атоми Карбону є рівноцінними. Але й ця формула не повністю відповідає хімічним властивостям бензену. Будучи формально ненасиченим, він виявляє певну хімічну інертність. Наприклад, бензен не вступає в типові для ненасичених сполук реакції.

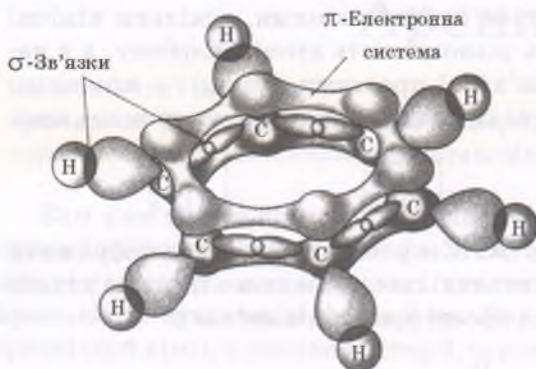
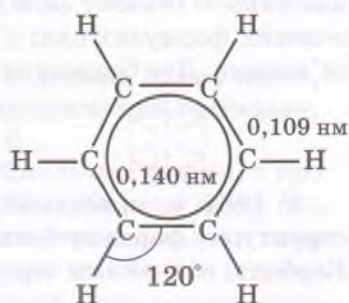
Реальну будову молекули бензену було пояснено на основі електронної теорії. Згідно із сучасними уявленнями молекула бензену є плоским правильним шестикутником, у вершинах якого розміщуються атоми Карбону, що перебувають у стані  $sp^2$ -гібридизації. Кожен атом утворює по три  $\sigma$ -зв'язки (два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



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



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

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

Мал. 52. Геометрія молекули бензену

У цьому разі кажуть про *спряжену  $\pi$ -електронну систему*, в якій електронна густина рівномірно розподілена (делокалізована) між усіма атомами Карбону.

Завдяки цьому  $C-C$ -зв'язки вирівняно, їхня довжина є проміжною між довжинами простих і подвійних зв'язків і становить 0,140 нм (їх називають *полуторними* і позначають  $C \equiv C$ ). Енергія зв'язків дорівнює 412 кДж/моль. Валентний кут у молекулі бензену становить  $120^\circ$  (мал. 52, 53).

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

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

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

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



Мал. 53. Модель молекули бензену

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





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

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

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

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

**Хімічні властивості.** Рівняння реакцій бензену наведено на с. 90. Реакції бензену зумовлені наявністю  $\pi$ -електронної системи, що стабілізує ядро. Через це бензен **стійкий проти дії окисників**, він не знебарвлює розчин калій перманганату, якщо суміш цього розчину з бензеном збовтати у пробірці, хоча за жорстких умов (каталізатор, висока температура, дія кисню) його все-таки вдається окиснити. Цим бензен нагадує насичені вуглеводні.

У результаті **згоряння** бензену утворюються вуглекислий газ і вода.

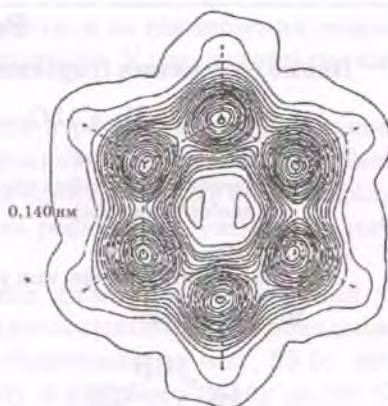
Пригадайте характер горіння метану, етену, етину. У чому полягають відмінності цих реакцій?

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

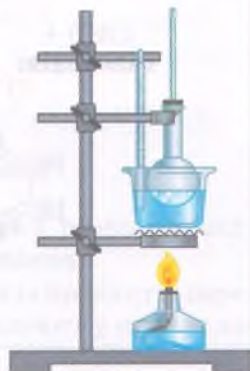
Зважаючи на формальну ненасиченість складу бензену, можна припустити, що йому властиві реакції **приєднання**, наприклад бромую.

У пробірку з бензеном додавимо трохи бромної води і збовтаємо суміш. Бромна вода не знебарвлюється, бром переходить у верхній шар, отже, реакція не відбувається.

На відміну від ненасичених вуглеводнів бензен вступає в реакції приєднання за особли-



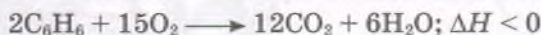
Мал. 54. Розподіл електронної густини в молекулі бензену (за даними рентгенографії)



Мал. 55. Добування нітробензену в лабораторії

## Реакції бензену

### Повне окиснення (горіння)



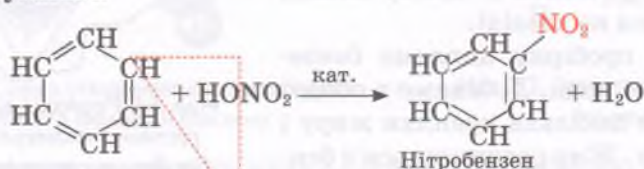
### Часткове окиснення

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

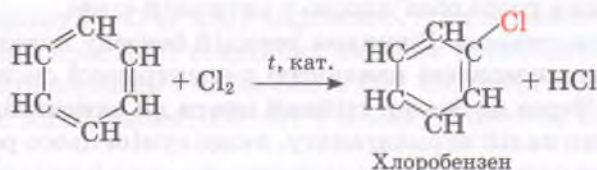
### Заміщення

Відбувається легше, ніж у насичених вуглеводнів

#### нітрування:



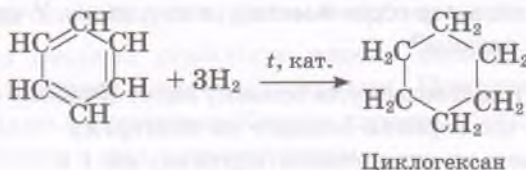
#### хлорування:



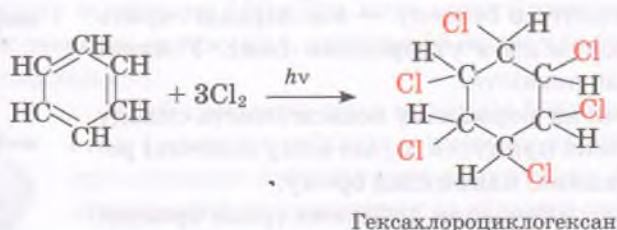
### Приєднання

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

#### водню:



#### галогенів:



вих умов. Наприклад, до молекули бензену, активованої дією УФ-випромінювання, можуть приєднатися три молекули хлору, при цьому утворюється гексахлороциклогексан, або гексахлоран, відомий як засіб боротьби зі шкідниками сільськогосподарських культур.

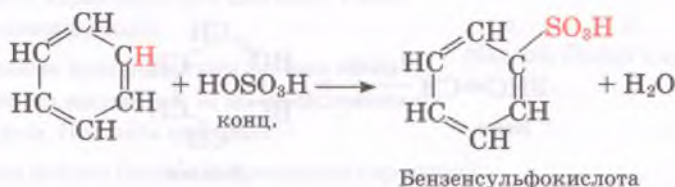


Приєднання водню до бензену відбувається за підвищених температур й тиску, а також за наявності каталізатора. У результаті реакції утворюється циклогексан.

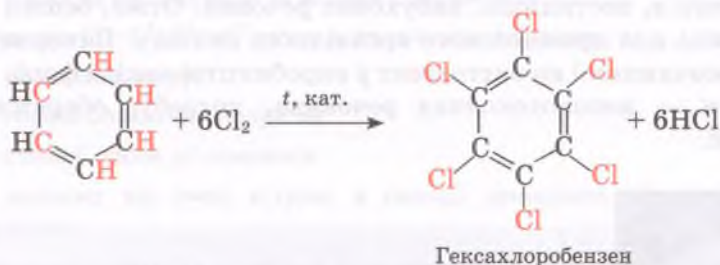
Однак бензен порівняно легко вступає в реакції електрофільного заміщення. Завдяки наявності  $\pi$ -електронної системи з підвищеною електронною густиною бензен є джерелом електронів для електрофільних реагентів. До таких реакцій належать реакції нітрування, галогенування, сульфування та ін.

**Нітрування** бензену відбувається під дією суміші нітратної та сульфатної кислот — так званої *нітрувальної суміші*. Для проведення цієї реакції скористаємося приладом, зображеним на мал. 55 (с. 89). До нітрувальної суміші додаммо бензену й нагріємо колбу до  $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ , періодично струшуючи її. Спостерігатимемо утворення нітробензену у верхньому шарі. Вміст колби виллемо у хімічний стакан з водою — нітробензен (жовта рідина із запахом гіркого мигдалю) збереться на дні.

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



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

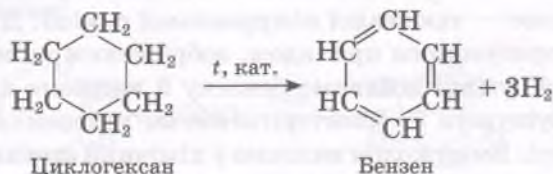
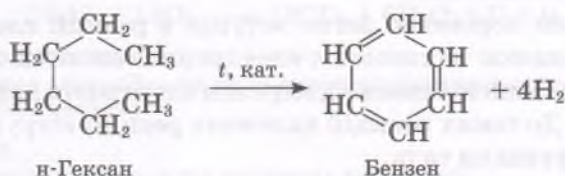


Отже, бензен вступає як у реакції заміщення, так і реакції приєднання. Однак бензену більше властиві реакції заміщення.

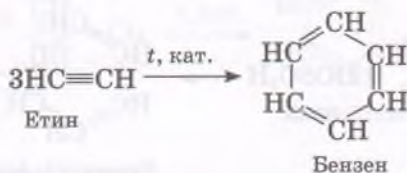
**Добування.** У минулому столітті бензен добували із продуктів переробки кам'яного вугілля, цей метод і досі використовують у промисловості.

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

Процес одночасного дегідрування і циклізації називають *дегідроциклізацією*:



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



**Застосування.** Бензен є вихідною речовиною для синтезу величезної кількості органічних речовин. З бензену добувають напівпродукти, які далі використовують для виробництва барвників, лікарських засобів, полімерів, пестицидів, вибухових речовин. Отже, бензен — база-ва сировина для промислового органічного синтезу. Використовують його як розчинник і як екстрагент у виробництві лаків і фарб.

Бензен — високотоксична речовина, потребує обережного поводження.



Хімік-органік, академік. Закінчив Новоросійський університет у 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, зокрема бензен з етину. Винайшов вугільний протигаз.

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





## Завдання для самоконтролю

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



а б в  
Мал. 56. Полум'я вуглеводнів

## Додаткові завдання

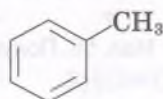
16. Поясніть, як впливає  $\pi$ -електронна система в молекулі бензену на її стабільність.
17. Як позначається вплив  $\pi$ -електронної системи на параметрах молекули бензену порівняно з алканами й алкенами?
18. Чи адекватна формула Кекуле хімічним властивостям бензену?

19. Як зміниться хімічна, електронна і просторова будова молекули бензену в результаті його гідрування?
20. Поясніть вплив умов на перебіг реакції бензену із хлором.
21. Зробіть висновок про реакційну здатність бензену порівняно з насиченими і ненасиченими вуглеводнями.
22. Складіть рівняння послідовних перетворень: а) вугілля на бензен; б) метану на нітробензен.
23. Унаслідок нітрування бензену, що утворився дегідруванням гексану масою 86 г з виходом 50 %, добули нітробензен масою 38,4 г. Обчисліть вихід нітробензену.

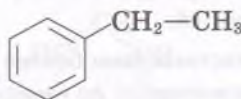


## § 17. ГОМОЛОГИ БЕНЗЕНУ

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



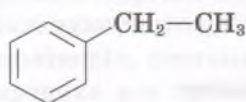
Метилбензен (толуен)



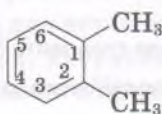
Етилбензен

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

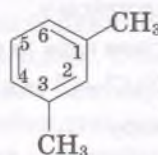
Гомологам бензену властива **структурна ізомерія**, зумовлена числом і положенням замісників у бензеновому ядрі:



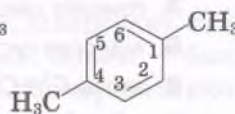
Етилбензен



1,2-Диметилбензен  
(орто-ксилол)



1,3-Диметилбензен  
(мета-ксилол)



1,4-Диметилбензен  
(пара-ксилол)

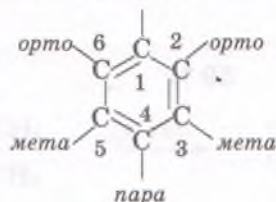
У **назвах** гомологів бензену місце замісника позначають цифрою, причому відлік ведуть від замісника, який за абеткою називають раніше. У традиційних назвах двозаміщених похідних бензену використовують також префікси **орто-**, **мета-** і **пара-**.

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

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



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

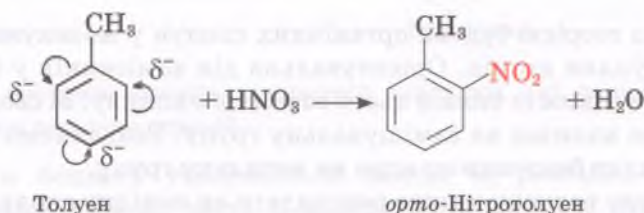


За орієнтувальною дією замісники поділяють на замісники *I* роду (вони орієнтують в *орто*- і *пара*-положення) і *II* роду (вони орієнтують у *мета*-положення).

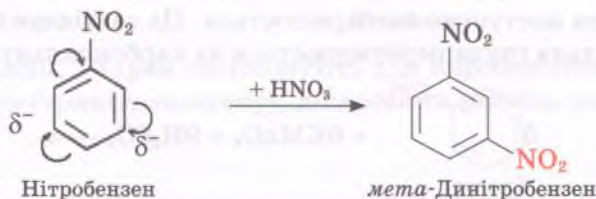
Замісники *I* роду:  $-\text{CH}_3$ ,  $-\text{OH}$ ,  $-\text{NH}_2$ .

Замісники *II* роду:  $-\text{NO}_2$ ,  $-\text{SO}_3\text{H}$ ,  $-\text{COOH}$ ,  $-\text{CHO}$ .

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



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

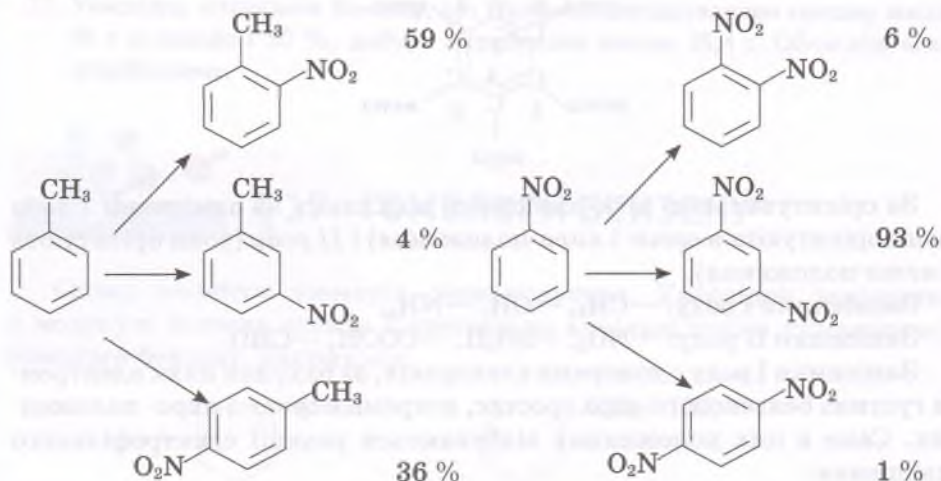


Замісники *I* роду посилюють реакційну здатність бензенового ядра, а *II* роду — дезактивують його. Звідси можна припустити, що толуен буде активнішим, ніж бензен, а нітробензен — менш активним у реакціях електрофільного заміщення.

Справді, нітрування бензену відбувається за нагрівання із сумішшю сульфатної та нітратної кислот, а толуен нітрується розбавленою

нітратною кислотою. Водночас увести ще одну нітрогрупу до нітробензену важче, ніж добути сам нітробензен.

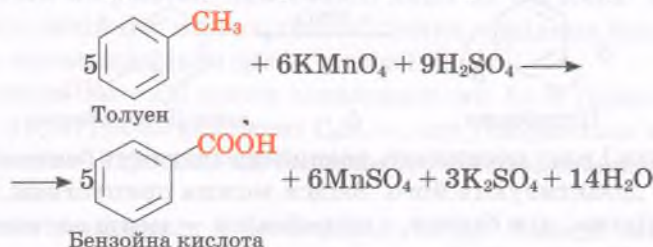
Слід пам'ятати, що правила орієнтування неоднозначні. Замісники I і II роду визначають лише переважний напрямок реакції, оскільки разом із основним продуктом утворюються ізомерні сполуки. У разі нітрування толуену і нітробензену *о*-, *м*-, *п*-ізомери утворюються в такому співвідношенні:



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

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

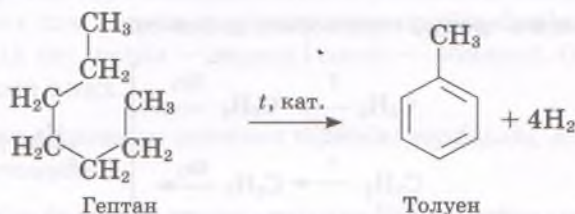
Як відомо, метан стійкий проти дії окисників, зокрема не знебарвлює розчин калій перманганату, отже, не окиснюється ним. Проведемо подібний дослід із толуеном: до толуену добавимо підкислений розчин калій перманганату фіолетового кольору, нагріємо суміш і переконаємося, що вона поступово знебарвлюється. Це засвідчує окиснення толуену. Метильна група перетворюється на карбоксильну —COOH:



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

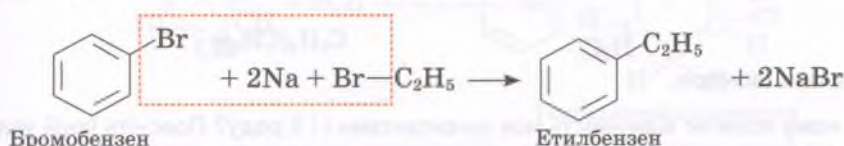


**Добування.** Основну кількість ароматичних вуглеводнів у світі добувають з *нафти*. Оскільки в сирій нафті міститься мало цих сполук, то щоб збільшити вихід цінних продуктів, нафтові фракції піддають процесу *ароматизації*, в результаті чого алкани і циклоалкани перетворюються на бензен, толуен, ксилени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



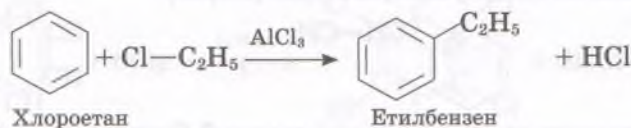
Як і бензен, його гомологи добувають також із продуктів переробки *кам'яного вугілля*.

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



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

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



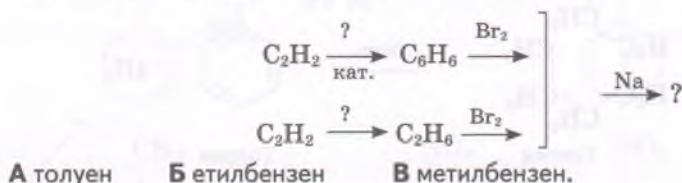
**Застосування.** *Толуен* застосовують для виробництва лаків, вибухових речовин (тринітротолуену), лікарських засобів, інших органічних сполук.



## Завдання для самоконтролю

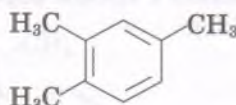
1. Наведіть декілька формул гомологів бензену.
2. Який вид ізомерії властивий гомологам бензену?
3. Напишіть формули ізомерів пропілбензену. Назвіть їх.
4. Як поділяються замісники за їхньою орієнтувальною дією?

- Як впливає метильна група на розподіл електронної густини в молекулі толуену?
- Як впливає бензенове ядро на метильну групу в молекулі толуену?
- Поясніть вплив нітрогрупи на бензенове ядро.
- Наведіть приклад реакції дегідроциклізації.
- Наведіть рівняння синтезу толуену за реакціями Вюрца—Фіттіга, Фріделя—Крафтса.
- Укажіть кінцевий продукт перетворень за схемою:



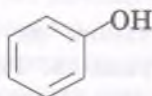
### Додаткові завдання

- Складіть формули ізомерів наведених нижче сполук:

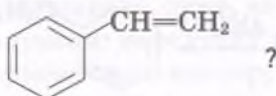


Назвіть ізомери.

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

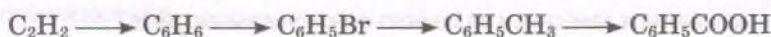


- Чи є гомологом бензену сполука стирен (стирол)



Як відбуватиметься гідрування цієї сполуки? Складіть відповідне рівняння реакції.

- Складіть схему генетичних зв'язків між групами вуглеводнів, що ви їх вивчали.
- У результаті дії на бензен масою 39 г надлишку хлороетану в присутності каталізатора утворився етилбензен масою 40 г. Визначте вихід продукту (у відсотках):  
А 70    Б 75,5    В 80    Г 85,5.
- Обчисліть об'єм водню, що виділиться внаслідок каталітичного дегідрування метилциклогексану масою 196 г, якщо реакція відбувається з виходом 75 %.
- Складіть рівняння реакцій за такою схемою хімічних перетворень:





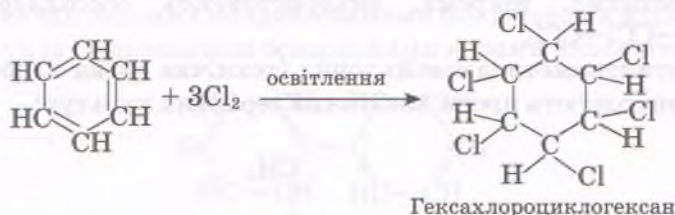


## § 18. ХІМІЧНІ ЗАСОБИ ЗАХИСТУ РОСЛИН

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

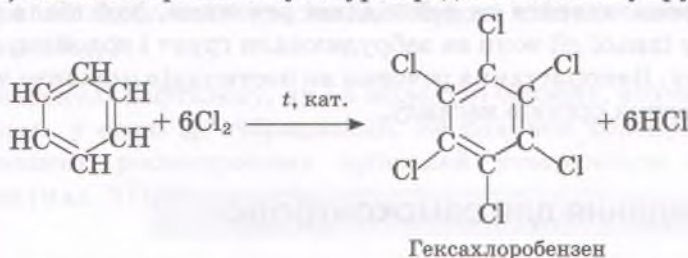
З'ясуєте за словником значення термінів: *гербіциди*, *зооциди*, *фунгіциди*, *інсектициди*.

Якщо суміш бензену і хлору освітити УФ-промінням, то атоми Хлору приєднуються до бензенового ядра з утворенням сполуки гексахлороциклогексану  $C_6H_6Cl_6$ , що має промислову назву *гексахлоран*:

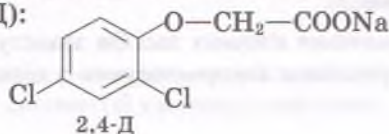


Цю сполуку протягом тривалого часу використовували проти бавовникового довгоносика, але останнім часом через токсичність її використання скорочується.

Продукт заміщення шести атомів Гідрогену на атоми Хлору — *гексахлоробензен*  $C_6Cl_6$  — використовують для протруювання (зnezараження) насіння зернових культур перед висіванням у ґрунт:



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*: *трихлоретанової* (трихлорооцтової) кислоти  $\text{CCl}_3\text{COONa}$ , *2,2-дихлоропропанової кислоти*  $\text{CH}_3\text{CCl}_2\text{COONa}$  та *2,4-дихлорофеноксіоцтової кислоти* (технічна назва 2,4-Д):





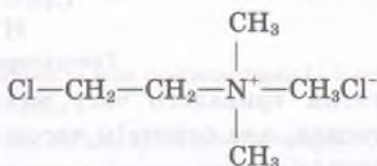
**Олександр  
Васильович  
Кірсанов  
(1902—1992)**

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.

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

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

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



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



### Завдання для самоконтролю

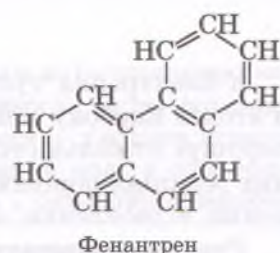
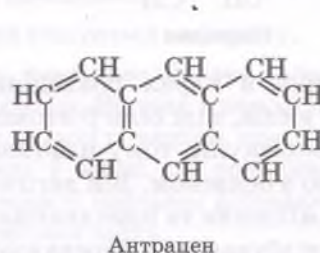
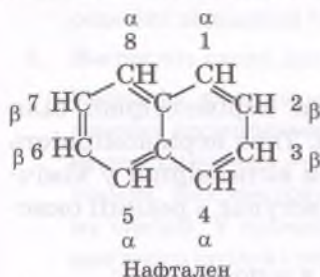
1. Яких правил безпеки слід дотримуватися в разі використання різних хімічних засобів у побуті?
2. Чому, на вашу думку, не слід використовувати на присадибних ділянках несертифіковані хімічні засоби захисту рослин?
3. Як, на вашу думку, реагуватиме гексахлоробутадиєн із воднем? Напишіть відповідне рівняння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





## § 19. БАГАТОЯДЕРНІ АРОМАТИЧНІ ВУГЛЕВОДНІ

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



Це сполуки з так званими конденсованими бензеновими ядрами.

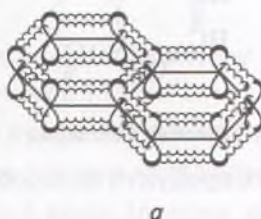
До сполук із ізольованими бензольними ядрами належить біфеніл:



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

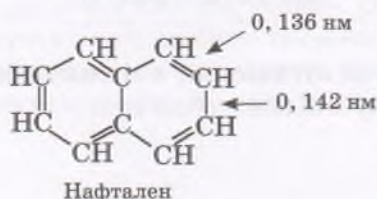
Про які особливості кристалічної будови свідчить наявність запаху в нафталену?

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



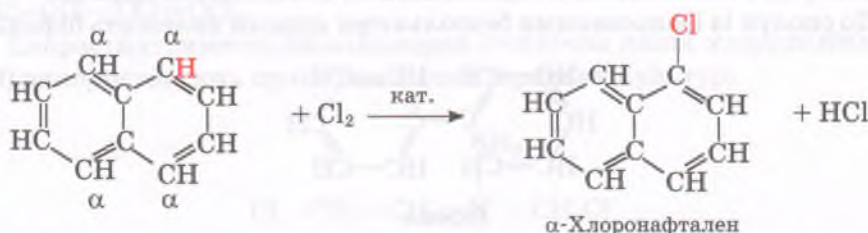
Мал. 57. Схема перекривання  $p$ -електронних орбіталей (а) і утворення  $\pi$ -електронної системи (б) у молекулі нафталену

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

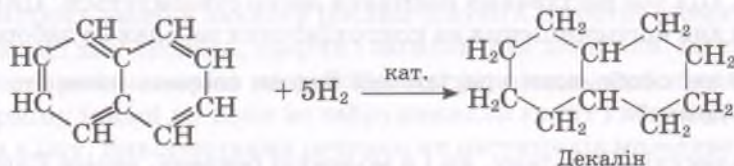


$\pi$ -Електронна густина в ядрах розподілена нерівномірно: біля  $\alpha$ -атомів Карбону вона вища, ніж біля  $\beta$ -атомів. Така нерівномірність порушує стабільність молекули, тому нафтален активніший у хімічних реакціях порівняно з бензеном. Він легше вступає в реакції окиснення, відновлення, заміщення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

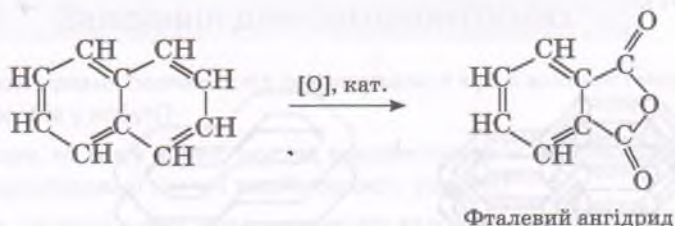
Реакції заміщення відбуваються переважно в  $\alpha$ -положенні:



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



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



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

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





## Завдання для самоконтролю

1. Яку ознаку молекулярної будови кристалів нафталену ви можете назвати?
2. У чому полягають подібність і відмінність будови бензену й нафталену?
3. Схарактеризуйте основні реакції нафталену.
4. Поясніть, чому нафтален виявляється активнішим порівняно з бенzenом у реакціях заміщення та приєднання.
5. Викресліть слова, що не стосуються нафталену.

Нафтален, як антрацен, фенантрен і бензен, належить до багатоядерних насичених ароматичних сполук. Вступає в реакції повного і часткового окиснення, заміщення — з хлором та натрієм, приєднання — з воднем, етенем, етином. Використовують у побуті для приваблювання молі, в органічному синтезі. У промисловості нафтален добувають у результаті переробки кам'яного вугілля і перегонки нафти.

6. Яка кількість речовини водню приєднається до нафталену, якщо утворюється сполука складу  $C_{10}H_{10}$ ?

## Висновки

- Ароматичні вуглеводні (арени) містять бензенове ядро у складі молекул.
- Молекула бензену має форму правильного плоского шестикутника.
- Зв'язки між атомами Карбону є рівноцінними і проміжними між простими та подвійними.
- Основні параметри молекули бензену:

тип гібридизації електронних орбіталей атомів Карбону —  $sp^2$ ;  
 види зв'язків —  $\sigma$ - і  $\pi$ -, наявність спряженої  $\pi$ -електронної системи;  
 енергія зв'язків  $C \cdots C$  — 412 кДж/моль;  
 довжина зв'язків  $C \cdots C$  — 0,140 нм;  
 валентний кут —  $120^\circ$ .

- $\pi$ -Електронна система стабілізує бензенове ядро.
- Гомологам бензену властива структурна ізомерія карбонового скелета, зумовлена будовою та розташуванням замісників у бензеновому ядрі.
- Реакційна здатність бензену вища, ніж насичених вуглеводнів, але нижча, ніж ненасичених.
- Типовими реакціями аренів є реакції електрофільного заміщення.
- У похідних бензену виявляється орієнтувальна дія замісників.
- Замісники I роду (донори електронів) спрямовують заміщення в *орто*- і *пара*-положення; замісники II роду (акцептори електронів) — у *мета*-положення.

- У молекулах багатоядерних вуглеводнів порушується рівномірний розподіл електронної густини, тому вони легше вступають у реакції порівняно з бенzenом.
- Промисловим джерелом добування ароматичних вуглеводнів є кам'яне вугілля.
- Ароматичні вуглеводні є сировиною для виробництва барвників, ліків, вибухових речовин, засобів захисту рослин від шкідників тощо.



## § 20. ВЗАЄМОЗВ'ЯЗОК І ВЗАЄМОПЕРЕТВОРЕННЯ ВУГЛЕВОДНІВ

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

Назвіть загальні формули гомологів метану, етену, бензену.

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

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

За складом молекул вуглеводні різних груп різняться між собою числом атомів Гідрогену, що припадають на певне число атомів Карбону. Отже, 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 карбід можна отримати етин, а з нього — бензен, останній переробити на інші сполуки.

Складіть рівняння цих хімічних перетворень.

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





## Завдання для самоконтролю

1. Складіть схему генетичних зв'язків між вуглеводнями різних груп. Наведіть рівняння хімічних реакцій за цією схемою.
2. Складіть хімічні рівняння послідовних перетворень кальцій карбонату на поліетилен.

У завданнях 3—5 установіть відповідність між лівою і правою колонками таблиць.

3.

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

4.

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

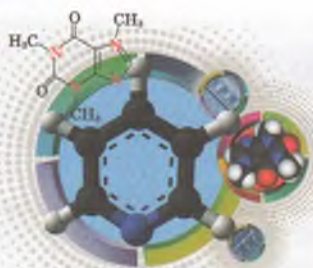
5.

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

6. Для повного гідрування ненасиченого вуглеводню масою 2,8 г (відносна молекулярна маса 140) використали водень об'ємом 448 мл (н. у.). До якої групи належить вуглеводень?

7. Установіть послідовність речовин у ланцюзі перетворення неорганічних речовин на полімер:

А етин    Б кальцій оксид    В кальцій карбід    Г етен



# Гетероциклічні сполуки

**Нові поняття і терміни:**

гетероциклічні сполуки, карбоциклічні сполуки, піридин.



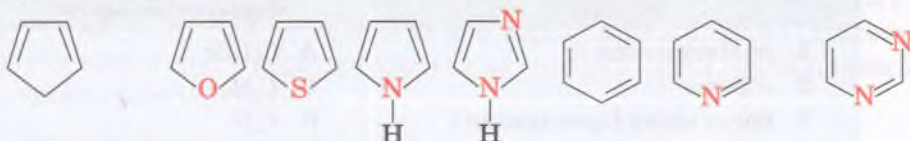
## § 21. ПІРИДИН

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

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

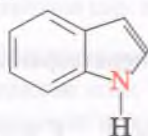
Зіставте стійкість і поширеність у природі циклоалканів та гетероциклічних сполук.

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

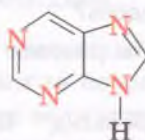


Циклопентадієн   Фуран   Тіофен   Пірол   Імідазол   Бензен   Піридин   Піримідин

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



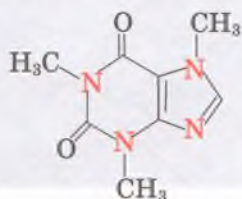
Індол



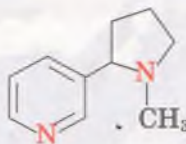
Пурин



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



Кофеїн

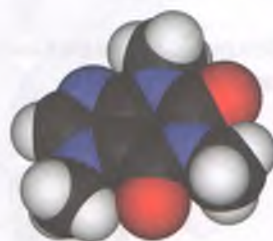


Нікотин

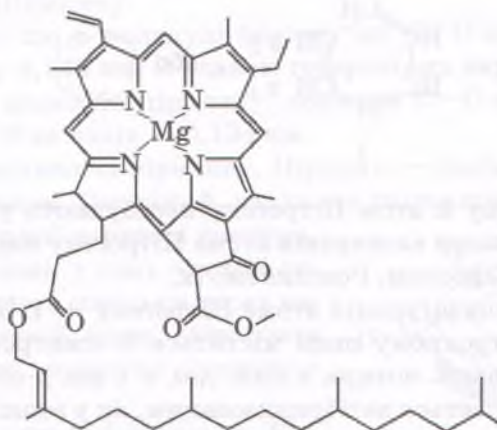
Кофеїн належить до речовин, що стимулюють роботу центральної нервової системи (мал. 58). Він міститься в листках чаю, зернах кави, какао, горіхах кола. Екстракт цих горіхів використовують для виготовлення напоїв «Кока-кола» і «Пепси-кола».

Нікотин — надзвичайно отруйна речовина, що виділяється з тютюну й укорочує віку тим, хто курить, і тим, хто перебуває поряд.

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



Мал. 58. Модель молекули кофеїну

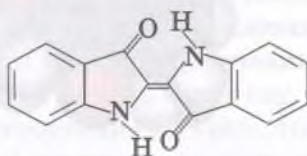
Хлорофіл  $C_{55}H_{72}MgN_4O_5$ 

Велику групу гетероциклічних сполук становлять синтетичні барвники, що їх у великих кількостях виробляє промисловість.

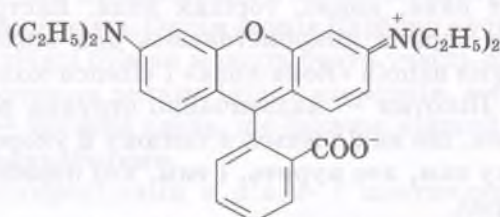


Мал. 59. Природне індиго добувають із рослин, а джинси фарбують синтетичним індиго

Зокрема, барвником індиго фарбують джинси у красивий синій колір (мал. 59).



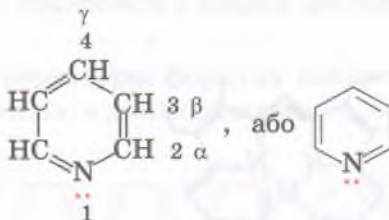
Індиго — синій барвник



Родамін С — червоний барвник

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

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

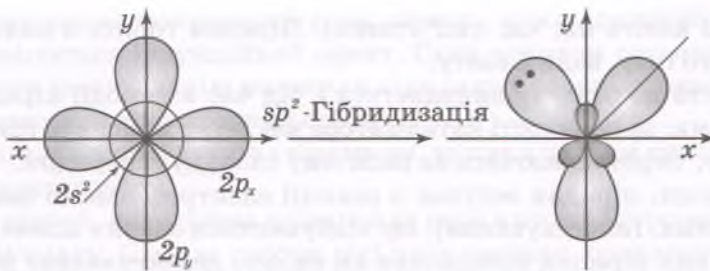
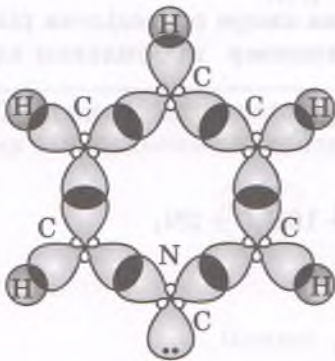
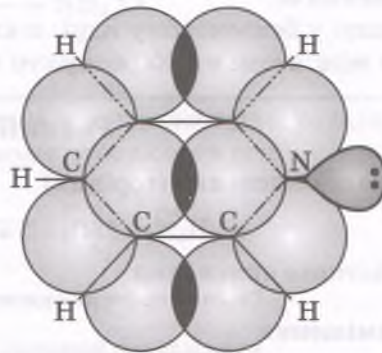


Атоми Карбону й атом Нітрогену перебувають у стані  $sp^2$ -гібридизації. Гібридизація електронів атома Нітрогену має деякі особливості порівняно з Карбоном. Розглянемо їх.

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

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



Мал. 60. Схема утворення  $sp^2$ -гібридних електронних орбіталей атома НітрогенуМал. 61. Схема утворення  $\sigma$ -зв'язків у молекулі піридинуМал. 62. Схема перекривання  $p$ -електронних орбіталей у молекулі піридину

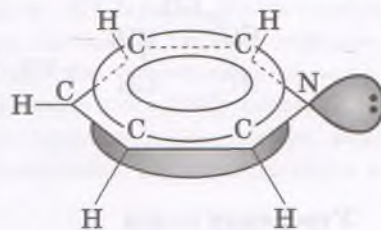
Негібридизовані  $p$ -електрони атомів Нітрогену й Карбону перекриваються між собою над і під площиною молекули піридину й утворюють спільну  $\pi$ -електронну систему, як у молекулі бензену (мал. 62, 63).

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

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

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

**Хімічні властивості піридину.** Рівняння реакцій піридину наведено на с. 110. Подібно до бензену піридин стійкий проти дії окисників (нітратна, нітритна, хромова кислоти не чинять

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

дії на нього навіть під час кип'ятіння). Піридин горить з виділенням вуглекислого газу, води й азоту.

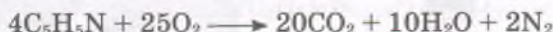
Подібність до бензену виявляється і під час взаємодії піридину з відновниками: за наявності каталізатора він легко **приєднує** три молекули водню, перетворюючись на насичену сполуку піперидин.

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

Якщо у бензеновому ядрі  $\pi$ -електронна хмара розподілена рівномірно між атомами Карбону, то в піридиновому під впливом елек-

### Реакції піридину

#### Повне окиснення (горіння)

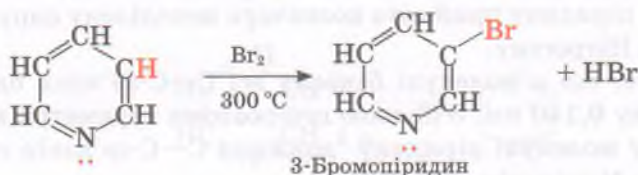
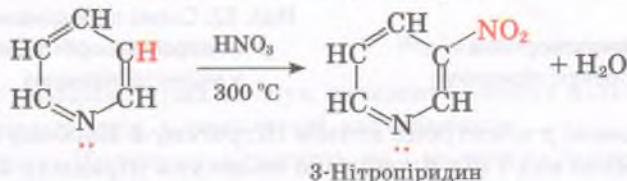


#### Часткове окиснення

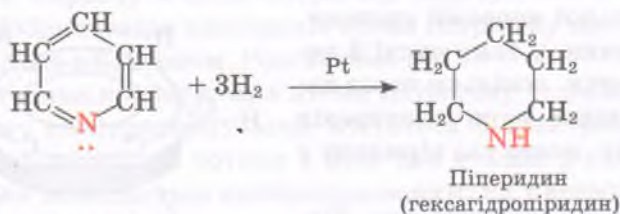
Стійкий проти дії окисників

#### Заміщення

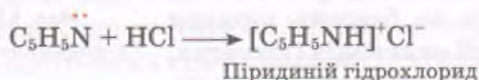
Відбувається важче, ніж у бензену



#### Приєднання водню (відновлення)



#### Утворення солей

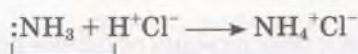




тронегативного гетероатома вона певною мірою деформована, тобто спостерігається індукційний ефект. Саме впливом останнього можна пояснити дезактивацію молекули піридину в реакціях заміщення, характерних для ароматичних сполук.

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

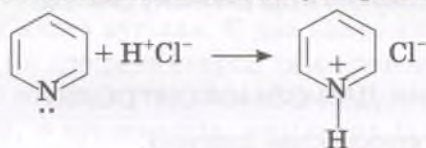
Як відомо, неподілена електронна пара в атома Нітрогену є в молекулі амоніаку. Саме за участю цієї пари амоніак приєднує протон  $\text{H}^+$ , тобто виявляє основні властивості:



Амоніак    Гідроген  
хлорид

Амоній  
хлорид

У піридину ця здатність виявляється значно слабкіше, хоча із сильними мінеральними кислотами він може утворювати солі.



Піридин

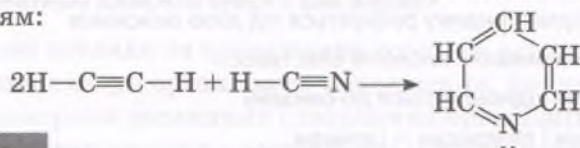
Піридиній гідрохлорид

Пригадайте, що бензен такої властивості не має.

**Застосування піридину.** Піридин застосовують у синтезі барвників, лікарських засобів, пестицидів, як розчинник.

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

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



Олексій  
Всеволодович  
Богатський  
(1929—1983)

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

## Висновки

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



## Завдання для самоконтролю

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

## Додаткові завдання

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





# Природні джерела вуглеводнів

## Нові поняття і терміни:

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

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

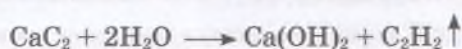
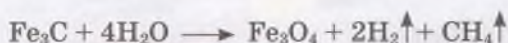
Природний газ, нафта, кам'яне вугілля належать до невідновлюваних природних ресурсів. Ця обставина змушує розвідувати нові родовища і разом із тим експлуатувати вже відкриті так, щоб максимально вилучати з них копалини і раціонально, з найбільшою користю переробляти їх.

Не важко 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 газуваті вуглеводні, зокрема метан і етин:



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

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



## § 22. ПРИРОДНИЙ ГАЗ

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

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

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

На теренах України є родовища природного газу. Назвіть їх.

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

З газопроводів газ потрапляє на промислові підприємства 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 згоряють цінні речовини.

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



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



Природний газ широко використовують у промисловості. У доменних печах метан згоряє до вуглекислого газу, який, реагуючи з коксом, утворює карбон(II) оксид, останній відновлює оксиди Феруму. Під час виробництва сталі мартенівським способом природний газ використовують як джерело теплоти. Із цією метою його застосовують і в скловарних печах.

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

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

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

**Супутній нафтовий газ.** Є поклади природного газу, що залягає разом із нафтою і разом із нею виходить на поверхню із свердловин. Це так званий супутній нафтовий газ. Він є сумішшю легких вуглеводнів, хоча, на відміну від природного газу, містить менше метану і більше — його гомологів та інших газів.

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

Таблиця 8

Склад і галузі застосування природного  
і супутнього нафтового газів

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



а



б

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



### Завдання для самоконтролю

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



## § 23. НАФТА І ПРОДУКТИ ЇЇ ПЕРЕРОБКИ

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

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





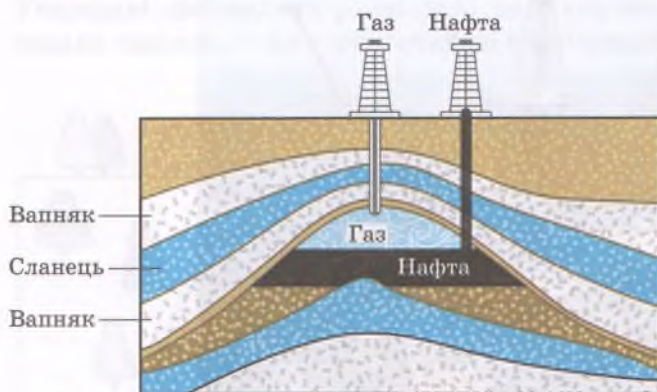
Мал. 66. Грецький вогонь у дії (з візантійської хроніки XI ст.)

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

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

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

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



Мал. 67. Геологічний розріз нафтоносної місцевості



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



Мал. 69. Ділянка нафтопроводу

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

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

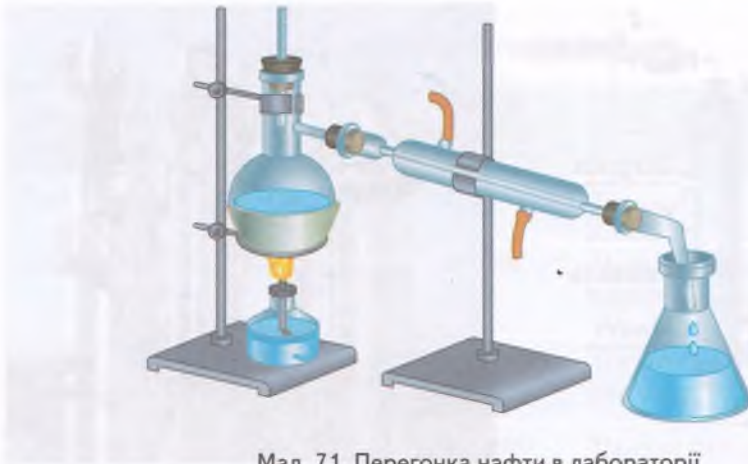
**Перегонка нафти.** Не всі ви бачили сиру нафту, але всі знаєте, що таке бензин, гас, парафін, вазелін, мазут. Ці продукти є *нафтовими фракціями* (від лат. *fraction* — розламування), що утворюються внаслідок перегонки нафти.

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



Мал. 70. Видобування нафти з платформи в морі





Мал. 71. Перегонка нафти в лабораторії

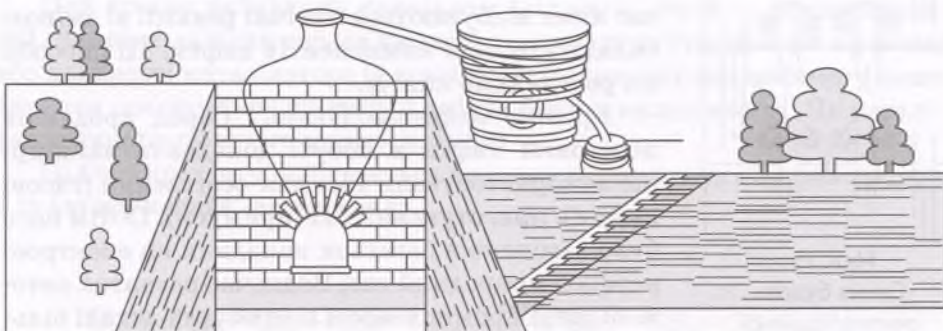
Нафтові фракції — також не індивідуальні речовини, хоча й містять близькі за складом і властивостями сполуки.

Цей процес можна відтворити в лабораторії. Нагріємо нафту в колбі з приєднаним водяним холодильником (мал. 71). 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. 72, 73, 74).

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

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



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



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

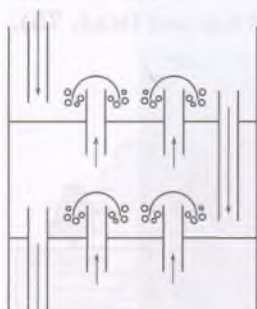


Мал. 74. Промислові ректифікаційні колони

Нафтові фракції випаровуються, проходять через 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. Бензин частково повертається в колону для поліпшення її роботи.

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

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



Мал. 75. Схема будови ректифікаційної колони

Водночас 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 побуті донедавна найширше використовували газ: для освітлення (гасові лампи), приготування їжі (примуси). Потім його було замінено в багатьох випадках на електроенергію і природний газ. Водночас розвиток автомобільної промисловості потребував дедалі більшої кількості пального для двигунів.



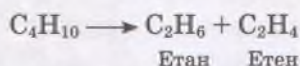
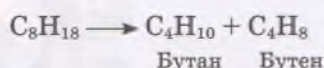
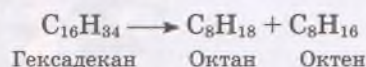
Таблиця 9

## Продукти перегонки нафти

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

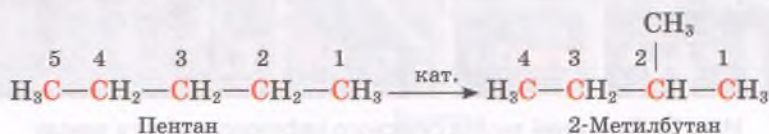
Зрослі потреби не задовольнялися перегонкою нафти, в результаті якої залишається значна частина продуктів з високими температурами кипіння. Проблему було розв'язано завдяки переробці висококиплячих фракцій на низькокиплячі, що становлять основу атомобільного пального.

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



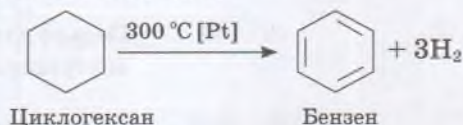
Цей процес називають **крекінгом** (від англ. *crack* — розщеплювати). Крекінг здійснюють за високої температури (термічний крекінг) або наявності каталізатора (каталітичний крекінг), що дає змогу дещо знизити температуру процесу й добути бензин вищої якості. Як каталізатор використовують алюмосилікати.

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



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

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



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

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. 76).

Схарактеризуйте застосування нафтопродуктів за схемою 1.



Мал. 76. Загальний вигляд сучасного нафтопереробного заводу



## Застосування нафтопродуктів

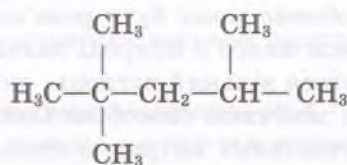


Порівняйте малюнки 77, а і 77, б. Які зміни відбулися б, якби вилучили всі предмети, що їх виготовлено із застосуванням нафтопродуктів?

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

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

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



Ізооктан



а



б

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

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

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

Назвіть ці процеси.

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

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



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

На думку фахівців, проблема переробки кам'яного вугілля на пальне неодмінно постане перед промисловістю України, в якій недостатньо родовищ нафти, але є великі запаси кам'яного вугілля, якого вистачить на кількасот років.

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



### Завдання для самоконтролю

1. Чи має нафта хімічну формулу? Чому?
2. Який хімічний склад нафти?
3. Які властивості нафти зумовили її використання у стародавні часи?
4. Назвіть основні нафтові фракції.
5. За якою властивістю речовин, що входять до складу нафти, її розділяють на фракції?
6. Яка властивість речовин лежить в основі крекінгу нафти?
7. Які технічні винаходи сприяли зростанню видобутку й широкому використанню нафти?
8. Назвіть дві основні галузі застосування нафти.
9. Установіть відповідність між назвою процесу та продуктом, що утворюється в результаті:

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

10. З якою метою використовують: вакуумну перегонку нафти, ізомеризацію, риформінг?
11. У чому полягає сенс відомого висловлювання Д. І. Менделєєва, що спалювати природне паливо, все одно, що палити асигнаціями?
12. Складіть розповідь про використання метану і водню у двигунах автомобілів.



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

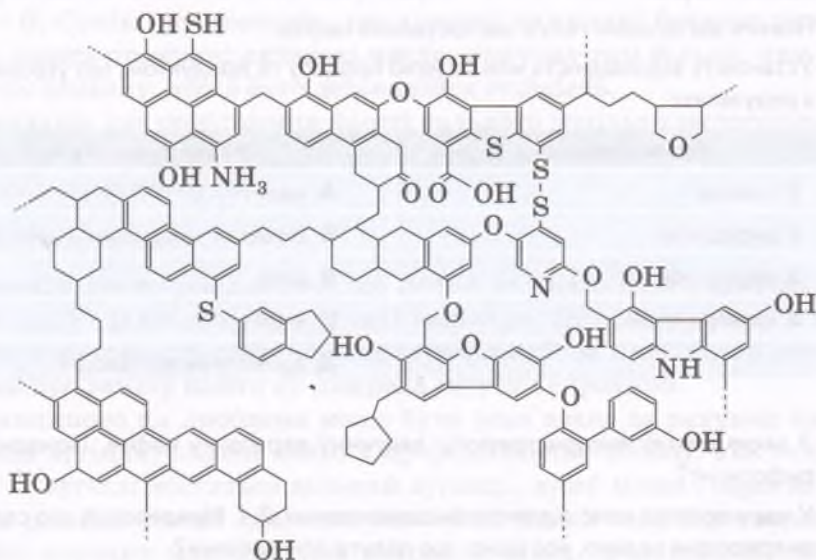
Кам'яне вугілля, як і нафта, не є індивідуальною речовиною і має складну структуру (мал. 78). До його складу входять вільний вуглець (масова частка — до 10 %), органічні речовини, що містять Карбон, Гідроген, Оксиген, Сульфур, Нітроген, неорганічні речовини (вони залишаються у вигляді шлаку після спалювання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

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

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

Пригадайте, які процеси відбуваються з коксом у доменній печі.

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



Мал. 78. Фрагмент молекулярної структури кам'яного вугілля



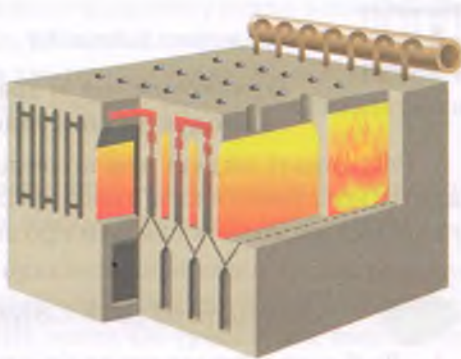
Разом із коксом утворюються *амоніакова вода, коксовий газ і кам'яновугільна смола* (дьоготь). До складу коксового газу входять органічні й неорганічні речовини (схема 2). Їх розділяють і використовують як паливо або як сировину для хімічного синтезу.

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

Кам'яновугільну смолу і 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.

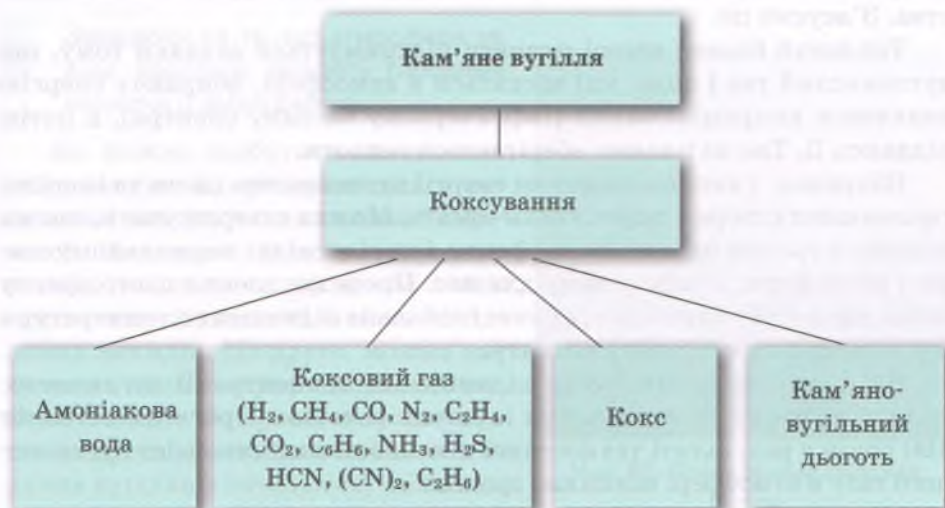
Кам'яновугільна смола виявилася доступною сировиною для виробництва всіх цих продуктів, що уможливило їх багатотоннажне виробництво. Отже, кам'яне вугілля — цінна хімічна сировина, яку вигідніше переробляти, ніж спалювати.



Мал. 79. Схема будови коксової печі

Схема 2

### Продукти коксування кам'яного вугілля





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

§ 25. ВУГЛЕВОДНЕВА СИРОВИНА  
Й ОХОРОНА ДОВКІЛЛЯ

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

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

Тепловий баланс нашої планети підтримується завдяки тому, що вуглекислий газ і вода, які містяться в атмосфері, вбирають енергію сонячного випромінювання (інфрачервону частину спектра), 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 станові атмосфери, комфортному для нас. Проте посилення цього ефекту може мати згубні наслідки, а саме: глобальне підвищення температури й у зв'язку з цим — зміну клімату.

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



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

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

Окрім парникового ефекту в результаті переробки 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 з 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. 80). При цьому крім наявних у повітрі забрудників додатково утворюються нітроген(IV) оксид і озон. Останній реагує з вуглеводнями, що виділяються в повітря від неповного згоряння пального. У результаті утворюються сполуки, небезпечні для здоров'я людей і шкідливі для довкілля.

Фотохімічний смог уперше спостерігався в Лос-Анджелесі, де багато сонця та автомобілів.

Крім того, під час згоряння палива 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 шкідливих забрудників, що утворюються в результаті використання палива і пального? По-перше, можна ощадливо 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 тепло-



Мал. 80. Фотохімічний смог над містом



електростанціях та бензину — у двигунах автомобілів. По-четверте, можна вловлювати відходи згоряння палива за допомогою фільтрів. По-п'яте, можна замінити джерела енергії: замість енергії палива використовувати енергію сонця, вітру, води, ядерну та геотермальну.

Які із зазначених чинників мають, на вашу думку, більше 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 зелені насадження і вирубування лісів позначаються на парниковому ефекті?
3. Що таке фотохімічний смог?
4. Які речовини забруднюють довкілля внаслідок використання горючих копалин? Як можна запобігти шкідливим викидам у атмосферу?

### Додаткові завдання

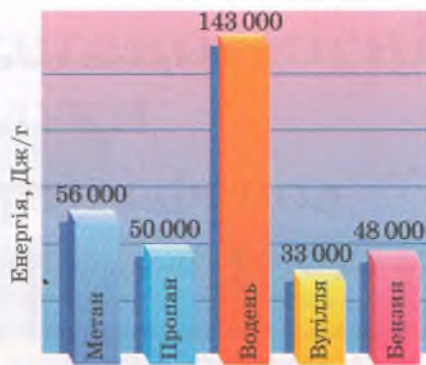
5. Природний газ, кам'яне вугілля, нафта належать до «енергохімічних ресурсів». Як ви розумієте цей термін?
6. Чому, на вашу думку, в побуті віддають перевагу паливу у вигляді кам'яного вугілля над дровами, природного газу — над вугіллям, електричного струму — над газом?
7. Чому важливо знати про походження нафти? Як це пов'язано з дефіцитом нафтопродуктів?
8. Як позначається густина нафти на екологічній безпеці під час її транспортування, зокрема, водним шляхом?
9. Чому, на вашу думку, можна добувати з нафти таку велику кількість речовин?
10. Які зміни відбулися в житті останніх поколінь у результаті використання продуктів переробки нафти?
11. Природний газ — екологічно безпечніше пальне порівняно з бензином. Чому? Яке значення має його використання в автомобілях замість бензину?
12. Які, на вашу думку, перспективи використання альтернативних джерел енергії?
13. Поясніть значення екологічного контролю за роботою двигунів автомобілів.
14. Коефіцієнт корисної дії автомобіля становить 25 % (тобто пальне використовується на 25 %). На вашу думку, на що даремно затрачаються 75 % енергії пального?



15. Обчисліть масу брому, що приєднався до етену (н. у.), який утворився в результаті крекінгу гептану масою 10 г.
16. Для добування електроенергії на тепловій електростанції упродовж 1 год згоряє вугілля масою 1 т, в якому масова частка сірки становить 2,5 %. Яка маса сульфур(IV) оксиду потрапить в атмосферу протягом доби?
17. Для вбирання сульфур(IV) оксиду у промисловості використовують вапно  $\text{CaO}$ . Яку масу цієї речовини треба взяти, щоб нейтралізувати сульфур(IV) оксид, що утворюється за умовою попередньої задачі?
18. Поцікавтеся, звідки надходить паливо у вашу місцевість, з яких родовищ. Знайдіть їх на мапі.
19. Сорти пального для дизельних двигунів характеризують так званими цетановими числами. Цетанове число 100 має вуглеводень цетан складу  $\text{C}_{16}\text{H}_{34}$ . З'ясуйте за довідниковою літературою, який ізомер цетану є еталоном дизельного пального.
20. Проаналізуйте дані, наведені на діаграмах (мал. 81, 82). Зробіть висновки.
21. Розгляньте і проаналізуйте схему 3 на с. 132. Які існують альтернативні джерела виробництва пального? Користуючись додатковими джерелами інформації, підготуйте повідомлення про переваги і недоліки замінників традиційних видів пального.
22. Розгляньте таблицю 10 на с. 132 і проаналізуйте склад деяких видів палива. Дайте відповіді на запитання:

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

Запропонуйте варіанти зменшення шкоди від спалювання горючих матеріалів.



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



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

## Сировина для виробництва пального



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

Таблиця 10

Склад деяких видів палива  
(усереднені дані)

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





# Оксигеновмісні сполуки

## Спирти і фенол

### Нові поняття і терміни:

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

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, штучні волокна, вони входять до складу мила та інших мийних засобів, ліків тощо. Знайомі вам із 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.

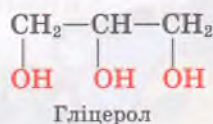
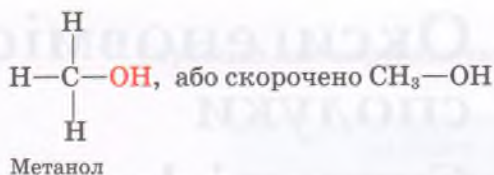
Спирти і фенол належать до оксигеновмісних органічних речовин. Як і в молекулах вуглеводнів, основою будови молекул цих речовин є карбонові скелети, до яких приєднані групи атомів, що містять Оксиген. У спиртів і фенолів це *гідроксильна група* —ОН (її ще називають *гідроксигрупою*).



## § 26. НАСИЧЕНІ ОДНОАТОМНІ СПИРТИ

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

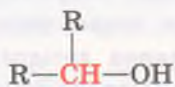
Залежно від будови вуглеводневої групи розрізняють спирти *насичені, ненасичені, ароматичні*, а за кількістю гідроксильних груп — *одно- і багатоатомні*. Вам відомі насичені одноатомні спирти **метанол** і **етанол**, що містять насичену вуглеводневу групу й одну гідроксильну групу, а також триатомний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



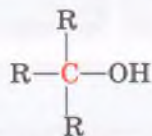
Залежно від того, з яким атомом Карбону сполучена гідроксигрупа — одно-, дво- чи тризаміщеним, — спирти поділяють на *первинні*, *вторинні* й *третинні*:



Первинний спирт

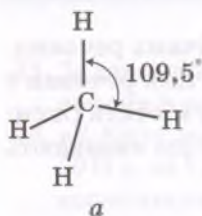


Вторинний спирт

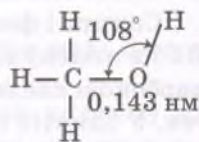
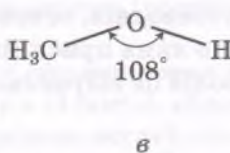
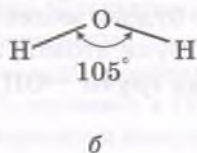


Третинний спирт

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

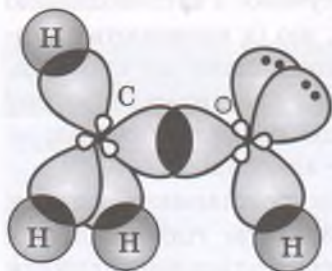


Мал. 83. Валентні кути в молекулі метану (a), води (б) і метанолу (в)



Мал. 84. Геометрія молекули метанолу

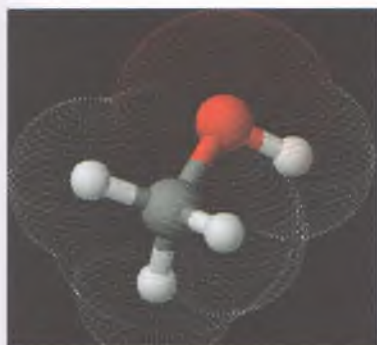
Дві з чотирьох гібридних електронних орбіталей зайнято електронними парами, а дві інші — одноелектронні й можуть утворювати  $\sigma$ -зв'язки з іншими атомами (мал. 85). Унаслідок відштовхування електронних пар відбувається зменшення тетраедричного валентного кута порівняно з метаном, у молекулі якого всі гібридні орбіталі — одноелектронні.

Мал. 85. Схема утворення  $\sigma$ -зв'язків у молекулі метанолу

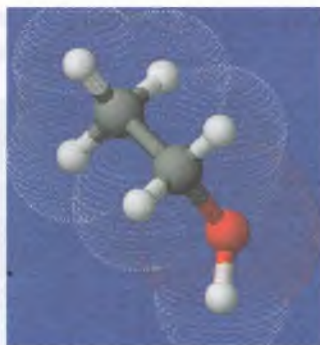
У молекулі метанолу Оксиген утворює  $\sigma$ -зв'язки в результаті перекривання  $sp^3$ -гібридних електронних орбіталей із  $s$ -електронною орбіталлю атома Гідрогену та  $sp^3$ -гібридною електронною орбіталлю атома Карбону.

Моделі молекул метанолу й етанолу наведено на мал. 86.





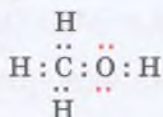
а



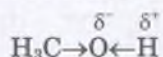
б

Мал. 86. Моделі молекул метанолу (а) й етанолу (б)

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



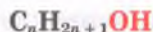
Зв'язок О—Н полярний, оскільки атом більш електронегативного Оксигену відтягує до себе електронну густину зв'язку. Внаслідок поляризації на атомі Гідрогену виникає частковий позитивний заряд, а на атомі Оксигену — частковий негативний:



Полярність спиртів позначається на їхніх фізичних і хімічних властивостях.

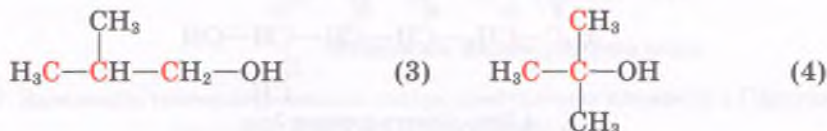
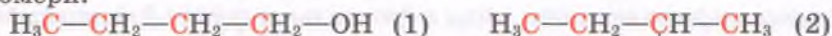
Метанол — найпростіший з *насичених одноатомних спиртів*. Константи його гомологів наведено в табл. 11.

Загальну формулу насичених одноатомних спиртів можна вивести із загальної формули насичених вуглеводнів заміщенням атома Гідрогену на гідроксильну групу:



Якщо вуглеводневу групу позначити літерою R, то загальна формула спиртів матиме вигляд R—OH.

**Ізомерія. Номенклатура.** Насиченим одноатомним спиртам властива *структурна ізомерія*, зумовлена будовою карбонового скелета і положенням гідроксильної групи. Для спирту складу  $\text{C}_4\text{H}_9\text{OH}$  можливі такі ізомери:

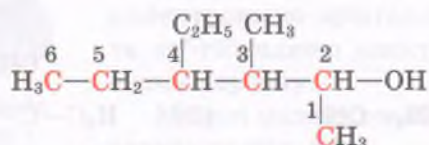


## Характеристики насичених одноатомних спиртів

Назва спирту	Формула		Температура, °C		Густина, г/см <sup>3</sup>	Розчинність, г/100г Н <sub>2</sub> O
	молекулярна	скорочена структурна	плавлення	кипіння		
Метанол	CH <sub>3</sub> OH	CH <sub>3</sub> —OH	-94	64,5	0,792	Необмежена
Етанол	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH	CH <sub>3</sub> —CH <sub>2</sub> —OH	-114	78,4	0,789	♦
Пропан-1-ол	C <sub>3</sub> H <sub>7</sub> OH	CH <sub>3</sub> —CH <sub>2</sub> —CH <sub>2</sub> —OH	-127	97,4	0,804	♦
Бутан-1-ол	C <sub>4</sub> H <sub>9</sub> OH	CH <sub>3</sub> —(CH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> —CH <sub>2</sub> —OH	-90,2	117,4	0,810	7,9
Пентан-1-ол	C <sub>5</sub> H <sub>11</sub> OH	CH <sub>3</sub> —(CH <sub>2</sub> ) <sub>3</sub> —CH <sub>2</sub> —OH	-78,5	137,8	0,814	2,4
Гексан-1-ол	C <sub>6</sub> H <sub>13</sub> OH	CH <sub>3</sub> —(CH <sub>2</sub> ) <sub>4</sub> —CH <sub>2</sub> —OH	-52	157	0,821	0,6
Гептан-1-ол	C <sub>7</sub> H <sub>15</sub> OH	CH <sub>3</sub> —(CH <sub>2</sub> ) <sub>5</sub> —CH <sub>2</sub> —OH	-34	176	0,822	0,1
Октан-1-ол	C <sub>8</sub> H <sub>17</sub> OH	CH <sub>3</sub> —(CH <sub>2</sub> ) <sub>6</sub> —CH <sub>2</sub> —OH	-17	194	0,825	0,05
Нонан-1-ол	C <sub>9</sub> H <sub>19</sub> OH	CH <sub>3</sub> —(CH <sub>2</sub> ) <sub>7</sub> —CH <sub>2</sub> —OH	-5	215	0,827	Нерозчинний
Декан-1-ол	C <sub>10</sub> H <sub>21</sub> OH	CH <sub>3</sub> —(CH <sub>2</sub> ) <sub>8</sub> —CH <sub>2</sub> —OH	7	230	0,829	♦

За систематичною номенклатурою **назви** насичених одноатомних спиртів (алканолів) нерозгалуженої будови *утворюють від назв алканів додаванням до назв суфікса -ол* (метан – метанол, пропан – пропанол). *Щоб назвати спирт розгалуженої будови, треба пронумерувати найдовший карбоновий ланцюг, починаючи від атома Карбону, найближчого до гідроксильної групи; перед назвою вказати місце і назви алкільних замісників у алфавітному порядку; після назви головного ланцюга цифрою вказати місце гідроксильної групи і додати суфікс -ол.*

Наприклад:



4-Етил-3-метилгексан-2-ол



Складіть назви наведених на с. 135 ізомерів бутанолу. 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 запахом. Наприклад, метанол, етанол і пропанол мають спиртовий запах, бутаноли і пентаноли — сивушний.

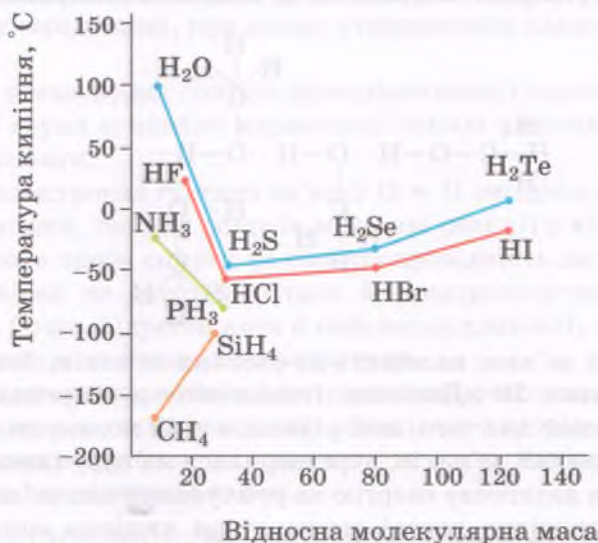
Серед спиртів, на відміну від вуглеводнів, немає газуватих речовин. Температури плавлення і кипіння спиртів значно вищі, ніж вуглеводнів із близькою відносною молекулярною масою (табл. 12).

Таблиця 12

Температури кипіння вуглеводнів і спиртів

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

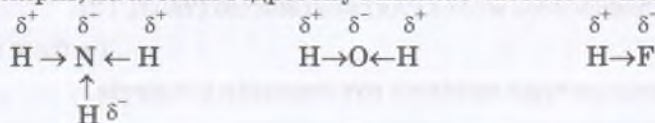
Таку відмінність констант можна пояснити наявністю додаткової взаємодії між молекулами спирту. Щоб з'ясувати природу цієї взаємодії, звернемося до неорганічної хімії та розглянемо температури кипіння сполук Гідрогену з деякими елементами IV—VII груп Періодичної системи (мал. 87).



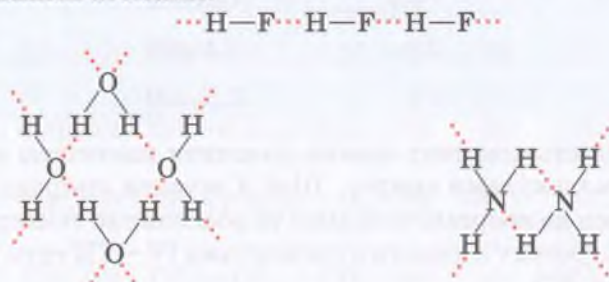
Мал. 87. Залежність температур кипіння сполук неметалічних елементів з Гідрогеном від їхньої відносної молекулярної маси

Зверніть увагу, що зі збільшенням відносної молекулярної маси цих сполук їхні температури кипіння підвищуються. Виняток становлять гідроген флуорид, вода й амоніак, константи яких дуже різняться значеннями з константами сполук сусідніх елементів у підгрупі. Маючи найнижчі відносні молекулярні маси, вони мають найвищі температури кипіння. З якої причини молекули цих сполук міцніше зв'язані між собою?

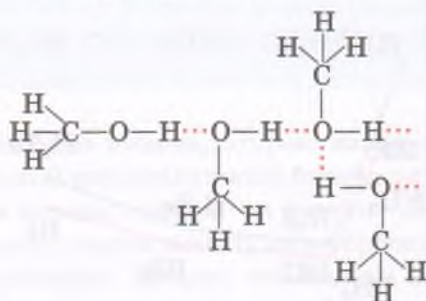
Зв'язки між атомами Гідрогену й електронегативними атомами N, O, F полярні, на атомах Гідрогену виникає частковий позитивний заряд:



За рахунок притягання позитивно зарядженого атома Гідрогену однієї молекули 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:

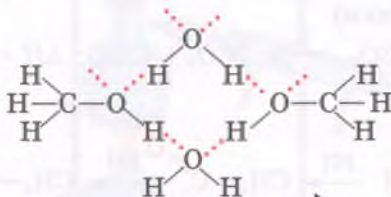


Водневий зв'язок належить до слабких зв'язків, його енергія становить близько 20 кДж/моль (порівняйте з енергією ковалентних зв'язків). Однак для того, щоб рідина, в якій молекули асоційовані за рахунок водневих зв'язків, перетворилася на пару (закипіла), потрібно затратити додаткову енергію на руйнування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

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



Унаслідок 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 переконатися на досліді. У чотири пробірки з водою додаємо метанол, етанол, бутанол, пентанол в однакових об'ємах. Спостерігається повне розчинення перших двох спиртів і значно менша розчинність двох інших.

**Хімічні властивості.** Рівняння реакцій спиртів наведено на с. 140. Як і всі органічні речовини, спирти **горять** із виділенням теплоти. Підпалимо зразки метанолу, етанолу, пропанолу, пентанолу в порцелянових чашках. Помітна відмінність у характері горіння спиртів: від майже несуттєвого синюватого полум'я метанолу до кіптявого — пентанолу.

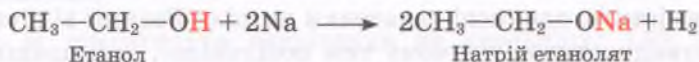
Поясніть характер горіння спиртів різного складу, спираючись на знання характеру горіння вуглеводнів.

Частково окиснюють спирти калій дихромат або калій перманганат у кислому середовищі, при цьому утворюються альдегіди і карбонові кислоти.

Наявність у молекулах спиртів функціональної (характеристичної) гідроксильної групи зумовлює характерні хімічні властивості (хімічні функції) цих сполук.

Оскільки електронна густина зв'язку  $O \leftarrow N$  зміщена до Оксигену, можна припустити, що для спиртів можливі реакції з відщепленням **Гідрогену**. Проте проба спирту на електропровідність дає негативний результат; майже не спостерігається й електролітична дисоціація спирту у воді. Отже, Гідроген хоча й набуває рухливості, але хімічний зв'язок  $O-N$  за таких умов не розривається.

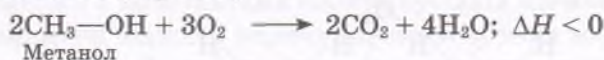
Спробуємо провести реакцію з активнішими реагентами. У пробір-  
ку з 2 мл етанолу вмістимо шматочок металічного натрію і закриємо її  
пробкою зі скляною трубкою, відтягнутою на кінці. Відбувається реак-  
ція заміщення з виділенням водню.



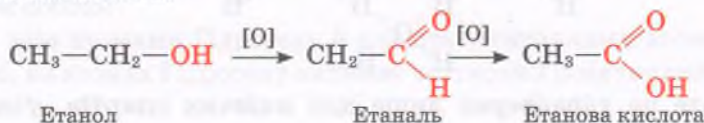
### Як можна переконатися, що це справді водень?

## Реакції насичених одноатомних спиртів

### Повне окиснення (горіння)



### Часткове окиснення

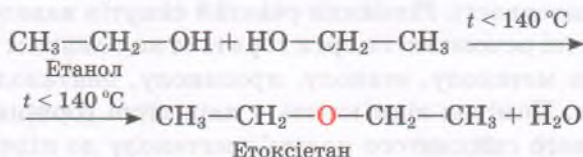


### Заміщення

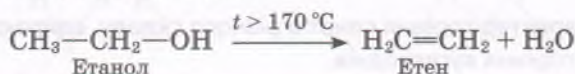


### Дегідратація

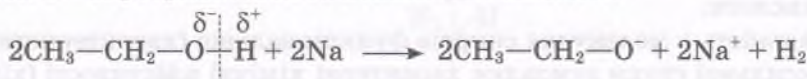
#### міжмолекулярна:



#### внутрішньомолекулярна:



У цій реакції виявляються слабкі кислотні властивості спирту. Зв'язок O—H розривається за йонним механізмом:

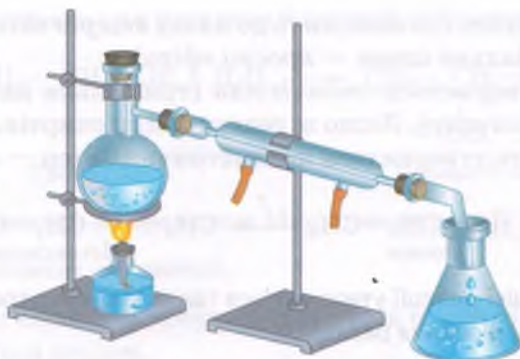


Загальна назва аніонів у продуктах заміщення Гідрогену на металічний елемент — *алканолати* (алкоголяти). Добутий нами *натрій етанолат* можна виділити, випарувавши на предметному склі вміст пробірки, в якій проводили реакцію заміщення.

Пригадайте, що реакція натрію з водою відбувається бурхливо, водень виділяється значно енергійніше, ніж у реакції натрію з етанолом. Очевидно, позначається вплив карбонового ланцюга: Гідроген стає менш рухливим і відщеплюється важче порівняно з Гідроеном води.

Зі зростанням довжини карбонового ланцюга активність спиртів у реакції з натрієм знижується. У цьому можна переконатися на досліді. У три пробірки наллємо по 2 мл метанолу, етанолу й бутан-1-олу. У кожен вмістимо однакові шматочки натрію. Реакції відбуваються з різними швидкостями, причому тим повільніше, чим довший карбоновий ланцюг у молекулі спирту.

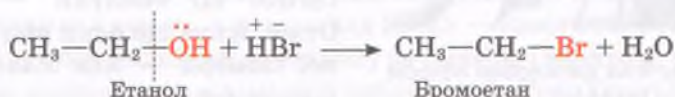




Мал. 88. Добування бромоетану в лабораторії

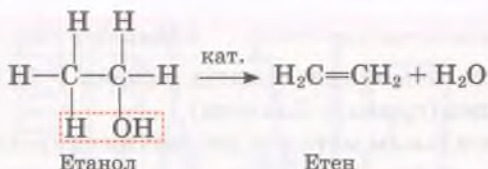
Сформулюйте висновок щодо залежності активності спиртів у реакції з натрієм від довжини карбонового ланцюга.

Спирти вступають також у реакції з відщепленням гідроксильної групи, до яких належить реакція з *гідроген бромідом*. Зберемо прилад, зображений на мал. 88. Умістимо в колбу суміш етанолу, натрій броміду й сульфатної кислоти, нагріємо її. Через деякий час помітимо, що під шаром води або льоду в колбі-приймачі збирається густа рідина — бромоетан. Відбуваються реакції:



У цій реакції виявляються слабкі основні властивості спиртів завдяки взаємодії протона кислоти з вільною електронною парою атома Оксигену.

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

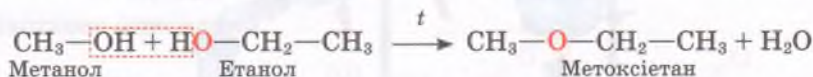


Складіть рівняння реакції дегідратації пропанолу. Назвіть речовину, що утворюється.

Якщо ж температура нагрівання не перевищує 140 °C і спирт узято в надлишку, то відбувається *міжмолекулярна дегідратація* з

утворенням сполуки, що належить до класу *етерів* загальної формули  $R^1-O-R^2$  (тривіальна назва — *прості ефіри*).

Із етанолу утворюється *етоксіетан* (тривіальна назва — *діетиловий ефір, медичний ефір*). Якщо ж реагує суміш спиртів, наприклад метанол та етанол, то утворюється несиметричний етер — *метоксіетан*):



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



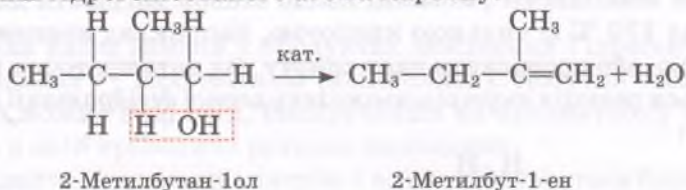
Мал. 89. Анестезія діетиловим ефіром (1885 р.)

Із середини XIX ст. діетиловий ефір відомий як засіб для знеболення (мал. 89). Першу операцію під ефірним наркозом провів бостонський хірург Дж. Уоррен у 1846 р. У воєнно-польовій хірургії його вперше застосував видатний російський хірург М. І. Пирогов.

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

Складіть формулу спирту, ізомерного етоксіетану.

Відщеплення води від молекули спирту розгалуженої будови відбувається переважно в такий спосіб, що атом Гідрогену відщеплюється від найменш гідрогенізованого атома Карбону:



Цю особливість поведінки спиртів виявив у 1875 р. російський учений О. М. Зайцев (*правило Зайцева*).

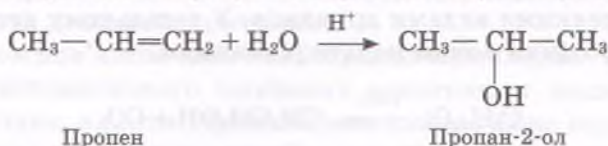
**Добування.** Загальним методом добування спиртів є *гідроліз галогенопохідних вуглеводнів*:



На практиці використовують водний розчин натрій гідроксиду або карбонату.



Спирти утворюються в результаті реакції *гідратації алкенів*:



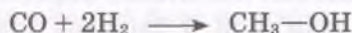
Реакція відбувається за правилом Марковникова.

Поясніть механізм цієї реакції.

Поширеним способом добування спиртів є *відновлення альдегідів*, про які 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 CO і H<sub>2</sub>). За температури 250 °C і тиску 5 МПа та наявності каталізатора (CuO, ZnO) ці газу взаємодіють між собою:



Метанол широко використовують в органічному синтезі, а також як розчинник. Великі кількості його переробляють на формальдегід — сполуку, що є сировиною для виробництва пластмас.

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

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

**Етанол** (синоніми — етиловий спирт, винний спирт, алкоголь) відомий переважно як основа алкогольних напоїв, про які людство знає з найдавніших часів (мал. 90).

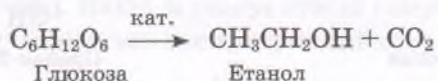
Перша літературна згадка про етиловий спирт як «горючу воду», добуту перегонкою вина, датована VIII ст., а елементний склад етанолу з'ясував швейцарський учений Т. Соссюр у 1814 р.

Отже, найдавніший метод добування етанолу — це *спиртове бродіння глюкози*, що міститься у винограді, інших фруктах. Процес від-



Мал. 90. Апарати для перегонки спирту (XVI ст.)

бувається під впливом природних каталізаторів — *ензимів*, що виробляються деякими видами дріжджів. У загальному вигляді процес спиртового бродіння можна подати рівнянням:



Насправді утворюється суміш спиртів та інших речовин, у якій усього 12 % етанолу. Для його виділення використовують метод *дистиляції*, або перегонки (мал. 91). У результаті утворюється так званий *ректифікат*, що містить 96 % етанолу та 4 % води.

Етанол добувають також *гідратацією етену*. Добутий у такий спосіб спирт використовують для технічних потреб.

Використання етанолу надзвичайно широке. Це розчинник для виготовлення фармацевтичних препаратів (настоюнок, екстрактів тощо), парфумерних і косметичних виробів, есенцій, лаків (політура для меблів). Етанолом як бактерицидним засобом обробляють рани. У харчовій промисловості з нього виготовляють алкогольні напої.

Із етанолу в промислових масштабах виробляють оцтову кислоту, хлороформ, медичний ефір та ін. У багатьох країнах суміш бензину з етанолом (до 10 %) використовують як паливо.

Схарактеризуйте переваги використання такої суміші з погляду зменшення шкідливих викидів у атмосферу.

Етанол, призначений для технічних цілей, відомий під назвою *денатурат*. Цей продукт містить домішки, що змінюють запах, смак і колір етанолу, — це робить його непридатним для споживання.

**Дія етанолу на організм.** За своїми фармакологічними властивостями етанол належить до наркотичних засобів. Уживаний у вигляді алкогольних напоїв у малих дозах він послаблює гальмівні процеси в корі головного мозку, а в разі збільшення дози — знижує й рівень збу-



Мал. 91. Сучасні перегонні куби для добування етанолу



джувальних процесів, з'являється сонливість, свідомість затьмарюється і, нарешті, людина непритомніє.

Із етанолом пов'язана одна з найстрашніших хвороб — алкоголізм. Унаслідок систематичного вживання алкоголю в людини виникає спершу психічна, а потім і фізична залежність. Вона полягає в тому, що спершу такі ознаки алкогольного отруєння, як головний біль, серцебиття, тремтіння рук швидко минають від прийняття дози алкоголю. Цим самим створюється замкнене коло, що не розірвати та яке призводить до незворотних змін у органах, до психічних порушень, а в результаті — до деградації особистості.

Слід пам'ятати, що причиною переважної кількості нещасних випадків, дорожньо-транспортних пригод, побутових травм є вживання алкоголю.

Особливо небезпечний алкоголь для молодого організму. Навіть невеликі дози впливають на швидкість реакцій, здатність зосереджуватися, виконувати розумову роботу. Спожитий у великих дозах, він діє як отрута на всі системи людського організму. Специфічна зміна настрою одразу після вживання алкоголю, пожвавлення є дуже обманливими, оскільки згодом настає фаза пригнічення центральної нервової системи, фізичної й психічної загальмованості.

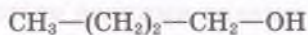
У молодих людей захворювання на алкоголізм розвивається швидше, оскільки в них інтенсивніше відбуваються процеси обміну.



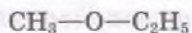
### Завдання для самоконтролю

1. Що таке функціональна (характеристична) група?
2. Які сполуки називають спиртами?
3. Скориставшись мал. 85, поясніть утворення хімічних зв'язків у молекулі метанолу.
4. Як позначається вплив атома Оксигену на розподілі електронної густини в молекулі спирту?
5. Як електронна будова атома Оксигену впливає на геометрію молекули метанолу?
6. Чим зумовлена ізомерія насичених одноатомних спиртів? Наведіть приклади.
7. Визначте первинні, вторинні й третинні спирти серед наведених: 3-метилбутан-1-ол; 3-метилбутан-2-ол; 2-метилбутан-2-ол; 2-метилбутан-1-ол; 2,2-диметилпропан-1-ол.
8. Поясніть причину аномально високої температури кипіння води.
9. Чи є серед спиртів газуваті речовини? Поясніть вплив водневих зв'язків на фізичні властивості спиртів.
10. Наведіть рівняння хімічних реакцій спиртів, що відбуваються з розриванням зв'язків C—OH і CO—H.
11. Поясніть вплив умов на перебіг реакції дегідратації етанолу.

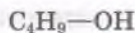
12. Укажіть серед наведених сполук ізомери й гомологи:



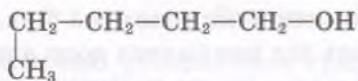
1



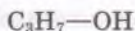
2



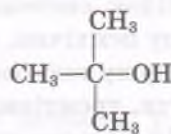
3



4



5



6

А ізомери — 1 і 6, 2 і 5; гомологи — 1, 4, 5

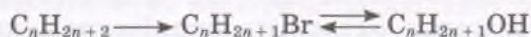
Б ізомери — 1 і 4; гомологи — 5 і 2

В ізомери — 2 і 3; гомологи — 4 і 6.

13. Укажіть продукти міжмолекулярної дегідратації метанолу і пропанолу:

А етоксіетан Б метоксипропан В пропоксипропан Г метоксиметан.

14. Складіть рівняння реакцій за схемою перетворень:



15. Назвіть сучасні промислові способи добування спиртів.

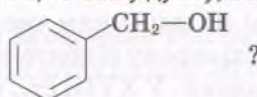
16. Поясніть згубну дію алкоголю на організм людини.

### Додаткові завдання

- До класу спиртів належать циклогексанол (має запах камфори) і 2-фенілетанол (має запах троянд). Складіть структурні формули цих сполук.
- Скільком речовинам відповідає формула  $\text{C}_5\text{H}_{11}\text{O}$ ? Складіть їх структурні формули і назвіть сполуки.
- Етин — газ, гідроген ціанід — рідина (н. у.), хоча молекулярні маси цих сполук приблизно однакові. Поясніть це.
- У якої речовини міцніші водневі зв'язки: у води чи в метанолу? Відповідь поясніть.
- Гідроксиди лужних металів і спирти містять гідроксигрупу. Чому перші є електролітами, а другі — ні?
- Які хімічні властивості етанолу підтверджують, що його формула —  $\text{C}_2\text{H}_5-\text{OH}$ , а не  $\text{CH}_3-\text{O}-\text{CH}_3$ ?
- Які етери можуть утворитися в результаті нагрівання суміші метанолу й етанолу із сульфатною кислотою?
- Як слід змінити склад етанолу, щоб атом Гідрогену гідроксильної групи набув більшої рухливості?
- Порівняйте властивості метанолу з властивостями води і метану. Зробіть узагальнювальний висновок.
- Сполука загальної формули  $\text{C}_4\text{H}_8$  реагує з воднем із утворенням метилпропану, а в результаті реакції з бромоводнем утворюється бромопохідна сполука, що, у свою чергу, в реакції з натрій гідроксидом утворює третинний спирт. Визначте цю сполуку. Складіть рівняння вказаних реакцій.
- Як трьома способами добути хлороетан? Складіть відповідні рівняння реакцій.



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



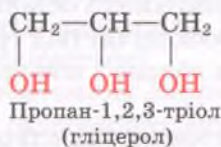
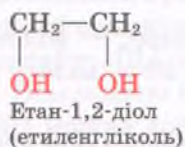
29. У яких напрямках може відбуватися реакція часткового окиснення алілового спирту  $\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CH}_2-\text{OH}$ ?
30. Складіть рівняння реакцій, у результаті яких можна добути хлорометан, маючи метанол, натрій хлорид і сульфатну кислоту.
31. Напишіть рівняння послідовних перетворень: етанолу на етан; метану на метанол; вуглецю на метанол.
32. Із яких джерел використовують етен для синтезу етанолу?
33. Визначте молекулярну формулу речовини, якщо внаслідок її повного згоряння масою 13,8 г утворилось 26,4 г вуглекислого газу і 16,2 г води. Густина пари речовини за воднем дорівнює 23. Складіть формули ізомерів.
34. Продуктами горіння газуватої органічної сполуки **A**, що знебарвлює бромну воду, є сполуки **B** і **B**. Після розчинення першої у другій утворюється кислота. Сполука **B** за певних умов може взаємодіяти зі сполукою **A**. Продукт цієї реакції — сполука **Г** не взаємодіє з натрій гідроксидом, але взаємодіє з металічним натрієм. Одним із продуктів останньої реакції є газ **Д** без кольору й запаху, здатний до реакції зі сполукою **A**, в результаті якої утворюється газуватий вуглеводень **Е**, що не знебарвлює бромну воду. Визначте речовини, складіть рівняння реакцій.
35. Надмірне вживання алкоголю руйнує психіку людини. Поясніть причину цього.



## § 27. ЕТИЛЕНГЛІКОЛЬ. ГЛІЦЕРОЛ

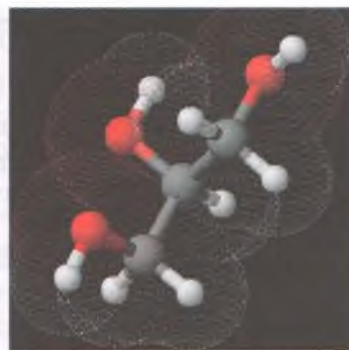
**Склад молекул.** Молекули спиртів можуть містити дві, три і більше гідроксильних груп біля різних атомів Карбону. Такі спирти називають відповідно *двохатомними*, *трьохатомними*, *багатоатомними* (коли таких груп понад три). Щодо двухатомних вживають також загальну назву *гліколі*, а щодо трьохатомних — *гліцероли*. За систематичною номенклатурою двухатомні спирти називають *діолами*, трьохатомні — *тріолами*.

Найпростіший двухатомний спирт — етиленгліколь, трьохатомний — гліцерол (тривіальна назва — гліцерин):



Модель молекули гліцеролу зображено на мал. 92.

**Фізичні властивості.** Етиленгліколь і гліцерол — безбарвні в'язкі рідини, добре



Мал. 92. Модель молекули гліцеролу

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 γλυκύς — солодкий. У XVIII ст., коли гліцерол було виділено з маслинової олії, його називали ще олійним цукром.



#### Лабораторний дослід 4

#### Розчинність гліцеролу у воді

Змішайте у пробірці воду і гліцерол (приблизно по 1 мл). Додайте до суміші ще 1 мл гліцеролу. Чи розчиняється він? Зробіть висновок про розчинність гліцеролу у воді.

Через наявність гідроксильних груп можна припустити, що між молекулами багатоатомних спиртів утворюються водневі зв'язки, як і між молекулами одноатомних спиртів. У правильності такого припущення переконує порівняння констант гліцеролу і близьких до нього за відносними молекулярними масами гексану і пентан-1-олу (табл.13).

Таблиця 13

#### Характеристика гліцеролу, пентан-1-олу і гексану

Назва сполуки	Формула	Відносна молекулярна маса	Температура кипіння, °C	Густина, г/см³
Гліцерол	$\text{CH}_2(\text{OH})\text{CH}(\text{OH})\text{CH}_2(\text{OH})$	92	290	1,30
Пентан-1-ол	$\text{C}_5\text{H}_{11}\text{OH}$	88	138	0,80
Гексан	$\text{C}_6\text{H}_{14}$	86	69	0,66

Зростання температури кипіння і густини гліцеролу порівняно з пентан-1-олом засвідчує, що молекули першого більшою мірою асоційовані між собою, оскільки в утворенні водневих зв'язків беруть участь три гідроксильні групи.

Складіть схему утворення водневих зв'язків між молекулами етиленгліколю.

Утворенням водневих зв'язків між молекулами води й багатоатомних спиртів пояснюють і добру розчинність останніх.

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

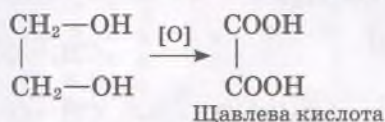
**Хімічні властивості.** Для багатоатомних спиртів характерні реакції одноатомних спиртів, причому вони відбуваються за участю однієї або кількох гідроксильних груп.

Реакція повного окиснення, як і в інших органічних речовин, відбувається з утворенням вуглекислого газу й води.

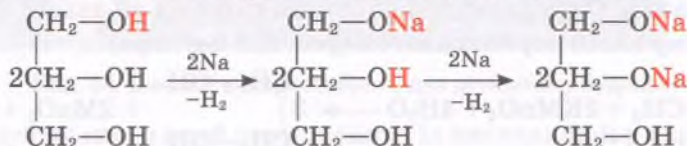


Складіть рівняння реакції повного окиснення гліцеролу.

У результаті **часткового окиснення** утворюється суміш продуктів, у кінцевому результаті — поліфункціональні сполуки:

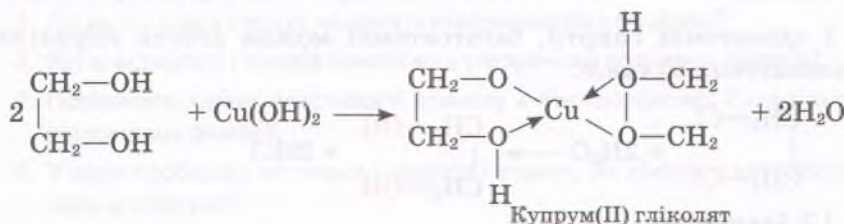


Багатоатомні спирти вступають у реакцію **заміщення** з металічним **натрієм**. У пробірку з гліцеролом опустимо шматочок металічного натрію, нагріємо її вміст. Відбувається реакція з виділенням водню:



Наявність декількох гідроксильних груп позначається на хімічній активності сполуки, зокрема посилюються **кислотні властивості**: якщо одноатомні спирти утворюють алканолати лише з лужними металами, то етиленгліколь і гліцерол реагують також з **лугами** та **гідроксидами важких металічних елементів**.

**Характерною реакцією** багатоатомних спиртів, яку використовують для їх виявлення, є утворення розчину синього кольору з купрум(II) гідроксидом. Продукт реакції — сполука складної будови, що належить до так званих **комплексних сполук**:

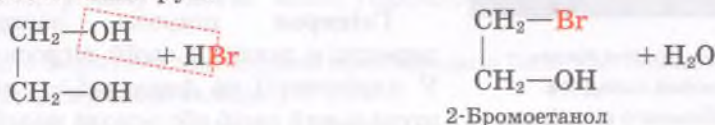


### Лабораторний дослід 5

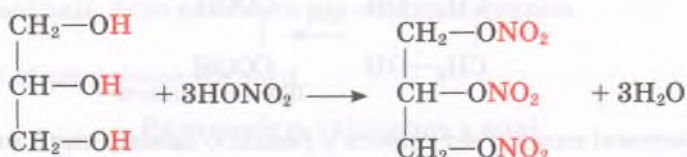
#### Взаємодія гліцеролу з купрум(II) гідроксидом

У пробірку налейте 1 мл розчину натрій чи калій гідроксиду і додайте кілька краплин розчину купрум(II) сульфату. Утворюється блакитний осад купрум(II) гідроксиду. До осаду додайте гліцерол, суміш збовтайте. Що спостерігається?

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

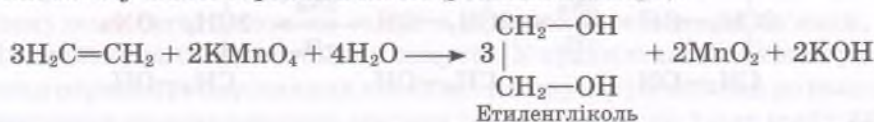


Багатоатомні спирти взаємодіють із *мінеральними кислотами*. Важливою є реакція гліцеролу з концентрованою нітратною кислотою (за наявності сульфатної кислоти). Продуктом реакції є гліцерол тринітрат (тринітрогліцерин):



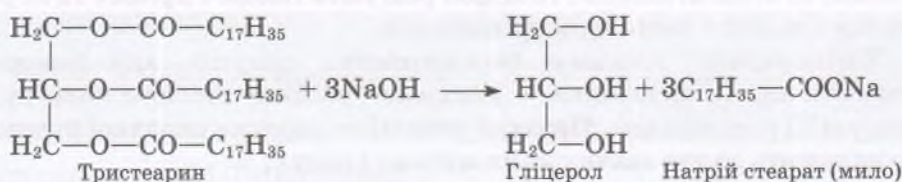
Гліцерол тринітрат (тринітрогліцерин)

**Добування.** Одну реакцію добування гліколів ви знаєте — це *окиснення етену* калій перманганатом (реакція Вагнера):

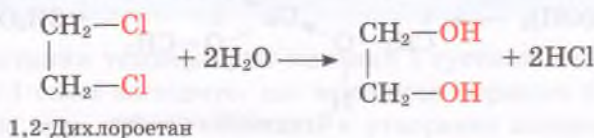


Пригадайте, де використовують реакцію Вагнера.

Гліцерол добувають *омиленням жирів*:



Як і одноатомні спирти, багатоатомні можна добути *гідролізом галогенопохідних алканів*:



**Застосування.** Суміш етиленгліколю з водою має низьку температуру замерзання, тому її використовують для виготовлення антифризу (від англ. *freeze* — замерзати) — рідини для охолодження двигунів, які працюють за низьких температур (мал. 93).



Мал. 93. Етиленгліколь — основна складова автомобільного антифризу

На відміну від гліцеролу етиленгліколь — дуже отруйна речовина, що спричиняє параліч дихального центру, «вимикає» нирки. Протиотрутою етиленгліколю є етанол.

Гліцерол широко застосовується передусім завдяки своїй гігроскопічності. У парфумерії та фармації — як пом'якшувальний засіб або основа мазей, добавка





Мал. 94. Динаміт використовують для демонтажу будівель

до мила, зубної пасти (щоб перешкодити 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 пом'якшення та надання еластичності. Продукт нітрування гліцеролу — тринітрогліцерин — вибухова речовина, з якої виготовляють динаміт (мал. 94). А спиртовий розчин цієї сполуки має судинорозширювальну дію і під назвою «нітрогліцерин» використовується як ліки від серцевих захворювань.



### Завдання для самоконтролю

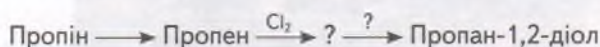
1. До якого класу сполук належать етиленгліколь і гліцерол?
2. Які властивості гліколів пояснюють утворенням водневих зв'язків?
3. Порівняйте хімічні властивості етанолу й етиленгліколю. Складіть рівняння відповідних реакцій.
4. У двох пробірках містяться гліцерол і етанол. Як хімічним способом розрізнити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

### Додаткові завдання

6. Поясніть причину різноманітності сполук, що належать до класу спиртів.
7. Чи є гомологами етиленгліколь і гліцерол? Відповідь поясніть.
8. Яка сполука має, на вашу думку, більшу густину — етиленгліколь чи гліцерол? Відповідь поясніть. Для підтвердження свого припущення скористайтесь довідником.
9. Поясніть, чому пентанол малорозчинний у воді, а пентантріол — добре розчинна сполука.
10. Поясніть, у чому полягає вплив гідроксильних груп на реакції діолів і тріолів.
11. Складіть формули спиртів, назви яких наведено на с. 152. Поясніть розчинність спиртів різного складу:

Назва спирту	Розчинність
Етанол	Необмежено розчинний
Пентан-1-ол	Слабкорозчинний
Пентан-1,2-діол	Розчинний
Гексан-2-ол	Дуже слабкорозчинний
Гексан-2-3-діол	Розчинний
Декан-1-ол	Нерозчинний

12. Складіть рівняння реакцій за схемою перетворень:



13. У результаті вибуху динаміту утворюється суміш вуглекислого газу, азоту, кисню та води, на які розкладається тринітрат гліцерол. Визначте суму коефіцієнтів у рівнянні реакції розкладу: **A 34 B 33 B12.**
14. Трускавецька мінеральна вода «Юзя» містить гліцерол. Здавна дівчата вминалися нею «для краси». На яких властивостях ґрунтується дія цієї води?

### Висновки

- Молекули спиртів містять функціональну гідроксильну групу, сполучену з вуглеводневою групою. Багатоатомні спирти містять декілька гідроксильних груп біля різних атомів Карбону.
- У гідроксильній групі атом Оксигену перебуває в стані  $sp^3$ -гібридизації.
- Спирти — полярні сполуки. Електронна густина зв'язку  $O \leftarrow H$  зміщена до більш електронегативного атома Оксигену.
- За хімічною будовою розрізняють первинні, вторинні й третинні спирти.
- Насиченим одноатомним спиртам властива структурна ізомерія, зумовлена будовою карбонового скелета, положенням гідроксильної групи і міжкласова ізомерія спирти — етери.
- Спирти мають вищі порівняно з вуглеводнями температури плавлення і кипіння, більшу густину внаслідок утворення водневих зв'язків між молекулами. У багатоатомних спиртів значення цих констант ще більші.
- Унаслідок утворення водневих зв'язків спирти розчинні у воді.
- Повне окиснення спиртів відбувається до вуглекислого газу і води; часткове окиснення одноатомних спиртів — до альдегідів і карбонових кислот, а діоли й тріоли окиснюються до поліфункціональних сполук.
- Спирти вступають у реакції заміщення з розривом зв'язку  $O-H$  (з металічним натрієм) або зв'язку  $C-OH$  (із гідроген галогенідами).
- Дегідратація насичених одноатомних спиртів відбувається, залежно від умов, із утворенням алкенів або етерів.
- Між вуглеводневим радикалом і гідроксигрупою спостерігається взаємний вплив. Порівняно з водою спирти менш енергійно взаємодіють із металічним натрієм, а порівняно з насиченими вуглеводнями — легше окиснюються.

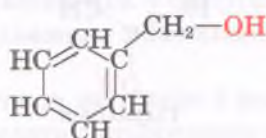


- Багатоатомні спирти реагують за однією або кількома гідроксигрупами.
- Одноатомні, зокрема метанол і етанол, та багатоатомні, такі як гліцерол і етиленгліколь, спирти широко застосовують, тому їх виробляють у промислових масштабах.
- Уживання алкоголю справляє отруйну дію на організм людини. Це може врешті-решт призвести до хвороби, що супроводжується деградацією особистості.

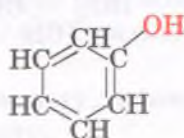


## § 28. ФЕНОЛ

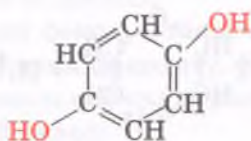
**Склад і будова молекули.** Ароматичні вуглеводні також мають гідроксильні похідні. Сполуки, в молекулах яких гідроксильна група міститься в бічному ланцюзі, належать до спиртів, а ті, в яких вона безпосередньо сполучена з бензеновим ядром, — до **фенолів**. Назву **фенол** має також найпростіший із фенолів — одноатомний —  $C_6H_5OH$ :



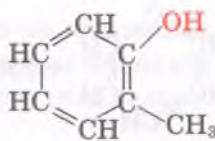
Фенілметанол  
(ароматичний спирт)



Фенол



Гідрохінон (фенол)

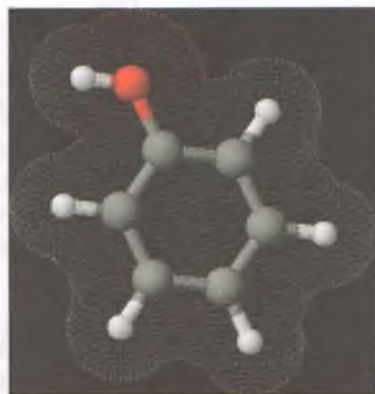


Орто-крезол (фенол)

Модель молекули фенолу наведено на мал. 95.

**Фізичні властивості.** Фенол — кристалічна речовина, безбарвна, має характерний запах. У разі зберігання в нещільно закритій посудині внаслідок окиснення набуває рожевого кольору. Фенол — низькоплавка речовина ( $t_{пл} = 40,8^\circ C$ ).

Помістимо пробірку з фенолом у посудину з гарячою водою: речовина розплавиться. У холодній воді фенол розчиняється погано, з утворенням емульсії. Проте якщо додати у про-



Мал. 95. Модель молекули фенолу

бірку з фенолом гарячої води, спостерігається швидке розчинення. Фенол утворює водневі зв'язки з молекулами води.

Складіть схему утворення водневих зв'язків між молекулами води і фенолу.

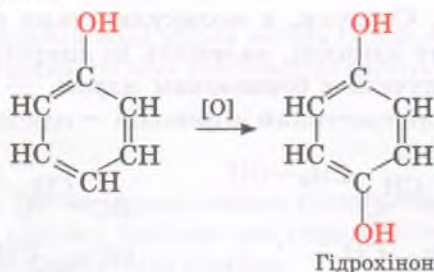
**Хімічні властивості.** За наявності в молекулі фенолу гідроксильної групи можна припустити його подібність до одноатомних спиртів, а за наявності бензенowego ядра — подібність до бензену. З'ясуємо це.

### Реакції фенолу

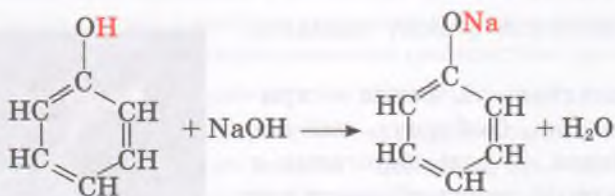
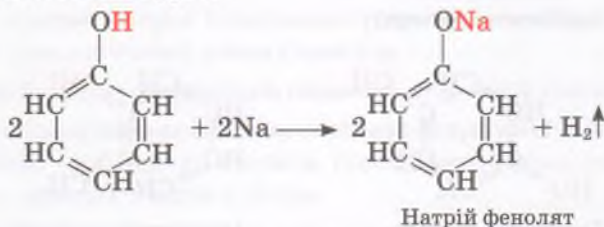
#### Повне окиснення (горіння)



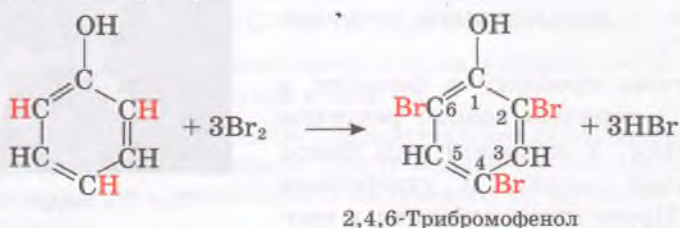
#### Часткове окиснення



#### Заміщення у гідроксильній групі:



#### у бензеновому ядрі:

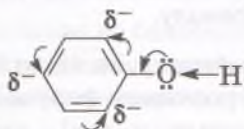




Пригадайте, як взаємодіє етанол з металічним натрієм. Складіть відповідне рівняння реакції.

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

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



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

Справді, етанол не реагує з розчином лугу, а фенол вступає в цю реакцію як кислота з утворенням феноляту.

Зважаючи на кислотні властивості фенолу, його називають ще *карболовою кислотою*, хоча це дуже слабка кислота. У цьому можна переконатися на досліді.

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



Отже, фенол — слабкіша кислота, ніж вугільна, оскільки остання витісняє його з феноляту.

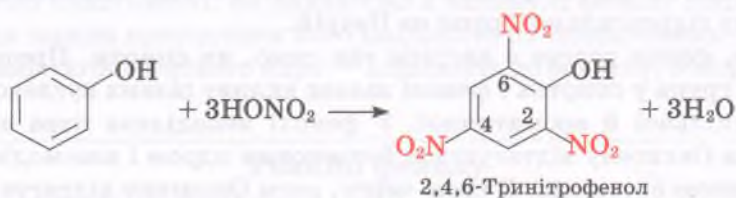
У реакціях фенолу з натрієм і лугом виявляється вплив бензенового ядра на гідроксильну групу. З'ясуємо, як впливає гідроксигрупа на бензенове ядро. У результаті спряження вільних електронних пар атома Оксигену з  $\pi$ -електронною системою бензенового ядра підвищується його електронна густина в *орто*- та *пара*-положеннях. Фенол легко вступає в реакції **електрофільного заміщення**, наприклад, із бромом.

Пригадайте, чи взаємодіє бензен із бромною водою.

До розчину фенолу у воді добавимо бромної води. Вона знебарвлюється, розчин каламутніє і згодом випадає білий осад трибромфенолу. Відбувається реакція бромовування.



Легко відбувається і реакція нітрування фенолу. Якщо бензен нітрується за допомогою нітрувальної суміші (суміш нітратної і сульфатної кислот), то фенол утворює однозаміщену похідну в результаті дії розбавленої нітратної кислоти, а тризаміщену — під дією концентрованої кислоти:

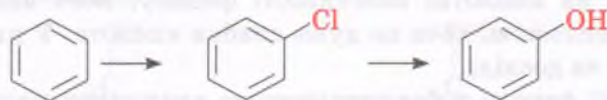


Зробіть самостійно висновок про взаємний уплив гідроксогрупи і бензенного ядра в молекулі фенолу.

*Характерною реакцією фенолу, за якою його можна виявити серед інших речовин, є реакція з розчином ферум(III) хлориду.*

Приготуємо розчин фенолу у воді, додаваючи її доти, доки емульсія перетвориться на розчин. Додавимо декілька краплин розчину ферум(III) хлориду. Спостерігаємо забарвлення рідини в темно-фіолетовий колір. У результаті реакції утворюється комплексна сполука (її формулу не наводимо через складність будови).

**Добування.** Фенол видобувають із кам'яновугільної смоли. Інший спосіб — переробка бензену за такою схемою:



Складіть рівняння хімічних реакцій за цією схемою.

**Застосування.** Фенол було вперше виділено з кам'яновугільної смоли в першій половині XIX ст. Його застосування тісно пов'язане з розвитком синтетичної органічної хімії. Фенол є вихідною речовиною для виробництва барвників, лікувальних засобів, пластичних мас, вибухових речовин. До останніх належить розглянутий вище тринітрофенол, або *пiкринова кислота*.

Фенол має антисептичні властивості, що їх було виявлено ще у другій половині XIX ст. Завдяки цьому розчин фенолу (5% -й) використовують для знезаражування приміщень, хірургічних інструментів, його додавають до деяких сортів мила, ним протрують деревину, щоб запобігти її гниттю.

Дезінфікувальна дія фенолу полягає в тому, що під його впливом відбувається руйнування білків (вони згортаються), а через це припиняється життєдіяльність бактерій.

Фенол — токсична речовина, він може спричинити опік шкіри. Оскільки фенол використовується в різних галузях промисловості, то разом з іншими промисловими викидами він потрапляє у стічні води,



тим самим забруднюючи довкілля і впливаючи на екологічну рівновагу. Щоб запобігти цьому, фенол окиснюють до нешкідливих речовин або видаляють за допомогою розчинників.

### Висновки

- У молекулах фенолів функціональні гідроксильні групи сполучені безпосередньо з бензеновим ядром.
- Фенол розчиняється у воді завдяки утворенню водневих зв'язків.
- Електрони атома Оксигену гідроксильної групи спряжені з  $\pi$ -електронною системою бензенового ядра.
- Фенол вступає в реакції за гідроксильною групою і бензеновим ядром.
- Гідроксильна група так впливає на бензенове ядро, що зростає його активність у реакціях з електрофільними реагентами, зокрема полегшується заміщення атомів Гідрогену переважно в положеннях 2-, 4-, 6-.
- Під впливом бензенового ядра послаблюється зв'язок  $O-H$  у гідроксильній групі, і фенол виявляє кислотні властивості.
- Фенол виявляють за реакцією з ферум(III) хлоридом.
- Основне промислове джерело фенолу — кам'яновугільна смола.
- Фенол — антисептик, але він отруйний для людини.



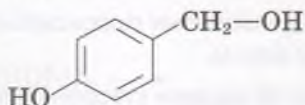
### Завдання для самоконтролю

1. У чому полягає відмінність хімічної будови ароматичних спиртів і фенолів?
2. Поясніть розчинність фенолу у воді.
3. Згрупуйте хімічні реакції фенолу за гідроксильною групою та бензеновим ядром.
4. Які реакції доводять, що фенол має кислотні властивості?
5. До якого типу належить реакція фенолу з лугом?
6. У чому полягає вплив гідроксильної групи на бензенове ядро (порівняйте з бензеном)?
7. Поясніть вплив бензенового ядра на гідроксильну групу (порівняйте з метанолом).
8. На якій властивості фенолу ґрунтується його застосування як антисептика?
9. Який вплив чинить фенол на довкілля? Для відповіді скористайтеся допоміжною літературою.

### Додаткові завдання

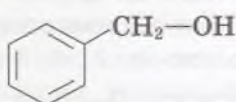
10. Поясніть орієнтувальну дію гідроксильної групи в молекулі фенолу.
11. Складіть хімічну схему, що пояснює взаємний вплив атомів у молекулі фенолу.

12. Складіть рівняння реакцій за наведеною схемою перетворень:  
 Етин  $\longrightarrow$  Бензен  $\longrightarrow$  Хлоробензен  $\longrightarrow$  Фенол  $\longrightarrow$  2,4,6-Трибромо-фенол.
13. У трьох пробірках містяться етанол, гліцерол і розчин фенолу. Як розрізнити вміст пробірок за фізичними і хімічними властивостями цих сполук?
14. Зробіть припущення щодо хімічних властивостей сполуки такої будови:

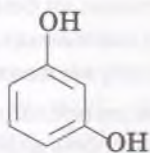


Складіть рівняння відповідних хімічних реакцій.

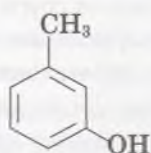
15. До яких класів належать сполуки такої будови?



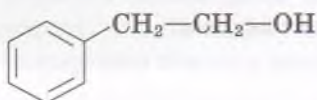
1



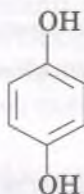
2



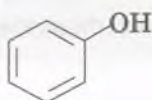
3



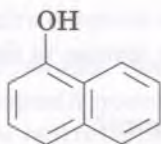
4



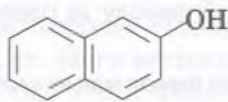
5



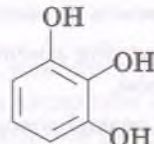
6



7



8



9

16. Укажіть серед названих вище сполук ізомери і гомологи:

А ізомери — 1 і 6, 2 і 5; гомологи — 1 і 5

Б ізомери — 1 і 3, 2 і 5, 7 і 8; гомологи — 1 і 4

В ізомери — 1 і 2; гомологи — 4 і 6.

17. Обчисліть масу 60 %-го розчину натрій гідроксиду, необхідного для взаємодії з фенолом, що утворився з бензену об'ємом 100 мл (густина бензену становить 0,8 г/см<sup>3</sup>).
18. Якої маси фенол треба взяти, щоб виготовити 2 %-й розчин карболової кислоти масою 10 кг, якщо масова частка домішок у фенолі становить 6 %?



# Альдегіди і кетони. Карбонові кислоти

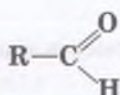
## Нові поняття і терміни:

альдегід, кетон, карбонільна, альдегідна функціональні групи, формалін, реакція «срібного дзеркала», реакція Кучерова.

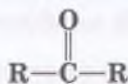


## § 29. АЛЬДЕГІДИ І КЕТОНИ

**Склад і будова молекул.** Альдегіди і кетони належать до так званих **карбонільних сполук**, тобто таких, що містять функціональну **карбонільну групу**  $\text{—C=O}$ . У альдегідах ця група сполучена з атомом Гідрогену та з вуглеводневою групою, а в кетонах — з двома вуглеводневими групами. Загальні їх формули такі:



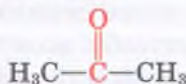
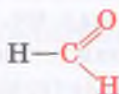
Альдегіди



Кетони

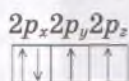
Функціональну групу  $\text{—CHO}$  називають **альдегідною**. Назва походить від слів *алкоголь* і *дегідрування* (тобто дегідрований алкоголь).

Найпростіший альдегід — **метаналь** (мурашиний, або *формальдегід*), найпростіший кетон — **пропанон** (ацетон).

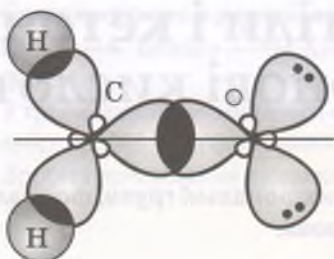
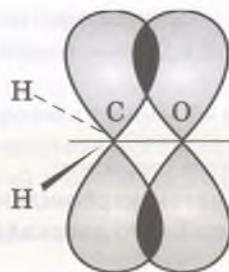


У карбонільній групі атом Карбону утворює три  $\sigma$ -зв'язки, розміщені під кутом  $120^\circ$  один до одного. Тому цілком імовірно, що атоми Карбону й Оксигену перебувають у стані  $sp^2$ -гібридизації, і  $\sigma$ -зв'язок між ними утворюється за рахунок перекривання гібридних електронних орбіталей.

Як саме відбувається  $sp^2$ -гібридизація електронних орбіталей в атома Оксигену? Його електронна формула  $1s^2 2s^2 2p^4$ .



У момент утворення молекули в результаті «змішування» двох  $s$ - і трьох  $p$ -електронів (разом п'ять) утворюються три гібридні електронні орбіталі, з яких дві несуть по два електрони, а одна — один електрон. Одноелектронна орбіталь перекривається із такою атома Карбону з утворенням  $\sigma$ -зв'язку (мал. 96).

Мал. 96. Схема утворення  $\sigma$ -зв'язків у молекулі метаналюМал. 97. Схема утворення  $\pi$ -зв'язку в молекулі метаналю

Негібридизовані  $p$ -електронні орбіталі атомів Карбону й Оксигену перекриваються з утворенням  $\pi$ -зв'язку (мал. 97). Так між атомами Карбону й Оксигену встановлюється подвійний зв'язок. Із подібною схемою утворення зв'язку ви ознайомилися під час вивчення будови етену.

Слід зазначити, що проблему гібридизації для атомів Оксигену в науці остаточно не розв'язано.

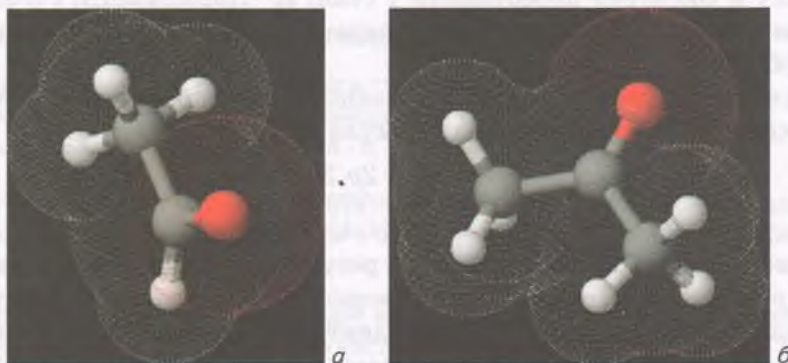
**Ізомерія. Номенклатура.** Насиченим альдегідам і кетонам властива структурна ізомерія карбонового скелета.

Складіть декілька формул структурних ізомерів альдегідів і кетонів, наведених у таблиці 14.

Систематичні назви альдегідів утворюють від назв алканів із відповідним числом атомів Карбону додаванням суфікса *-аль*, назви кетонів — додаванням суфікса *-он*. Положення карбонільної групи в кетонах позначають цифрою перед суфіксом, пронумерувавши карбоний ланцюг від кінця, до якого ближче розміщена ця група.

Формули і назви деяких інших карбонільних сполук наведено в таблиці 14, масштабні моделі молекул — на мал. 98.

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



Мал. 98. Моделі молекул етаналю (а) й пропанону (б)

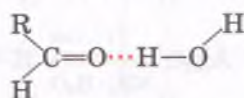


Таблиця 14

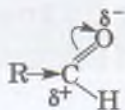
## Характеристики альдегідів і кетонів

Назва		Структурна формула	Температура кипіння, °C
систематична	тривіальна		
Метаналь	Мурашиний альдегід (формальдегід)	$\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{H}-\text{C}-\text{H} \end{array}$	-21
Етаналь	Оцтовий альдегід (ацетальдегід)	$\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{H}_3\text{C}-\text{C}-\text{H} \end{array}$	21
Пропаналь	Пропіоновий альдегід	$\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{H}_3\text{C}-\text{CH}_2-\text{C}-\text{H} \end{array}$	49
Бутаналь	Масляний альдегід	$\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{H}_3\text{C}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{C}-\text{H} \end{array}$	79
Пропанон	Ацетон	$\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{H}_3\text{C}-\text{C}-\text{CH}_3 \end{array}$	56
Бутан-2-он	Метилетилкетон	$\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{H}_3\text{C}-\text{C}-\text{CH}_2-\text{CH}_3 \end{array}$	80
Пентан-3-он	Діетилкетон	$\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{H}_3\text{C}-\text{CH}_2-\text{C}-\text{CH}_2-\text{CH}_3 \end{array}$	102

Нижчі альдегіди і кетони, 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.** Рівняння реакцій альдегідів і кетонів наведено на с. 163. У карбонільній групі електронна густина подвійного зв'язку зміщена до електронегативного атома Оксигену, тому молекула поляризується:



Альдегіди більш полярні, ніж кетони, оскільки вуглеводневі групи кетонів зменшують частковий позитивний заряд на атомі Карбону карбонільної групи. Унаслідок цього альдегіди є хімічно активнішими сполуками порівняно з кетонами.

Альдегіди легко **окиснюються** різними окисниками до карбонових кислот. Кетони окиснюються лише сильними окисниками, причому з розривом карбон-карбонових зв'язків з обох боків карбонільної групи. У результаті утворюється суміш карбонових кислот.

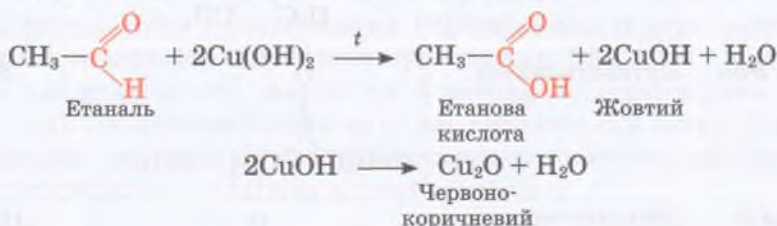
Альдегіди вступають у реакції окиснення з купрум(II) гідроксидом й амоніаковим розчином аргентум(I) оксиду.



### Лабораторний дослід 6

#### Окиснення етаналю купрум(II) гідроксидом

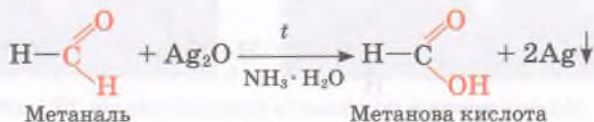
У пробірці добудьте купрум(II) гідроксид, добавивши до кількох краплин розчину купрум(II) сульфату розчину натрій гідроксиду. До осаду, що утворився, добавте 1 мл етаналю, суміш нагрійте. У пробірці утворюється жовтий осад купрум(I) гідроксиду, що відразу розкладається на купрум(I) оксид червоного кольору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



### Лабораторний дослід 7

#### Окиснення етаналю аргентум(I) оксидом

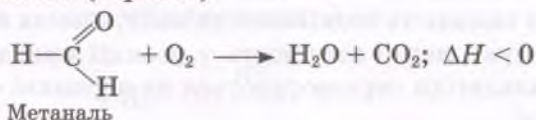
Ретельно вимийте пробірку содою і водою. Налийте в неї 1 мл амоніакового розчину аргентум(I) оксиду й обережно добавте декілька краплин метаналю. Нагрійте пробірку в стакані з гарячою водою. На стінках посудини осідає металічне срібло:



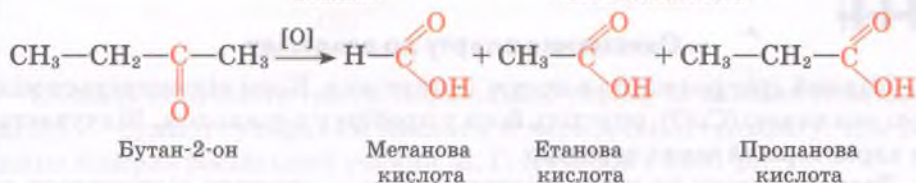
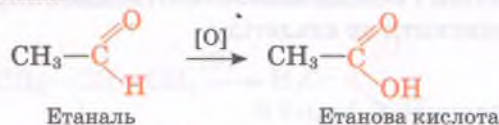


## Реакції альдегідів і кетонів

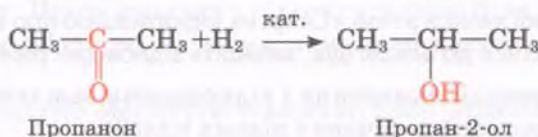
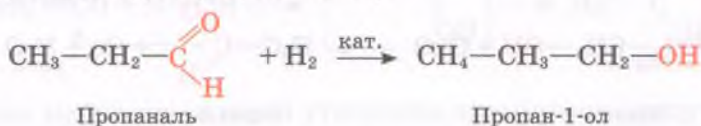
### Повне окиснення (горіння)



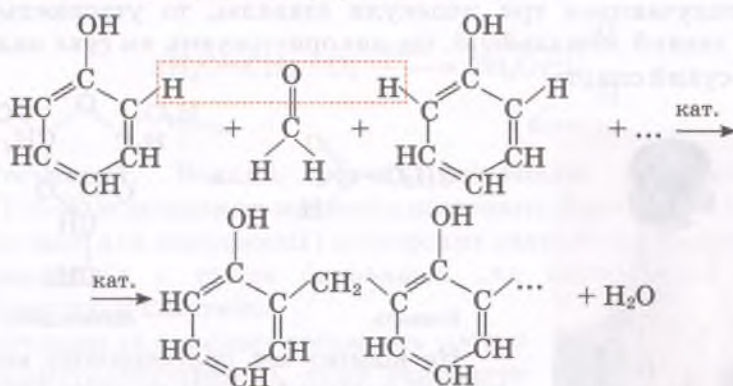
### Часткове окиснення



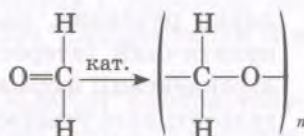
### Приєднання водню (відновлення)



## Поліконденсація фенолу і формальдегіду



## Полімеризація



Цю реакцію називають реакцією «срібного дзеркала» (мал. 99).

Проведені реакції *характерні для альдегідів*, їх використовують для аналітичного визначення цих сполук.

Зважаючи на наявність подвійного зв'язку, можна припустити, що карбонільні сполуки легко вступають у реакції **приєднання**. Приєднуючи водень, альдегіди перетворюються на первинні спирти, а кетони — на вторинні.

Отже, альдегіди і кетони відновлюються до спиртів. З іншого боку, спирт можна окиснити до альдегіду.

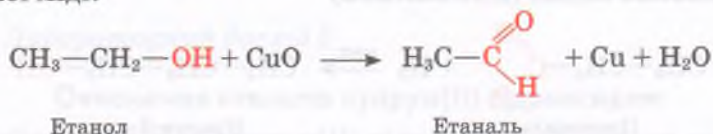


### Лабораторний дослід 8

#### Окиснення спирту до альдегіду

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

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



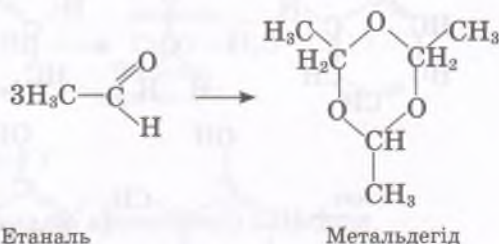
Доповніть свої записи в темі «Спирти» інформацією про властивість спиртів окиснюватися до альдегідів, запишіть відповідне рівняння реакції.

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

Альдегіди здатні до реакцій **полімеризації** та **поліконденсації**. Якщо сполучаються три молекули етаналю, то утворюється тример, так званий *метальдегід*, що використовують як сухе паливо під назвою «сухий спирт»:



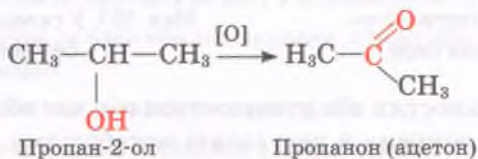
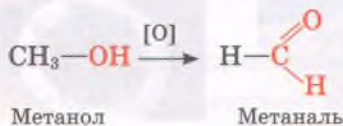
Мал. 99. Реакція «срібного дзеркала»



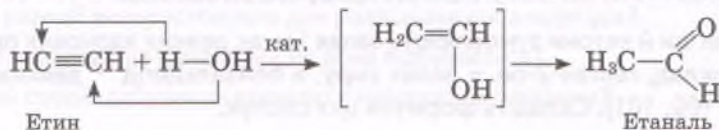
На відміну від полімеризації внаслідок реакції поліконденсації не лише утворюється полімер, а й виділяється низькомолекулярна речовина, наприклад вода. Значний практичний інтерес становить реакція поліконденсації формальдегіду і фенолу, в результаті якої утворюється цінний полімер — *феноло-формальдегідна смола*.



**Добування.** Загальний метод добування альдегідів і кетонів — *окиснення спиртів*: первинних — до альдегідів, вторинних — до кетонів. Метаналь утворюється окисненням метанолу, етаналь — окисненням етанолу, ацетон — окисненням пропан-2-олу:

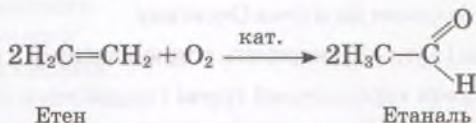


Етаналь добувають також *гідратацією етину* за наявності каталізатора — суміші сульфатної кислоти й меркурій(II) сульфату. Цю реакцію відкрив російський учений М. Г. Кучеров у 1881 р.:



Реакція відбувається через утворення проміжного продукту — вінілового спирту. Проте сполука з гідроксигрупою біля атома, сполученого подвійним зв'язком, нестійка, тому відбувається її ізомеризація в альдегід.

Оскільки сполуки Меркурію токсичні, було розроблено інший спосіб добування етаналю — окисненням етену, що є доступнішою сировиною:

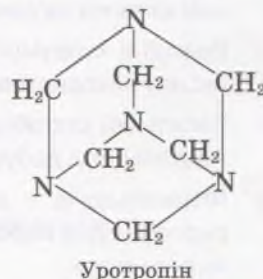


**Застосування.** Водний розчин метаналю (формальдегіду) (36 — 37 % -й) із домішкою метанолу називають *формаліном* і застосовують як засіб для дезінфекції і консервант анатомічних препаратів.

Формальдегід є також сировиною для виробництва фенолоформальдегідних пластмас.

Із метаналю та амоніаку добувають уротропін (гексаметилентетрамін), який використовують у виробництві пластмас, вибухівки та як лікарський засіб. Сполука є харчовою добавкою (консервант Е 239), використання її в Україні заборонено.

Етаналь (оцтовий альдегід) використовують для добування етанової (оцтової) кислоти.





Мал. 100. Кетон гептан-2-он зумовлює запах сиру



Мал. 101. У складі деяких плодів є бензальдегід

У невеликих кількостях він утворюється під час обміну речовин у організмі людини, зокрема в результаті метаболізму алкоголю. Надлишок ацетальдегіду дуже шкідливий і викликає неприємні відчуття, це використовується для лікування від алкоголізму.

**Пропанон** (ацетон) — добрий розчинник лаків і нітроцелюлози; використовується також у синтезі лікарських засобів.

Альдегіди й кетони зумовлюють запах і смак деяких харчових продуктів: наприклад, гептан-2-он — запах сиру, а бензальдегід — деяких фруктів (мал. 100, 101). Складіть формули цих сполук.

## Висновки

- Альдегіди і кетони містять функціональну карбонільну групу.
- У карбонільній групі атоми Карбону й Оксигену перебувають у стані  $sp^2$ -гібридації.
- Подвійний зв'язок карбонільної групи поляризований за рахунок зміщення електронної густини до атома Оксигену.
- Нижчі альдегіди і кетони утворюють водневі зв'язки з водою.
- Наявність полярної карбонільної групи і подвійного зв'язку визначає хімічну активність альдегідів і кетонів, причому альдегіди значно активніші за кетони.
- Альдегіди легко окиснюються до карбонових кислот, відновлюються до первинних спиртів, здатні до реакцій полімеризації.
- Кетони відновлюються до вторинних спиртів і окиснюються з розриванням хімічних зв'язків і утворенням сумішей карбонових кислот.
- Реакції з купрум(II) гідроксидом та амоніаковим розчином аргентум(I) оксиду використовують для аналітичного визначення альдегідів.
- Загальний спосіб добування альдегідів і кетонів — окиснення спиртів. Ацетальдегід добувають також гідратацією етину.
- Формальдегід є сировиною для виробництва пластмас; етаналь — сировина для виробництва етанової кислоти; пропанон використовують як розчинник.



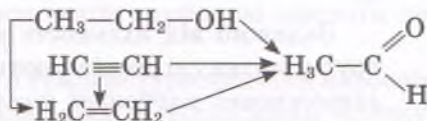


## Завдання для самоконтролю

1. Яку функціональну групу називають карбонільною?
2. Що таке альдегідна група?
3. У чому полягає відмінність хімічної будови альдегідів і кетонів?
4. Поясніть утворення  $sp^2$ -гібридних електронних орбіталей атома Оксигену.
5. Поясніть утворення подвійного зв'язку в карбонільній групі.
6. Чи можливі водневі зв'язки між молекулами: альдегідів; кетонів; альдегідів і води; кетонів і води?
7. Чим зумовлена хімічна активність альдегідів?
8. Чому кетони менш активні порівняно з альдегідами?
9. Наведіть рівняння реакцій приєднання за місцем подвійного зв'язку в карбонільній групі.
10. До яких сполук відбувається окиснення: альдегідів; кетонів?
11. Які реакції використовують для розпізнавання альдегідів?
12. Що таке реакція Кучерова? Як вона відбувається?
13. Який спосіб добування етанолу є найперспективнішим?

## Додаткові завдання

14. Чому в назвах альдегідів, на відміну від кетонів, не зазначають місце функціональної групи?
15. Поясніть причину відмінності температур кипіння сполук з близькими відносними молекулярними масами:  
пентан  $+36^\circ\text{C}$ , бутаналь  $+79^\circ\text{C}$ , бутан-1-ол  $+117,4^\circ\text{C}$ .
16. Укажіть продукт часткового окиснення пропанону:  
А метанова кислота  
Б етанова кислота  
В пропанова кислота  
Г етанол.
17. Які продукти утворюються в результаті поступового гідрування альдегіду акролеїну  $\text{H}_2\text{C}=\text{CH}-\text{CHO}$ ? Складіть рівняння реакцій, назвіть продукти. Які властивості речовин виявляються в цих реакціях?
18. Складіть рівняння реакцій за схемою:



19. Як хімічним способом розрізнити гліцерол і етаналь?
20. Як хімічним способом розпізнати етанол?
21. Як двома способами добути етанол із етину?
22. Складіть рівняння реакцій за наведеною схемою перетворень:

Етаналь  $\rightarrow$  А  $\rightarrow$  Етен  $\rightarrow$  Б  $\rightarrow$  Бутан.

23. Альдегід масою 2,4 г прореагував із амоніаковим розчином аргентум(I) оксиду, при цьому виділилося срібло масою 7,2 г. Визначте хімічний склад альдегіду і напишіть його структурну формулу, а також формулу ізомеру.
24. У реакції «срібного дзеркала» з розчину етаналю масою 10 г було відновлено срібло масою 7,2 г. Визначте відсотковий уміст розчину.
25. У результаті окиснення пропан-2-олу утворився пропан-2-он. Визначте суму коефіцієнтів у рівнянні реакції:
- А 20    Б 30    В 14    Г 7
26. Альдегіди — токсичні сполуки, завдають шкоди нервовій системі, здатні накопичуватись в організмі. Водночас вони містяться в автомобільних вихлопних газах, а етанол є продуктом метаболізму алкоголю. Підготуйте повідомлення про користь і шкоду альдегідів.



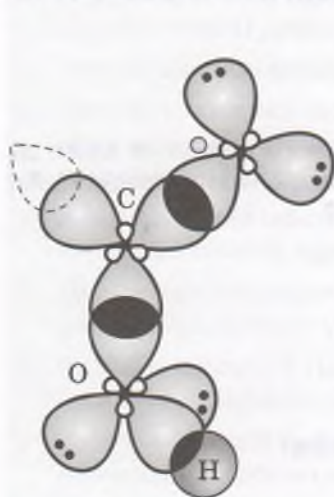
## § 30. НАСИЧЕНІ ОДНООСНОВНІ КАРБОНОВІ КИСЛОТИ

### Нові поняття і терміни:

димер, ангідрид, хлорангідрид.

**Склад і будова молекул. Номенклатура.** Вам відомо, що до **карбонічних кислот** належать сполуки, в молекулах яких вуглеводнева група

з'єднана з функціональною **карбоксильною групою**  $\text{—C}\begin{smallmatrix} \text{O} \\ \parallel \\ \text{OH} \end{smallmatrix}$ . Пригадайте, що її назва походить від назв двох груп, із яких вона складається: **кар-**



Мал. 102. Схема утворення  $\sigma$ -зв'язків у карбоксильній групі

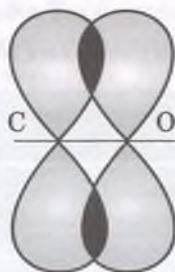
**бонільної**  $\text{—C}\begin{smallmatrix} \text{O} \\ \parallel \end{smallmatrix}$  та **гідроксильної**  $\text{—OH}$ .

Схема утворення хімічних зв'язків у карбоксильній групі показана на мал. 102, а в карбонільній — на мал. 103.

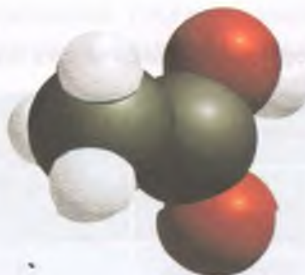
Порівняйте ці схеми з подібними для спиртів і альдегідів. Відповідь поясніть.

Залежно від кількості карбоксильних груп у молекулі розрізняють *одно-, дво-, багатоосновні карбонічні кислоти*, залежно від будови вуглеводневого ланцюга — *насичені, ненасичені, ароматичні кислоти*. Розглянемо *насичені одноосновні карбонічні кислоти* (їх характеристики наведено в таблиці 15, модель молекули етанової кислоти — на мал. 104).



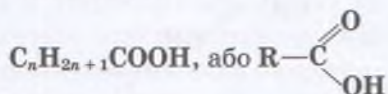


Мал. 103. Схема утворення  
π-зв'язку в карбонільній групі



Мал. 104. Модель молекули  
етанової кислоти

Загальна формула цих сполук:



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

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

Із деякими карбовоними кислотами вам доводилося стикатися. Пекучий біль від укусу мурашки спричинений мурашиною кислотою, яка входить до складу отрути, що її виділяє комаха. Столовий оцет — це розчин етанової (оцтової) кислоти. Масляна кислота надає неприємних запаху і смаку згірклого вершковому маслу, вона виділяється також потовими залозами людини.

**Фізичні властивості.** Перші три кислоти в гомологічному ряду за стандартних умов — рідини з різким кислим запахом, добре розчинні у воді; наступні шість — олійсті рідини з неприємним запахом; починаючи з кислоти з десятьма атомами Карбону в молекулі — тверді речовини (див. табл. 15, мал. 105). Розчинність карбонових кислот у воді зменшується зі зростанням відносної молекулярної маси, вищі карбонові кислоти нерозчинні у воді.

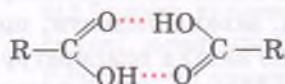
Порівнюючи температури кипіння карбонових кислот і близьких за відносними молекулярними масами спиртів, можна виявити, що кислоти киплять за значно вищих температур, отже, вони ще більше асоційовані, ніж спирти. Справді, водневі зв'язки між молекулами карбонових кислот устанавлюються за двома центрами, внаслідок чого утворюються димери:



Мал. 105. Чиста  
(«льодяна») етанова  
кислота замерзає за  
температури 16,7 °C

## Характеристики насичених одноосновних карбонових кислот

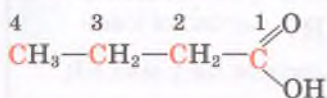
Назва		Структурна формула	Температура, °C		$K_{\text{дис}} \cdot 10^5$ (25 °C)
систематична	тривіальна		плавлення	кипіння	
Метанова	Мурашина (форміатна)	$\text{H}-\text{C} \begin{array}{l} \text{=O} \\ \text{OH} \end{array}$	8	101	17,7
Етанова	Оцтова	$\text{H}_3\text{C}-\text{C} \begin{array}{l} \text{=O} \\ \text{OH} \end{array}$	17	118	1,8
Пропанова	Пропіонова	$\text{H}_3\text{C}-\text{CH}_2-\text{C} \begin{array}{l} \text{=O} \\ \text{OH} \end{array}$	-21	141	1,3
Бутанова	Масляна	$\text{H}_3\text{C}-(\text{CH}_2)_2-\text{C} \begin{array}{l} \text{=O} \\ \text{OH} \end{array}$	-5—8	164	1,5
Пентанова	Валеріанова	$\text{H}_3\text{C}-(\text{CH}_2)_3-\text{C} \begin{array}{l} \text{=O} \\ \text{OH} \end{array}$	-35	185	1,6
Гексанова	Капронова	$\text{H}_3\text{C}-(\text{CH}_2)_4-\text{C} \begin{array}{l} \text{=O} \\ \text{OH} \end{array}$	3—4	205	1,4
Гептанова	Енантова	$\text{H}_3\text{C}-(\text{CH}_2)_5-\text{C} \begin{array}{l} \text{=O} \\ \text{OH} \end{array}$	7—10	223	1,4
Гекса-деканова	Пальмітинова	$\text{H}_3\text{C}-(\text{CH}_2)_{14}-\text{C} \begin{array}{l} \text{=O} \\ \text{OH} \end{array}$	62—64	215	—
Окта-деканова	Стеаринова	$\text{H}_3\text{C}-(\text{CH}_2)_{16}-\text{C} \begin{array}{l} \text{=O} \\ \text{OH} \end{array}$	69—70	232	—



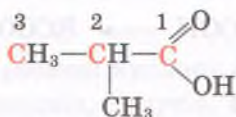
На розрив таких зв'язків і руйнування асоціатів треба затратити додаткову енергію, що спричиняє підвищення температур кипіння цих сполук.



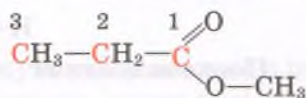
**Ізомерія** карбонових кислот зумовлена *структурною ізомерією* вуглеводневого ланцюга та *міжкласовою ізомерією* карбонові кислоти — естери:



Бутанова кислота



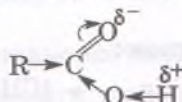
2-Метилпропанова кислота



Метилловий естер пропанової кислоти (метилпропанат)

**Хімічні властивості.** Рівняння реакцій карбонових кислот наведено на с. 172. Їхні хімічні властивості визначаються наявністю функціональної карбоксильної групи, яка формально поєднує в собі дві групи — карбонільну й гідроксильну. Проте це якісно нова група, властивості якої не є сумою властивостей карбонільної та гідроксильної груп, оскільки вони впливають одна на одну.

Цей вплив виявляється в тому, що в карбоксильній групі електронна густина хімічного зв'язку зміщується до карбонільного атома Оксигену, внаслідок цього зв'язок O—H поляризується, і Гідроген набуває здатності відщеплюватись у вигляді протона:



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



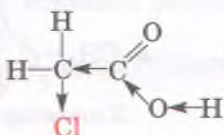
### Лабораторний дослід 9

#### Дія етанової кислоти на індикатори

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

Проте карбонові кислоти (крім метанової) — слабкі електроліти, мають низькі ступені дисоціації (див. табл. 15). Через це в рівняннях йонних реакцій формули карбонових кислот записують у молекулярному вигляді.

Кислотність карбонових кислот зростає, якщо у вуглеводневій групі з'являється замісник, здатний притягувати до себе електронну густина (створювати негативний індукційний ефект), наприклад атом галогену:



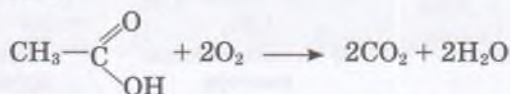
Хлороетанова кислота

## Реакції насичених одноосновних карбонових кислот

## Електролітична дисоціація



## Повне окиснення



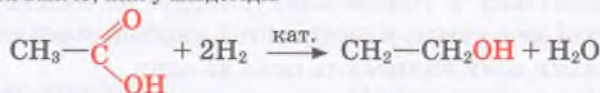
Етанова кислота

## Часткове окиснення

Стійкі проти дії окисників (крім мурашиної кислоти)

## Відновлення

Відбувається важче, ніж у альдегідів



Етанова кислота

Етанол

## Нейтралізація



Метанова кислота

Натрій метаноат

## Заміщення

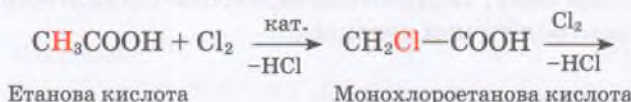
за карбоксильною групою:



Етанова кислота

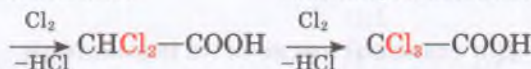
Магній етаноат

за вуглеводневою групою:



Етанова кислота

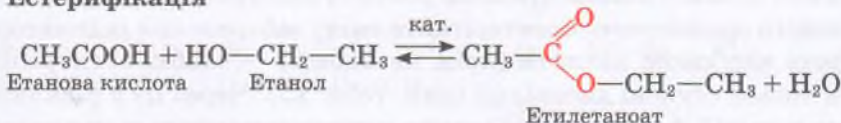
Монохлоретанова кислота



Дихлоретанова кислота

Трихлоретанова кислота

## Естерифікація

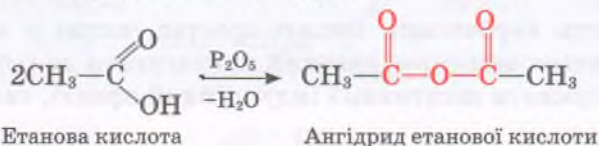


Етанова кислота

Етанол

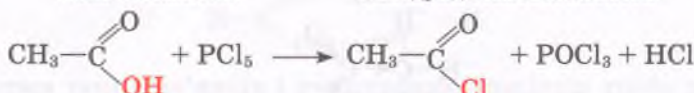
Етилетаноат

## Утворення ангідридів і хлорангідридів



Етанова кислота

Ангідрид етанової кислоти

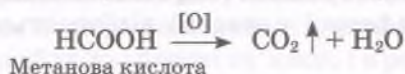
Хлорангідрид  
етанової кислоти



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

Складіть схему зміщення електронної густини в молекулі трихлороетанової кислоти.

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



Відновлюються карбонові кислоти до спиртів у жорстких умовах (за участю каталізаторів).

Карбонові кислоти подібно до неорганічних взаємодіють із активними металами, основними оксидами й основами, солями слабших кислот і утворюють сполуки з йонним зв'язком – солі.



### Лабораторний дослід 10

#### Взаємодія етанової кислоти з магнієм

До розчину етанової кислоти у пробірці додайте порошок магнію або ошурки магнію. Спостерігайте виділення газу.

Доведіть, що цей газ — водень. Складіть рівняння реакції.



### Лабораторний дослід 11

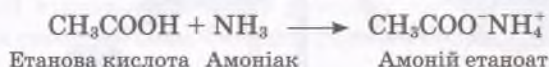
#### Взаємодія етанової кислоти з лугом

У пробірку з розчином натрій гідроксиду об'ємом 1—2 мл додайте декілька краплин фенолфталеїну. До забарвленого розчину по краплинах добавляйте розчин етанової кислоти до знебарвлення вмісту пробірки.

Що засвідчує цей дослід? Складіть рівняння реакції.

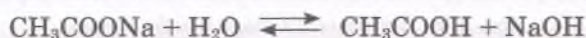
Із побуту вам відома взаємодія питної соди з оцтом. Поясніть реакцію, що відбувається. Складіть рівняння реакції.

Карбонові кислоти реагують також із амоніаком з утворенням солі:



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

Солі карбонових кислот, як солі слабких кислот, здатні до гідролізу:





Визначте експериментально, яку реакцію мають розчини солей етанової кислоти.

Карбонові кислоти вступають й у специфічні реакції. Унаслідок зміщення електронної густини до карбоксильної групи атоми Гідрогену біля найближчого атома Карбону також набувають рухливості. Під дією хлору чи броду та за наявності каталізатора вони **заміщуються** на атоми галогену.

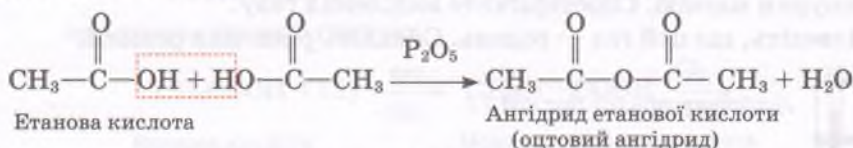
Карбонові кислоти реагують зі спиртами. За нагрівання та наявності каталізатора (сульфатної кислоти) відбувається реакція **естерифікації**.

До суміші етанолу із сульфатною кислотою додамемо етанової кислоти і суміш нагріємо. Пошириться приємний запах, це засвідчує утворення речовини, що належить до класу **естерів**.

Якщо реакцію проводити у приладі, зображеному на мал. 106, продукт реакції, як летку сполуку, можна зібрати під шаром льоду. Про естери йтиметься в наступній темі.

Своєрідними реакціями карбонових кислот є їхня здатність утворювати ангідриди і хлорангідриди.

Утворення **ангідридів** (від *ан...* і грец. ὑδωρ — зневоднений) — це реакція міжмолекулярної дегідратації, що відбувається за наявності водовбирних засобів, наприклад фосфор(V) оксиду:



Інакше діє на карбонові кислоти фосфор(V) хлорид — у результаті утворюються **хлорангідриди** карбонових кислот. У цій реакції гідроксильна група кислоти замінюється на атом Хлору.

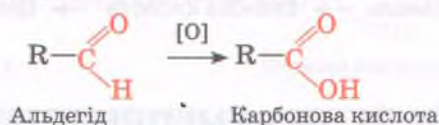


Мал. 106. Добування естеру в лабораторії

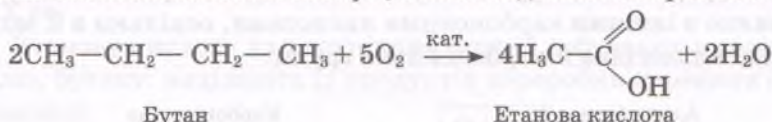


Ангідриди і хлорангідриди належать до хімічно активних речовин. Це зумовлює їх застосування в органічному синтезі.

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



Існують промислові способи добування карбонових кислот *окисненням алканів* киснем повітря за наявності каталізаторів. Під час реакції розриваються карбон-карбові зв'язки, і в результаті утворюється суміш оксигеновмісних сполук, з якої виділяють карбові кислоти:



Доступність вуглеводневої сировини забезпечує перспективність цього способу.

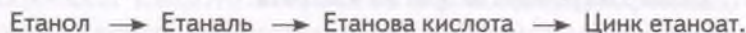
Які ще карбові кислоти можуть утворитися в результаті наведеної реакції? Складіть відповідні рівняння реакцій.



### Завдання для самоконтролю

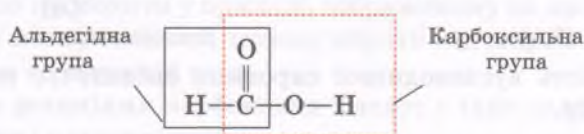
1. Які сполуки належать до класу карбових кислот?
2. Поясніть за мал. 102 і 103 утворення хімічних зв'язків у карбоксильній групі.
3. Поясніть розподіл електронної густини в карбоксильній групі.
4. Складіть формули ізомерів масляної кислоти.
5. Чому карбові кислоти мають вищі температури кипіння порівняно зі спиртами близької відносної молекулярної маси?
6. Поясніть утворення водневих зв'язків між молекулами карбових кислот.
7. Чому хлороетанова кислота сильніша за етанову? Відповідь поясніть.
8. Назвіть типи хімічних зв'язків у амоній етанові.
9. Натрієву сіль трихлороетанової кислоти використовують як гербіцид. Складіть формулу цієї сполуки.
10. Плюмбум(II) етановат — отруйну речовину — називають ще «свинцевим цукром» за солодкий смак. Складіть формулу сполуки.
11. У яких реакціях карбові кислоти поведуться подібно до неорганічних? Складіть рівняння реакцій.
12. Етанова кислота витискує карбонатну кислоту з її солей. Про що це свідчить? Складіть рівняння реакції.
13. Назвіть специфічні реакції карбових кислот. Складіть рівняння реакцій.
14. Поясніть відношення карбових кислот до окисників і відновників.

15. Укажіть способи добування карбонових кислот:  
 А гідратування етену      В дегідратація спиртів  
 Б окиснення парафінів    Г окиснення альдегідів.
16. Складіть рівняння за такою схемою хімічних перетворень:

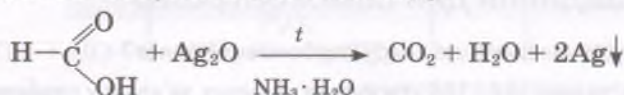


## § 31. ОКРЕМІ ПРЕДСТАВНИКИ КАРБОНОВИХ КИСЛОТ

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



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



Проведемо цю реакцію. У ретельно вимиту колбу чи пробірку наллємо амоніаковий розчин аргентум(І) оксиду, до нього обережно по стінках посудини доллємо 1 мл метанової кислоти і злегка нагріємо суміш. Утвориться «срібне дзеркало» на стінках колби або випаде чорний осад металічного срібла.

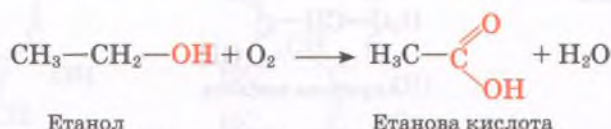
■ Складіть рівняння реакцій метанової кислоти за карбоксильною групою.

Мурашину кислоту використовують як відновник у техніці, як протраву під час фарбування тканин. Хворі на невралгію 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 мурашину кислоту в органічному синтезі.

**Етанова (ацетатна, оцтова) кислота** — найвідоміша з карбонових кислот, що пов'язано передусім з її застосуванням у харчовій промисловості як консерванту і смакової приправи (9 %-й розчин). У вигляді винного оцту вона відома людям здавна, оскільки утворюється внаслідок бродіння (скисання) вина.



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



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

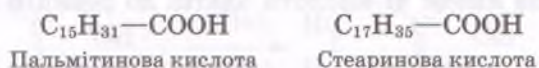
Незважаючи на широке застосування, оцтову кислоту було виділено майже в чистому вигляді лише у XVIII ст., на початку XIX ст. було визначено її хімічний склад, а структурну формулу — в середині XIX ст.

Етанову кислоту для технічних потреб добувають окисненням етанолу, бутану, виділяють із продуктів переробки деревини (термічний розклад).

Складіть рівняння згаданих реакцій окиснення.

Галузі застосування етанової кислоти — органічний синтез, виробництво штучного шовку, лікарських засобів, засобів захисту рослин, харчова промисловість.

Пальмітинова і стеаринова кислоти належать до вищих насичених карбонових кислот. Вуглеводневі ланцюги становлять значну частину їхніх молекул. У пальмітиновій кислоті в цьому ланцюзі міститься п'ятнадцять послідовно сполучених атомів Карбону, в стеариновій — сімнадцять:



Модель стеаринової кислоти наведено на мал. 107.

Складіть структурні формули цих кислот.

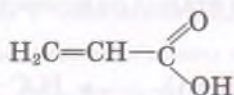
Вищі карбонові кислоти становлять інтерес тому, що беруть участь в утворенні жирів, а натрієві та калієві солі є основою мила (відповідно твердого й рідкого).

Складіть формулу солі натрій стеарату (твердого мила).



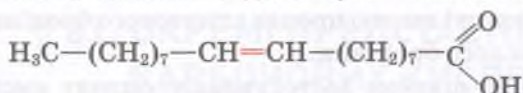
Мал. 107. Модель молекули стеаринової кислоти

Ненасичені карбонові кислоти містять у вуглеводневій частині кратні зв'язки. Найпростіша з таких кислот — акрилова:



Акрилова кислота

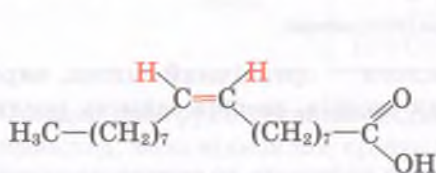
Олеїнова кислота належить до вищих ненасичених карбонових кислот:



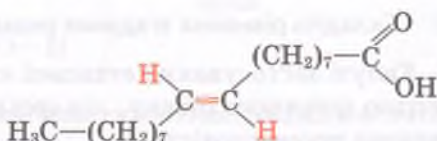
Олеїнова кислота

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

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



*цис*-Ізомер  
олеїнова кислота ( $t_{\text{пл}} = 14^\circ\text{C}$ )



*транс*-Ізомер  
елаїдинова кислота ( $t_{\text{пл}} = 52^\circ\text{C}$ )

За карбоксильною групою ненасичені кислоти вступають у такі самі реакції, як і насичені, з утворенням солей, естерів, ангідридів тощо.

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



### Лабораторний дослід 12

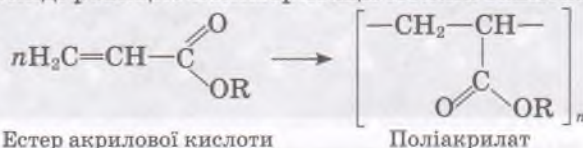
#### Відношення олеїнової кислоти до бромної води й розчину калій перманганату

У дві пробірки налейте по декілька мілілітрів олеїнової кислоти, додайте в одну з них такий самий об'єм бромної води, у другу — розчин калій перманганату. Спостерігайте зміну забарвлення.

Що засвідчують ці досліди?

Складіть рівняння реакції олеїнової кислоти з бромом.

Ненасичені кислоти можуть утворювати полімери. Важливими полімерами на основі естерів акрилової кислоти є поліакрилати. У загальному вигляді реакцію полімеризації можна записати так:

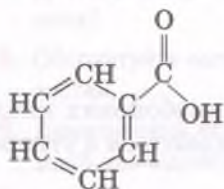


Естер акрилової кислоти

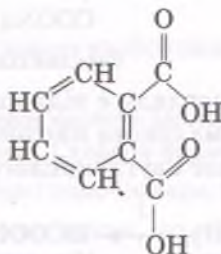
Поліакрилат



До ароматичних карбонових кислот належать бензойна і фталева:



Бензойна кислота



Фталева кислота

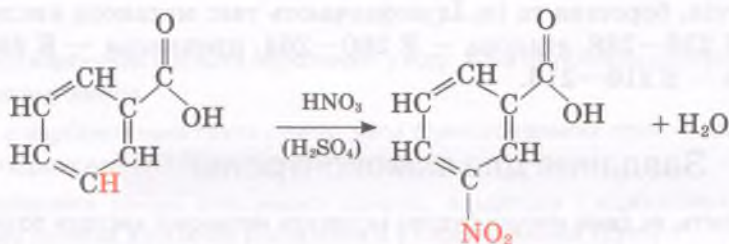


Мал. 108. Сублімація бензойної кислоти

Це безбарвні кристалічні речовини. Бензойна кислота цікава тим, що легко сублимує. Складемо прилад для сублимації. На дно великої пробірки покладемо невелику кількість кристалів бензойної кислоти. Усередині закріпимо через пробку малу пробірку з холодною водою. Під час нагрівання бензойна кислота сублимує і кристалізується на поверхні малої пробірки (мал. 108).

За карбоксильною групою бензойна і фталева кислоти вступають у типові реакції карбонових кислот: нейтралізації, естерифікації тощо.

Ароматичне вуглеводневе ядро також бере участь у хімічних реакціях, а саме в реакціях заміщення. Карбоксильна група як орієнтант II роду спрямовує заміщувальну групу в *мета*-положення відносно себе:

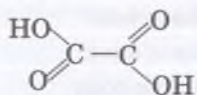


Бензойна кислота

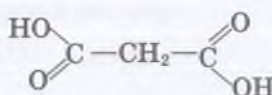
мета-Нітробензойна кислота

Бензойна кислота у вигляді естерів міститься в деяких оліях. Застосовують її для виробництва ароматичних речовин, барвників, ліків, як антисептичний і протигрибковий засіб у медицині, як харчову добавку (консервант Е 210).

Щавлева та маленова кислоти — найпростіші серед дикарбонових кислот:



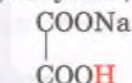
Щавлева кислота



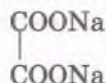
Маленова кислота

Ці кислоти утворюють функціональні похідні подібно до монокарбонових кислот як за однією, так і за двома карбоксильними групами.

Наприклад, існують два ряди солей — кислі й середні:

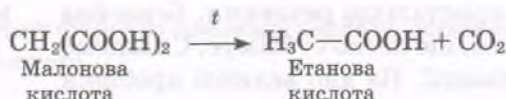
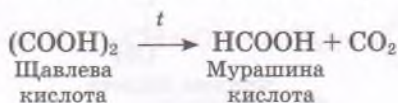


Кисла сіль



Середня сіль

Цікавим із хімічного погляду є відношення дикарбонових кислот до нагрівання: щавлева й маленова кислоти розкладаються з утворенням монокрбонових кислот і вуглекислого газу:



Солі щавлевої (оксалатної) кислоти — *оксалати* містяться в багатьох рослинах, зокрема у щавлі, салаті. Нерозчинні у воді оксалати Кальцію в разі порушеного обміну речовин в організмі можуть відкладатися в нирках, спричиняючи нирково-кам'яну хворобу.

Щавлеву кислоту використовують для знищення іржі та накипу на металевих виробках, а також у шкіряному виробництві як протраву.

Деякі карбонові кислоти і їхні солі використовують як харчові добавки (консерванти й регулятори кислотності) у процесах виготовлення рибних пресервів, повидла, мармеладу, вина й безалкогольних напоїв, соусів, борошна та ін. Їх позначають так: метанова кислота та її солі — Е 236—238, етанова — Е 260—264, пропанова — Е 280—283, бензойна — Е 210—213.



### Завдання для самоконтролю

1. Поясніть, як саме хімічна будова молекули метанової кислоти позначається на її властивостях.
2. Що таке оцет із погляду хімії?
3. За яких умов відбувається оцтовокисле бродіння?
4. Установіть відповідність між кислотою та її характеристикою:

Назва кислоти	Характеристика кислоти
	А вступає в реакцію «срібного дзеркала»
1 олеїнова	Б ненасичена
2 щавлева	В ароматична
3 бензойна	Г дикарбонова
4 стеаринова	Д утворює мило

5. У чому полягає відмінність між олеїновою та елаїдиною кислотами?

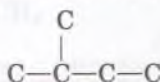


6. Які реакції відбуваються внаслідок нагрівання дикарбонових кислот?
7. Доведіть на прикладах різноманітність карбонових кислот. Чим вона зумовлена?
8. Обґрунтуйте галузі застосування карбонових кислот, виходячи з їх властивостей.
9. Диметилловий естер фталевої кислоти (диметилфталат) використовують як засіб для відлякування комах. Складіть формулу цієї сполуки.
10. Фталева кислота має *мета*- і *пара*-ізомери. Складіть формули цих сполук.
11. Наведіть приклади органічних сполук, що містять йонні зв'язки.
12. Установіть відповідність між формулами речовин і класами, до яких вони належать:

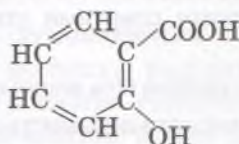
Формула речовини	Клас речовин
1 $C_2H_5CHO$	А гліколі
2 $C_6H_5COOH$	Б естери
3 $C_4H_9OH$	В карбонові кислоти
4 $C_2H_5COOCH_3$	Г спирти
	Д альдегіди

### Додаткові завдання

13. Складіть формули монокарбонових кислот з таким скелетом:



14. Вищі карбонові кислоти нерозчинні у воді, хоча це полярні сполуки. Поясніть причину явища.
15. Чи є карбоксильна група сумою двох функціональних груп — карбонільної та гідроксильної? Відповідь обґрунтуйте.
16. Порівняйте хімічні властивості спиртів, альдегідів і карбонових кислот. У чому полягає взаємний вплив атомів у карбоксильній групі?
17. Яка кислота сильніша: хлороетанова чи дихлороетанова; хлороетанова чи флуороетанова?
18. Яка речовина більшою мірою виявляє кислотні властивості: бензойна чи *мета*-хлоробензойна кислота? Поясніть на основі взаємного впливу атомів у молекулі.
19. Яка реакція відбуватиметься швидше — між магнієм і сульфатною кислотою чи між магнієм і етановою кислотою? Відповідь поясніть.
20. Як відбуватиметься реакція саліцилової кислоти



з лугом? Складіть рівняння реакції та поясніть відповідь.

21. Складіть рівняння послідовних хімічних перетворень: від метану до етанової кислоти; від етену до етанової кислоти.
22. Запропонуйте спосіб добування бензойної кислоти.
23. Чи можлива *цис*-, *транс*-ізомерія акрилової кислоти?
24. Складіть рівняння реакцій акрилової кислоти: повне окиснення; приєднання водню, хлору; полімеризація; нейтралізація; естерифікація (утворення акрилату).
25. Складіть рівняння хімічних реакцій бензойної кислоти.
26. Парафін — це суміш вищих насичених вуглеводнів, стеарин — суміш стеаринової, пальмітинової та незначної кількості олеїнової кислот. Запропонуйте хімічний спосіб розпізнавання парафіну й стеарину.
27. Ангідрид фталевої кислоти утворюється внаслідок відщеплення молекули води від двох карбоксильних груп. Складіть схему утворення цієї сполуки. Перевірте правильність відповіді за довідником.
28. Складіть рівняння реакцій за такою схемою перетворень:



29. Обчисліть масу безводної етанової кислоти та її 10 %-го розчину, що їх треба використати для приготування 80 %-го розчину етанової кислоти масою 225 г.

## Висновки

- Молекули карбонових кислот містять вуглеводневу і функціональну карбоксильну групи.
- За кількістю карбоксильних груп розрізняють моно-, ди-, полікарбонові кислоти, за характером вуглеводневої групи — насичені, ненасичені, ароматичні карбонові кислоти.
- Загальна формула одноосновних карбонових кислот  $\text{C}_n\text{H}_{2n+1}\text{COOH}$ .
- Одноосновні карбонові кислоти ізомерні естерам.
- Карбонові кислоти утворюють асоціати (димери) 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 із металами, основами, основними оксидами, солями, індикаторами, спиртами, утворюють ангідриди і галогенангідриди.
- Мило — це натрієва або калієва сіль вищої карбонової кислоти.
- Одноосновні карбонові кислоти добувають окисненням альдегідів, спиртів, алканів.



# Естери. Жири. Мило

## Нові поняття і терміни:

функціональна естерна група, тригліцерид, реакція омилення, синтетичні мийні засоби, детергенти, поверхнево-активні речовини, біодизель.

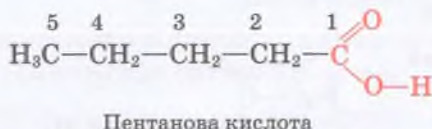
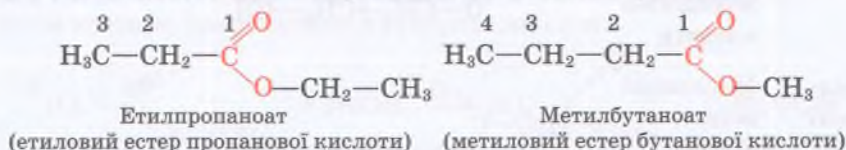


## § 32. ЕСТЕРИ

**Склад і будова молекул. Ізомерія. Номенклатура.** Загальна форму-

ла естерів  $\text{R}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{O}-\text{R}$ , група  $\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{O}-$  — функціональна естерна група.

Естерам властива структурна ізомерія карбонового скелета і міжкласова ізомерія естери — карбонові кислоти. Наприклад:



**Назви естерів** за систематичною номенклатурою утворюють від назви карбонового ланцюга, що містить естерну групу (нумерація — від естерної групи), додаванням назви алкільної групи (префікс) і суфікса *-оат*. Інакше кажучи, префікс походить від назви спирту, а корінь — від назви карбонової кислоти, з якої утворився естер.

**Фізичні властивості.** Естери — переважно рідини, безбарвні, мають приємний запах, зазвичай 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 таблиці 16.

Запах фруктів, квітів зумовлюється переважно естерами. Деякі рослини, наприклад ясенець, виділяють таку велику кількість естерів, що навколо рослини утворюється естерна хмаринка. Естери — легкозаймисті речовини. Якщо піднести полум'я до цієї хмаринки, вона швидко займеться і згорить, не встигнувши підпалити

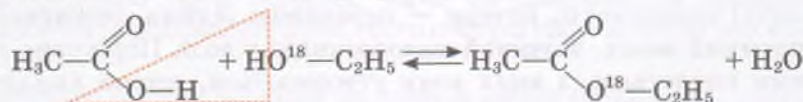
саму рослину. Подібне явище описане в біблійній оповіді про неопалиму купину — кущ, який горить і не згорає.

Таблиця 16

## Характеристики естерів

Назва		Структурна формула	Температура, °C	
систематична	тривіальна		плавлення	кипіння
Метил-метаноат	Метиловий естер мурашиної кислоти	$\text{H}-\text{C}(=\text{O})-\text{O}-\text{CH}_3$	-99	31
Етил-метаноат	Етиловий естер мурашиної кислоти	$\text{H}-\text{C}(=\text{O})-\text{O}-\text{CH}_2-\text{CH}_3$	-80	54
Пропіл-метаноат	Пропіловий естер мурашиної кислоти	$\text{H}-\text{C}(=\text{O})-\text{O}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_3$	-93	81
Метил-етаноат	Метиловий естер оцтової кислоти	$\text{H}_3\text{C}-\text{C}(=\text{O})-\text{O}-\text{CH}_3$	-98	57
Етил-етаноат	Етиловий естер оцтової кислоти	$\text{H}_3\text{C}-\text{C}(=\text{O})-\text{O}-\text{CH}_2-\text{CH}_3$	-84	77

**Реакція естерифікації.** Ви вже знаєте про реакцію між карбоновими кислотами і спиртами, в результаті якої утворюються естери і виділяється вода. Це реакція *естерифікації*:

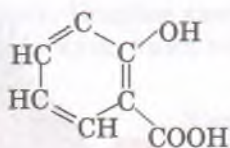


Методом мічених атомів було доведено, що молекула води утворюється за рахунок гідроксильної групи кислоти й атома Гідрогену спирту: атом Оксигену-18, уведений у молекулу спирту, переходить до молекули естеру, отже, він не бере участі в утворенні молекули води.

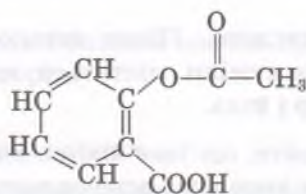
Реакція естерифікації відбувається в кислому середовищі і є оборотною — одночасно з естерифікацією відбувається **гідроліз** естеру до



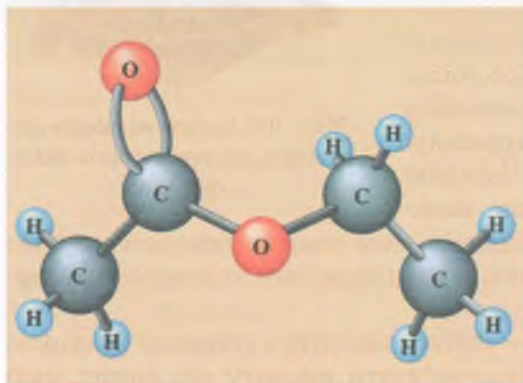




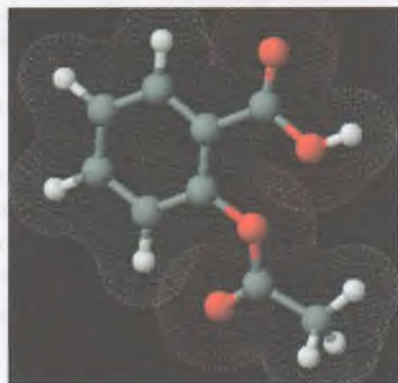
Саліцилова кислота



Аспірин



Мал. 110. Модель молекули етилетаноату



Мал. 111. Модель молекули аспірину

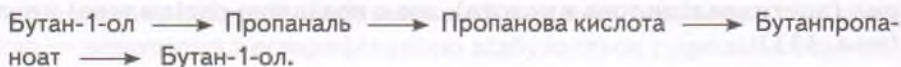


### Завдання для самоконтролю

1. Назвіть функціональну групу естерів.
2. Складіть структурні формули всіх ізомерів (їх п'ять) складу  $C_5H_{10}O_2$ .
3. Яку реакцію називають реакцією естерифікації?
4. Поясніть, як утворюється молекула води в результаті реакції естерифікації.
5. Етилметаноат використовують як ароматизатор у виробництві мила. Складіть рівняння реакції утворення цього естеру.
6. Складіть рівняння реакцій, у результаті яких утворюються естери, наведені в таблиці 16.
7. Установіть відповідність між лівою і правою частинами завдання:

Зміщення рівноваги реакції естерифікації	Умови зміщення рівноваги
1 у бік утворення естеру	А збільшення концентрації кислоти
2 у бік утворення кислоти і спирту	Б хімічне зв'язування кислоти
	В відгонка спирту
	Г відгонка естеру

8. Складіть рівняння реакцій за наведеною схемою перетворень:



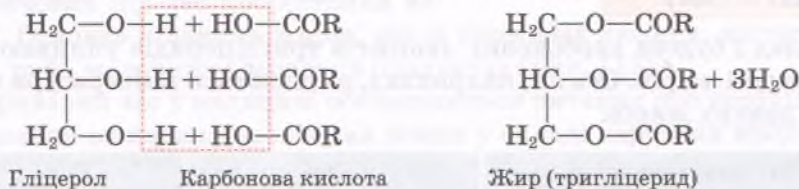




## § 33. ЖИРИ. МИЛО

**Склад і будова молекул.** Серед естерів найбільше значення мають **тригліцериди**, утворені триатомним спиртом гліцеролом і вищими (жирними) карбоновими кислотами — пальмітиною, стеариною, олеїною, лінолевою та ін. Рослинні й тваринні жири на 98 % складаються з тригліцеридів.

Ці сполуки утворюються за реакцією естерифікації:



Модель молекули тристеарину наведено на мал. 112.

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

**Фізичні властивості.** Жири легші за воду, нерозчинні в ній, але розчиняються в неполярних органічних розчинниках.



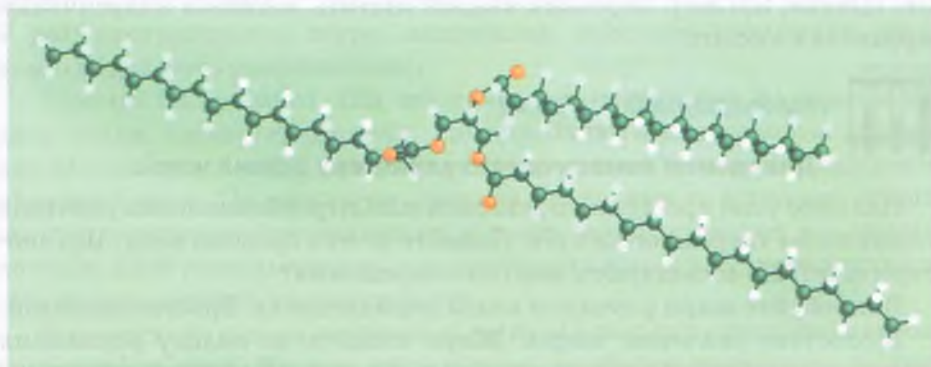
### Лабораторний дослід 13

#### Розчинність жирів

У 4 пробірки налейте по 1 мл води, етанолу, бензину, діетилового (медичного) етеру і додайте в кожную з них по кілька краплин рідкого жиру. Збовтайте вміст пробірок. У якій пробірці жир розчинився?

Нагрійте пробірку з водою. Чи розчинився жир?

Зробіть висновок.



Мал. 112. Модель молекули тристеарину



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

**П'єр Ежен Марселен  
Бертло  
(1827—1907)**

Склад і будова карбонових ланцюгів тригліцеридів впливають на властивості жирів. Ось як, наприклад, змінюються температури плавлення деяких жирів:

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

Як бачимо, жири, утворені насиченими пальмітиновою і стеариною кислотами, тверді, а жир, утворений ненасиченою олеїновою кислотою, — рідкий. Більшість натуральних жирів складається із суміші гліцеридів, тому не мають точки плавлення, а плавляться в певному інтервалі температур, тобто поступово розм'якшуються під дією нагрівання.

Рідкі рослинні жири називають *оліями*. Соняшникова, кукурудзяна, маслинова та інші олії складаються переважно з тригліцеридів ненасичених кислот. До складу твердих тваринних жирів (яловичого, баранячого, свинячого та ін.) і деяких твердих рослинних жирів (пальмового, какао тощо) входять залишки переважно насичених кислот. Цікаво, що жир морських тварин містить залишки ненасичених карбонових кислот.



**Лабораторний дослід 14**

**Доведення ненасиченого характеру рідких жирів**

Налийте у дві пробірки по декілька 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.

**Біологічне значення жирів.** Жири входять до складу рослинних і тваринних клітин і виконують в організмах роль енергетичного резерву: в результаті окиснення жиру масою 1 г виділяється 37,7 кДж



енергії, що вдвічі більше, ніж під час окиснення такої самої маси білка чи вуглеводу. Якщо до організму людини разом із їжею потрапляє енергії більше, ніж витрачається, утворюються жироподібні речовини, що відкладаються у тканинах організму. У такий спосіб він акумулює енергію. Рослини містять жири переважно в насінні й використовують їх як джерело поживних речовин під час проростання насіння. Основна кількість жирів, що їх споживає людина, міститься у м'ясі, рибі, молочних і зернових продуктах (мал. 113).



Мал. 113. Ці продукти містять жири

Тривалий час у медицині обговорюється питання про необхідність зменшення вживання насичених жирів у складі харчових продуктів. Під час засвоєння організмом жири частково розщепляються у дванадцятипалій кишці з утворенням жирних кислот. Жири, тверді за кімнатної температури, такі як вершкове масло, «постачають» організм насиченими кислотами, що він може їх використовувати для синтезу холестерину — складової жовчі. Надлишок холестерину може відкладатися на стінках артерій і звужувати їх, тим самим обмежуючи доступ збагаченої киснем крові до серця і мозку. Отже, насичені жири спричиняють небажане збільшення рівня холестерину в крові. Тому дієтологи вважають, що кориснішими є жири, утворені ненасиченими кислотами, тобто олії (маслинова, кукурудзяна, соняшникова та ін.). У складі соняшникової олії, наприклад, масова частка ненасичених карбонових кислот становить 91%. Ненасичені жирні кислоти містять також жирні сорти риби, печінка тріски (з неї добувають риб'ячий жир, що використовується як лікарський засіб).

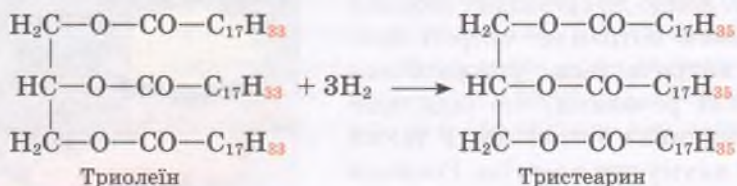
Насіння рослин є промисловим джерелом добування олій. Їх виділяють методом холодного, гарячого пресування сировини або екстракцією за допомогою розчинників. Першим способом утворюється найцінніша олія, зокрема для медичних потреб; другим способом — гарячого пресування — добувають переважну кількість харчової олії. У разі екстрагування жиру, наприклад, гексаном розчинник після цього видаляють упарюванням.

**Хімічні властивості.** Під час тривалого зберігання на повітрі під дією тепла, світла, ферментів, що виробляються мікроорганізмами, які містяться в повітрі, жири гіркнуть, у них з'являються неприємні запах і смак. Це результат процесів окиснення та гідролізу жирів, що супроводжуються утворенням вільних жирних кислот, альдегідів, кетонів. Щоб уповільнити процес окиснення жирів у харчових продуктах, до них додають антиоксиданти.

У молекулах рідких жирів на відміну від твердих є подвійні карбон-карбонові зв'язки. Як вам добре відомо, за місцем подвійного зв'язку можлива реакція приєднання, зокрема, Гідрогену. У результаті цієї

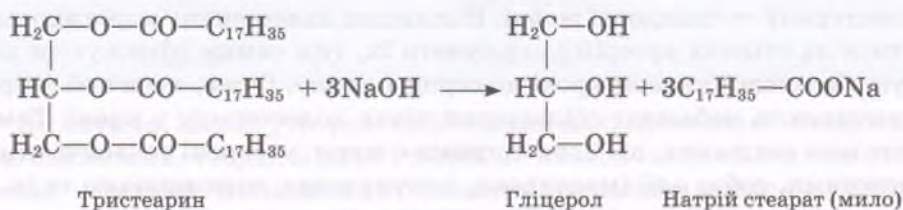


реакції ненасичена сполука перетворюється на насичену, а рідкий жир — на твердий:



Процес тверднення (*гідрування*) жирів покладено в основу виробництва маргарину (від грец. *μαργαρος* — перламутр). На маргарин переробляють олії, риб'ячий і китовий жири. Гідруванням цих дешевих продуктів добувають тверді жири, подібні до вершкового масла. Щоб зробити гідрований жир придатним до вживання, до нього добавляють смакові, ароматичні речовини, барвники.

Жири як естери піддаються *гідролізу*, внаслідок якого утворюються гліцерол і карбонові кислоти. Якщо проводити гідроліз тригліцериду за наявності лугу, то утворюються солі вищих карбонових кислот, відомі під назвою *мила*:



Оскільки лужним гідролізом жиру добувають *мило*, цю реакцію називають *омиленням* жиру.

Натрієві солі вищих карбонових кислот — основна складова твердого мила, солі Калію — рідкого мила.

Для добування мила з жиру в промисловості замість лугу використовують соду  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ . Мило, добуте безпосередньо внаслідок реакції жиру із содою, називається *ядровим*, воно відоме як господарське. Туалетне мило відрізняється від господарського наявністю добавок: барвників, ароматизаторів, антисептиків тощо.

Процес виготовлення мила відомий людям здавна (мал. 114, 115). Миловаріння полягало в нагріванні тваринного жиру (сала) з поташем ( $\text{K}_2\text{CO}_3$ ), який вимивали з рослинного попелу. Повторити цей стародавній процес ви зможете в лабораторії, спостерігаючи демонстраційний дослід.

**Мийна дія мила. Синтетичні мийні засоби.** Мийна дія мила — це складний фізико-хімічний процес. Щоб з'ясувати його суть, звернемося до відомого вам з курсу фізики явища поверхневого натягу. Якщо рідина прилипає до поверхні й розтікається по ній, то відбувається змочування поверхні рідиною. Якщо ж вона збирається в кульку, то кажуть, що рідина не змочує поверхню (мал. 116, 117).





Мал. 114. Так виготовляли мило на початку XVII ст.



Мал. 115. Сучасна миловарня

Частинки бруду і вода мають різну хімічну природу: вода — полярна сполука, частинки бруду (жиру) — зазвичай неполярні. Вода не змочує їх, отже, бруд не змивається. Для поліпшення змочування використовують речовини-посередники, такі як мило. Молекули мила розміщуються між полярними молекулами води і неполярними частинками забруднення і тим самим полегшують змочування бруду водою.

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

Під час миття молекули мила орієнтуються на забрудненій поверхні так, що полярні групи звернені до полярних молекул води, а неполярні вуглеводневі групи — до неполярних частинок бруду. Останні ніби потрапляють в оточення молекул мила і легко змиваються з поверхні водою (мал. 118).

Пригадайте, що таке твердість води.



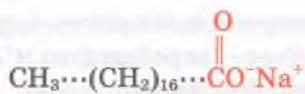
Мал. 116. Рідина не змочує поверхню



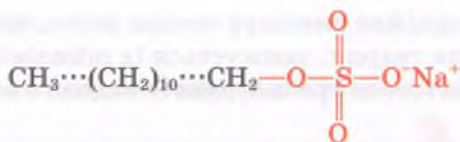
Мал. 117. Жук тримається на поверхні води завдяки поверхневому натягу рідини







Мило



Синтетичний мийний засіб



Мал. 119. Порівняння будови молекул мила і СМЗ

те в одну пробірку розчин мила, в іншу — розчин прального порошку і збовтайте їх вміст.

Де утворюється стійкіша піна? Якого засобу доводиться додавати 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 у природні водойми, фосфати перетворюються на речовини, якими живляться мікроорганізми. Вони починають інтенсивно розмножуватися і спричиняють заболочення цих водойм. Тому до сучасних СМЗ ставлять вимогу: після використання вони мають хімічно чи біогенно розкладатися у природі на нешкідливі речовини, що не забруднюють стічні води. Окрім того, ці засоби треба просто економно використовувати в господарстві.

**Біодизель.** Біодизельне 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 придатна й соняшникова олія, і тваринний жир, зокрема той, що міститься у відходах м'ясної промисловості.

Існує думка, що від нестачі пального людство врятує біодизель. Ми спостерігаємо збільшення площ під посіви ріпаку. Але використання цієї культури для виробництва біодизеля попри всі переваги останнього (високі цетанові числа, до 50–80) 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 транспортувати, зберігати, утилізувати. Збільшення посівних площ під ріпак про-

порційно зменшує посіви зерна, отже, зменшується кількість кормів для тварин, знижується їх поголів'я, а водночас – виробництво м'яса. До того ж треба будувати заводи з виробництва біодизеля.



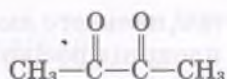
## Завдання для самоконтролю

1. Яка хімічна будова жирів? До якого класу сполук вони належать?
2. У результаті якої хімічної реакції утворюються жири?
3. Чим різняться за складом рідкі й тверді жири?
4. Які особливості реакцій окиснення жирів?
5. Яку хімічну реакцію покладено в основу виготовлення маргарину?
6. Схарактеризуйте біологічне значення жирів.
7. Що таке «омилення» жиру?
8. Чим відрізняється за хімічним складом: тверде мило від рідкого; господарське від туалетного?
9. Поясніть мийну дію мила.
10. Чи можна випрати білизну в морській воді з милом? Відповідь поясніть.
11. Укажіть переваги СМЗ порівняно з милом:
 

<b>А</b> економність	<b>Г</b> утворюють стійку піну
<b>Б</b> не забруднюють довкілля	<b>Д</b> живлять мікроорганізми.
<b>В</b> мийуть у твердій воді	

## Додаткові завдання

12. Яку сполуку ви можете запропонувати як ароматизатор для виготовлення мила із запахом ананасів? Складіть формулу цієї сполуки.
13. У результаті реакції між бензойною кислотою та бензиловим спиртом утворюється естер, що його використовують у медицині для лікування корости. Складіть рівняння реакції утворення цього естеру. Назвіть його.
14. Бензилетаноат має запах жасмину. Складіть рівняння послідовних реакцій добування цього естеру з метану.
15. Як хімічним шляхом добути етиловий естер етанової кислоти, виходячи з етену? Складіть рівняння послідовних реакцій.
16. Запропонуйте хімічний дослід, за допомогою якого можна відрізнити олію від мінерального мастила.
17. Щоб надати маргарину запаху вершкового масла, використовують сполуку діацетил



До якого класу, на вашу думку, належить ця сполука?

18. На упаковці маргарину написано: «Містить лише рослинні олії». Чи правильно це?
19. Мило є сіллю слабкої кислоти і сильної основи, СМЗ — сіль сильної кислоти і сильної основи. Яке значення має ця обставина для прання?



20. Де у побуті відбувається така реакція:  
 Натрій пальмітат  $\rightarrow$  Кальцій пальмітат?
21. Визначте кількість речовини трипальмітину, необхідного для добування рідкого мила масою 1 кг:  
 А 1,26 моль    Б 1,13 моль    В 2,26 моль.

### Висновки

- Естери утворюються в результаті реакції між карбоновими кислотами і спиртами (реакція естерифікації).
- Реакція естерифікації оборотна, одночасно з нею відбувається гідроліз естеру.
- Естери широко використовують у харчовій і парфумерній промисловості.
- Жири — це естери гліцеролу і вищих карбонових кислот.
- Тверді жири утворюються насиченими карбоновими кислотами, рідкі — ненасиченими.
- Жири вступають у реакції окиснення, гідрування (рідкі жири), гідролізу.
- У результаті омилення жирів утворюється мило.
- Під час миття мило є посередником між полярними молекулами води і неполярними частинками бруду.
- Синтетичні мийні засоби на відміну від звичайного мила зберігають мийну дію у твердій воді.

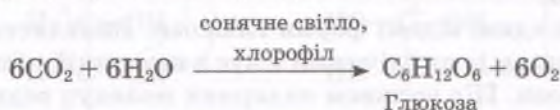
## Вуглеводи

### Нові поняття і терміни:

моно-, ди-, оліго-, полісахариди, перспективні формули, рибоза, дезоксирибоза, оптична ізомерія, штучний шовк.

**Вуглеводи** — найпоширеніший клас природних органічних сполук і важливий компонент організмів, джерело їхньої енергії та будівельний матеріал. Ви вже знаєте про походження назви *вуглеводи*, хімічний склад і деякі властивості *глюкози*, *сахарози*, *крохмалю*, *целюлози*. Тепер розглянемо ці сполуки докладніше.

Передусім пригадайте, як у природі утворюється глюкоза. Процес фотосинтезу відбувається в рослинних клітинах під впливом сонячної енергії та за участю зеленого пігменту хлорофілу, що вбирає цю енергію. Загалом процес фотосинтезу виражають хімічним рівнянням:



У рослинах із глюкози утворюються сахароза, крохмаль, целюлоза.

**Класифікація вуглеводів.** Залежно від складу вуглеводи поділяють на такі групи:

**моносахариди**, або прості вуглеводи (до них належать глюкоза, фруктоза, рибоза). Це поліфункціональні сполуки, гідроксіальдегіди або гідроксикетони, що містять декілька гідроксильних груп та альдегідну або карбонільну групу;

**олігосахариди** можна розглядати як продукти сполучення декількох молекул моносахаридів. Найважливіші з них — **дисахариди** (сахароза, мальтоза, лактоза);

**полісахариди** — полімерні сполуки, продукти конденсації великої кількості молекул моносахаридів (крохмаль, целюлоза).

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

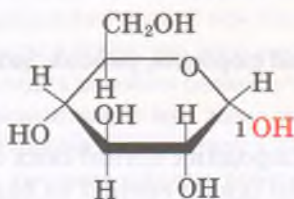
*Належність сполук до класу вуглеводів підкреслюється в їхній назві закінченням -оза.*



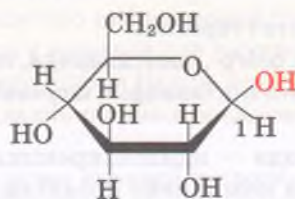
## § 34. ГЛЮКОЗА

**Склад і будова молекули.** Молекулярна формула глюкози  $C_6H_{12}O_6$ .

У кристалічному стані глюкоза існує у вигляді шестичленних циклів, причому п'ять кутів займають атоми Карбону, а один кут — атом Оксигену. Структуру глюкози прийнято зображувати за допомогою так званих *перспективних формул*:



$\alpha$ -Глюкоза

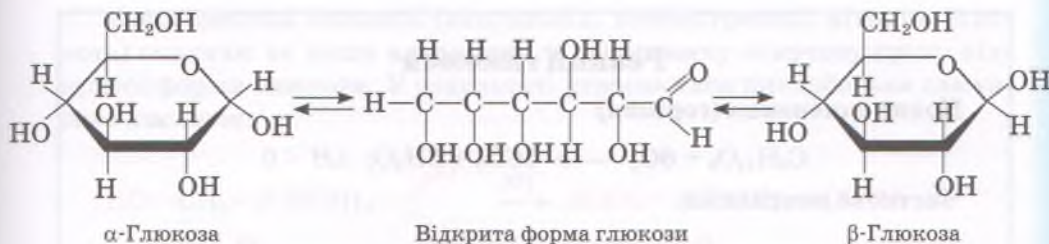


$\beta$ -Глюкоза

У молекулі глюкози містяться п'ять гідроксильних груп. Спосіб розміщення гідроксильної групи біля першого атома Карбону зумовлює існування двох ізомерів глюкози:  $\alpha$ - і  $\beta$ -форм. В  $\alpha$ -глюкозі гідроксильна група розміщена під площиною циклу, а в  $\beta$ -глюкозі — над цією площиною.

Проте це не єдині відомі форми глюкози. Виявляється, що у водних розчинах разом із циклічними існує в невеликій кількості відкрита форма глюкози. Під впливом полярних молекул води відбувається гідратація глюкози, і певна частина гідратованих молекул переходить у відкриту форму:





Схему утворення циклічної форми глюкози наведено на мал. 120.

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

Розрив циклу та його утворення — процес динамічної рівноваги: щойно розкрившись, наступної миті цикл знову замикається, і при цьому приєднання спиртової групи до альдегідної можливе з обох боків площини, тобто може утворитися  $\alpha$ - або  $\beta$ -форма глюкози.

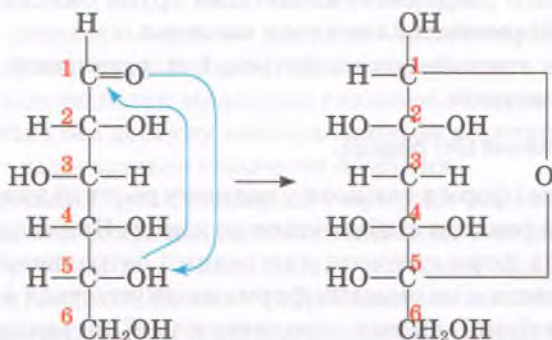
Під час кристалізації співвідношення між  $\alpha$ - і  $\beta$ -формами зберігається, а відкрита форма зникає.

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

Виноградний цукор — це чиста  $\alpha$ -глюкоза, перекристалізацією її з піридину можна добути  $\beta$ -глюкозу. Як ізомери  $\alpha$ - і  $\beta$ -глюкоза мають різні фізичні властивості, зокрема різні температури плавлення.

**Хімічні властивості.** Рівняння реакцій глюкози наведено на с. 198. Наявність функціональних гідроксильних груп, а у відкритій формі ще й альдегідної групи визначає реакції глюкози. За альдегідною групою — це реакції окиснення і відновлення.

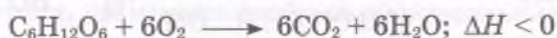
Унаслідок **повного окиснення** глюкози сильними окисниками вона перетворюється на вуглекислий газ і воду.



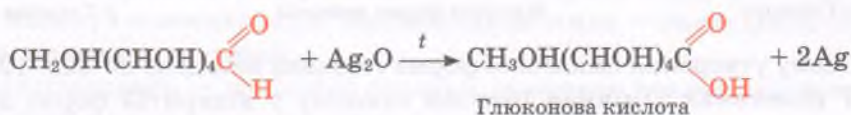
Мал. 120. Схема утворення циклічної форми глюкози

## Реакції глюкози

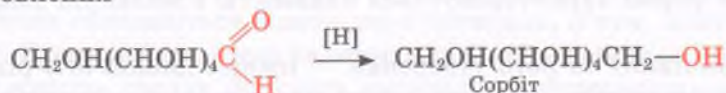
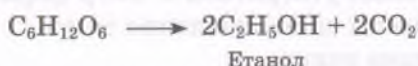
## Повне окиснення (горіння)



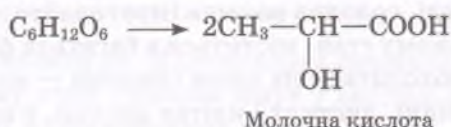
## Часткове окиснення



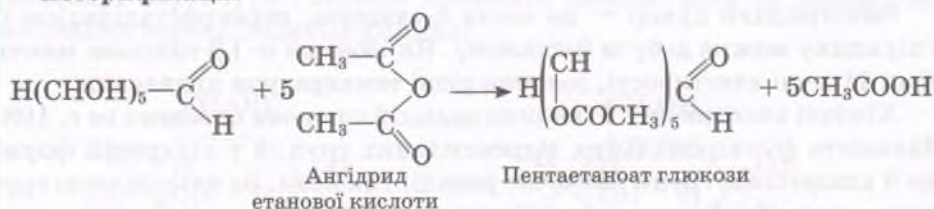
## Відновлення

Бродіння  
спиртове:

## молочнокисле:



## Естерифікація



У результаті реакції з амоніаковим розчином аргентум(I) оксиду (реакція «срібного дзеркала») альдегідна група окиснюється до карбоксильної й утворюється *глюконова кислота*.

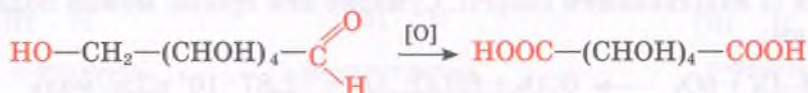
Як альдегід глюкоза окиснюється і в результаті нагрівання з купрум(II) гідроксидом.

Складіть рівняння цієї реакції.

Хоча відкритої форми глюкози у водному розчині дуже мало, дослід засвідчує, що ця реакція відбувається до кінця. Як узгодити ці факти? Оскільки з трьох форм глюкози для реакції витрачається лише одна, то хімічна рівновага між різними формами зміщується в бік утворення відкритої (альдегідної) форми, компенсуючи її затримування аж до повного перетворення глюкози на глюконову кислоту.



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



Глюкарова кислота

Унаслідок відновлення альдегідної групи до спиртової утворюється шестиатомний спирт *сорбіт*. Ця сполука є замінником цукру в дієті хворих на діабет, а також вихідною речовиною для синтезу вітаміну С (аскорбінової кислоти).

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



### Лабораторний дослід 16

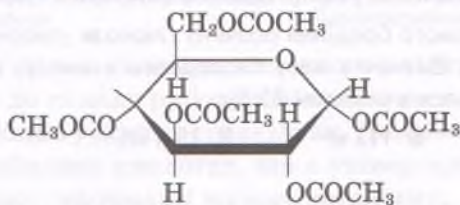
#### Взаємодія глюкози з купрум(II) гідроксидом

Налийте у пробірку 1 мл розчину натрій гідроксиду і додайте декілька краплин розчину купрум(II) сульфату. Спостерігайте утворення осаду купрум(II) гідроксиду. До осаду додайте розчин глюкози і збовтайте суміш. 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 взаємодіє з ангідридом етанової кислоти і утворює повний естер — пентаетаноат.

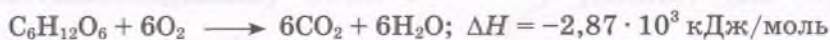


Важливою реакцією глюкози є реакція **бродиння**. Під впливом ферментів (природних каталізаторів), що їх виробляють мікроорганізми, відбувається розщеплення молекули глюкози. Зокрема, під дією ферментів дріжджів і без доступу повітря глюкоза перетворюється на етиловий спирт — відбувається *спиртове бродіння*.

Процеси бродіння дуже поширені у природі, залежно від кінцевого продукту є бродіння спиртове, оцтовокисле, молочнокисле та інші види. *Оцтовокисле бродіння* має місце під час скисання вина — утворюється етанова (оцтова) кислота (див. с. 143). Скисання молока, квашення капусти, силосування зелених кормів для худоби — все це приклади *молочнокислого бродіння*, в результаті якого утворюється молочна кислота.

**Добування.** Глюкозу добувають як продукт кислотного гідролізу полісахаридів, наприклад крохмалю.

**Застосування.** Вуглеводи сахароза і крохмаль під дією ферментів розщеплюються в організмі до глюкози, а вже вона окиснюється у клітинах із вивільненням енергії. Сумарно цей процес можна подати рівнянням:



Як джерело енергії глюкозу використовують у медицині для підтримання життєдіяльності виснаженого організму. Її розчин вводять прямо у кров пацієнта, оскільки саме вона переносить глюкозу до клітин організму.



### Завдання для самоконтролю

1. Як ви розумієте термін «вуглеводи»?
2. Який зв'язок існує між назвою і смаком глюкози?
3. Які форми глюкози вам відомі? В яких агрегатних станах вони існують?
4. Чим різняться за будовою  $\alpha$ - і  $\beta$ -форми глюкози?
5. Які функціональні групи визначають здатність глюкози до реакцій окиснення і відновлення, естерифікації?
6. До яких сполук окиснюється і відновлюється глюкоза?
7. У чому полягає подібність глюкози і гліцеролу; глюкози й етанолу? Як довести цю подібність експериментально?
8. Визначте окисник і відновник у реакції «срібного дзеркала».
9. Під впливом яких речовин відбувається реакція бродіння? Від чого залежить її напрям?
10. Яке біологічне значення реакції повного окиснення глюкози?
11. У процесі спиртового бродіння розчину глюкози утворився вуглекислий газ об'ємом 112 м<sup>3</sup>. Визначте масу безводного етанолу, що утворився, якщо реакція відбувалася з виходом 85 %:

А 195,5 кг

Б 112 кг

В 39,1 кг.



## § 35. ІНШІ МОНОСАХАРИДИ. ОПТИЧНА ІЗОМЕРІЯ

**Інші моносахариди.** До гексоз належить і **фруктоза**. Вона має таку саму молекулярну формулу, що й глюкоза, а саме  $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ . Отже, глюкоза і фруктоза — *структурні ізомери*. У водному розчині фруктоза існує у трьох формах:  $\alpha$ -,  $\beta$ - і відкритій. На відміну від глюкози фруктоза утворює не шести-, а п'ятичленний цикл, а у відкритій формі це не альдегідо-, а кетонспирт:



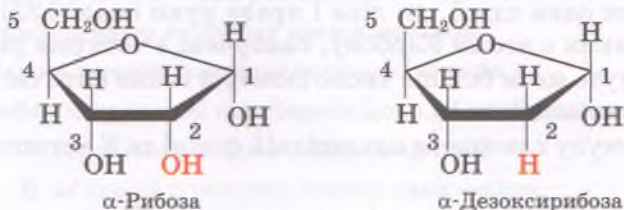


Крім того, на відміну від глюкози фруктоза не дає реакції «срібного дзеркала».

Поясніть цей факт, спираючись на знання реакцій окиснення альдегідів і кетонів.

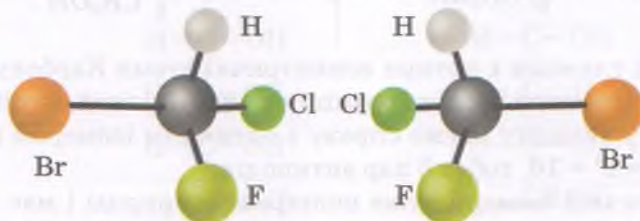
Фруктоза — найсолодша з вуглеводів, вона втричі солодша за глюкозу, дуже поширена в рослинному світі, міститься в яблуках, томатах, у меду (до 50 %). Бджолиний мед складається переважно з глюкози і фруктози.

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 (*дезоксид* — без Оксигену). У водних розчинах цих сполук містяться незначні кількості відкритої форми, а також α- і β-форми:



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 у дезоксирибонуклеїнових кислотах, що є універсальною скарбницею і джерелом спадкової інформації живого організму.

**Оптична ізомерія.** Молекули глюкози властива не лише структурна ізомерія. Існують ще шістнадцять альдегідоспиртів складу  $C_6H_{12}O_6$ , але різної просторової будови — так звані *оптичні ізомери* (мал. 121).

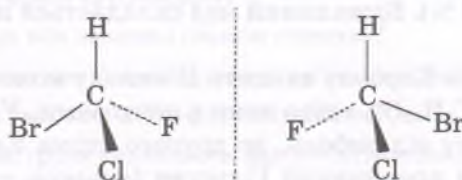


Мал. 121. Оптичні ізомери

Ці сполуки мають однакові температури плавлення і кипіння, розчинність та інші фізичні та хімічні властивості, але різняться деякими оптичними характеристиками, які ми тут не розглядаємо. Звідси і назва — оптичні ізомери.

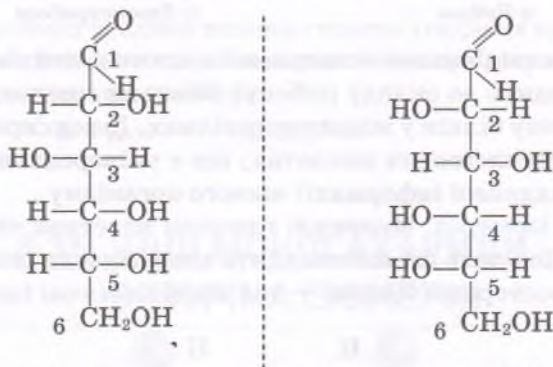
Причина збільшення числа ізомерів полягає в існуванні так званих *асиметричних атомів Карбону* і відповідно асиметричних молекул. Такі молекули є ніби дзеркальним відбитком одна одної. Це можливо в усіх випадках, коли атом Карбону зв'язаний із чотирма різними замісниками.

Зберемо дві однакові моделі молекули метану. Замінімо на них три однакові кульки, що зображують атоми Гідрогену, на різнобарвні кульки, що зображують атоми Флуору, Броду, Хлору. На одній із моделей поміняємо місцями будь-які дві кульки (Br і Cl). Просторову будову таких молекул на папері зображують за допомогою перспективних формул:



Тепер спробуємо на моделях чи на папері сумістити ці формули одна з одною. Це виявляється неможливим, оскільки формули є дзеркальним відбитком одна одної, як ліва і права руки (мал. 122). Саме такі молекули, в яких є атоми Карбону, сполучені з чотирма різними замісниками, можуть мати більше число ізомерів і саме оптичні ізомери (їх називають *антиподами*).

Зобразимо формулу глюкози в альдегідній формі та її антипод:



У молекулі глюкози є чотири асиметричні атоми Карбону (2, 3, 4, 5), біля яких замісники можуть розміщуватися в різний спосіб. У кожному окремому випадку маємо справу з оптичним ізомером глюкози. А разом їх:  $2^n = 2^4 = 16$ , тобто 8 пар антиподів.

Явище оптичної ізомерії дуже поширене у природі і має особливе значення для функціонування білків, нуклеїнових кислот, ферментів.





Мал. 122. Ліва і права руки — дзеркальні відображення

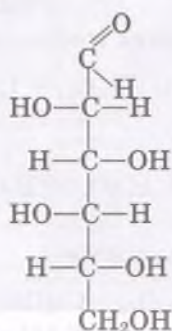
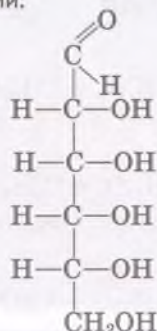
Від просторової будови залежать також властивості природних і синтетичних полімерів.

Оптична ізомерія, як і геометрична (*цис*-, *транс*-ізомерія), належить до **просторової (стерео) ізомерії**. Просторові ізомери є предметом вивчення *стереохімії* — науки про зв'язки просторової будови молекул з їхніми фізичними і хімічними властивостями.



### Завдання для самоконтролю

1. Наведіть приклади гексоз і пентоз.
2. Чим різняться за хімічною будовою глюкоза і фруктоза?
3. Чому фруктоза не дає реакції «срібного дзеркала»?
4. Поясніть назву вуглеводу «дезоксирибоза».
5. Назвіть причину існування оптичних ізомерів.
6. Виберіть правильні твердження щодо асиметричного атома Карбону:
  - А перебуває в іншому стані гібридизації
  - Б зв'язаний із чотирма різними замісниками
  - В є причиною існування оптичної ізомерії
  - Г є причиною існування *цис*-, *транс*-ізомерії.
7. Які види ізомерії вам відомі? Наведіть приклади.
8. Складіть формули оптичних ізомерів (антиподів) гексоз із такими структурними формулами:

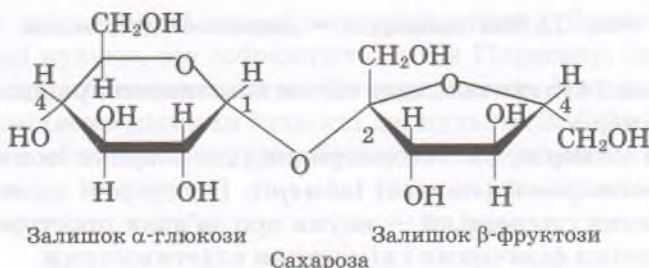


Спробуйте скласти формули інших можливих ізомерів глюкози.



## § 36. САХАРОЗА

**Склад і будова молекули.** Молекулярна формула сахарози  $C_{12}H_{22}O_{11}$ . Сахароза — *дисахарид*. У її молекулі залишки  $\alpha$ -глюкози та  $\beta$ -фруктози сполучені за допомогою етерного зв'язку між атомами  $C^1$ — $C^2$  через атом Оксигену:



**Фізичні властивості.** Сахароза — безбарвна кристалічна речовина, солодка на смак, добре розчинна у воді. Під час нагрівання до  $190$ — $200$  °С кристали плавляться, молекули частково розкладаються. Це зумовлює специфічний смак і запах розплавленої маси, яка після застигання утворює карамель.

Сахароза міститься в різних частинах рослин, наприклад у стеблах зеленої кукурудзи. Особливо багато її в коренеплодах цукрових буряків ( $16$ — $20$  %) та стеблах цукрової тростини ( $14$ — $26$  %). Тому сахарозу також називають *буряковим цукром*, або *тростинним цукром* (мал.123).

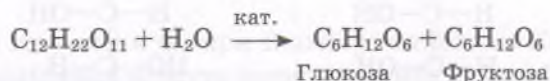
**Хімічні властивості.** Сахароза окиснюється з утворенням вуглекислого газу і води. У структурі молекули сахарози немає альдегідної групи, це підтверджується експериментально: сахароза не дає реакції «срібного дзеркала». Альдегідна група залишку глюкози блокована зв'язком із залишком молекули фруктози. Під час розчинення саха-

### Реакції сахарози

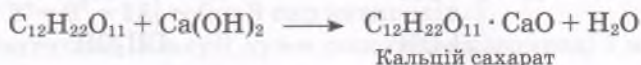
**Повне окиснення (горіння)**



**Гідроліз**



**Утворення сахаратів**





рози альдегідна форма глюкози не може утворитися, тому реакція відновлення за альдегідною групою не відбувається.

Проте під дією неорганічних кислот сахароза гідролізує до глюкози і фруктози. Прокип'яtimo розчин сахарози з невеликою кількістю сульфатної кислоти, нейтралізуємо кислоту лугом і розчин нагріємо з купрум(II) гідроксидом. Утворюється червоний осад купрум(I) оксиду.

Ця реакція засвідчує наявність альдегідної групи, отже, серед продуктів гідролізу є певна кількість відкритої форми глюкози.

Сахароза містить вісім гідроксильних груп і, як будь-який спирт, може утворювати алканолати (тривіальна назва — *сахарати*), але за участю не менш ніж трьох спиртових груп. Особливо важливі кальцій сахарати, оскільки цей процес використовують під час промислового виробництва цукру.

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

**Добування і застосування.** Сахароза у вигляді тростинного цукру була відома з давніх-давен як лікувальний засіб. У Європі цукор із тростини з'явився в XVI ст., а з цукрових буряків був виділений уперше в середині XVIII ст.

Доведено, що 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 цукрових буряків (мал. 124).



Мал. 123. Цукові буряки — джерело сахарози



Мал. 124. У цеху цукрового заводу

**Виробництво цукру** полягає у виділенні його з природної сировини, очищенні й кристалізації продукту. Процеси відбуваються в такій послідовності.

Насамперед коренеплоди миють і подрібнюють на стружку. Цю масу обробляють гарячою водою. Як добре розчинна у воді сполука, сахароза переходить у розчин. Щоб позбутися домішок, які містяться у цукрових буряках, розчин обробляють вапняним молоком — випадає осад, що є сумішшю білків і солей Кальцію.

Сахароза у вигляді кальцій сахарату залишається в розчині. Його обробляють вуглекислим газом, унаслідок чого утворюється нерозчинний осад кальцій карбонату. Розчин сахарози відфільтровують. Далі його випарюють і кристалізують. Маса, що не кристалізується, — це так звана *меляса*. Вона містить залишки сахарози та супутніх речовин і є цінним кормом для худоби й сировиною для виробництва пекарських дріжджів.

Сирий цукор-пісок відокремлюють і додатково очищують. Для цього цукор знову розчиняють у воді, фільтрують розчин крізь активоване вугілля, випарюють і кристалізують — утворюється цукор-рафінад, який містить 99,9 % сахарози і є одним із найчистіших харчових продуктів.

Залежно від умов кристалізації цукор можна виділити у вигляді дрібних або великих кристалів, останні потім розпилюють на шматки. Пресуванням цукру-піску добувають швидкорозчинний цукор.

Важливим показником для виробництва цукру є цукристість буряків. Селекціонери постійно працюють над виведенням сортів цукрового буряку з високим вмістом цукру.



### Завдання для самоконтролю

1. Чому сахароза належить до дисахаридів? Як вона утворюється?
2. Чи є в молекулі сахарози альдегідна група? Доведіть це.
3. Які продукти утворюються в результаті гідролізу сахарози?
4. Доведіть, що серед продуктів гідролізу сахарози є сполука з альдегідною групою.
5. Опишіть (усно) етапи виробництва цукру із цукрового буряку.
6. Якщо у вашій місцевості вирощують чи переробляють цукрові буряки, розкажіть про це.
7. Цукристість втрачається під час тривалого зберігання коренеплодів. Як, на вашу думку, можна уникнути цього?
8. Із цукрових буряків масою 250 кг одержали 40 кг чистого цукру. Вихід продукту становить 85 %. Визначте вміст цукру в буряках (у відсотках):

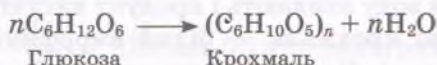
**A 50    B 9,41    B 18,82.**



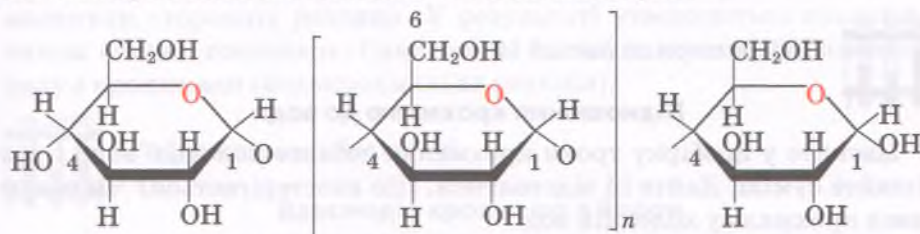


## § 37. КРОХМАЛЬ

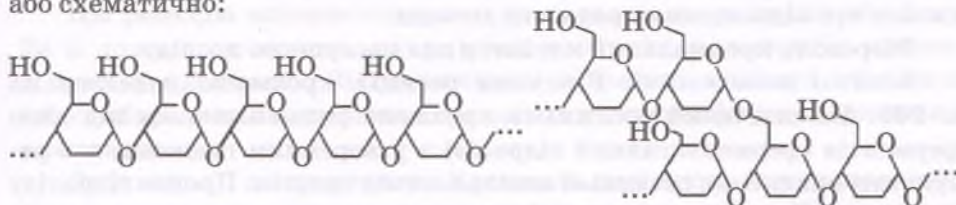
**Склад і будова молекули.** Склад молекули крохмалю відповідає формулі  $(C_6H_{10}O_5)_n$ . Це природний полімер, полісахарид, що синтезується в рослинах із глюкози за такою сумарною реакцією:



Мономерною ланкою цього полімера є залишок  $\alpha$ -глюкози. Полімерний ланцюг утворюється за допомогою зв'язку між атомами  $C^1$  однієї молекули глюкози й атомом  $C^4$  іншої молекули:



Полімерний ланцюг крохмалю утворюється з мономерних ланок  $\alpha$ -глюкози або схематично:



Крохмаль — не однорідна речовина, а суміш полімерів двох типів: *амілози* (25 %) та *амілопектину* (75 %). Амілоза має лінійні молекули зі ступенем полімеризації  $n = 200—1200$ , амілопектин — розгалужені ( $n = 600—6000$ ) (мал. 125).

**Фізичні властивості.** Крохмаль входить до складу всіх рослин, у деяких його дуже багато. Масова частка крохмалю у бульбах картоплі становить 12 — 20 %, пшениці — 57 — 75 %, рису та кукурудзи — 62—82 %. Це резервний полісахарид рослин. У формі крохмалю вугле-



Мал. 125. Будова полімерних ланцюгів амілози (а) й амілопектину (б)

води відкладаються рослинами про запас і використовуються ними як джерело енергії, необхідної, наприклад, для проростання насіння.

У природному стані молекули крохмалю формують зерна різної величини і форми, непроникні для води. Зерна крохмалю плавають у клітинному соку картоплі, їх можна видалити звідти механічним способом. Для цього картоплю подрібнюють, отриману масу промивають водою та відціджують. Разом із водою крохмаль проходить крізь сито. Після відстоювання воду зливають і продукт висушують.

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



### Лабораторний дослід 17

#### Відношення крохмалю до води

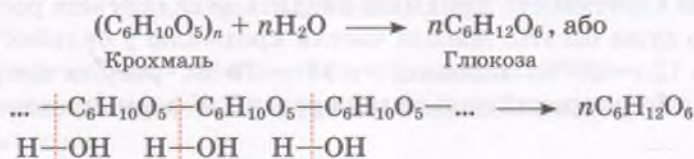
Насипте у пробірку трохи крохмалю, додайте холодної води і розмішайте суміш. Дайте їй відстоятися. Що спостерігається? Чи розчинився крохмаль у холодній воді?

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 досліді.

**Хімічні властивості.** Рівняння реакцій крохмалю наведено на с. 209. Накопичений рослинами крохмаль розщеплюється під дією ферментів (ферментативний гідроліз) з утворенням глюкози, а в результаті окиснення останньої вивільняється енергія. Процес гідролізу можна відтворити в лабораторії, прокип'ятивши крохмаль з водою за наявності сульфатної кислоти.

До кожної мономерної ланки полімерного ланцюга крохмалю приєднується молекула води, полімерний ланцюг розривається й утворюються молекули глюкози:

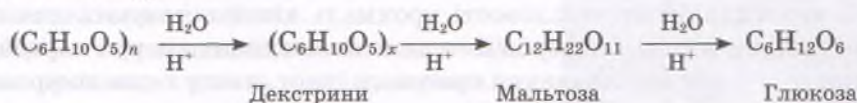


Наведене рівняння — сумарне. Насправді гідроліз відбувається по-слідовно, з утворенням проміжних продуктів — *декстринів*, які мають меншу, ніж у крохмалю, молекулярну масу. Цей процес відбувається під час приготування їжі: варіння і смаження картоплі, випікання хліба тощо. Під час прасування накрохмаленої білизни крохмаль також частково гідролізує з утворенням декстринів. Декстрини легше, ніж крохмаль, засвоюються організмом. Суміш продуктів часткового гідролізу (декстринів і глюкози) називають *патокою*.

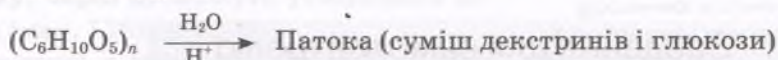


## Реакції крохмалю

### Повний гідроліз



### Частковий гідроліз



Лінійні молекули амілози, що входить до складу крохмалю, скручуються у спіралі, 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 (йодо крохмальна реакція).



### Лабораторний дослід 18

#### 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 із крохмалевмісних продуктів (злаків, картоплі) механічним способом. Після подрібнення сировини її обробляють водою, відціджують і добувають суспензію відстоюють; далі продукт відділяють від води і висушують.

Крохмалевмісні продукти посідають чільне місце в раціоні людини, це клітинне «паливо» організму. У ротовій порожнині під впливом ферментів слини розпочинається гідроліз крохмалю до глюкози. Надлишки глюкози відкладаються в печінці у вигляді «запасного» вуглеводю глікогену, близького за структурою до крохмалю.

Отже, якщо рослини запасують енергію у вигляді крохмалю, то тварини — у вигляді глікогену. У разі потреби, наприклад під час фізичних навантажень, він знову перетворюється на глюкозу, яка живить організм. Кожен грам вуглеводів у результаті окиснення в організмі дає 19,2 кДж енергії. На думку фахівців, енергетичні потреби людини на 60 % мають задовольнятися за рахунок рослинної їжі, зокрема овочів і фруктів.

Проміжні продукти гідролізу крохмалю — суміш декстринів і глюкози (патоку) використовують у кондитерській промисловості для виготовлення цукерок, додають у тісто для печива.

Крохмаль є сировиною для виробництва етанолу. З цієї метою крохмаль піддають гідролізу, в результаті утворюється глюкоза, яка далі внаслідок спиртового бродіння перетворюється на етанол.

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



## § 38. ЦЕЛЮЛОЗА (КЛІТКОВИНА)

**Склад і будова молекули.** Целюлоза, або клітковина, як і крохмаль, — природний полімер, полісахарид. Його макромолекули також побудовані з ланок складу  $\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5$ . Целюлозу називають будівельним матеріалом рослин, оскільки вона є оболонкою рослинних клітин (від лат. *cellula* — комірка). Рослинні волокна (бавовняні, конопляні, лляні) переважно, а деревина на 45 % складаються з целюлози.

У якому вигляді вам відома практично чиста целюлоза?

Зовнішня відмінність між цими волокнами і крохмалем очевидна, хоча полімерні ланцюги крохмалю й целюлози побудовані з однакових ланок. У чому ж причина відмінності? Відповідь однозначна — у складі та будові молекул. Загальна формула целюлози, як і крохмалю, —  $(\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5)_n$ . Проте ступінь полімеризації, відносна молекуляр-



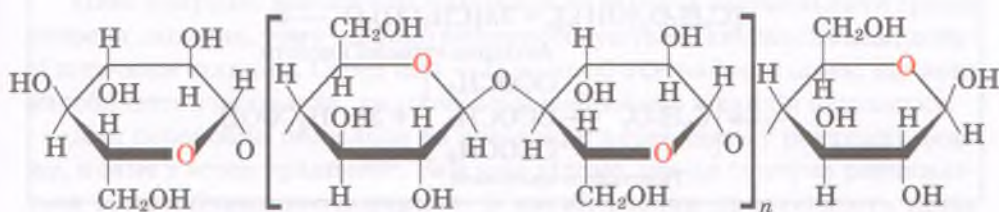
на маса целюлози набагато більші, ніж крохмалю: ступінь полімеризації становить 10—14 тисяч, відносна молекулярна маса — кілька мільйонів.

Крім того, як вам відомо, макромолекули крохмалю мають лінійну і розгалужену будову, а целюлози — ниткоподібну, лінійну, через це можуть утворювати волокна (мал. 126).

Істотною є відмінність у складі полімерних ланцюгів. Так, якщо молекули крохмалю утворені залишками  $\alpha$ -глюкози, то молекули целюлози складаються із залишків  $\beta$ -глюкози:



Мал. 126. Зріз оболонки рослинної клітини під електронним мікроскопом (видно волокнисту структуру целюлози)



Полімерний ланцюг целюлози утворюється з мономерних ланок  $\beta$ -глюкози

Зверніть увагу, що  $\beta$ -глюкозні залишки по черзі повернені відносно один одного на  $180^\circ$ .

**Фізичні властивості.** Целюлоза — аморфна волокниста речовина, нерозчинна у воді й органічних розчинниках. Не плавиться, але за нагрівання до близько  $350^\circ$  розкладається — обвуглюється.

**Хімічні властивості.** Рівняння реакцій целюлози наведено на с. 212. Целюлоза **окиснюється** (горить) з утворенням вуглекислого газу й води та виділенням енергії. Цим здавна користуються для опалення жител та приготування їжі, спалюючи дрова, хмиз, бадилля рослин, соломі тощо.

У результаті нагрівання деревини без доступу повітря відбувається **розклад целюлози** з утворенням деревного вугілля, метанолу та інших цінних оксигеновмісних сполук.

Як і крохмаль, целюлоза піддається **гідролізу** під час нагрівання з розбавленими кислотами і перетворюється на глюкозу.

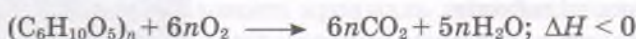
В органах травлення жуйних тварин і термітів під впливом ферментів відбуваються гідроліз клітковини і засвоєння продуктів гідролізу. В організмі людини целюлоза, спожита нею з рослинною їжею, не гідролізує, отже, не засвоюється.

Пригадайте з курсу біології людини, яке значення має клітковина для травлення.

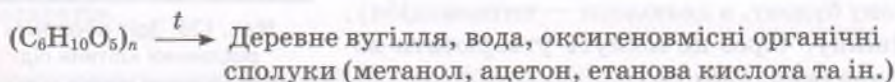
Целюлоза зазнає часткового гідролізу в результаті силосування соломі, кукурудзи тощо; такі продукти є цінним кормом для сільськогосподарських тварин.

## Реакції целюлози

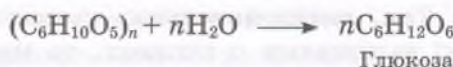
### Повне окиснення (горіння)



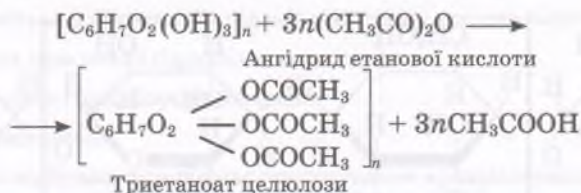
### Термічний розклад



### Гідроліз



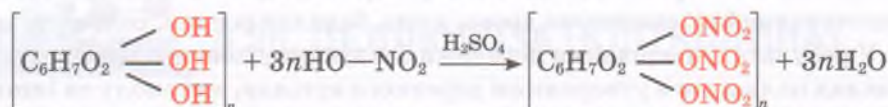
### Утворення естерів



Гідроксильні групи целюлози можуть брати участь у реакції естерифікації. Щоб показати наявність гідроксильних груп, формулу целюлози записують у такому вигляді:  $[\text{C}_6\text{H}_7\text{O}_2(\text{OH})_3]_n$ .

Естер целюлози — триетаноат (триацетат)  $[\text{C}_6\text{H}_7\text{O}_2(\text{ОСОСН}_3)_3]_n$  добувають обробкою целюлози оцтовим ангідридом. На відміну від целюлози її триацетат розчиняється в органічних розчинниках, тому з нього можна виробляти волокна і плівку.

Унаслідок взаємодії целюлози з нітратною кислотою утворюється тринітрат целюлози, або *піроксилін*. Це вибухова речовина, її використовують для виробництва бездимного порошу.



Суміш моно- і динітрату целюлози є основою для виготовлення *колодію* (використовують у медицині для заклеювання невеликих ран), *нітролаків*, *целулоїду*. Останній відомий як перша в історії пластмаса.

**Застосування. Штучний шовк.** Целюлозу застосовують у вигляді деревини (назвіть, де саме), бавовняних тканин, з неї виготовляють папір. Отже, сучасна цивілізація значною мірою залежить від целюлози.

Щоб виготовити папір із целюлози, її треба спершу виділити з деревини. Для цього застосовують спеціальні процеси і речовини, внаслідок чого супутні компоненти розчиняються, а нерозчинну целюлозу виділяють фільтруванням.

Велика кількість цінних речовин утворюється в результаті хімічної переробки целюлози. Серед них — штучний шовк, вибухові речовини, спирти тощо (мал. 127).





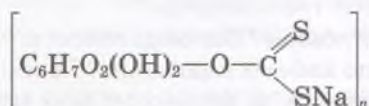
Мал. 127. Штучний шовк

Нині природні волокнисті матеріали не можуть задовольнити зрілі потреби людства, тому широко використовуються їхні замінники, добути штучним шляхом. Серед них — *штучний ацетатний шовк*, що його виробляють з целюлози, виділеної з деревини або відходів бавовнику.

Для переробки целюлози на волокно її переводять у розчинну форму, а саме в естер триацетат. Вам уже відомо, що ця сполука розчиняється в органічних розчинниках. В'язкий розчин продавлюють крізь так звані *фільтри* — пристрої з отворами малого діаметра, що нагадують головку душа (мал. 128). Тонкі цівки розчину обдувають гарячим повітрям у вертикальній шахті. Розчинник випаровується, а триацетат перетворюється на нитки, що є основою для скручування товстих ниток, з яких виробляють тканини.

Оскільки штучне волокно має упорядкованішу структуру порівняно з вихідною целюлозою, то воно й міцніше. Вироблені з ацетатного волокна тканини мають й інші переваги: низьку теплопровідність, м'якість, блиск, хоча погано вбирають вологу, мають нижчі порівняно з натуральними волокнами гігієнічні властивості.

Іншим видом штучного шовку є *віскозний шовк*. Його виробляють з іншого естеру, так званого ксантогенату целюлози:



Сформовані нитки із фільтр потрапляють до ванни з розчином сульфатної кислоти, під дією якої естерні групи руйнуються, і целюлоза регенерується. Можна вважати, що віскозне волокно більшою мірою наближене до натурального порівняно з ацетатним.

Якщо розчин продавлювати крізь вузьку щілину замість фільтр, то утвориться плівка — *целофан*.



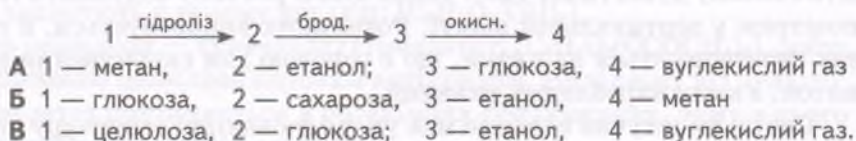
Мал. 128. Фільтра

**Біоетанол.** Сучасна наука пропонує використовувати природну целюлозу для розв'язування сировинної та енергетичної проблем людства. Річ у тім, що на земній кулі нагромаджено величезну кількість біомаси рослин, основним компонентом якої є целюлоза. Певні види ферментів (біохімічних каталізаторів) здатні переробляти цю біомасу (побутові відходи, бадилля рослин, качани, солом, тирсу, мул) на *біоетанол*, що його можна використовувати як добавку до бензину. Виробництво біоетанолу потребує спеціального оснащення, однак біотехнологічні методи переробки біомаси з енергетичною метою мають значні перспективи.



## Завдання для самоконтролю

1. Чим різняться між собою крохмаль і целюлоза: за складом; за хімічною будовою? Складіть порівняльну таблицю.
2. Яке значення реакції горіння целюлози?
3. Які продукти утворюються в результаті термічного розкладу целюлози?
4. На якій реакції целюлози ґрунтується виробництво штучного волокна?
5. Складіть схему (за стадіями) виробництва штучного волокна.
6. Поясніть, як виробляють целофан.
7. Які цінні продукти можна добути в результаті хімічної переробки целюлози?
8. Укажіть назви речовин у наведеній схемі реакції:

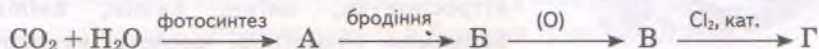


## Додаткові завдання

9. Поясніть класифікацію вуглеводів. Наведіть приклади.
10. Як за допомогою одного й того самого реактиву можна розпізнати сахарозу і глюкозу?
11. Які з вивчених вами вуглеводів дають реакцію «срібного дзеркала»? Що це засвідчує?
12. Яку спільну властивість мають оліго- і полісахариди?
13. Яке значення реакцій гідролізу вуглеводів? Відповідь поясніть.
14. Чи належить виробництво цукру до хімічних виробництв? Поясніть, чому.
15. Складіть рівняння послідовних реакцій, за допомогою яких можна добути кальцій глюконат з крохмалю.
16. Маса глюкози, добутої з крохмалю, більша за масу вихідного продукту. Поясніть, чому.
17. Складіть рівняння реакцій утворення моно- і динітратів целюлози.
18. Поясніть залежність властивостей від складу і будови молекул на прикладі крохмалю і целюлози.
19. Поясніть взаємозв'язок органічних і неорганічних речовин на прикладі вуглеводів.
20. Побуває твердження, що розвиток цивілізації завдячує целюлозі. Підтвердіть або спростуйте це.



21. Поясніть значення і перспективи біотехнологічної переробки целюлози. Підготуйте повідомлення на цю тему.
22. Чи можна дрова назвати біопаливом?
23. Унаслідок окиснення жирів у організмі виділяється вдвічі більше енергії, ніж під час окиснення вуглеводів. Яке значення це має для підтримання нормальної маси тіла?
24. Визначте речовини, що утворюються в результаті перетворень:



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

## Висновки

- У природі вуглеводи утворюються завдяки фотосинтезу.
- Вуглеводи поділяють на моно-, оліго-, полісахариди.
- Глюкоза — моносахарид, гексоза. Загальна формула —  $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ .
- У кристалічному стані глюкоза існує в циклічній формі ( $\alpha$ - і  $\beta$ -глюкоза).
- У розчині частина молекул глюкози переходить у відкриту альдегідну форму.
- Глюкоза вступає в реакції відновлення й окиснення, естерифікації, бродиння.
- Фруктоза — ізомер глюкози, кетонспирт.
- Рибоза і дезоксирибоза належать до пентоз.
- Причина оптичної ізомерії полягає в існуванні асиметричних атомів Карбону.
- Сахароза — дисахарид, загальна формула —  $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$ .
- У результаті гідролізу сахарози утворюються глюкоза і фруктоза.
- Сахарозу у вигляді цукру добувають з природної сировини — цукрового буряку, цукрової тростини.
- Крохмаль і целюлоза — природні полімери, полісахариди. Загальна формула цих сполук  $(\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5)_n$ .
- Крохмаль і целюлоза різняться між собою будовою мономерів, ступенем полімеризації, просторовою будовою молекул.
- Крохмаль — неоднорідна сполука, він складається з амілози й амілопектину.
- Проміжні продукти гідролізу крохмалю — декстрини, кінцевий продукт — глюкоза.
- Крохмаль — цінна поживна речовина.
- Целюлоза вступає в реакції окиснення, гідролізу (до глюкози), термічного розкладу, естерифікації.
- У результаті хімічної переробки целюлози добувають цінні органічні речовини.
- Естери целюлози є основою виробництва штучних волокон.
- Целюлоза є сировиною для використання у процесах біотехнології.
- Вуглеводи належать до біологічно активних речовин.



# Нітрогеновмісні сполуки

## Нові поняття і терміни:

нітросполуки, аміни, анілін, анілінові барвники, нуклеїнові кислоти, нуклеотид, нуклеозид, кодон, реакція Зініна.

Існує багато органічних речовин, до складу яких входить атом Нітрогену. Це вже відомі вам нітрометан, нітробензен і нітротолуен, тринітрогліцерол. Далі триватиме ознайомлення з амінокислотами, білками, нуклеїновими кислотами — саме вони відіграють визначальну роль у життєдіяльності організмів.

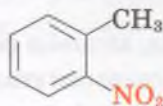


## § 39. НІТРОСПОЛУКИ

До нітрогеновмісних сполук належать і власне **нітросполуки**, тобто ті, в молекулах яких функціональна **нітрогрупа**  $\text{—NO}_2$  сполучена безпосередньо з вуглеводневою групою:



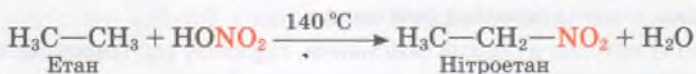
Нітрометан



орто-Нітротолуен

Порівняйте структурні формули нітрометану й нітрогліцеролу, зверніть увагу на порядок приєднання нітрогрупи. Чи належить нітрогліцерол до нітросполук? Поясніть, чому.

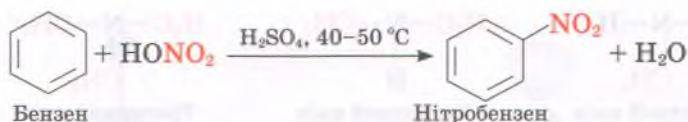
Реакція **нітрування** вуглеводнів, у результаті якої атом Гідрогену заміщується на нітрогрупу, є основним способом добування нітросполук. Нітрування насичених вуглеводнів (*реакція М. І. Коновалова*) відбувається за їх нагрівання з розбавленим розчином нітратної кислоти:



Під час реакції відбувається деструкція вуглеводню, і разом із основним продуктом утворюються побічні — у цьому разі нітрометан  $\text{CH}_3\text{—NO}_2$ , а також оксигеновмісні сполуки.

Ароматичні вуглеводні нітруються в умовах нагрівання з нітрувальною сумішшю, до складу якої входять нітратна й сульфатна кислоти:





Поясніть, як саме нітрогрупа впливає на розподіл електронної густини в бензеновому ядрі. Складіть рівняння реакції утворення динітробензену.

Порівняйте розподіл електронної густини в молекулах нітробензену й толуену. Складіть рівняння реакції добування тринітротолуену.

Нітросполуки широко застосовують у різних галузях. **Нітрометан** і **тетранітрометан** — як розчинники синтетичних смол і каучуків, у органічному синтезі, вони входять до складу реактивного палива.

**Трихлоронітрометан** використовують як інсектицид, окрім того, це сильний лакриматор (від лат. *lacrima* — сльоза) — отруйна речовина сльозогінної дії; за її допомогою перевіряють надійність протигазів.

**Нітробензен** — дуже важливий промисловий продукт, сировина для добування барвників.

**Тринітротолуен**, більше відомий як тротил, або тол, — одна з найпоширеніших вибухових речовин.

**Нітрофенол** використовують у синтезі барвників.

**Тринітрофенол**, або пікринову кислоту, спершу використовували як жовтий барвник, згодом було відкрито його вибухові властивості. Солі — пікрати — вибухають за нагрівання.

Нітросполуки — отруйні речовини, вони діють на центральну нервову систему.



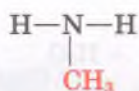
### Завдання для самоконтролю

1. Складіть структурні формули нітросполук, згаданих у тексті параграфа.
2. За яким механізмом відбувається реакція Коновалова?
3. Поясніть, де використовують нітросполуки.
4. Нітросполука містить 58,54 % С, 4,09 % Н, 26,00 % О, 11,37 % N. Складіть молекулярну і структурну формули сполуки.

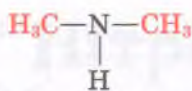


## § 40. АМІНИ

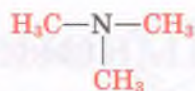
**Склад і будова молекул. Номенклатура. Ізомерія.** До нітрогеновмісних сполук належать також **аміни**, ознакою яких є наявність функціональної **аміногрупи** —  $\text{NH}_2$ . Їх можна розглядати як похідні амоніаку, в молекулі якого атоми Гідрогену заміщені на вуглеводневі групи. Залежно від числа заміщених атомів розрізняють *первинні*, *вторинні* та *третинні* аміни:



Первинний амін



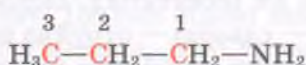
Вторинний амін



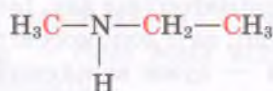
Третинний амін

**Назви** первинних амінів утворюють поєднанням назви вуглеводневого замісника та слова *амін*. Щоб назвати первинний амін, треба пронумерувати вуглеводневий ланцюг, починаючи з атома, до якого ближче розташована аміногрупа. Перед назвою відповідного алкана цифрами зазначають місця і назви бічних відгалужень, після назви – місце аміногрупи та додають слово *амін*.

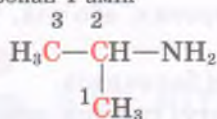
Для амінів характерна *структурна ізомерія* карбонового скелета і положення аміногрупи, а також *ізомерія між первинними, вторинними і третинними амінами*.



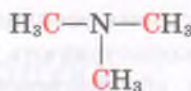
Пропан-1-амін



N-Метилетанамін (етилметиламін)



Пропан-2-амін



N, N-Диметилметанамін (триметиламін)

Назви вторинних і третинних амінів подано не для запам'ятовування.

Ми вивчатимемо первинні аміни, загальна формула яких  $\text{R}-\text{NH}_2$ . Характеристики деяких з них наведено в таблиці 17.

Таблиця 17

## Характеристики амінів

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

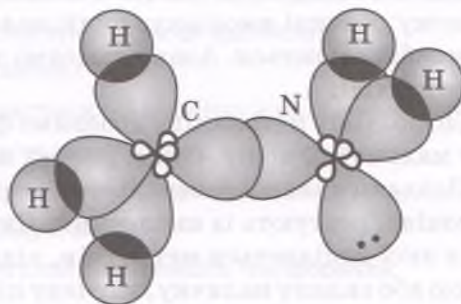
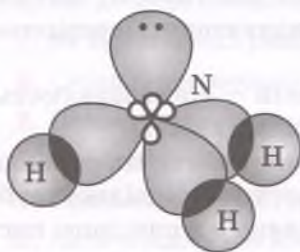
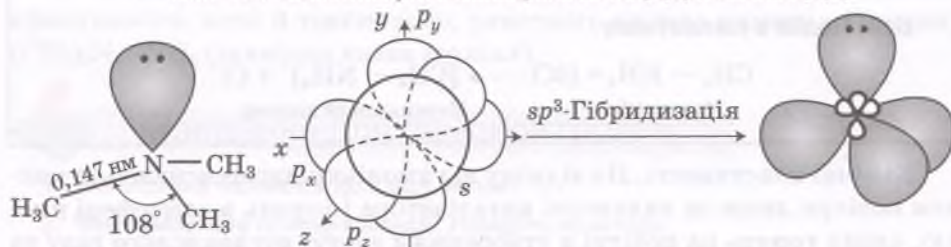
Оскільки аміни розглядають як похідні амоніаку, пригадаємо будову його молекули. Експериментально встановлено, що молекула амоніаку має форму піраміди, кути між зв'язками становлять  $107^\circ$ , тобто близькі до тетраедричного ( $109,5^\circ$ ) (мал. 129). Близькі до тетраедричного й валентні кути в молекулі триметиламіну —  $108^\circ$  (мал. 130). Звідси можна припустити, що атом Нітрогену перебуває у стані  $sp^3$ -гібридації.

У результаті «змішування»  $2s$ - і  $2p$ -електронних орбіталей утворюються чотири  $sp^3$ -гібридні електронні орбіталі, що належать п'яти електронам зовнішнього електронного шару атома Нітрогену (мал. 131).





Мал. 129. Валентні кути в молекулах метану (а) й амоніаку (б)



Неподілена електронна пара займає одну із  $sp^3$ -гібридних орбіталей, це впливає на розмір валентного кута, що стискується порівняно з тетраедричним до  $108^\circ$ .

Схему утворення  $\sigma$ -зв'язків у молекулах амоніаку й метанаміну наведено на мал. 132, 133, модель молекули метанаміну – на мал. 134.

**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 у третинних амінів.

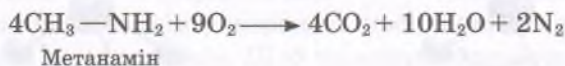


Мал. 134. Модель молекули метанаміну

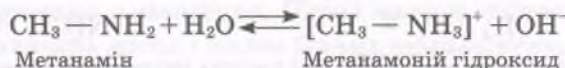
Складіть схеми утворення водневих зв'язків між молекулами метанаміну.

## Реакції амінів

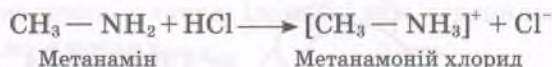
### Повне окиснення (горіння)



## Взаємодія з водою



### Взаємодія з кислотами



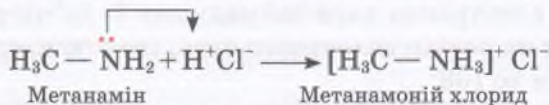
**Хімічні властивості.** На відміну від амоніаку, що окиснюється киснем повітря лише за наявності каталізатора і горить в атмосфері кисню, аміни **горять** на повітрі з утворенням азоту, вуглекислого газу та води.

Зважаючи на подібність будови молекул амінів і амоніаку, можна припустити, що вони мають і спільні властивості. Вам відомо, що у водному розчині амоніаку, який виявляє лужні властивості, індикатори забарвлюються. Аміни так само діють на індикатори. Перевіримо це на досліді.

До розчину метанаміну добавимо фенолфталеїн — він забарвлюється у малиновий колір. Отже, розчин має лужні властивості.

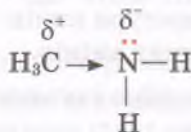
Завдяки наявності неподіленої пари електронів аміни, так само, як і амоніак, реагують із **кислотами**. Якщо до отвору газовідвідної трубки, з якої виділяється метанамін, піднести склянку з хлоридною кислотою або скляну паличку, змочену цією кислотою, то можна спостерігати утворення білої хмаринки солі.

Реакція відбувається за донорно-акцепторним механізмом. При цьому електронна пара атома Нітрогену взаємодіє з протоном:



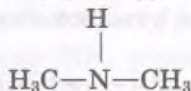
Пригадайте, як утворюється йон амонію, яку роль відіграє неподілена електронна пара.

Аліфатичні аміни — сильніші основи, ніж амоніак, оскільки під впливом вуглеводневих груп на атомі Нітрогену зростає електронна густина і він міцніше утримує протон:





Складіть подібну схему зміщення електронної густини в молекулі N-метилметанаміну (вторинного аміну):



Яка основа сильніша: первинний чи вторинний амін?

Солі амінів містяться в оселедцевому розсолі. Обробивши його лугом, можна виділити суміш амінів і використовувати їх для дослідів.

N-метилметанамін — вихідна речовина для синтезу високо-ефективного, хоча й токсичного, ракетного палива диметилгідрозину  $(\text{CH}_3)_2\text{N}-\text{NH}_2$  (технічна назва *гептил*).



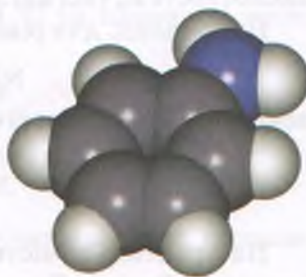
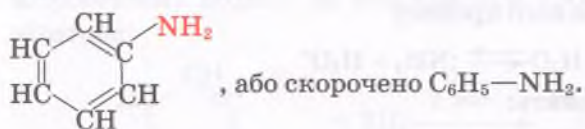
## Завдання для самоконтролю

1. Які сполуки належать до класу амінів?
2. Чим зумовлена ізомерія амінів? Наведіть приклади.
3. Складіть формули ізомерів бутанаміну. Назвіть їх.
4. Поясніть утворення  $\sigma$ -зв'язків у молекулі метанаміну.
5. Порівняйте валентні кути молекул метанаміну й метану. Зробіть висновок.
6. Які аміни розчиняються у воді? Чим зумовлена ця здатність?
7. Як відбуваються реакції горіння амінів?
8. Складіть порівняльну таблицю властивостей амоніаку й метанаміну.
9. Поясніть, чому аміни виявляють властивості основ, а не кислот.
10. Яка основа сильніша: амоніак чи метанамін? Відповідь поясніть.
11. Порівняйте реакції горіння амоніаку й амінів.
12. Назвіть відомі вам йонні органічні сполуки, напишіть їхні формули.



## § 41. АНІЛІН

**Склад і будова молекули.** Якщо аміногрупа сполучена безосередньо з фенільною групою, утворюється ароматичний амін **феніламін**, або **анілін** (мал. 135):

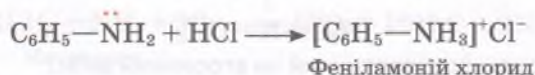


За **фізичними властивостями** анілін — безбарвна оліїста рідина, малорозчинна у воді.

**Хімічні властивості** аніліну дещо відмінні від властивостей аліфатичних амінів.

Мал. 135. Модель молекули аніліну

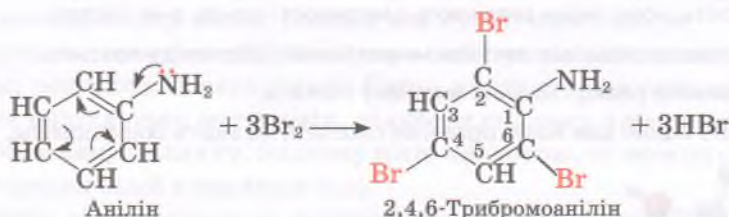
Випробування розчинами фенолфталеїну й фіолетового лакмусу засвідчує, що анілін не змінює забарвлення індикаторів. Він реагує лише із сильними кислотами, утворюючи солі:



Звідси виходить, що анілін — слабкіша основа, ніж амоніак і аліфатичні аміни. Таку відмінність, як ви вже знаєте, пояснюють будовою молекули аніліну. Розглянемо її.

Між неподіленою парою електронів аміногрупи та  $\pi$ -електронною системою бензенового ядра відбувається взаємодія, внаслідок якої електронна густина зміщується до бензенового ядра. На атомі Нітрогену вона зменшується, тому протон утримується слабкіше. Як результат — кислотні властивості речовини посилюються, а основні тим самим послаблюються. У цьому виявляється вплив бензенового ядра на властивості аміногрупи.

Наслідком зворотного впливу аміногрупи на бензенове ядро є збільшення електронної густини, зокрема в *орто*- і *пара*-положеннях бензенового ядра. У результаті в цих положеннях відбуваються реакції електрофільного заміщення, наприклад, із бромною водою. Якщо до емульсії аніліну у воді додати бромну воду, то утвориться білий осад *трибромоаніліну*. Пригадайте, що бензен не реагує з бромною водою. Отже, аміногрупа активує бензенове ядро:



За порівнянням властивостей метанаміну, амоніаку й аніліну можна дійти висновку про послаблення основних властивостей від метанаміну до аніліну. А щоб кількісно оцінити силу основи чи кислоти, використовують константи основності  $K_b$  (від англ. *basic* — основа) і кислотності  $K_a$  (від англ. *acid* — кислота).

Наприклад, для рівноважного процесу



константа кислотності становить:

$$K_a = \frac{[:\text{NH}_3][\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{NH}_4^+]}$$

На практиці замість константи  $K_a$  користуються показником кислотності  $\text{p}K_a = -\lg K_a$ :

$$\text{p}K_{a\text{NH}_4^+} = -\lg K_{a\text{NH}_4^+} = 9,25$$



Це константа кислотності кислоти  $\text{NH}_4^+$ . А оскільки для водних розчинів

$$pK_a + pK_b = 14,$$

то константа основності основи  $:\text{NH}_3$  дорівнюватиме:

$$pK_{b\text{NH}_3} = 14 - pK_a = 14 - 9,25 = 4,75.$$

Чим сильніша сполука  $\text{NH}_4^+$  як кислота, тим слабша сполука  $:\text{NH}_3$  як основа. Отже, чим менше значення  $pK_b$ , тим сильніша основа; чим менше значення  $pK_a$ , тим сильніша кислота.

Сполука	Метанамін	Амоніак	Феніламін (анілін)	Дифеніламін
$pK_b$	3,4	4,75	9,4	13,2



### Завдання для самоконтролю

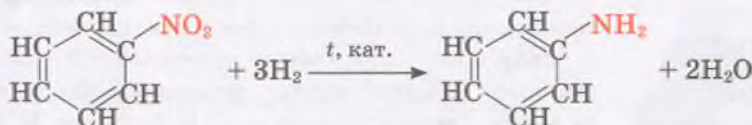
1. Чому анілін називають ще феніламіном?
2. Поясніть розподіл електронної густини в молекулі аніліну.
3. Схарактеризуйте основні властивості аніліну.
4. Як позначається на хімічних властивостях аніліну вплив аміногрупи на бензенове ядро?
5. Поясніть вплив бензенового ядра на аміногрупу в молекулі аніліну.
6. Яка основа сильніша: амоніак чи анілін; амоніак чи метанамін? Відповідь поясніть.
7. Анілін нітрується в *мета*-положення. Складіть рівняння реакції.
8. Масова частка Нітрогену в порції аніліну становить 12 %. Визначте масову частку домішок (у відсотках):

А 3,05    Б 15,05    В 12.



## § 42. ДОБУВАННЯ І ЗАСТОСУВАННЯ АНІЛІНУ

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



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

Уперше синтез аніліну з нітробензену здійснив російський учений М. М. Зінін у 1842 р., тому реакцію називають *реакцією Зініна*. Відтоді

анілін став легкодоступною сировиною для виробництва великої кількості різноманітних органічних речовин.

**Застосування.** Анілін відіграв винятково важливу роль у розвитку синтетичної органічної хімії та хімічної промисловості, зокрема виробництва анілінових барвників і лікарських засобів.

Сама назва аніліну пов'язана з барвниками, його вперше було виділено з продуктів розкладу індиго — синього барвника рослинного походження (португ. *anil* — індиго, тобто блакитний). Перші синтетичні барвники мовеїн (фіолетового кольору) та фуксин (червоного кольору) було добуто в результаті хімічних перетворень із аніліну. Поступово він ставав основною сировиною для синтезу інших барвників, що отримали 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 відновлюють до аніліну. Склався такий ланцюг перетворень:

Кам'яне вугілля → Продукти коксування → Бензен → Нітробензен → Анілін → Синтетичні анілінові барвники.

У цьому ланцюзі тісно переплетені теорія і практика, розвиток науки і потреби промисловості. Щоб пояснити це, вдамося до історії.

Вважається, що виникнення промисловості органічного синтезу в Європі на початку 60-х років XIX ст. пов'язане з виробництвом синтетичних барвників на основі продуктів переробки кам'яного вугілля. Проте перші синтетичні барвники було добуто випадково у результаті хімічних експериментів. На той час хіміки не мали чітких уявлень про склад і будову цих сполук, не володіли теоретичними знаннями, на основі яких можна було б вести цілеспрямований синтез.

Розвиток теоретичних уявлень про взаємозв'язок між будовою та властивостями органічних речовин сприяв визначенню будови барвників, відкрив шлях для їх синтезу й широкого використання. У свою



**Микола Миколайович  
Зінін  
(1812—1880)**

Російський хімік, випускник, згодом професор Казанського університету, професор Медико-хірургічної академії у Петербурзі. Синтезував низку органічних сполук, вивчаючи реакції окиснення і 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.



чергу, розвиток хімічних виробництв стимулював розвиток теоретичної органічної хімії. Згодом було розроблено теорію кольоровості органічних речовин, що пов'язувала їх колір та електронну будову молекул.

У розробці теорії кольоровості велику роль відіграли українські вчені, зокрема А. І. Кіпріанов і його учні. Застосування цієї теорії дало змогу виконати такі важливі практичні завдання, як синтез текстильних барвників заданого кольору, а також створення світлочутливих матеріалів для виробництва кольорових фото- й кіноплівок.

Пошуки дешевої сировини для промисловості сприяли досконалому вивченню складу продуктів переробки кам'яного вугілля, серед яких було виявлено багато цінних сполук, що їх також використовують в органічному синтезі.

Анілінофарбова промисловість потребувала й неорганічних речовин, зокрема кислот і лугів. Ці потреби стимулювали паралельний розвиток неорганічного синтезу.

Анілін прислужився не лише промисловості барвників, а й фармацевтичній промисловості.

Анілін чинить жарознижувальну й знеболювальну дію, проте його не використовують як лікарський засіб через високу токсичність. А от серед похідних аніліну є багато ліків. Структура аніліну — основа так званих сульфамідних препаратів, до яких належать відомі вам бісептол, білий стрептоцид і багато інших.

Як засвідчує історія, лікарські засоби рослинного, тваринного і мінерального походження відомі людині споконвіку. Вправними лікарями були стародавні китайці та індуси, греки й римляни, араби. На Русі здавна використовувались цілющі трави. У XII ст. дуже популярним був «Травник» (посібник із лікування рослинами), створений онукою князя Володимира Мономаха, дружиною візантійського імператора Євпраксією.

Із розвитком хімічної науки з'явилася можливість виділяти з природних матеріалів біологічно активні речовини, вивчати їх і застосовувати в чистому вигляді. Хоча препарати природного походження,



**Андрій Іванович  
Кіпріанов  
(1896—1972)**

Український хімік-органік, академік. Закінчив Харківський університет. Працював у Харківському, Київському університетах, очолював Інститут органічної хімії АН України. Один із перших учених-хіміків застосував електронні уявлення для з'ясування залежності властивостей органічних сполук від їхньої будови. На цій основі сформулював теорію кольоровості органічних речовин. Синтезував чимало нових барвників, що їх використовують у промисловості фоточутливих матеріалів. Засновник наукової школи українських хіміків-органіків.

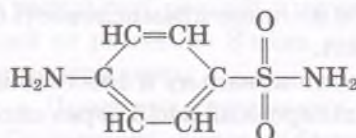


перевірені часом, ще й досі залишаються на озброєнні сучасної медицини, її потреби вже не можуть задовольнитися лише ними.

Сучасна медицина використовує величезну кількість лікарських засобів синтетичного походження. Їх створення ґрунтується на знанні взаємозв'язку між складом, будовою та властивостями органічних речовин, зокрема їхньою фізіологічною дією.

Синтез лікарських засобів тісно пов'язаний з розвитком хімії барвників. Коли було виявлено, що клітини живих організмів здатні забарвлюватися деякими барвниками, постало питання: чи не можуть барвники зв'язуватися із хвороботворними мікроорганізмами і знищувати їх? Звісно, ці речовини не мають уражати живі тканини.

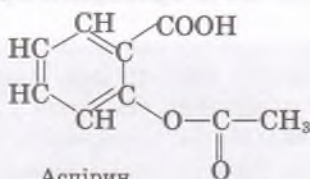
Таким препаратом був червоний стрептоцид, що виявив бактерицидну дію. Це було в 1935 р. Згодом з'ясувалося, що ця речовина в організмі розщеплюється до простішої, що й чинить лікувальну дію — до білого стрептоциду. Він має порівняно просту будову:



Білий стрептоцид

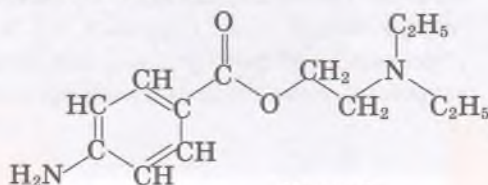
Поява у 30—40-х роках ХХ ст. сульфамідних препаратів забезпечила можливість лікування від таких смертельно небезпечних хвороб, як зараження крові, стрептококова ангіна, крупозне запалення легенів. Пізніше сульфамідні препарати було витіснено ефективнішими, зокрема антибіотиками, хоча ще часто сульфаміди залишаються незамінними протизапальними ліками.

Серед синтетичних лікарських засобів чільне місце посідають похідні бензену, аніліну, нітрогеновмісних гетероциклічних сполук. Наприклад, відомий протизапальний засіб аспірин (ацетилсаліцилова кислота) містить у своєму складі бензенове ядро та функціональні карбоксильну й естерну групи:



Аспірин

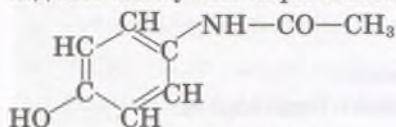
Знеболювальний (анестезувальний) засіб новокаїн — похідна сполука пара-амінобензойної кислоти:



Новокаїн



Протизапальний засіб панадол є похідною сполукою пара-амінофенолу:



Панадол



Мал. 136. Лікарські засоби є продуктами багатоступеневого синтезу

Сировиною для виробництва синтетичних лікарських препаратів є продукти вугільної, нафтохімічної, лісохімічної та інших галузей промисловості. Наприклад, для виробництва білого стрептоциду з продуктів коксування кам'яного вугілля виділяють бензен, із нього добувають нітробензен, що далі перетворюють на анілін. Анілін є вже так званим напівпродуктом, з якого за кілька хімічних стадій добувають сульфамід — власне білий стрептоцид.

Виробництво аспірину також відбувається за декілька стадій. Фенол, добутий із кам'яного вугілля, перетворюють на натрій (літій) фенолят, з нього під дією вуглекислого газу отримують саліцилову кислоту, яку за допомогою етанової кислоти перетворюють на етиловий естер.

Створення нового лікарського засобу — надзвичайно копітка праця. Із десятків тисяч сполук фармакологічну активність можуть виявити десятки, а увійти в медичну практику — лише одиниці. Пошукова робота потребує участі багатьох фахівців — хіміків-синтетиків, біохіміків, фармакологів, хіміотерапевтів, представників технічних спеціальностей (мал. 136).

Українські вчені мають досягнення в синтезі медичних препаратів. Популярний нині протигрипозний засіб ремантадин було створено за участю українських хіміків.



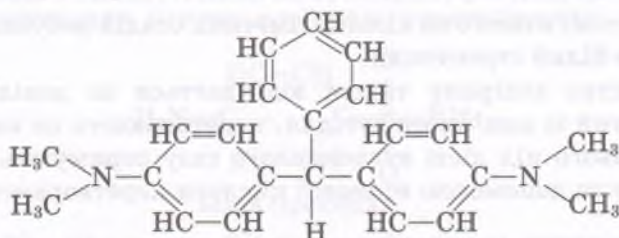
## Завдання для самоконтролю

1. Схарактеризуйте значення реакції Зініна.
2. Яку роль відіграв анілін у розвитку хімічної промисловості?
3. Назвіть функціональні групи сполук, згаданих у параграфі.
4. Для виробництва аніліну масою 1 т витратили: а) нітробензен масою 1,35 т і б) водень об'ємом 800 м<sup>3</sup>. Обчисліть вихід продукту за кожним із реагентів.

## Додаткові завдання

5. Поясніть, на чому ґрунтується припущення про *sp*<sup>3</sup>-гібридизацію електронних орбіталей атома Нітрогену в молекулах амінів.
6. Порівняйте будову молекул бензену й аніліну.
7. Складіть порівняльну таблицю властивостей метанаміну й аніліну.

8. Розмістіть у порядку зростання основних властивостей такі сполуки:  
 а) метанамін, анілін, *пара*-хлороанілін;  
 б)  $\text{NH}_3$ ,  $\text{C}_6\text{H}_5\text{—NH}_2$ ,  $(\text{CH}_3)_2\text{NH}$ ,  $\text{CH}_3\text{NH}_2$ .
9. Порівняйте галузі застосування аніліну й фенолу.
10. Складіть рівняння реакцій за наведеною схемою перетворень:  
 $\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{X} \rightarrow \text{CaC}_2 \rightarrow \text{Y} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_6 \rightarrow \text{Z} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_7\text{N} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_4\text{Br}_3\text{N}$ .  
 Укажіть речовини X, Y, Z:  
 А X — метан, Y — етин, Z — анілін  
 Б X — кальцій оксид, Y — етин, Z — нітробензен  
 В X — кальцій оксид, Y — метан, Z — толуен.
11. Поясніть на прикладі виробництва анілінових барвників, як ви розумієте взаємозв'язок теорії і практики.
12. Формула барвника малахітового зеленого



Якщо замінити метильні групи на етильні, то утвориться барвник брильянтового зеленого. Складіть формулу цієї сполуки. Де вона використовується?

## Висновки

- Аміни містять функціональну аміногрупу  $\text{—NH}_2$ , сполучену з вуглеводневою групою.
- Основні параметри молекули триметиламіну:  
 гібридизація електронних орбіталей атомів Нітрогену й Карбону —  $sp^3$ ;  
 довжина зв'язку  $\text{C—N}$  — 0,147 нм;  
 енергія зв'язку  $\text{C—N}$  — 305 кДж/моль;  
 валентний кут —  $108^\circ$ ;  
 види ізомерії — структурна ізомерія карбонового ланцюга, положення аміногрупи та між первинними, вторинними й третинними амінами.
- Аміни — полярні сполуки.
- Первинні й вторинні аміни утворюють водневі зв'язки.
- Через наявність неподіленої пари електронів у атома Нітрогену аліфатичні аміни виявляють основні властивості й реагують з кислотами і водою.
- Порівняно з амоніаком аліфатичні аміни — сильніші основи, анілін — слабша основа.
- Анілін виявляє властивості, зумовлені взаємним впливом аміногрупи та бензенового ядра: не діє на індикатори, реагує лише із сильними кислотами, а також із бромною водою.



- Основний спосіб добування амінів — відновлення нітросполук.
- Анілін добувають з нітробензену за реакцією Зініна.
- Анілін і його похідні широко використовують у різних галузях промисловості, зокрема в анілінофарбовій і фармацевтичній.

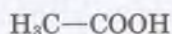


## § 43. АМІНОКИСЛОТИ

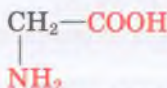
**Склад і будова молекул.** Із курсів біології та хімії 9 класу вам відомо про роль **амінокислот** і **білків** у життєдіяльності організмів, про хімічний склад цих сполук. Коротко нагадаємо про це.

Молекули амінокислот містять по дві функціональні групи: **карбоксильну** —COOH й **аміногрупу** —NH<sub>2</sub>.

Якщо в молекулі етанової кислоти CH<sub>3</sub>COOH один атом Гідрогену метильної групи замінити на аміногрупу, то утвориться найпростіша амінокислота — аміноетанова (амінооцтова, гліцин):



Етанова кислота



Аміноетанова кислота (гліцин)

За складом амінокислоти дуже різномантні, можуть містити дві карбоксильні групи або дві аміногрупи, фенільну (—C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>), гідроксильну (—OH) і дисульфідну (—S—S—) та інші групи. Приклади деяких представників амінокислот наведено в таблиці 18.

**Назви амінокислот** за систематичною номенклатурою *утворюють від назв відповідних алканів (нумерація від Карбону карбоксильної групи) додаванням префікса -аміно, суфікса -ова і слова кислота*. Перед назвою цифрами позначають положення замісників (у тому числі й аміногрупи) в абетковому порядку.

За традиційною номенклатурою до назв відповідних карбонових кислот додають префікс **-аміно-**. Місце аміногрупи відносно карбоксильної групи позначають літерами грецького алфавіту: α, β, γ, δ, ε (аланін — α-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 аланіну і гліцину наведено на мал. 137.

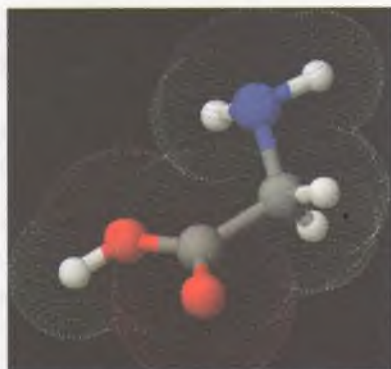
Амінокислотам властиві **структурна ізомерія** карбонового скелета й положення аміногрупи, **оптична ізомерія**.

Складіть формули структурних ізомерів α-амінобутанової кислоти і назовіть їх за систематичною номенклатурою.

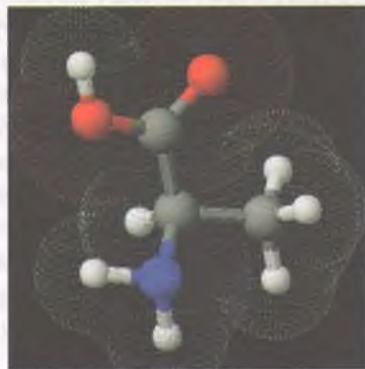
## Представники амінокислот

Назва		Структурна формула
систематична	тривіальна	
Аміноетанова	Гліцин (амінооцтова)	$\text{H}_2\text{N}-\text{CH}_2-\text{COOH}$
2-Амінопропано- нова	Аланін ( $\alpha$ -амінопропано- нова)	$\begin{array}{c} \text{H}_3\text{C}-\text{CH}-\text{COOH} \\   \\ \text{NH}_2 \end{array}$
3-Амінопропано- нова	$\beta$ -Аланін ( $\beta$ -амінопропано- нова)	$\begin{array}{c} \text{H}_2\text{C}-\text{CH}_2-\text{COOH} \\   \\ \text{NH}_2 \end{array}$
2-Аміно-3- метилбутанова	Валін ( $\alpha$ -аміно- ізовалеріанова)	$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\   \\ \text{H}_3\text{C}-\text{CH}-\text{CH}-\text{COOH} \\   \\ \text{NH}_2 \end{array}$
2,6-Діаміно- гексанова	Лізин ( $\alpha$ -, $\epsilon$ -діаміно- капронова)	$\begin{array}{c} \text{H}_2\text{N}-(\text{CH}_2)_4-\text{CH}-\text{COOH} \\   \\ \text{NH}_2 \end{array}$
2-Аміно-3-гідро- ксипропано- нова	Серин ( $\alpha$ -аміно- $\beta$ -гідроксипропано- нова)	$\begin{array}{c} \text{HO}-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{COOH} \\   \\ \text{NH}_2 \end{array}$
2-Аміно-3- сульфаніл- пропано- нова	Цистеїн ( $\alpha$ -аміно- $\beta$ -меркаптопропано- нова)	$\begin{array}{c} \text{HS}-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{COOH} \\   \\ \text{NH}_2 \end{array}$
2-Аміно- пентадіова	Глутамінова кислота ( $\alpha$ -аміноглутарова)	$\begin{array}{c} \text{HOOC}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{COOH} \\   \\ \text{NH}_2 \end{array}$

**Фізичні властивості.** Амінокислоти, на відміну від амінів і карбонових кислот, — кристалічні речовини, що мають високі температури плавлення, розчиняються у воді, добре кристалізуються. Цим власти-



а



б

Мал. 137. Моделі молекул гліцину (а) й аланіну (б)



востям більшою мірою відповідає структура амінокислот як «внутрішніх солей», тому формули амінокислот прийнято записувати у вигляді *біполярного йона*:



**Хімічні властивості.** Зважаючи на наявність карбоксильних та аміногруп, можна припустити, що розчини амінокислот діють на індикатори. Результат такої дії залежить від того, які групи переважають у молекулі амінокислоти. Розчин гліцину  $\text{H}_2\text{N}-\text{CH}_2-\text{COOH}$  нейтральний, а розчин лізину  $\text{H}_2\text{N}-(\text{CH}_2)_4-\text{CH}(\text{NH}_2)-\text{COOH}$  має лужну реакцію.

Поеднуючи в собі протилежні за характером основні й кислотні групи, амінокислоти виявляють властивості **амфотерних сполук**, тобто здатні утворювати солі і з кислотами, і з основами.

Пригадайте, у чому полягають особливості неорганічних амфотерних сполук, наведіть приклади реакцій за їх участю.

За карбоксильною групою амінокислоти взаємодіють з основами, вступають у реакцію **естерифікації** зі спиртами. За аміногрупою вони реагують із мінеральними кислотами.

Найважливішою особливістю амінокислот є взаємодія молекул між собою. У реакцію вступають протилежні за функціями групи:

### Реакції амінокислот

Взаємодія з

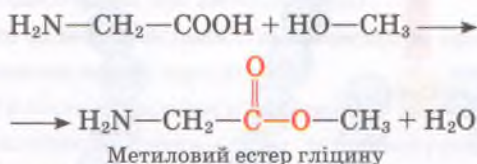
**кислотами:**



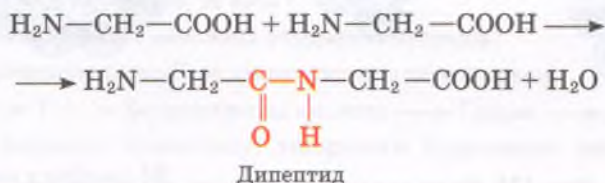
**основами:**



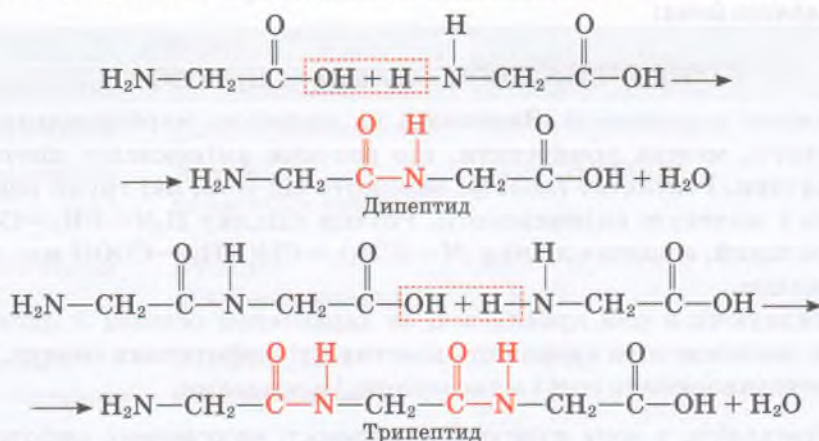
**спиртами:**



**Утворення пептидів**

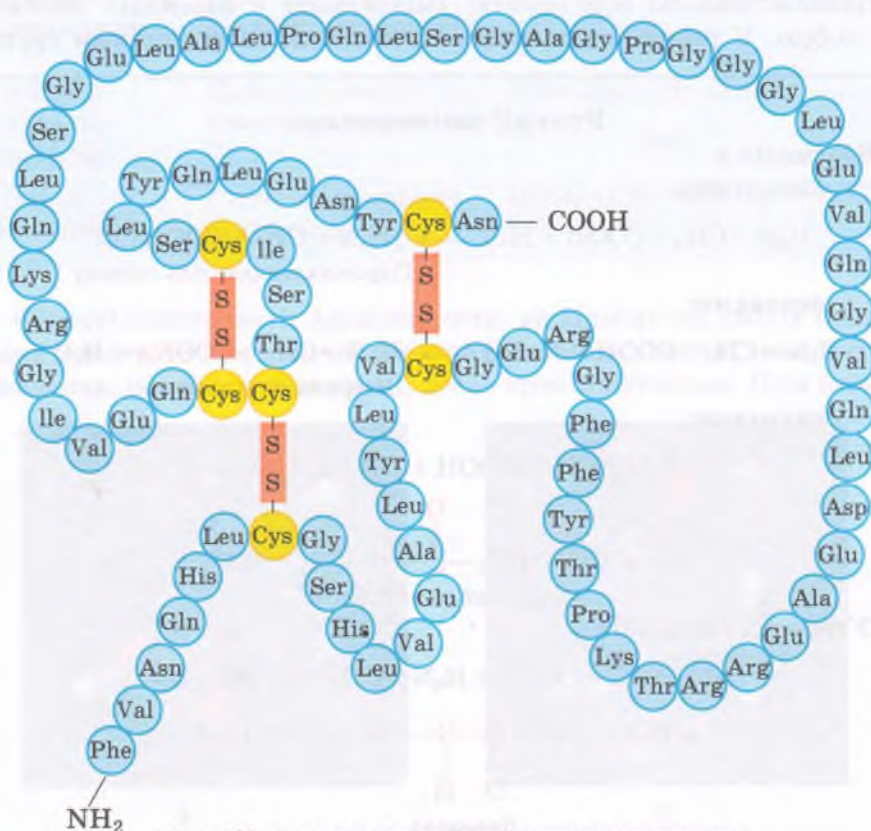


карбоксильна група однієї молекули та аміногрупа іншої. Унаслідок реакції утворюються ди-, три-, ..., поліпептиди й виділяється вода:



Зв'язок між залишками амінокислот називають *пептидним* (або

*амідним*) зв'язком, а групу  $\overset{\text{O}}{\parallel}\text{C}-\overset{\text{H}}{\text{N}}-$  *пептидною* (або *амідною*) групою. Поліпептидний ланцюг є основою будови молекул білків (мал. 138).



Мал. 138. Фрагмент моделі поліпептидного ланцюга



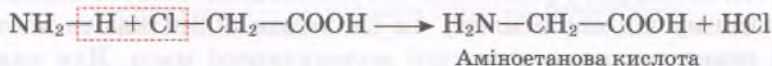
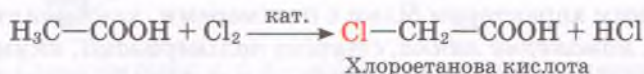
**Значення.** До складу білків входять 20  $\alpha$ -амінокислот, причому 8 з них належать до *незамінних*. Що це означає? Тоді як рослини синтезують усі необхідні їм амінокислоти з поживних речовин, природа не наділила такою здатністю тварин і людину. Лише деякі необхідні для життєдіяльності амінокислоти організм може виробляти самостійно, інші ж він має одержувати з їжею. Нестача незамінних амінокислот призводить до патологічних процесів у організмі.

Із курсу біології вам відоме значення амінокислот. Яким має бути склад їжі, щоб організм отримував усі необхідні амінокислоти?

Хворим, виснаженим людям іноді вводять амінокислоти у кров, тим самим полегшується їх засвоєння та підтримуються сили організму. Деякі амінокислоти є ліками.

Для підгодівлі сільськогосподарських тварин використовують синтетичні амінокислоти.

**Добування.** Загальним методом синтезу  $\alpha$ -амінокислот є дія амоніаку на хлоропохідні карбонових кислот:



Амінокислоти добувають також *гідролізом білків* (для цього використовують відходи м'ясної промисловості).

Деякі мікроорганізми здатні виробляти амінокислоти. На цьому ґрунтується *мікробіологічний метод* виробництва кормового лізину.



## Завдання для самоконтролю

- Амінокислоти належать до гетерофункціональних сполук. Поясніть цей термін.
- Чи можна скласти загальну формулу амінокислот?
- Чим зумовлена різноманітність амінокислот?
- Як утворюється біполярний йон амінокислоти?
- Схарактеризуйте фізичні властивості амінокислот як йонних сполук.
- Поясніть дію амінокислот на індикатори.
- Схарактеризуйте хімічні властивості амінокислот як амфотерних сполук.
- У які реакції вступають амінокислоти за: аміногрупою; карбоксильною групою? Складіть рівняння відповідних реакцій.
- Як утворюється пептидний зв'язок?
- До якого типу реакцій належить утворення пептидів?
- Складіть рівняння реакцій за такою схемою перетворень:  
Етанол  $\longrightarrow$  ?  $\longrightarrow$  Хлороетанова кислота  $\longrightarrow$  Гліцин  $\longrightarrow$  Дипептид
- Складіть формулу трипептиду, утвореного будь-якими амінокислотами, наведеними в таблиці 18.
- Схарактеризуйте значення амінокислот.





## § 44. БІЛКИ

**Склад і будова.** Думку про те, що амінокислоти є «цеглинками», з яких побудовані білки, уперше висловив видатний український біохімік і хімік Іван Якович Горбачевський.

Пригадайте, які ще заслуги перед наукою має цей учений.

Автором *поліпептидної теорії* будови білків є видатний німецький хімік Е. Фішер. На початку XX ст. він синтезував перші поліпептиди (прийнято, що поліпептиди містять до 100 амінокислотних ланок, а білки — понад 100).

У всіх видів живих організмів налічується близько  $10^{10}$ — $10^{12}$  різних білків. Кожний з них має унікальну, властиву саме йому послідовність амінокислотних залишків і просторову будову. Усе це в сукупності визначає біологічні властивості білка.

За хімічним характером білки є полімерами, хоча поняття *молекулярна маса, мономерна ланка, ступінь полімеризації*, якими характеризуються полімери, у разі білків набувають дещо іншого тлумачення.

На відміну від поліетилену чи целюлози білки мають постійний склад і певне значення відносної молекулярної маси. Для вивчених білків можна скласти брутто-формулу, наприклад для білка гемоглобіну — це  $C_{3032}H_{4816}Fe_4N_{780}O_{872}S_8$ . Заміна хоча б однієї амінокислоти в полімерному ланцюзі білка на іншу амінокислоту має серйозні наслідки для його функціонування в організмі.

Мономерну ланку білка виділити неможливо, оскільки послідовність амінокислот у кожного білка своя, унікальна, регулярно повторювані фрагменти у відомих білках не виявлено. Через це поняття ступеня полімеризації втрачає первісний зміст. Може йтися лише про число пептидних зв'язків у полімерному ланцюзі.

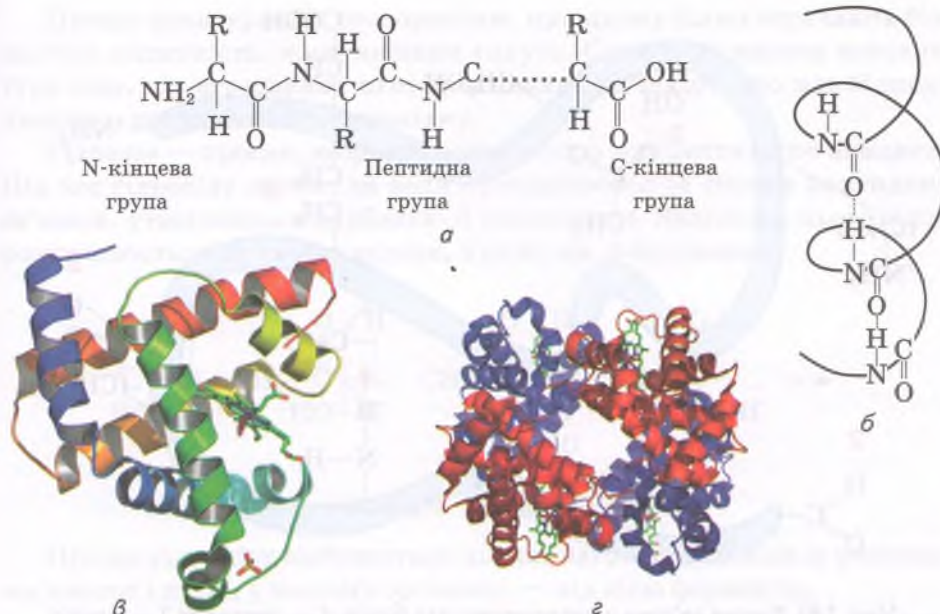
Розрізняють чотири рівні структурної організації білків — *первинну, вторинну, третинну і четвертинну* (мал. 139).



Німецький хімік, член Берлінської АН. Наукові праці присвячені хімії фізіологічно активних речовин. Синтезував низку вуглеводів, зокрема глюкозу і фруктозу. Встановив, що амінокислоти сполучаються між собою за допомогою пептидних зв'язків з утворенням поліпептидів, уперше добув дипептид. Лауреат Нобелівської премії 1902 р.

**Еміль Герман  
Фішер  
(1852—1919)**





Мал. 139. Структура білка: а, б, в — відповідно первинна, вторинна, третинна структури; г — четвертинна структура гемоглобіну

**Первинну** структуру зумовлює послідовність сполучення амінокислотних залишків у молекулі білка.

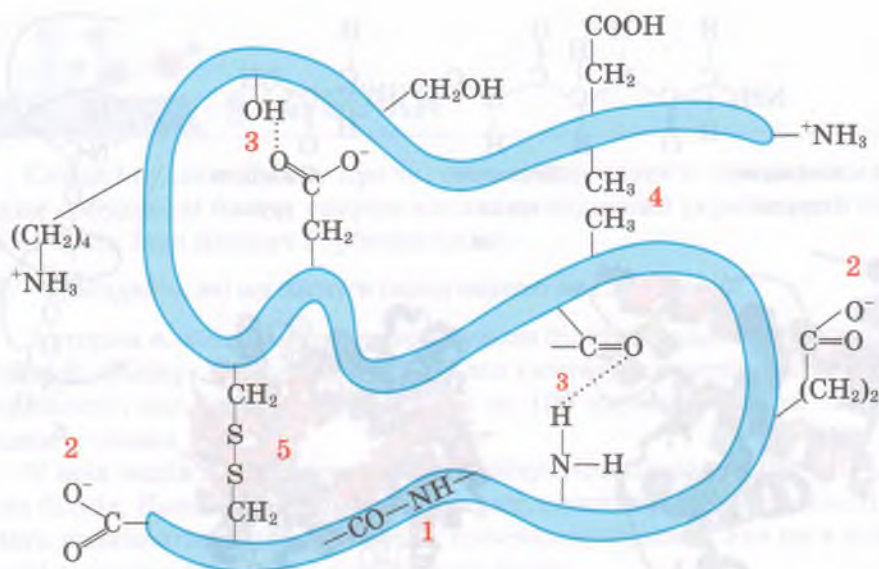
Самі амінокислоти дуже різняться за складом, містять різні за електронегативністю атоми Гідрогену, Оксигену, Нітрогену, Сульфору. Ці атоми взаємодіють між собою, «змушуючи» поліпептидний ланцюг вигинатися і набувати просторової будови. Завдяки утворенню водневих зв'язків між пептидними групами певні ділянки білка можуть скручуватися у формі спіралі (**вторинна** структура).

Між ділянками полімерного ланцюга, де є залишки сульфуровмісних амінокислот, можуть утворюватися дисульфідні містки, а між карбоксильними й аміногрупами — сольові містки. Як наслідок відбувається специфічна просторова орієнтація полімерного ланцюга, що й зумовлює **третинну** структуру білка (мал. 140).

Установлено, наприклад, що молекула міоглобіну містить 153 амінокислотні залишки, відносна молекулярна маса його становить 16 700. Полімерний ланцюг має вісім відносно прямолінійних відрізків, кожний із яких — це спіраль, що містить від 7 до 23 амінокислотних залишків (див. мал. 139, в).

Деякі білки характеризуються **четвертинною** структурою. У білку гемоглобіну цю структуру утворюють чотири макромолекули, певним чином зорієнтовані одна відносно одної. У складі кожної макромолекули міститься йон  $\text{Fe}^{2+}$ . Отже, утворюється білковий комплекс, що виконує певну функцію в організмі.

Пригадайте з курсу біології, у чому полягає функція гемоглобіну крові.



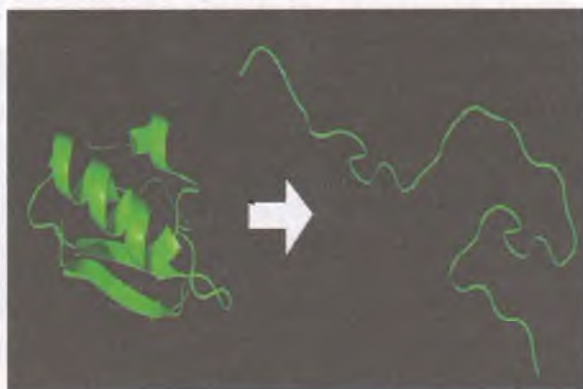
Мал. 140. Хімічні зв'язки у макромолекулах білків: 1 — пептидні; 2 — йонні; 3 — водневі; 4 — неполярні; 5 — дисульфідні

Чотирма рівнями структурної організації характеризується білок волосся  $\beta$ -кератин: це суперспіраль, що нагадує кількажильний кабель.

Через складність будови вивчення білків — надзвичайно важке завдання.

**Властивості.** Нагріємо розчин білка курячого яйця і спостерігатимемо, як він зсідается, або денатурує (від лат. *de i natura* — втрата природних якостей). Саме цей процес **денатурації** ви спостерігаєте під час приготування їжі з м'яса, яєць, риби.

Із хімічного боку денатурація спричиняє руйнування слабких міжмолекулярних зв'язків, а отже, вторинної і третинної структур. Білок втрачає властиву йому просторову будову, а отже, залежні від неї функції (мал. 141).

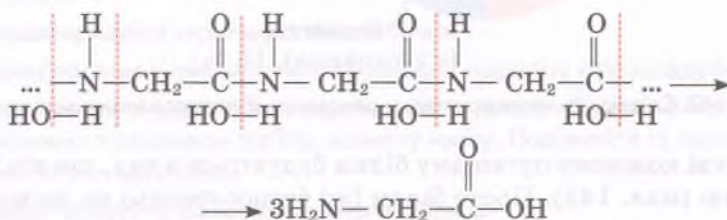


Мал. 141. Денатурація білка



Процес денатурації є незворотним, при цьому білки втрачають біологічну активність, живі клітини гинуть. Саме тому висока температура тіла, дія агресивних хімічних сполук на шкіру, що має білкову природу, небезпечні для організму.

**Гідроліз** — процес, зворотний утворенню поліпептидного ланцюга. Під час гідролізу молекули води приєднуються за місцем пептидних зв'язків, утворюються карбокси- й аміногрупи. Внаслідок цього білок розщеплюється на амінокислоти, з яких він побудований:



Процес гідролізу відбувається під час нагрівання білків із розчинами кислот і лугів, у живому організмі — під дією ферментів.

**Розклад.** Процес відбувається під дією мікроорганізмів, а продукти розкладу — амоніак, сірководень, фенол, інші речовини — мають неприємний запах, знайомий вам із побуту (протухлі яйце, м'ясо чи риба).

До яких способів удаються, щоб запобігти розкладу білків у складі їжі?

Для аналітичного виявлення білків використовують так звані **кольорові реакції**.



### Лабораторний дослід 19

#### Кольорові реакції білків

**Д о с л і д А.** До розчину білка курячого яйця у пробірці додайте розчин лугу такого самого об'єму і декілька краплин слабкого розчину купрум(II) сульфату.

Що спостерігається? Як змінилося забарвлення розчину?

**Д о с л і д Б.** До розчину білка у пробірці додайте трохи концентрованої нітратної кислоти.

Що спостерігаєте? Як змінився колір суміші?

Поява жовтого забарвлення в результаті реакції білка з концентрованою нітратною кислотою (*ксантопротеїнова реакція*) свідчить про наявність бензенових ядер у структурі білка. Червоно-фіолетове забарвлення білка в результаті дії купрум(II) гідроксиду (*біуретова реакція*) засвідчує наявність пептидних зв'язків.

**Значення білків.** Білки є основним будівельним матеріалом тваринних організмів, а саме їх клітин. М'язи, гемоглобін крові, волосся, шкіра, ферменти мають білкову природу.



Мал. 142. Співвідношення поживних речовин у збалансованому харчуванні

Властиві кожному організму білки будуються з тих, що він їх одержує з їжею (мал. 142). Проте білки їжі безпосередньо не засвоюються організмом, спершу вони гідролізуються до амінокислот під впливом речовин, що містяться у травному каналі, потім амінокислоти всмоктуються у кров, а вже з нею переносяться до клітин організму, де синтезуються властиві йому білки.

Проблема синтезу білків *in vitro* давно турбує вчених, хоча досягнення в цій галузі незначні: добуто лише окремі білки нескладної будови. Причину цього ви, напевно, вже можете пояснити. Певний поступ спостерігається завдяки автоматизації процесів синтезу.

Значно більших успіхів досягнуто в розробленні методів *мікробіологічного синтезу* білків. Розвинулася нова галузь виробництва — *біотехнологія*, що включає промислові методи, в яких використовують живі організми (переважно мікроорганізми) та біологічні процеси.

Виготовлення дріжджового тіста, вина, пива, оцту, кисломолочних продуктів також належить до біотехнологічних процесів, оскільки відбувається за участю мікроорганізмів.

Унаслідок здатності деяких мікроорганізмів швидко розмножуватися можна нарощувати значну біомасу впродовж короткого часу. До того ж використовується дешева сировина, оскільки живильним середовищем для мікроорганізмів можуть бути неочищені вуглеводні нафти, солома, лузга насіння, тирса, відходи бродильної та целюлозної промисловості тощо.

Сучасна мікробіологічна промисловість виробляє білкові добавки до тваринного корму, вітаміни, антибіотики, ферменти й багато інших корисних речовин.

Щоправда, ця користь іноді обертається негативними наслідками для довкілля. Оскільки біотехнологія пов'язана із розмноженням мікроорганізмів, то її відходи, потрапляючи у водойми, ґрунт, можуть завдати шкоди природним угіддям, порушувати баланс природних процесів. Щоб запобігти цьому, слід дотримуватися високої культури виробництва, за якої апаратура для вирощування мікроорганізмів надійно герметизується, а відходи знешкоджуються.





## Завдання для самоконтролю

1. Яка хімічна будова білків?
2. Чим зумовлена надзвичайна різноманітність білків?
3. Схарактеризуйте білки за такими ознаками: відносна молекулярна маса, мономерна ланка, ступінь полімеризації.
4. Які чинники визначають первинну, вторинну, третинну і четвертинну структури білка?
5. Схарактеризуйте термічну стійкість білків.
6. У чому полягає відмінність між процесами гідролізу й розкладу білків?
7. Білки горять з утворенням характерного запаху. Переконайтесь у цьому, обережно підпаливши пір'їну, вовняну нитку. Порівняйте із запахом бавовняної нитки, що горить.
8. Схарактеризуйте біологічне значення білків.

## Додаткові завдання

9. Поясніть, яким чином будова амінокислот позначається на їхніх властивостях.
10. Зробіть припущення про хімічні властивості серину.
11. Білки належать до біополімерів. Укажіть речовину, що її можна назвати так само: **А** клітковина **Б** крохмаль **В** глюкоза **Г** жир.
12. У чому полягає складність вивчення структури білків?
13. Схарактеризуйте значення процесу гідролізу білків, жирів, вуглеводів для функціонування організму.
14. Чи можна повністю замінити білкову їжу на вуглеводну? Чому?
15. Спираючись на знання властивостей білків, поясніть, чому посуд із-під молочних продуктів слід мити спершу холодною водою, а потім гарячою, а не навпаки.

## Висновки

- Усі амінокислоти містять карбоксильну й 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 властиві первинна, вторинна, третинна, деяким — четвертинна структури.
- Білки здатні до гідролізу, розкладу, денатурації.
- Білки можна виявити за допомогою кольорових реакцій.
- Розшифрування складу білків та їх синтез є важливою науковою проблемою.

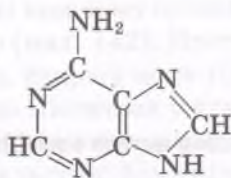


## § 45. НУКЛЕЇНОВІ КИСЛОТИ

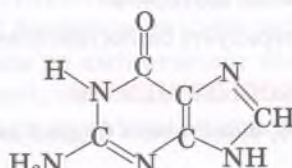
**Склад і будова молекул.** У функціонуванні живих організмів важливу роль відіграють нуклеїнові кислоти (НК). Вони містяться в кожній живій клітині й контролюють її роботу.

Нуклеїнові кислоти відкрив у 1868 р. швейцарський учений Ф. Мішер. Він також визначив у їх складі Карбон, Гідроген, Оксиген, Нітроген, Фосфор (останній міститься у вигляді залишку ортофосфатної кислоти). Згодом було виявлено, що до складу НК входять нітрогеновмісні гетероциклічні сполуки, так звані *азотисті основи*.

### Пуринові основи

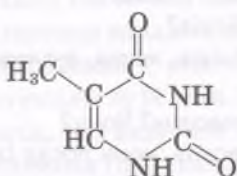


Аденін

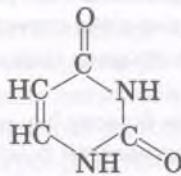


Гуанін

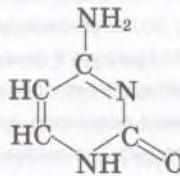
### Піримідинові основи



Тимін



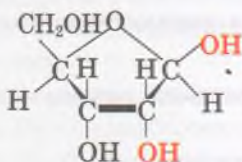
Урацил



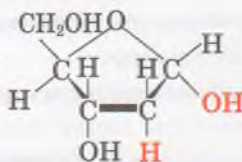
Цитозин

До якої групи сполук належать пурин, піримідин та їхні похідні?

До 1910 р. було невідомо, як саме сполучені між собою азотисті основи й ортофосфатна кислота, аж доки у складі НК не виявили залишки вуглеводів — моносахаридів. З'ясувалося, що існують два типи НК: до складу одних входить моносахарид рибоза, а до складу інших — дезоксирибоза. Відповідно кислоти було названо *рибонуклеїновою* (РНК) і *дезоксирибонуклеїновою* (ДНК).



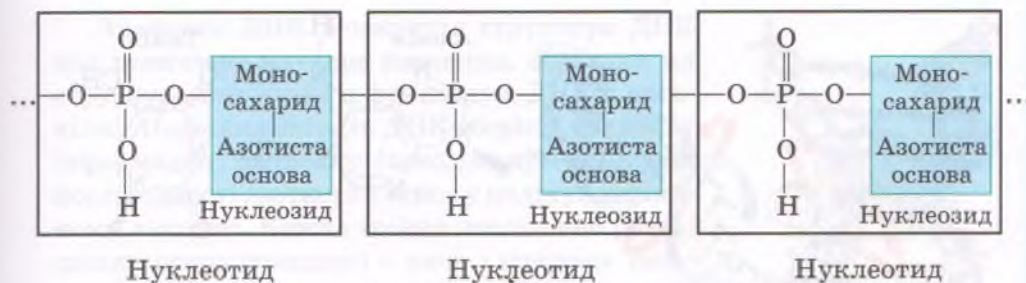
Рибоза



Дезоксирибоза

Отже, у складі НК поєднуються нітрогеновмісні гетероцикли, моносахариди й залишок ортофосфатної кислоти.





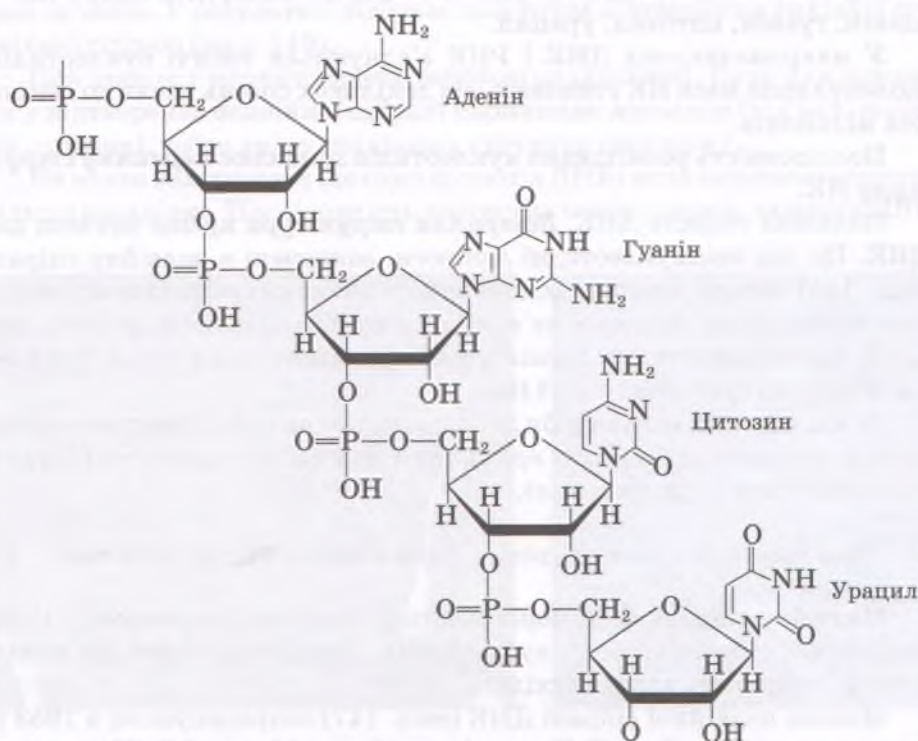
Мал. 143. Схема будови нуклеїнової кислоти

До того ж НК є полімерними сполуками. Загалом схему полімерного ланцюга можна подати, як на мал. 143, 144.

У молекулі НК азотиста основа сполучена з моносахаридом — цей фрагмент називають *нуклеозидом*. Нуклеозид, сполучений із залишком ортофосфатної кислоти, утворює *нуклеотид*.

Нуклеотиди є мономерними ланками полімерного ланцюга НК.

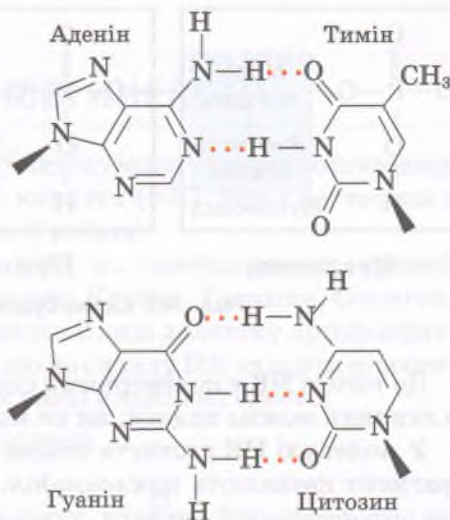
Пригадайте, що вуглеводи здатні утворювати естери з неорганічними кислотами. Саме такий зв'язок виникає між ортофосфатною кислотою та моносахаридами в НК. Цей зв'язок руйнується в результаті гідролізу НК, при цьому утворюється суміш нуклеотидів.



Мал. 144. Фрагмент полімерного ланцюга нуклеїнової кислоти



Мал. 145. Схема подвійної спіралі ДНК та її реплікації



Мал. 146. Схема утворення водневих зв'язків між азотистими основами паралельних ланцюгів ДНК

ДНК і РНК містять різні азотисті (нітрогеновмісні) основи. До складу ДНК входять аденін, гуанін, тимін, цитозин, до складу РНК — аденін, гуанін, цитозин, урацил.

У макромолекулах ДНК і РНК з'єднуються тисячі нуклеотидів. Молекулярна маса НК становить від декількох сотень тисяч до декількох мільйонів.

Послідовність розміщення нуклеотидів зумовлює *первинну структуру* НК.

**Подвійна спіраль ДНК.** Вторинна структура краще вивчена для ДНК. Це два полінуклеотидні ланцюги, закручені в подвійну спіраль (мал. 145). Кожна азотиста основа одного ланцюга спрямована вглиб спіралі й сполучена водневим зв'язком з азотистою основою другого ланцюга. Важливим є те, що аденін завжди розміщується в парі з тиміном, цитозин — із гуаніном (мал. 146).

Отже, азотисті основи ніби доповнюють одна одну. Інакше кажучи, вони розміщуються згідно з *принципом комплементарності* (від лат. *complementum* — доповнення).

Пригадайте, яку роль відіграють водневі зв'язки у структурі білків.

Подвійну спіраль ДНК порівнюють із гвинтовими сходами. «Стояки» сходів — це ланцюги з вуглеводних і фосфатних груп, а азотисті основи утворюють власне «східці».

Модель подвійної спіралі ДНК (мал. 147) запропонували в 1953 р. американський учений Д. Вотсон і англійський учений Ф. Крік, за що були удостоєні Нобелівської премії 1962 р. (мал. 148).



**Значення ДНК.** Розкриття структури ДНК має величезне наукове значення, оскільки ця структура пов'язана з функціями ДНК в організмі. Подвійна спіраль ДНК зберігає спадкову інформацію, записану (закодовану) у вигляді послідовності азотистих основ у полінуклеотидному ланцюзі. Кожна трійка послідовно розміщених основ (триплет) є наче «літерою» генетичного коду, одиницею спадкової інформації. Її називають *кодоном*.

Передача інформації відбувається завдяки здатності ДНК до *реплікації* (від лат. *replicatio* — відбиття) (див. мал. 145). ДНК подвоюється, щоб забезпечити дочірню клітину повним набором відповідних молекул. У момент поділу клітини розриваються водневі зв'язки, подвійна спіраль починає розкручуватися, розділяючись на два ланцюги. На кожному з них добудовується додатковий ланцюг за рахунок нуклеотидів, що постачаються з навколишнього середовища і розміщуються за принципом комплементарності. Між азотистими основами утворюються нові водневі зв'язки. У результаті відбувається точне відтворення вихідної подвійної спіралі (мал. 149).

Цей процес є молекулярною основою спадковості. Будь-яка помилка у відтворенні подвійної спіралі спричиняє *мутацію* (від лат. *mutatio* — зміна), тобто зміну спадкових структур організму.

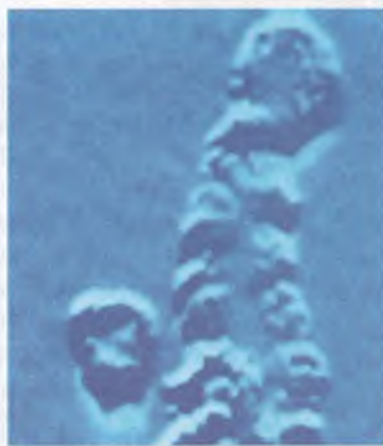
Не менш важливою є ще одна функція ДНК: вона спрямовує синтез білка в організмі. Послідовність азотистих основ уздовж ланцюга ДНК



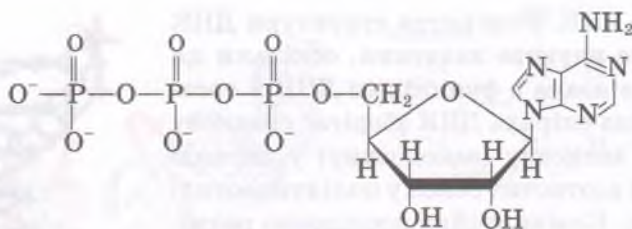
Мал. 147. Модель подвійної спіралі ДНК



Мал. 148. Майбутні нобелівські лауреати Д. Вотсон і Ф. Крік біля першої моделі ДНК



Мал. 149. Електронна мікрографія молекули ДНК



Мал.150. АТФ

визначає послідовність амінокислот у білкових молекулах. Кожній амінокислоті відповідає свій кодон. Ця інформація використовується під час синтезу білка в клітині. Отже, структура молекул НК визначає структуру молекул білків, що синтезуються в організмі.

Для того щоб в організмі відбувався синтез білків та інші біохімічні реакції (наприклад, такі, що мають місце під час скорочення м'язів чи перетравлювання їжі, підтримання температури тіла, передачі нервових імпульсів — загалом під час виконання всіх життєвих функцій), потрібна енергія. Її запас акумулюється в хімічних зв'язках молекули аденозинтрифосфату (АТФ). Ця сполука утворюється з вуглеводу рибози, гетероциклічної сполуки аденіну і трьох залишків ортофосфатної кислоти (мал. 150).

Під дією біокаталізаторів (ферментів) розриваються зв'язки між кінцевими фосфатними групами, енергія передається іншим молекулам, а АТФ перетворюється на АДФ (аденозиндифосфат). Фосфатна група може знову приєднатися за рахунок поглинання сонячної енергії (у разі фотосинтезуючих клітин) або хімічної енергії (у разі гетеротрофних клітин), що виділяється внаслідок утилізації вуглеводів, жирів, білків. Отже, у процесі регенерації АТФ енергія запасається. АТФ є основним носієм хімічної енергії клітин усіх живих організмів.

## Висновки

- Нуклеїнові кислоти — природні полімери.
- Мономерні ланки НК — нуклеотиди — складаються із хімічно зв'язаних нуклеозидів (азотиста основа + вуглевод) і залишків ортофосфатної кислоти.
- Є два типи НК: рибонуклеїнові (РНК) і дезоксирибонуклеїнові (ДНК). Вони різняться між собою за складом вуглеводів і азотистих основ.
- Кожна НК має властиву тільки їй послідовність нуклеотидів (первинна структура).
- Вторинна структура ДНК — це подвійна спіраль, у якій утворюються водневі зв'язки між азотистими основами.
- Азотисті основи в ДНК розміщені за принципом комплементарності.
- Триплет азотистих основ є кодоном генетичної інформації.
- Передача генетичної інформації відбувається завдяки реплікації ДНК.





## Завдання для самоконтролю

- Поясніть склад і хімічну будову НК.
- Дайте означення понять: нуклеїнова кислота; нуклеотид; нуклеозид.
- Укажіть мономерну ланку нуклеїнових кислот.  
**А** пептид                      **В** нуклеозид  
**Б** нуклеотид                  **Г** моносахарид.
- Чим різняться між собою за складом ДНК і РНК?
- Виділіть на мал. 144 мономерну ланку НК.
- Як, на вашу думку, відбувається частковий і повний гідроліз НК? Які сполуки при цьому утворюються?
- Що означає парність азотистих основ у структурі ДНК?
- Поясніть за мал. 146, як утворюються водневі зв'язки між ланцюгами ДНК.
- Що таке кодон? Обчисліть кількість можливих кодонів за формулою числа сполучень:  
 $m^n$ , де  $m$  — число азотистих основ;  $n$  — число основ у кодоні.
- До чого може призвести помилка в послідовності нуклеотидів?
- Укажіть, яку роль виконує ДНК у живому організмі:  
**А** будівельний матеріал  
**Б** збереження енергії  
**В** збереження генетичної інформації  
**Г** передача генетичної інформації.
- Поясніть зв'язок між НК і білками в організмі.
- Схарактеризуйте значення відкриття структури ДНК, спираючись на знання з курсу біології.
- «Під час уважного вивчення живих організмів, починаючи від найпростіших одноклітинних водоростей і бактерій і закінчуючи найскладнішими і найдосконалішими хребетними тваринами й людиною, стає помітною одна не випадкова особливість. Усі життєво важливі процеси в організмах відбуваються за безпосередньої участі тваринних і рослинних полімерних молекул. Низькомолекулярні речовини, такі як вода, мінеральні солі, і навіть деякі прості жири й вуглеводи входять у життєвий процес лише як середовище, тло, на якому працюють біополімери і їхні комплекси: білки, нуклеїнові кислоти, нуклеопротейди, полісахариди, ліпопротейди тощо. Кожний із цих речовин при-  
 таманні усі особливості, властиві полімерам. Разом із тим варто підкреслити, що вражаюча багатоманітність властивостей біополімерів пов'язана не лише і не настільки з відмінностями їхнього складу, як з величезною різноманітністю їхньої будови». (В. П. Кушнер).  
 Прокоментуйте поданий текст. На основі знань з біології і хімії схарактеризуйте значення біополімерів у природі. Підготуйте повідомлення з цього питання.
- Зробіть узагальнення щодо взаємозв'язку між складом, структурою та функціями біологічно активних речовин.



# Синтетичні високомолекулярні сполуки

**Нові поняття і терміни:**

поліконденсація, деполімеризація, термопластичні, термореактивні полімери, поліамідні волокна.



## § 46. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА

Розрізняють полімери натуральні (природні), штучні й синтетичні. Серед органічних речовин, що ви їх вивчали, були представники 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 з целюлози. Треті є продуктами органічного синтезу і створюються з речовин неpolімерної будови, наприклад відомий вам з 9 класу поліетилен.

**Реакції полімеризації та поліконденсації.** Є два основні способи утворення полімерів: реакція полімеризації та реакція поліконденсації. Обидві реакції вам відомі в загальному вигляді. Розглянемо їх докладніше.

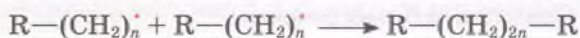
Реакція полімеризації властива ненасиченим речовинам, які здатні до сполучення одна з одною. Власне реакція полімеризації є різновидом реакції сполучення.

З'ясовано, що полімеризація етену відбувається за радикальним механізмом. Ви можете пригадати радикальну реакцію хлорування метану. У цій реакції радикали, що є надзвичайно активними частинками, утворювалися під дією світла. Полімеризація етену розпочинається завдяки спеціальним речовинам — *ініціаторам*, які розщеплюються з утворенням радикалів, тобто активних частинок з неспареним електроном ( $R\cdot$ )

Радикал взаємодіє з  $\pi$ -електронною системою подвійного зв'язку і приєднується до молекули етену. В результаті утворюється новий радикал, який так само діє на іншу молекулу етену:

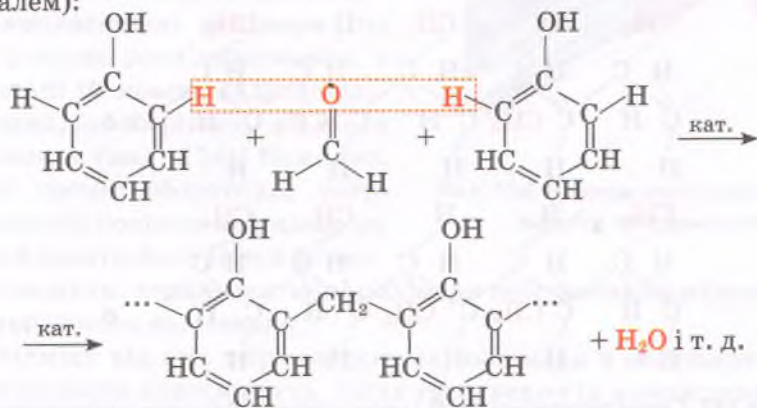


З кожною стадією довжина радикала зростає, аж доки не «зустрінуться» два радикали і не відбудеться обривання ланцюга:





Реакція поліконденсації різниться тим, що вона відбувається з утворенням побічного продукту, яким найчастіше буває вода або інша низькомолекулярна сполука. У цьому разі молекули сполучаються не за рахунок розриву кратних зв'язків, а в результаті взаємодії функціональних груп, як у відомій вам реакції між фенолом і формальдегідом (метаналем):



Отже, в результаті цих реакцій утворюються полімери.

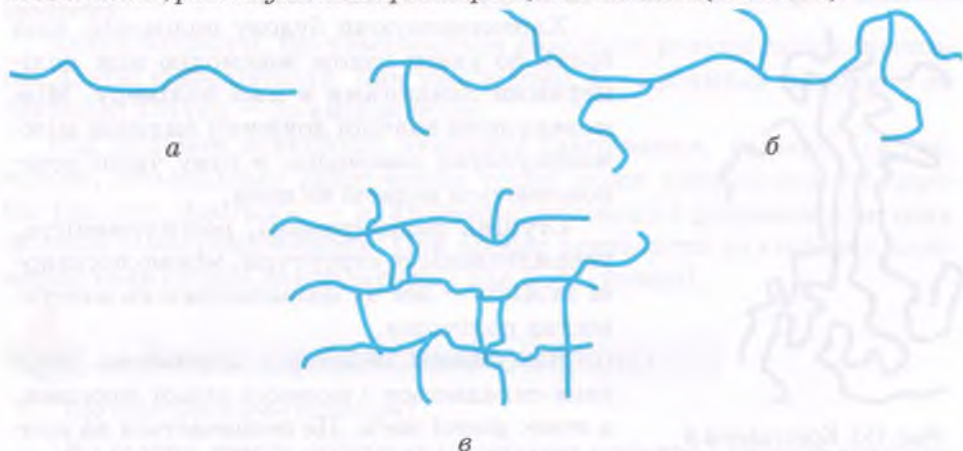
Пригадайте, як називають вихідні низькомолекулярні речовини в реакції полімеризації.

Як називають групи атомів, які повторюються і становлять основу хімічної будови полімерного ланцюга?

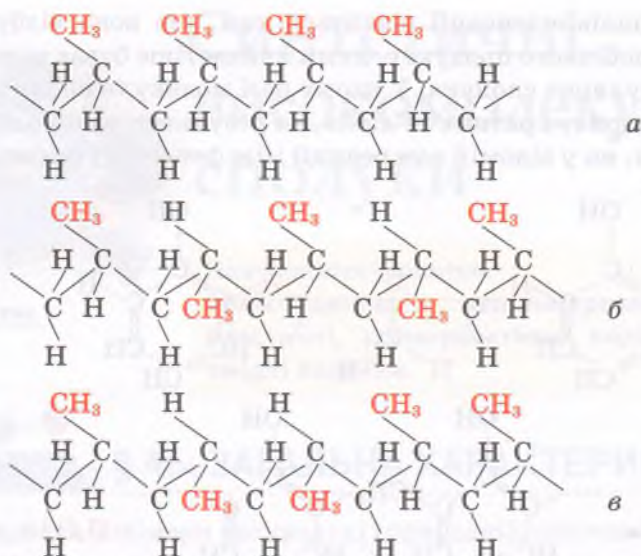
Що таке ступінь полімеризації?

У масі полімеру є молекули довші й коротші, з вищим і нижчим ступенями полімеризації і відповідно з більшою і меншою відносними молекулярними масами. Тому заведено говорити про середню відносну молекулярну масу полімеру.

**Будова полімерів.** За будовою полімерного ланцюга полімери бувають лінійні, розгалужені й просторові, або сітчасті (мал. 151).



Мал. 151. Схема будови: лінійного (а), розгалуженого (б) і просторового, або сітчастого, (в) полімерних ланцюгів



Мал. 152. Схема регулярної (а, б) і нерегулярної (в) будови поліпропілену

До перших належать поліетилен, поліпропілен і целюлоза. Лінійну й розгалужену будову має крохмаль, сітчасту — вулканізований каучук. Залежно від розміщення бічних чи функціональних груп у полімерному ланцюзі розрізняють *регулярні* (переважно стереорегулярні) й *нерегулярні* полімери. Наприклад, у ланцюзі поліпропілену метильні групи можуть розміщуватися з одного чи з двох боків карбонового ланцюга. Розміщення з різних боків може чергуватися через однакові проміжки або бути хаотичним (мал. 152).

Від упорядкованості (регулярності) полімеру залежить, перебуватиме він у кристалічному чи аморфному стані. Більшість полімерів мають одночасно впорядковані й невпорядковані ділянки; їх відповідно називають *кристалічними* та *аморфними* (мал. 153).



Мал. 153. Кристалічна й аморфна будова полімеру

Характеризуючи будову полімерів, слід брати до уваги також взаємодію між полімерними ланцюгами в масі полімеру. Між молекулами значної довжини виникає міжмолекулярна взаємодія, в тому числі встановлюються водневі зв'язки.

Ступінь полімеризації, розгалуженість, упорядкованість структури, міжмолекулярні зв'язки — все це позначається на властивостях полімерів.

**Властивості полімерів.** Полімерна речовина складається з молекул різної довжини, а отже, різної маси. Це позначається на процесі плавлення полімерів. Під час нагрівання в розплавлений стан спершу переходять



коротші молекули, потім — довші, отже, плавлення відбувається в широкому інтервалі температур.

За відношенням до нагрівання полімери поділяються на дві групи: термопластичні й термореактивні.

*Термопластичні* полімери під час нагрівання розм'якшуються, в цьому стані їм можна надати будь-якої форми, що зберігається й після охолодження (мал. 154). Важливо, що цей процес оборотний, тобто сформований полімер можна знову нагріти й надати йому іншої форми.

Інакше кажучи, термопластичні полімери не втрачають пластичності за багаторазового нагрівання.

На відміну від них *термореактивні* полімери в результаті нагрівання втрачають пластичність, після тверднення їх неможливо повернути до первісного стану.

Утилізація полімерів має важливе екологічне та економічне значення. Схарактеризуйте з цих позицій термопластичні й термореактивні полімери.

Лінійні полімери можуть розчинятися з утворенням в'язких розчинів. Просторові полімери набрякають у розчинниках, не розчиняючись, оскільки «зшиті» молекули важко розділити на фрагменти за допомогою розчинника. Розчини полімерів відомі вам у вигляді клеїв.

Полімери регулярної будови і просторові мають більшу механічну міцність і хімічну стійкість.

Полімерні ланцюги можуть хімічно розщеплюватися на мономери під дією високої температури. Цей процес називають *деполімеризацією*. Деполімеризацією каучуку було з'ясовано, що він є полімером ізопрену.

Деякі полімери, що утворюються внаслідок реакції поліконденсації, здатні гідролізувати. Вам уже відомо, що крохмаль гідролізує до глюкози, а білки — до амінокислот.

Під впливом зовнішніх чинників (нагрівання, радіації, світла, вологості, механічного напруження тощо) може відбуватися *деструкція* (від лат. *destructio* — руйнування) полімеру з розривом хімічних зв'язків у макромолекулах. Цей процес призводить до старіння полімерів, вони стають непридатними для експлуатації.



Мал. 154. Виготовлення пластмасових виробів методом лиття



### Завдання для самоконтролю

1. Що таке синтетичні полімери?
2. Які основні методи добування синтетичних полімерів? Наведіть конкретні приклади.



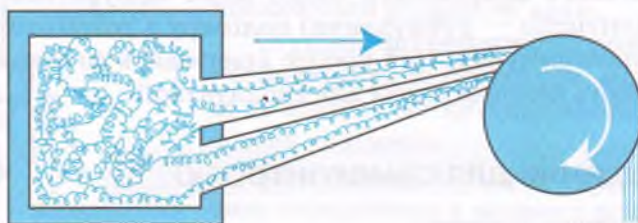
3. За яким механізмом відбувається реакція полімеризації?
4. У чому полягає особливість реакції поліконденсації?
5. Наведіть приклади лінійного, розгалуженого і просторового полімеру.
6. Поясніть вплив структури полімерів на їхні фізичні властивості.
7. На які групи поділяють полімери за відношенням до нагрівання?
8. Як відбувається плавлення полімерів?
9. Поясніть відношення полімерів до розчинення.
10. Як було з'ясовано склад природного каучуку?
11. Укажіть, що з наведеного переліку належить до розчинів полімерів:  
 А клей «Момент»    В цукровий сироп    Д розчин курячого білка.  
 Б колодій    Г йодна настоянка



## § 47. ПЛАСТИЧНІ МАСИ

З метою перетворення полімеру на **пластмасу**, тобто матеріал, придатний для виготовлення різних виробів, до полімерної маси добавляють спеціальні речовини. **Пластифікатори** полегшують ковзання полімерних ланцюгів відносно один одного, вони ніби змащуються, і твердий полімер перетворюється на еластичний матеріал. Відомі вам **пінопласти**, що мають порувату структуру, утворюються завдяки так званим **піноутворювачам**, у результаті розкладу яких виділяються гази. **Стабілізатори** й **антиоксиданти** підвищують термо-, світло-, хімічну стійкість матеріалів, **антистатики** зменшують наелектризованість. Для поліпшення механічних властивостей та здешевлення матеріалів до пластмас також вводять **наповнювачі** — кварц, крейду, волокна тощо, а забарвлюють різноманітними **пігментами**. Для виготовлення плівок і волокон полімерні ланцюги витягують, унаслідок чого вони орієнтуються в певному напрямку (мал. 155). Це дає змогу виготовляти тонкі й водночас достатньо міцні матеріали.

Пластмаси належать до найважливіших сучасних матеріалів, що застосовуються в техніці, сільському господарстві, побуті. Це зумовлено властивостями, що роблять їх використання економічно вигідним



Мал. 155. Орієнтація полімерних ланцюгів у певному напрямку під час виготовлення пластмасових плівок і волокон





Мал. 156. Зразки виробів із пластмас

і зручним. До них належать: 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.

Значні переваги пластмас полягають у технічній і технологічній простоті виготовлення виробів, маловідходності методів добування і переробки, низькій енергоємності цих процесів, а звідси — високій продуктивності виробництва.

Експлуатаційні недоліки пластмас пов'язані переважно з їх низькою термостійкістю, горючістю, крихкістю. Використання поліетилену, наприклад, обмежується його низькою температурою плавлення.

З якими перевагами й недоліками пластмасових виробів ви стикалися у процесі їх використання? Наведіть приклади.

Зразки виробів із пластмас зображено на мал. 156.

**Поліетилен** ( $-\text{CH}_2-\text{CH}_2-$ )<sub>n</sub> добувають у промисловості полімеризацією етену (етилену), що її можна проводити за різних умов — за високого і низького тиску. Добуті за різних умов полімери різняться за своїми властивостями. Поліетилен низького тиску (0,2—2,5 МПа, 80—100 °С) має лінійну структуру, молекули в масі полімеру щільно упаковані, тому зростає ступінь кристалічності. Поліетилен високого тиску (150—300 МПа, 200—280 °С) має розгалужену структуру.

Поліетилен — тверда речовина білого кольору, легко забарвлюється в різні кольори, не тоне у воді. Поліетилен високого тиску плавиться за температури 102—105 °С, низького — 125—137 °С.

За хімічною будовою поліетилен подібний до парафіну — суміші вищих вуглеводнів складу  $\text{C}_{18}-\text{C}_{35}$ . Пригадайте, що у структурі обох речовин повторюються групи  $-\text{CH}_2-\text{CH}_2-$ . Цим пояснюється подібність речовин: поліетилен масний на дотик, як і парафін.

Як і насичені вуглеводні, поліетилен не проводить електричного струму, стійкий проти дії кислот, лугів, бромної води, окисників.



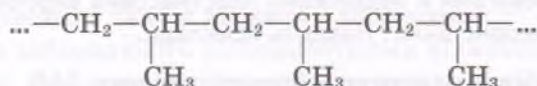
Мал. 157. Установка з виробництва поліетиленової плівки

Поліетилен — термопластичний полімер. У розплавленому стані йому можна надати будь-якої форми, що зберігається після охолодження (мал. 157).

Властивостями поліетилену зумовлено його широке застосування.

Наведіть приклади застосування поліетилену, відомі вам з побуту.

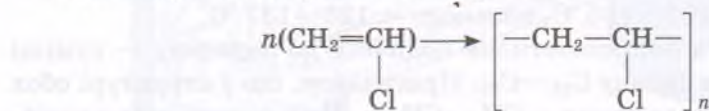
**Поліпропілен**  $\left( \begin{array}{c} -\text{CH}_2-\text{CH}- \\ | \\ \text{CH}_3 \end{array} \right)_n$  дуже близький за властивостям до поліетилену. Фрагмент ланцюга цього полімеру можна подати такою структурною формулою:



За фрагментом молекули поліпропілену визначте мономер, мономерну ланку полімеру; напишіть їхні структурні формули.

За участю каталізаторів добувають поліпропілен стереорегулярної будови (див. мал. 152). Цей полімер високоміцний, тому з нього виготовляють деталі машин, труби, плівку, риболовні сітки, побутові вироби, волокна. Недоліками його є чутливість до світла, кисню, крихкість на холоді.

**Поліхлорвініл** добувають з хлорвінілу:



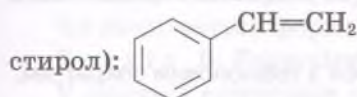
Пластмаси, вироблені на основі поліхлорвінілу, використовують як заміники шкіри, з них виготовляють газо- й водогінні труби, технічні волокна, лінолеум, клейонку тощо. Ці матеріали стійкі проти



дії кислот, лугів, легко забарвлюються і водночас важко займаються, здатні до самогасіння.

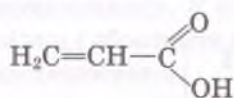
Якими властивостями, на вашу думку, зумовлене використання поліхлорвінілу для виготовлення лінолеуму?

**Полістирол**  $\left[ \text{—CH}_2\text{—CH—} \right]_n$  — полімер стирену (колишня назва —

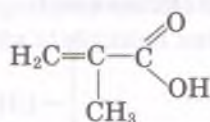


Це термопластичний матеріал, хімічно стійкий, діелектрик, хоча достатньо крихкий. З нього виготовляють предмети побуту, дитячі іграшки, оздоблювальні матеріали тощо (мал. 158).

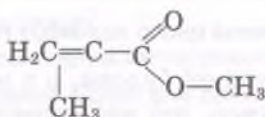
**Поліметилметакрилат** — полімер, який добувають з метилового естеру метакрилової кислоти.



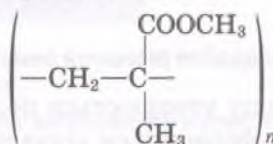
Акрилова кислота



Метакрилова кислота



Метилловий естер метакрилової кислоти



Поліметилметакрилат

Завдяки своїй прозорості цей полімер дістав назву «органічне скло» (інша назва — плексиглас). Він стійкий проти ударів, тому ним склять вікна автомобілів, ілюмінатори літаків, теплоходів, виготовляють скло для годинників тощо (мал. 159).



Мал. 158. Жуйна гумка містить полімер стирену — полістирол



Мал. 159. Куленепробивне скло виготовляють із полімерних матеріалів

**Тефлон**, який виробляють з 1,1,2,2-тетрафлуороетену  $\text{CF}_2=\text{CF}_2$ , має унікальні властивості. Загальна формула полімеру  $(-\text{CF}_2-\text{CF}_2-)_n$ .

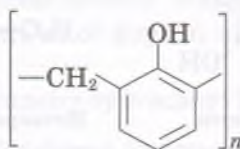
За особливу хімічну стійкість його називають «органічною платиною». Він не розчиняється ні в «царській воді» (суміші нітратної та хлоридної кислот), ні в органічних розчинниках, стійкий проти холоду й нагрівання, неотруйний, світлостійкий.

Завдяки цим властивостям з тефлону виготовляють деталі машин і приладів, апаратів, що працюють у хімічно агресивних середовищах та харчовій промисловості (мал. 160).

Пригадайте, де в побуті використовують вироби з тефлоновим покриттям.

**Феноло-формальдегідні пластмаси** були добуті в XIX ст. й дістали назву «бакеліт» (від прізвища Л. Х. Бакеланда, який на початку XX ст. здійснив цю реакцію в промислових умовах). Хоча це перші в історії пластмаси, їх використовують донині.

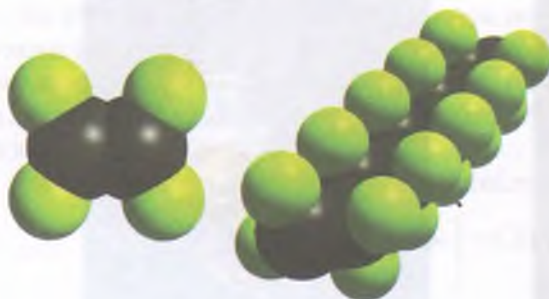
Полімер утворюється в результаті реакції поліконденсації фенолу й формальдегіду (метаналу):



Пригадайте рівняння реакції утворення цього полімеру (с. 247).

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 ракетно-й машинобудуванні, будівництві. Відходи деревини, оброблені феноло-формальдегідною смолою, перетворюються на матеріал, придатний для виготовлення меблів.



а

б

в

Мал. 160. Моделі молекули тетрафлуороетену (а), фрагмента молекули політетрафлуороетену (б) і виріб з тефлоновим покриттям (в)





## Лабораторний дослід 20

## Дослідження властивостей термопластичних полімерів

## Дослід А. Термопластичність полімеру.

Нагрійте в полум'ї спиртівки шматочок поліетилену, тримаючи його щипцями. Коли поліетилен розм'якне, надайте йому нової форми й охолодіть. Повторіть спробу.

Чи зберігається форма після охолодження?

## Дослід Б. Горючість полімерів.

У полум'ї спиртівки підпаліть шматочок поліетилену. Якого кольору полум'я поліетилену? Чи горить поліетилен поза полум'ям?

Виконайте цей дослід з полівінілхлоридом і полістиролом.

Що спостерігаєте?

## Дослід В. Дія на полімери кислоти, лугу, окисника.

У три пробірки налейте розчини сульфатної кислоти, натрій гідроксиду, калій перманганату. У кожену пробірку вмістіть шматочки поліетиленової плівки і збовтайте вміст. Чи відбулися зміни?

Поясніть спостереження.



## Завдання для самоконтролю

1. Що таке пластмаси?
2. Назвіть основні галузі застосування пластмас.
3. Схарактеризуйте відомі вам полімери, з яких виготовляють пластмаси (номер, реакція добування, мономерна ланка).
4. Схарактеризуйте поліетилен високого й низького тиску.
5. Складіть рівняння послідовних реакцій, за допомогою яких можна добути бакеліт, виходячи з коксу.
6. Розкажіть про застосування пластмас у побуті.

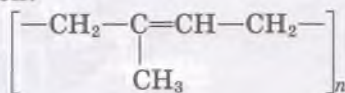


## § 48. СИНТЕТИЧНІ КАУЧУКИ

Той факт, що природний каучук є полімером дієнового вуглеводню ізопрену  $\text{CH}_2=\text{C}(\text{CH}_3)-\text{CH}=\text{CH}_2$ , було встановлено в 1910 р. Хімічна назва

$\text{CH}_3$

полімеру — поліізопрен:

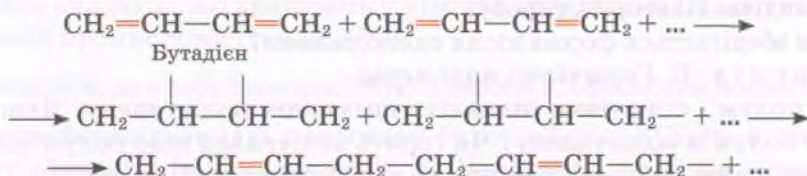


Відновіть у пам'яті відомості про натуральний каучук.

Упродовж певного часу потреби промисловості задовольнялися природним каучуком, але це було недовго: автомобільний транспорт,

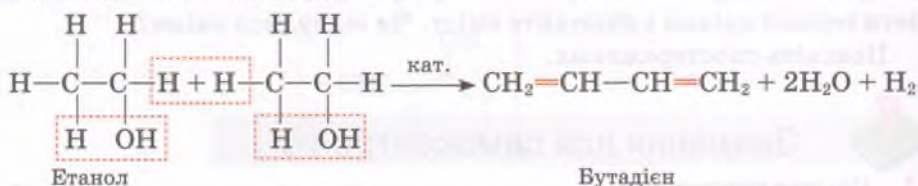
що розвивався, інші потреби техніки, та й важкодоступність сировини змушували вчених шукати способи добування синтетичного каучуку.

Перший вітчизняний синтетичний каучук було добуто в 1931 р. за методом С. В. Лебедева. Це був бутадієновий каучук, що утворювався полімеризацією бутадієну 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, у тому числі стереорегулярний ізопреновий (*цис*-форми), тобто найбільш наближений до натурального. Це стало можливим завдяки застосуванню спеціальних каталізаторів. Сировиною є продукти переробки нафти.

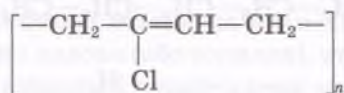
Бутадієновий та ізопреновий — це каучуки загального призначення. Вони використовуються для виготовлення шин та інших гумових виробів для техніки, побуту тощо (мал. 161).



Мал. 161. Цех шинного заводу



До каучуків спеціального призначення належить хлоропреновий:



Як матеріал він негорючий, а за властивостями світло-, термо-, маслостійкості цей каучук переважає натуральний.



### Лабораторний дослід 21

#### 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. Залиште пробірки до наступного уроку.

Що спостерігаєте?



#### Завдання для самоконтролю

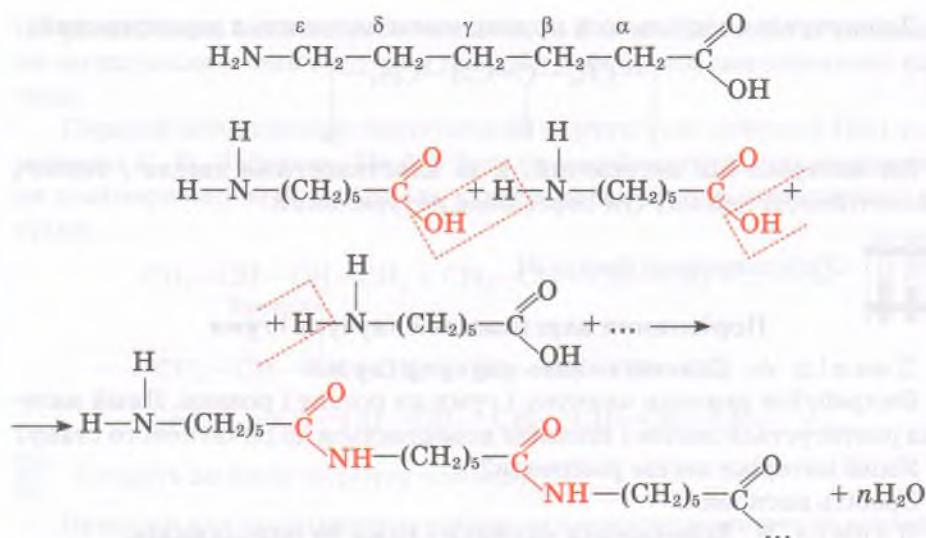
1. Поясніть відмінність у будові натурального ізопренового і синтетичного бутадієнового каучуку.
2. Складіть рівняння реакції полімеризації ізопрену *цис*-форми.
3. Зобразіть фрагмент стереорегулярного ланцюга хлоропренового каучуку.
4. У чому, на вашу думку, полягає значення синтезу за методом С. В. Лебедева?
5. Назвіть галузі застосування синтетичних каучуків.
6. Складіть рівняння послідовних реакцій перетворення крохмалю на бутадієновий каучук.



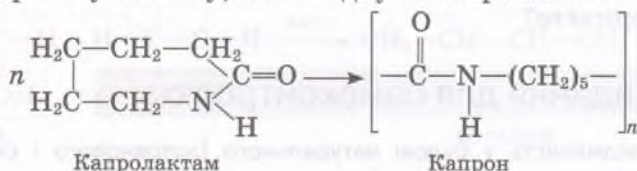
## § 49. СИНТЕТИЧНІ ВОЛОКНА

Як вам відомо, *натуральні волокна* — бавовну, льон, вовну, шовк — виробляють із природних волокнистих матеріалів. Із природного полімеру целюлози добувають *штучні* (ацетатне, віскозне) волокна, а з них виробляють штучний шовк.

Речовини, які здатні утворювати волокна, можна й синтезувати. Якщо бавовна і льон — полімерні матеріали, мономером яких є вуглевод, то вовна і шовк — полімери білкової природи. Їхні молекули утворюються в результаті поліконденсації амінокислот. З'ясовано, що подібну структуру має полімер  $\epsilon$ -амінокапронової кислоти.



У промисловості для полімеризації використовують не саму  $\epsilon$ -амінокапронову кислоту, а її похідну — капролакта́м:

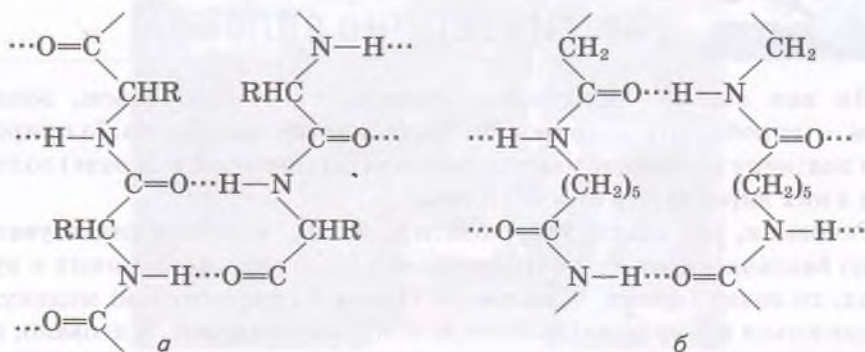


Волокно, вироблене з такого полімера, називають *капроном*.

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. 162).

Бачимо, що в обох структурах є міжмолекулярні водневі зв'язки. Це надає волокнам високої міцності. Крім того, капронове волокно має ще низку цінних властивостей: не вбирає вологи і через це швидко висихає, стійке проти стирання.

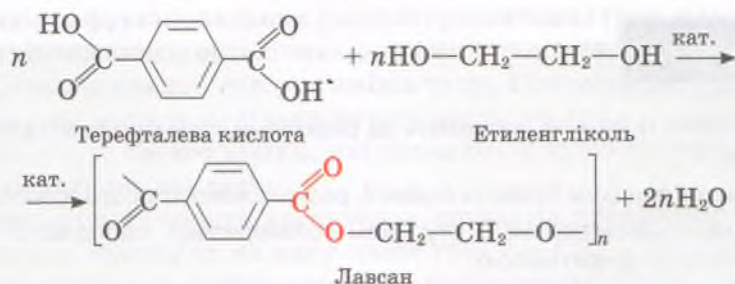
Іншу групу синтетичних волокон становлять *поліестерні* волокна.



Мал. 162. Фрагмент будови макромолекули натурального шовку (а) і капрону (б)



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 етиленгліколю і терефталевої кислоти. Взаємодія відбувається між гідроксильними та карбоксильними групами цих сполук:



Лавсанове волокно має цінні властивості: воно міцне, термостійке, на нього не діють розбавлені розчини кислот і лугів.

Капрон і лавсан використовують для пошиття одягу, виготовлення оздоблювальних матеріалів. Застосовують їх і в техніці: з капронової смоли формують деталі різних механізмів, із лавсану виробляють фільтрувальні тканини, канати тощо.



### Лабораторний дослід 22

#### 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 клаптики тканин з капрону й лавсану. Що спостерігаєте?

Нагрійте вміст пробірок на слабкому вогні. Що спостерігаєте?



#### Завдання для самоконтролю

1. Які види волокон вам відомі?
2. У чому полягає відмінність у хімічній природі бавовни й шовку?
3. Схарактеризуйте структуру капрону. Поясніть, чому він належить до поліамідних волокон.
4. Які переваги й недоліки капрону?
5. Схарактеризуйте структуру поліестерних волокон. Поясніть їхню назву.
6. Поясніть застосування синтетичних волокон на основі їхніх властивостей.

#### Додаткові завдання

7. Поліпропілен стереорегулярної будови — кристалічна, високоплавка речовина, що дає міцні волокна, а нестереорегулярний полімер м'який, еластичний. Поясніть це з погляду теорії будови.
8. Наведіть приклади природних полімерів лінійної, розгалуженої та просторової будови.

9. Поясніть, чим зумовлена подібність деяких властивостей парафіну й поліетилену.
10. Нейлон — поліамідне волокно, утворене внаслідок поліконденсації гексаметилендіаміну  $\text{H}_2\text{N}-(\text{CH}_2)_6-\text{NH}_2$  та дикарбонової адипінової кислоти  $\text{HOOC}-(\text{CH}_2)_4-\text{COOH}$ . Складіть хімічне рівняння цього процесу.
11. Схарактеризуйте значення полімерів у побуті й техніці.

### Висновки

- Синтетичні полімери добувають за реакціями полімеризації та поліконденсації.
- Полімерні ланцюги бувають лінійної, розгалуженої і просторової будови.
- Полімери характеризують ступенем полімеризації, середньою відотною молекулярною масою.
- За відношенням до нагрівання полімери поділяються на термопластичні й термореактивні.
- До синтетичних полімерних матеріалів належать пластмаси, синтетичні каучуки, синтетичні волокна.
- Щоб перетворити полімер на пластмасу, до нього додають спеціальні речовини.
- Поліетилен низького тиску має кращі експлуатаційні властивості порівняно з поліетиленом високого тиску.
- Промисловість виробляє каучуки загального і спеціального призначення.
- Стереорегулярний ізопреновий каучук наближається за властивостями до натурального.
- Капрон належить до синтетичних поліамідних волокон, а лавсан — до поліестерних волокон.
- Широке застосування пластмас, синтетичних каучуків і волокон зумовлене їхніми унікальними експлуатаційними властивостями.



## § 50. РОЗМАЇТТЯ ОРГАНІЧНИХ РЕЧОВИН, ВЗАЄМОЗВ'ЯЗОК МІЖ НИМИ

Розділ органічної хімії, вивчення якого ви завершуєте, побудований 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 за всього свого розмаїття органічні речовини утворені обмеженим числом хімічних елементів. Природа дуже економно використала «будівельні матеріали» для створення різноманітних структур, здатних виконувати надзвичайно складні функції аж до біологічних. Спробуємо узагальнити ознаки, що зумовлюють багатоманітність органічних речовин.



Насамперед це **характер карбонового ланцюга**. Навіть за однакового числа атомів Карбону можуть утворюватися молекули у формі ланцюга чи кільця.

Інша ознака — **характер міжкарбонових хімічних зв'язків**. Між атомами Карбону можуть встановлюватися прості, кратні й ароматичні зв'язки.

**Наявність функціональних (характеристичних) груп** зумовлює існування різних класів органічних речовин — спиртів, альдегідів, кетонів, карбонових кислот, естерів, амінів тощо. Різноманітності додають і сполуки, що містять декілька функціональних груп — амінокислоти, вуглеводи та багато інших, які вивчають у курсі органічної хімії вищих навчальних закладів.

Для органічних сполук характерне існування гомологічних рядів. Зміна складу молекули на одну лише групу —  $\text{CH}_2$  — спричиняє появу нової сполуки зі своїми власними константами. Отже, **гомологія** також є однією з причин багатоманітності органічних речовин.

Здатність деяких органічних сполук до реакцій **полімеризації** розширює число органічних сполук, насамперед добутих синтезом.

**Ізомерія** всіх видів — одна з найважливіших причин розмаїття органічних речовин. Навіть за умови одного й того самого складу молекул можливі різні варіанти їхньої хімічної і просторової будови. Пригадайте, що вуглевод складу  $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$  має 16 варіантів просторової будови молекули. А для алкану складу  $\text{C}_{25}\text{H}_{52}$  варіантів хімічної будови існує аж 36 797 588. З метою обчислення кількості структурних ізомерів алканів, що містять від 1 до 100 атомів Карбону, хіміки Київського національного університету імені Тараса Шевченка створили спеціальну комп'ютерну програму.

Зважте, що наведена вище кількість ізомерів відбиває не всі можливі варіанти будови пентакозану, до цього слід додати ще й число можливих конформерів.

Отже, розмаїття органічних сполук, ускладнення їхньої будови 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.

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).

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 (лат. *supra* — над). Очевидно, що молекулярні речовини складніші за будовою від атомних, а полімерні — порівняно з молекулярними. У зв'язку з цим речовини можна розмістити в певному порядку, за рівнями складності — від нижчого до вищого, тобто в їхній ієрархії (від грец. *ієроϛ* — священний і *αρχή* — влада; в широкому розумінні — розташування частин у певному порядку, від вищого до нижчого). Такими рівнями структурної організації речовин є: атомний, молекулярний, полімерний, супрамолекулярний. Кожний вищий рівень ґрунтується на нижчому 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 у 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.

Атомний рівень організації межує із субатомним (від лат. *sub* — під), тобто рівнем елементарних частинок, що його вивчає фізика; супрамолекулярний рівень — із клітинним, організмовим і надорганізмовим рівнями, що їх вивчає біологія. Отже, органічні речовини пов'язують у єдиний ланцюг усі рівні організації матерії — від неживої до живої. Органічна хімія як галузь науки є важливою ланкою у зв'язках між природничими науками.

**Генетичні зв'язки.** За всієї багатоманітності органічні речовини здатні до взаємоперетворень. Із простіших можна добути складніші, від сполук одного класу перейти до сполук іншого. Окреслимо, наприклад, шлях хімічних перетворень вуглеводнів на амінокислоти (схема 4).

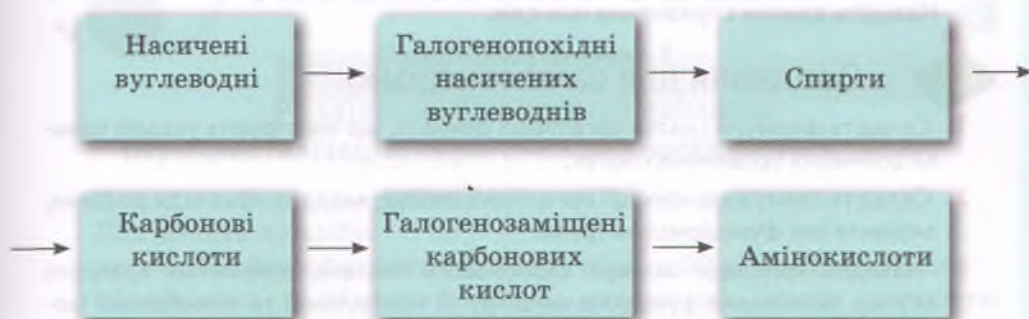
- Складіть рівняння реакцій за схемою 4.  
 ■ Доповніть схему неорганічними сполуками. Зробіть висновок.

Завдяки взаємоперетворенню органічних сполук можна здійснювати синтези, спрямовані на добування речовин із заздалегідь задани-



Схема 4

## Генетичні зв'язки між органічними сполуками



ми властивостями. Так, із 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 велику кількість виробництв — синтетичних каучуків, мийних засобів, волокон, пластичних мас, ліків, засобів захисту рослин і багато інших.

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 12 000, 1910 р. — 150 000, 1940 р. — 500 000. Нині ніхто не візьметься назвати точну кількість відомих речовин, бо щороку синтезують 200—300 тисяч лише органічних сполук. Останніх на сьогодні відомо вже 20 мільйонів, додайте до цього близько 700 тисяч неорганічних сполук.

Синтез нових сполук є найголовнішим напрямом розвитку хімії. Органічний синтез, зокрема, відіграє ключову роль не лише у створенні практично корисних речовин, а й у пізнанні складних взаємодій у біологічних системах на молекулярному рівні, що є надзвичайно важливим завданням сучасного природознавства.

Якщо біолог, геолог, астроном досліджують природу в сформованому вигляді, то хімік-синтетик повинен спершу добути речовину, якої до цього в природі не існувало, дослідити її властивості й перетворення. Ще М. Бертло, видатний французький хімік-органік XIX ст., зазначав: «Хімія сама створює свої об'єкти». Синтетичну хімію іноді порівнюють із мистецтвом. Інший французький хімік, наш сучасник, лауреат Нобелівської премії Ж.-М. Лен висловився так: «Хімік-синтетик воістину творить нові світи, які не існували, поки не вийшли, оформившись, із його рук, подібно до того, як матеріал, щойно вийшовши з рук майстра, набуває сили й виразності витвору мистецтва». А ось яке узагальнення зробив відомий український учений, академік Мирон Лозинський: «Органічний синтез — не лише засіб проникнення в суть



фізичних і хімічних явищ, а потужний стимул для виявлення новаторського духу і творчого генію людини».

Наведіть власне тлумачення цих слів.



## Завдання для самоконтролю

1. Складіть формули і назви органічних речовин, що ілюструють указані 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, оптичної 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 декілька схем генетичних перетворень органічних речовин, запропонуйте їх розв'язати своїм однокласникам.
7. Які речовини і яких класів можна було б виявити в колбах, що належали: Миколі Зініну, Михайлу Коновалову, Шарлю Вюрцу, Олександру Бутлерову, 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!.. Із нічого не вартих газів і подібного будуть виготовляти все, що заманеться!».
9. Уявіть, як Ф. Велер міг би схарактеризувати стан розвитку органічної хімії, якби вчений жив у наш час. Спробуйте скласти від його імені листа І. Я. Берцеліусу.
10. Наведіть назви пар ізомерів відповідно до причини їхньої ізомерії.

Назва пари ізомерів	Причина ізомерії
1	Положення функціональної групи
2	Положення кратного зв'язку
3	Просторова ( <i>цис</i> -, <i>транс</i> -) ізомерія
4	Взаємне положення замісників у бензеновому ядрі
5	Будова карбонового скелета

11. Визначте кінцевий продукт перетворень за наведеною схемою перетворень (можливі варіанти):



Визначте можливі продукти X, Y, Z, складіть рівняння реакцій.





# ПРАКТИЧНІ РОБОТИ

## Практична робота 1

### Розділення й очищення речовин: перекристалізація, перегонка за атмосферного тиску

#### Дослід 1. Перекристалізація.

Для роботи потрібні

**реактиви:** бензойна кислота — 1 г, вода — 50 г, деревне вугілля;

**обладнання й хімічний посуд:** стакан або колба місткістю 75–100 мл, скляна лійка, колба або стакан для фільтрату, скляна паличка, промивальниця з водою, нагрівальний прилад, паперові фільтри, штатив з кільцем.

**Бензойна кислота** — кристалічна речовина білого кольору; розчинність у воді за 10 °С — 2,7, за 100 °С — 59 г/100 мл води.

**Складання приладів.** Виготовте складчастий фільтр (мал. 163) і вкладіть його у скляну лійку для фільтрування (мал. 164).

#### Порядок виконання дослідів

Суміш кристалічної бензойної кислоти з порошком деревного вугілля вмістіть у стакан або колбу, додайте воду і нагрійте до кипіння. При цьому кислота повністю розчиниться. Гарячий розчин профільтруйте крізь складчастий фільтр. Посудину з фільтратом умістіть у холодну воду для охолодження. Кислота виділяється у вигляді кристалів.

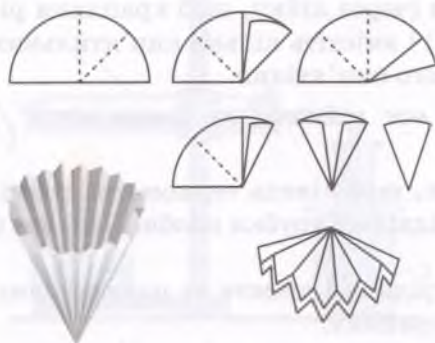
З якою метою використовують складчастий фільтр?

Чому для перекристалізації беруть мінімальний об'єм розчинника?

#### Дослід 2. Перегонка за атмосферного тиску.

Для роботи потрібні

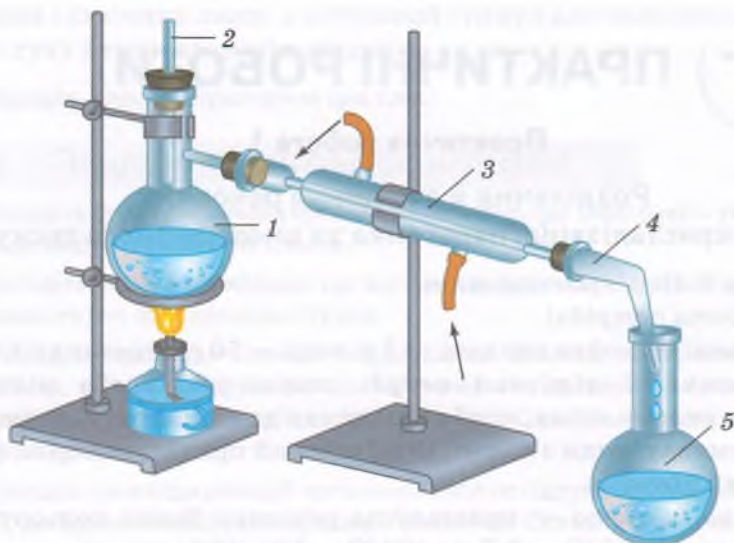
**реактиви:** пропанол або інша органічна речовина з температурою кипіння 80–150 °С — 20 мл, кип'ятильні камінці (шматочки пористих матеріалів, наприклад уламки глиняного посуду, мармуру);



Мал. 163. Виготовлення складчастого фільтра



Мал. 164. Фільтрування крізь складчастий фільтр



Мал. 165. Прилад для перегонки за атмосферного тиску:  
1 — колба Вюрца; 2 — термометр; 3 — холодильник Лібіха; 4 — алонж; 5 — приймач

**обладнання й хімічний посуд:** колба Вюрца місткістю 75—100 мл, водяний холодильник Лібіха або холодильна трубка завдовжки 40—50 см, алонж, два приймачі (колби або стакани місткістю 100 мл), термометр, два штативи, нагрівальний прилад, скляна лійка, порцеляновий трикутник.

**Пропанол** — безбарвна рідина з характерним запахом;  $t_{\text{кип}} = 97,4^\circ\text{C}$ .

**Складання приладу.** Перегонку за атмосферного тиску виконують у приладі, зображеному на мал. 165. Колбу закріпіть у штативі, затиснувши її лапкою вище газовідвідної трубки. В іншому штативі закріпіть холодильник. На кінці холодительної трубки закріпіть алонж і поставте під нього приймач.

#### Порядок виконання досліду

У колбу Вюрца налейте пропанол (через лійку, щоб краплини рідини не потрапили у відвідну трубку) і вмістіть кілька кип'ятільних камінців для забезпечення рівномірного кип'ятіння.

**Увага!** Рідина, що переганяється, має займати не більше ніж  $\frac{2}{3}$  об'єму колби.

Вставте пробку з термометром так, щоб кінець термометра розміщувався на 0,5 см нижче від отвору відвідної трубки колби. Подайте в холодильник воду.

Обережно рівномірно нагрівайте рідину і стежте за показаннями термометра. У разі потреби замініть приймач.

**Увага!** Полум'я не повинно торкатися стінок колби вище від рівня рідини!



Швидкість перегонки — приблизно одна краплина за секунду. Зберіть кілька мілілітрів рідини і припиніть перегонку.

*Увага! Не відганяйте рідину з колби досуха!*

Зібраний пропанол віддайте вчителю.

За яким показником можна зробити висновок, що ви добули чистий продукт?

## Практична робота 2

### Виявлення Карбону, Гідрогену і Хлору в органічних речовинах

#### Дослід 1. Виявлення Карбону й Гідрогену.

*Для роботи потрібні*

**реактиви:** парафін — 0,5 г, порошок купрум(II) оксиду — 1—2 г, вапняна вода — 2—3 мл, безводний купрум(II) сульфат — 2 г;

**обладнання й хімічний посуд:** пробірка з газовідвідною трубкою, пробірка для вапняної води, нагрівальний прилад, штатив.

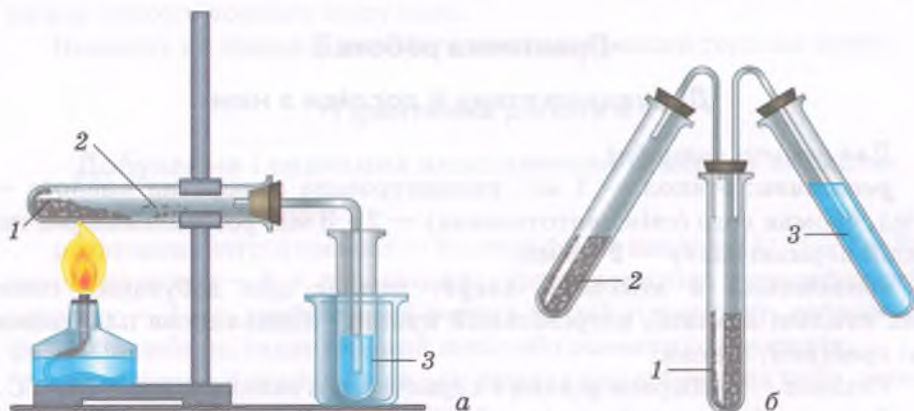
**Парафін** — суміш твердих високомолекулярних насичених вуглеводнів білого або жовтого кольору;  $t_{\text{пл}} = 50\text{—}55\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

**Складання приладів.** Дослід можна проводити у приладі для добування газів (мал. 166, а) або у спеціальному приладі для визначення Карбону й Гідрогену (мал. 166, б).

#### Порядок виконання дослідів

Суміш досліджуваної речовини (парафіну) з купрум(II) оксидом вмістіть у суху пробірку (мал. 166, а) і закріпіть у штативі в горизонтальному положенні. Обережно внесіть на її стінку безводний купрум(II) сульфат і закрийте пробірку пробкою з газовідвідною трубкою, кінець якої опустіть у пробірку з вапняною водою.

Обережно нагрівайте пробірку з досліджуваною речовиною. Спостерігайте зміни, що відбуваються з купрум(II) оксидом, купрум(II) сульфатом, вапняною водою. Після цього дослід припиніть.



Мал. 166. Прилади для виявлення Карбону і Гідрогену в органічній сполуці:  
1 — суміш досліджуваної речовини з купрум(II) оксидом; 2 — безводний купрум(II) сульфат;  
3 — вапняна вода



Мал. 167. Виявлення галогену в органічній сполуці (проба Бейльштейна)

**Увага!** Щоб запобігти розтріскуванню пробірки, стежте, аби після припинення нагрівання рідина не потрапляла по трубці у прилад.

Яку роль відіграє в цьому досліді купрум(II) оксид? З якою метою використовують вапняну воду?

Напишіть рівняння реакцій, що відбуваються.

### Дослід 2. Виявлення Хлору (проба Бейльштейна).

Для роботи потрібні

**реактиви:** 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;  $t_{\text{кип}} = 61,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

**Дихлороетан** — безбарвна рідина із сильним запахом;  $t_{\text{кип}} = 83,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

**Проба Бейльштейна:** якщо в полум'я внести окиснену мідну дрітину, на яку вміщено органічну речовину, до складу якої входить галоген, то полум'я забарвиться в зелений чи синьо-зелений колір.

#### Порядок виконання дослідів

Кінець мідного дроту зігніть петелькою або у вигляді спіралі діаметром 1—2 мм. Прожарте дрітину в полум'ї доти, доки полум'я стане безбарвним, охолодіть її. Занурте дрітину в досліджувану хлоровмісну речовину і знову внесіть у полум'я (мал. 167). Зелене забарвлення полум'я засвідчує наявність Хлору у виданій для аналізу сполуці.

**Увага!** Легкозаймисті органічні сполуки тримайте якнайдалі від вогню!

## Практична робота 3

### Добування етену й досліді з ним

Для роботи потрібні

**реактиви:** етанол — 1 мл, концентрована сульфатна кислота — 3 мл, бромна вода (свіжовиготовлена) — 2—3 мл, розбавлений розчин калій перманганату — 2—3 мл;

**обладнання й хімічний посуд:** прилад для добування газів, кип'ятильні камінці, нагрівальний прилад, порцелянова пластинка, дві пробірки, стакан.

**Етанол** — безбарвна рідина з характерним запахом;  $t_{\text{кип}} = 78,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

**Етен** — безбарвний газ із слабким приємним запахом, мало розчинний у воді, легший за повітря, горить світлим полум'ям.

**Складання приладу.** Прилад для добування газів складається з про-



бірки зі вставленою через пробку газовідвідною трубкою, зігнутою під кутом (мал. 168). Перевірте його на герметичність.

### Порядок виконання роботи

#### Дослід 1. Добування етену і взаємодія його з калій перманганатом та бромною водою.

У пробірку налейте видану вам суміш етанолу й сульфатної кислоти об'ємом 5 мл.

Вмістіть у суміш кип'ятильні камінці, закріпіть пробірку в штативі й приєднайте газовідвідну трубку. Обережно нагрівайте суміш. Коли розпочнеться реакція, газ, що виділяється, пропускайте у пробірку з 2—3 мл бромної води (див. мал. 168), зануливши газовідвідну трубку до дна пробірки. Для зручності пробірку з бромною водою поставте у стакан.

*Під час дослідів підтримуйте слабе нагрівання суміші, щоб рідина з пробірки не потрапила у прилад через газовідвідну трубку.*

Які зміни відбуваються з бромною водою? Чому? Напишіть рівняння реакцій утворення етену і взаємодії його з бромною водою.

У пробірку налейте 2—3 мл підкисленого розчину калій перманганату і так само пропускайте етен.

Що спостерігається? Що засвідчують ваші спостереження?

#### Дослід 2. Горіння етену.

Вийміть газовідвідну трубку з розчину і, повернувши її отвором угору, підпаліть газ, що виділяється.

Яким полум'ям горить етен?

Внесіть у полум'я порцелянову пластинку. Спостерігайте осідання на ній тонкого чорного шару сажі.

Поясніть це явище. Напишіть рівняння реакції горіння етену.



Мал. 168. Прилад для добування етену з етанолу

## Практична робота 4

### Добування і вивчення властивостей етанової кислоти

*Для роботи потрібні*

**реактиви:** натрій етаннат — 3 г, сульфатна кислота (1 : 1) — 2—3 мл, натрій карбонат — 5 г, порошок або стружка магнію, розчин ферум(III) хлориду — 1 мл, розбавлений розчин натрій гідроксиду, забарвлений фенолфталеїном, індикаторний папір або розчини індикаторів;

**обладнання й хімічний посуд:** прилад для добування газів, штатив з пробірками, нагрівальний прилад.

**Етанова (оцтова) кислота** — безбарвна, прозора рідина з різким запахом;  $t_{\text{кип.}} = 118,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ .



Мал. 169. Прилад для добування етанової кислоти

*Складання приладу.* Зберіть прилад з пробірки, пробки з газовідвідною трубкою і пробірки-приймача (мал. 169).

### **Порядок виконання роботи**

#### **Дослід 1. Добування етанової кислоти з натрій етаноату.**

Всипте у пробірку натрій етаноат і влийте сульфатну кислоту. Закрийте пробірку пробкою з газовідвідною трубкою, кінець якої опустіть у пробірку-приймач. Обережно нагрівайте суміш. Зберіть 2—3 мл етанової кислоти. Обережно понюхайте рідину.

Який висновок про силу етанової кислоти можна зробити на основі цього досліді?

#### **Дослід 2. Дія етанової кислоти на індикатори.**

Відлийте у пробірку частину добутої кислоти і розбавте її водою. До розчину додайте розчин лакмусу чи метилового оранжевого.

Як змінилося забарвлення розчину?

#### **Дослід 3. Взаємодія етанової кислоти з основами.**

До розчину натрій гідроксиду, забарвленого фенолфталеїном, по краплинах добавляйте розчин етанової кислоти до знебарвлення розчину фенолфталеїну.

Що засвідчує цей дослід? Напишіть рівняння реакції.

#### **Дослід 4. Кольорова реакція на етаноат (ацетат)-іон.**

До добутого в попередньому досліді продукту нейтралізації добавте кілька краплин розчину ферум(III) хлориду. З'являється характерне забарвлення внаслідок утворення ферум(III) етаноату, що засвідчує наявність етаноат (ацетат)-іонів.

#### **Дослід 5. 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 6. Взаємодія етанової кислоти із солями.**

У пробірку з розчином етанової кислоти добавте сіль кислоти, слабкішої за етанову, наприклад натрій карбонат. Спостерігайте виділення газу.

Який газ виділяється?

Спостереження під час дослідів підтвердять рівняннями реакцій.



## Практична робота 5

### Розв'язування експериментальних задач з тем: «Спирти і феноли», «Карбонові кислоти»

**Задача 1.** Доведіть експериментально, що у пронумерованих пробірках міститься: а) гліцерол; б) фенол; в) олеїнова кислота.

Складіть перелік реактивів і обладнання, потрібних для виконання дослідів. Напишіть рівняння реакцій.

**Задача 2.** Доведіть експериментально, що етанова кислота належить до слабких кислот.

Складіть перелік реактивів і обладнання, потрібних для виконання дослідів. Напишіть рівняння реакцій.

**Задача 3.** Визначте хімічним способом, у якій з виданих вам пробірок міститься кислота: а) мурашина; б) етанова.

Складіть перелік реактивів і обладнання, потрібних для виконання дослідів. Напишіть рівняння реакцій.

**Задача 4.** Добудьте стеаринову кислоту з мила.

Складіть перелік реактивів і обладнання, потрібних для виконання дослідів. Напишіть рівняння реакцій.

## Практична робота 6

### Синтез етилетаноату

*Для роботи потрібні*

**реактиви:** етанол — 5 мл, концентрована етанова кислота — 5 мл, сульфатна кислота — 1 мл;

**обладнання й хімічний посуд:** колба Вюрца на 50—75 мл, холодильник Лібіха, алонж, приймач, ділильна лійка, водяна баня, лід, нагрівальний прилад.

**Етилетаноат** (етиловий естер етанової кислоти) — рідина з фруктовим запахом, розчинний у воді;  $t_{\text{кип}} = 77,2^{\circ}\text{C}$ .

**Складання приладу.** Зберіть прилад для перегонки. Колбу Вюрца вмістіть у водяну баню, у приймач внесіть суміш води з льодом (див. мал. 106).

### Порядок виконання роботи

У колбу Вюрца вмістіть видану вам суміш етанолу, етанової і сульфатної кислот. Закрийте колбу пробкою, приєднайте холодильник і ввімкніть воду. Кінець алонжа опустіть у приймач. Обережно нагрівайте суміш на водяній бані.

*Не нагрівайте суміш на відкритому полум'ї! Естер легкозаймистий, утворює з повітрям вибухонебезпечну суміш.*

Продукт реакції збирається у приймачі під шаром льоду. Вміст приймача струсіть, дайте відстоятися у витяжній шафі і відокремте верхній естерний шар за допомогою ділильної лійки. Переконайтеся у наявності специфічного запаху естеру.

*Нюхайте естер обережно, оскільки він подразнює слизову оболонку!*

З'ясуйте роль сульфатної кислоти в цій реакції. Напишіть рівняння реакції.

## Практична робота 7

### Гідроліз ацетилсаліцилової кислоти

*Для роботи потрібні*

**реактиви:** ацетилсаліцилова кислота (аспірин) — 0,1 г, вода — 4—5 мл, розчин ферум(III) хлориду, індикаторний папір;

**обладнання й хімічний посуд:** штатив з пробірками, нагрівальний прилад.

*Ацетилсаліцилова кислота* — безбарвна кристалічна речовина (голчасті кристали), малорозчинна у воді;  $t_{пл} = 136,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

#### Порядок виконання роботи

Аспірин розчиніть у воді. Частину розчину відлийте в іншу пробірку і випробуйте його на наявність фенольної групи за допомогою ферум(III) хлориду.

Прокип'ятіть розчин аспірину. До отвору пробірки піднесіть зволожений індикаторний папір і переконайтеся в наявності у парі легкої етанової кислоти. Охолодіть розчин і знову випробуйте його за допомогою розчину ферум(III) хлориду на наявність фенольної групи серед продуктів гідролізу.

Чи з'являється характерне для фенолів забарвлення?

Які продукти утворюються в результаті гідролізу аспірину? Напишіть рівняння реакції.

## Практична робота 8

### Розв'язування експериментальних задач

#### Варіант 1

1. Видано пробірки з розчинами: а) гліцеролу; б) альдегіду; в) глюкози. За допомогою одних і тих самих реактивів визначте кожен речовину.

2. Визначте експериментально, чи є крохмаль у білому хлібі, косметичній пудрі, овочах.

Для завдань 1 і 2 складіть перелік потрібних реактивів і виконайте дослід. Напишіть, де можливо, рівняння реакцій.

#### Варіант 2

1. Видано пробірки з розчинами: а) крохмалю; б) сахарози; в) мила. Визначте експериментально кожен речовину.

2. Визначте експериментально, чи є глюкоза у стиглому яблуці та інших фруктах, меду.

Для завдань 1 і 2 складіть перелік потрібних реактивів і виконайте дослід. Напишіть, де можливо, рівняння реакцій.



## Практична робота 9

### Розпізнавання деяких пластмас і волокон

Для роботи потрібні

**реактиви:** пакети зі зразками пластмас і волокон, розбавлені й концентровані розчини сульфатної кислоти і натрій гідроксиду;

**обладнання й хімічний посуд:** індикаторний папір, нагрівальний прилад, тигельні щипці, штатив із пробірками.

#### Порядок виконання роботи

1. Уважно розгляньте виданий вам зразок матеріалу. Зверніть увагу на його колір, твердість, еластичність, крихкість тощо.

2. За допомогою щипців шматочок матеріалу внесіть в полум'я. зверніть увагу на характер горіння.

3. Шматочок матеріалу спробуйте розплавити у пробірці. Якщо матеріал при цьому розкладається, визначте продукти розкладу (амоніак, фенол).

4. Волокна випробуйте на розчинність у кислотах і лугах.

Результати спостережень і висновки оформіть у вигляді таблиць 19 і 20.

Таблиця 19

Деякі властивості пластмас

Назва пластмаси	Зовнішній вигляд	Проба на горіння	Проба на нагрівання

Таблиця 20

Деякі властивості природних, штучних і синтетичних волокон

Назва волокна	Зовнішній вигляд	Проба на горіння	Проба на нагрівання	Дія лугу і кислоти			
				NaOH (розб.)	NaOH (конц.)	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (розб.)	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (конц.)

## Практична робота 10

### Функціональний аналіз органічних сполук

Доведіть експериментально, що серед виданих вам речовин є: а) ненасичений вуглеводень; б) багатоатомний спирт; в) альдегід; г) фенол; д) галогеновмісна сполука; е) неорганічна речовина.

Для роботи потрібні

**реактиви:** пробірки з речовинами а), б), в), г), д), е), розчини купрум(II) сульфату, натрій гідроксиду, ферум(III) хлориду, калій перманганату;

обладнання й хімічний посуд: штатив із пробірками, мідна спіраль, нагрівальний прилад, ложка для спалювання.

### Порядок виконання роботи

#### Дослід 1. Попередні випробування.

1. За допомогою проби на спалювання визначте неорганічну речовину і характер горіння органічних речовин.
2. За допомогою проби Бейльштейна визначте галогеновмісну сполуку.
3. За допомогою проби Вагнера визначте ненасичений вуглеводень і альдегід.

*Пам'ятайте, забарвлення калій перманганату зникає (проба Вагнера) під час реакції з ненасиченими вуглеводнями, альдегідами, мурашиною кислотою, багатоатомними фенолами.*

#### Дослід 2. Визначення наявності функціональних груп.

Враховуючи результати попередніх випробувань, визначте наявність функціональних груп у виданих вам речовинах. Результати спостережень і висновки оформіть у вигляді табл. 21.

Таблиця 21

### Деякі властивості пластмас

Номер пробірки	Клас речовини	Функціональна група	Реактив	Що утворюється в результаті реакції

## Практична робота 11

### Розв'язування експериментальних задач з вивченого курсу

#### Варіант 1

1. У трьох пронумерованих пробірках містяться вода, етанол, розчин крохмалю. Складіть перелік реактивів і обладнання, потрібних для визначення цих речовин, і визначте їх експериментально.

2. Яка речовина і в якій кількості утвориться в результаті окиснення етанолу масою 4,6 г купрум(II) оксидом? Добудьте цю речовину з етанолу, визначеного в попередньому досліді.

#### Варіант 2

1. У трьох пронумерованих пробірках містяться вода, розчин глюкози й етанової кислоти. Складіть перелік реактивів і обладнання, потрібних для визначення цих речовин, і визначте їх експериментально.

2. Які речовини і в якій кількості утворюються в результаті взаємодії етанової кислоти масою 3 г з ізоаміловим спиртом? Добудьте цю речовину з визначеної в попередньому досліді етанової кислоти.



# Розділ II

## УЗАГАЛЬНЮВАЛЬНЕ ПОВТОРЕННЯ НАЙВАЖЛИВИШИХ ПИТАНЬ КУРСУ ХІМІЇ

### Основні хімічні закони, теорії, вчення

#### § 51. ОСНОВНІ ХІМІЧНІ ЗАКОНИ. ТЕОРІЯ БУДОВИ

**Закон збереження маси.** У 1748 р. М. В. Ломоносов сформулював загальний принцип збереження матерії\* і руху, який лежить в основі сучасного природознавства. Перша половина цього принципу відома як закон збереження маси:

*маса речовин, що вступають у хімічну реакцію, дорівнює масі речовин, що утворюються внаслідок реакції.*

У 1756 р. М. В. Ломоносов експериментально підтвердив правильність цього твердження.

Незалежно від М. В. Ломоносова закон збереження маси був сформульований А. Лавуазьє у 1789 р. При цьому А. Лавуазьє зробив ще один дуже важливий висновок: під час перебігу хімічних реакцій зберігається не тільки загальна маса речовин, а й маса кожного з елементів, які входять до складу речовин, що реагують. Отже, внаслідок хімічних реакцій елементи не перетворюються один на одний, вони зберігаються.

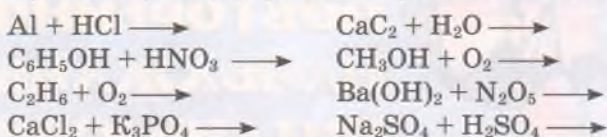
Як пояснити закон збереження маси речовин з погляду атомно-молекулярного вчення?

\*Матерія (від лат. *materia* — речовина) — об'єктивна реальність, що дана людині у її відчуттях, але яка існує незалежно від них. Формами існування матерії є речовина (атоми, молекули, йони, електрони, протони, нейтрони тощо) і поле (електромагнітне, гравітаційне тощо).



На основі закону збереження маси речовин складаються рівняння хімічних реакцій і проводяться різні розрахунки.

Складіть рівняння реакцій, суть яких виражається такими схемами:



Друга половина сформульованого М. В. Ломоносовим загального принципу природи стосується збереження руху, його вічності, незнищеності. За М. В. Ломоносовим, тіло, яке рухає своєю силою інше тіло, витрачає її стільки само, скільки передає іншому тілу, від якого воно набуває руху.

Проте вперше сформулював цей принцип як закон збереження енергії німецький учений Ю. Р. Майер у 1842 р. Він зазначав, що рух, кількісною мірою якого є енергія, не може зникати і не може виникати з нічого, а може тільки переходити з однієї форми в іншу. В разі таких взаємоперетворень енергія не втрачається й не утворюється знову.

Для хімічних реакцій, зокрема, закон збереження енергії можна сформулювати так:

*енергія системи, що містить речовини, які реагують (вихідні), дорівнює енергії системи, яка містить утворені (кінцеві) продукти.*

Отже, закон збереження енергії має сенс для процесів, що відбуваються в замкнених системах. Загальна енергія ізольованої системи залишається сталою незалежно від змін, що відбуваються в цій системі.

На основі закону збереження і перетворення енергії складаються термохімічні рівняння, які враховують не тільки масу речовин, а й енергію, що виділяється або поглинається під час хімічних реакцій.

До XX ст. закони збереження маси та енергії розглядалися незалежно один від одного, оскільки речовина та енергія вважалися не поєднуваними одна з одною категоріями.

У 1905 р. Альберт Ейнштейн довів, що між масою тіла  $m$  та його енергією  $E$  існує зв'язок, який виражається співвідношенням

$$E = mc^2,$$

де  $c$  — швидкість світла у вакуумі (дорівнює приблизно 300 000 км/с).

Це рівняння Ейнштейна виражає еквівалентність (від лат. *aequivalens* — рівноцінний) маси та енергії будь-якого об'єкта (макроскопічних тіл і частинок мікросвіту), але не тотожність і не взаємоперетворюваність речовини й енергії.

Нині відомо, що маса речовини та її енергія взаємопов'язані між собою. Якщо це так, а ми знаємо, що під час хімічних реакцій завжди виділяється або поглинається енергія, то чому ж вважаємо справедливим закон збереження маси речовин? Адже якщо під час реакції енергія виділяється, то маса утворених речовин має зменшуватись, а якщо енергія поглинається, — то збільшуватись.



Насправді так воно і є. Однак невеликі енергетичні ефекти хімічних реакцій не можуть зумовити помітну зміну мас реагуючих речовин. Наприклад, під час утворення з водню і хлору одного моля хлороводню (36,461 г) виділяється енергія, що відповідає масі близько  $1 \cdot 10^{-9}$  г. Такі малі маси лежать поза межами можливості вимірювань. Тому неодноразові спроби перевірки закону збереження маси речовин завжди підтверджували його правильність. Ось чому, розглядаючи хімічні реакції, можна не брати до уваги зміну маси внаслідок виділення або поглинання енергії. Проте завжди слід пам'ятати, що кожне хімічне рівняння символізує собою закони збереження маси та енергії під час хімічних реакцій. Отже,

**сумарні маса та енергія речовин, що вступили в реакцію, завжди дорівнюють сумарним масі та енергії продуктів реакції.**

**Сталість складу речовин.** У період становлення атомно-молекулярного вчення дуже важливо було поєднати абстрактні уявлення про атоми і молекули з реальним експериментом, що й зробив французький хімік Ж. Л. Пруст у 1801 р. Виконуючи кількісні аналізи хімічних сполук, він висловив положення, зміст якого полягає в тому, що

**кожна речовина незалежно від умов і способів її добування має сталий склад.**

Це означає, що в речовині зберігається незмінним співвідношення атомів і атомних мас елементів, які входять до її складу. Так, для молекул води  $H_2O$  співвідношення атомів водню і кисню становить 2 : 1, для нітроген(V) оксиду  $N_2O_5$  — 2 : 5, для сульфатної кислоти  $H_2SO_4$  — 2 : 1 : 4.

Напишіть п'ять рівнянь реакцій добування карбон(IV) оксиду різними способами і визначте співвідношення атомів Карбону й Оксигену та масові частки елементів у сполучі  $CO_2$ .

Правильність висунутого Ж. Л. Прустом положення заперечував відомий на той час авторитет, французький хімік К. Л. Бертолле, який вважав, що склад речовини може змінюватися в певних межах.

Питання про сталість складу речовин стало предметом семирічної полеміки між Ж. Л. Прустом і К. Л. Бертолле. Внаслідок ретельної експериментальної перевірки погляди Ж. Л. Пруста на той час взяли гору. Сформульоване ним положення у 1808 р. було визнане як закон сталості складу речовин.

Насправді ж справедливими є погляди обох учених. Це довів російський хімік академік М. С. Курнаков, який на початку XX ст. запропонував назву речовин сталого складу — *дальтоніди* і речовин змінного складу — *бертоліди*. Отже, закон сталості складу не є справедливим для всіх речовин. Свого часу він відіграв важливу роль, сприяв укріпленню атомно-молекулярного вчення в хімії. По суті, цей закон визначав хімічну сполуку як речовину, що складається з певних молекул і тому має сталий склад. У той час (до початку XX ст.) вважали, що всі речовини складаються з молекул.



А що вам сьогодні відомо про склад речовини? Назвіть для прикладу які-небудь частинки, що, на вашу думку, входять до складу речовини.

Нині висловлене Ж. Л. Прустом положення законом не вважають. Тепер відомо, то більшість речовин має немолекулярну будову, склад їх змінюється в певних межах залежно від умов добування. Крім того, навіть деякі речовини молекулярної будови, наприклад полімери, не мають сталого складу.

Отже, нині положення про сталість складу речовин можна формулювати так:

**хімічні сполуки молекулярної будови мають сталий склад незалежно від умов і способів їх добування.**

На підставі уявлень про сталість складу обчислюють масові співвідношення елементів у сполуках і виводять хімічні формули речовин молекулярної будови.

**Приклад 1.** Обчисліть масові співвідношення елементів у етановій кислоті  $\text{CH}_3\text{COOH}$ .

**Розв'язування.** Знаючи відносні атомні маси елементів і число атомів кожного з них у молекулі речовини, визначаємо масові співвідношення елементів:

$$m(\text{C}) : m(\text{H}) : m(\text{O}) = 24 : 4 : 32 = 6 : 1 : 8 \\ 6 + 1 + 8 = 15$$

Це означає, то в кожних 15 масових частках (мас. ч.) етанової кислоти міститься 6 мас. ч. Карбону, 1 мас. ч. Гідрогену і 8 мас. ч. Оксигену. Масові частки можна виражати за допомогою будь-яких одиниць маси (грам, кілограм, тонна). Отже, у 15 г етанової кислоти міститься 6 г Карбону, 1 г Гідрогену і 8 г Оксигену або відповідно у 15 т  $\text{CH}_3\text{COOH}$  міститься 6 т Карбону, 1 т Гідрогену і 8 т Оксигену.

**Відповідь:**  $m(\text{C}) : m(\text{H}) : m(\text{O}) = 6 : 1 : 8$ .

**Приклад 2.** Знайдіть хімічну формулу одного з оксидів Сульфуру, якщо масове співвідношення елементів Сульфуру й Оксигену в цьому оксиді становить 2 : 3.

Дано:  $m(\text{S}) : m(\text{O}) = 2 : 3$   
 $\text{S}_x\text{O}_y$  — ?

**Розв'язування**

Знаючи відносні атомні маси Сульфуру  $A_r(\text{S}) = 32$  і Оксигену  $A_r(\text{O}) = 16$ , знаходимо відношення чисел атомів цих елементів у оксиді, тобто скільки атомів Оксигену припадає на один атом Сульфуру. Розмірковуємо так:

на 2 мас. ч Сульфуру припадає 3 мас. ч. Оксигену;

на 32 мас. ч. Сульфуру —  $x$  мас. ч. Оксигену.

Отже,  $2 : 3 = 32 : x$ , звідси  $x = \frac{3 \cdot 32}{2} = 48$  (мас. ч. О).

Знаючи, що  $A_r(\text{O}) = 16$ , знаходимо кількість атомів Оксигену:  $48 : 16 = 3$ . Це означає, що в даному оксиді на кожний атом Сульфуру



припадає три атоми Оксигену, тобто склад оксиду можна виразити формулою  $\text{SO}_3$  — сульфур(VI) оксид.

*Відповідь:*  $\text{SO}_3$ .

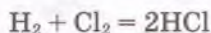
**Закон об'ємних відношень.** Ви вже знаєте, що під час хімічних реакцій маса речовин зберігається. На відміну від маси об'єм реакційної суміші може істотно змінюватися.

Це відбувається, якщо в реакції беруть участь газуваті речовини або утворюються газуваті продукти реакції.

Вимірюючи об'єми газів, що вступають у реакцію й утворюються внаслідок неї, французький учений Ж. Л. Гей-Люссак у 1808 р. сформулював закон об'ємних відношень газів, відомий як «хімічний» закон Гей-Люссака:

*об'єми газів, що вступають у реакцію, відносяться один до одного і до об'ємів добутих газуватих продуктів як невеликі цілі числа.*

При цьому припускається, що всі об'єми газів зведено до однакових температури і тиску. Наприклад, під час синтезу гідроген хлориду з хлору і водню



співвідношення об'ємів газів таке:

$$V(\text{H}_2) : V(\text{Cl}_2) : V(\text{HCl}) = 1:1:2,$$

тобто 1 л водню сполучається з 1 л хлору, утворюючи 2 л гідроген хлориду. Отже,

*у рівняннях хімічних реакцій коефіцієнти перед формулами газуватих речовин відповідають їхнім об'ємам.*

Як же пояснити виявлену закономірність?

**Закон Авогадро і наслідки з нього.** Виявлену Ж. Л. Гей-Люссаком закономірність неможливо було пояснити, керуючись вченням Дж. Дальтона про те, що прості речовини складаються з атомів. Так, під час добування водяної пари з водню і кисню два об'єми водню (2 л,  $2 \text{ м}^3$ ) без залишку реагують з одним об'ємом кисню (з 1 л,  $1 \text{ м}^3$ ), утворюючи два об'єми водяної пари.

Складіть рівняння реакції синтезу водяної пари з водню й кисню і зверніть увагу на коефіцієнти.

Намагаючись пояснити ці спостереження, Дж. Дальтон припустив, що в однакових об'ємах різних газів за однакових температури і тиску міститься однакове число атомів, що насправді пояснює, чому два об'єми водню взаємодіють з одним об'ємом кисню. Це означає, що один атом Оксигену сполучається з двома атомами Гідрогену. Однак складних атомів має утворитися стільки само, скільки зникає простих, тобто три об'єми водяної пари. А насправді їх утворюється тільки два.

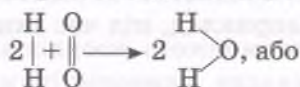
Ці суперечливі факти вперше пояснив італійський учений Амедео Авогадро. У 1811 р. він висловив гіпотезу, яку пізніше було підтверджено дослідними даними, а тому вона стала називатися **законом Авогадро**:

**в однакових об'ємах різних газів за однакових умов (температури та тиску) міститься однакове число молекул.**

А. Авогадро припустив, що молекули простих газів складаються з двох однакових атомів. Під час сполучення водню з хлором їхні молекули розщепляються на атоми, а останні утворюють молекули гідроген хлориду. Проте оскільки з однієї молекули водню й однієї молекули хлору утворюються дві молекули гідроген хлориду, то й об'єм останнього має дорівнювати сумі об'ємів вихідних газів, тобто



Аналогічно під час утворення водяної пари



Отже, об'ємні відношення можна легко пояснити, виходячи з уявлення про двоатомність молекул простих газів —  $\text{H}_2$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{Cl}_2$ ,  $\text{N}_2$  тощо. Це є підтвердженням двоатомності молекул цих речовин.

Із закону Авогадро випливають два важливі наслідки.

**Перший наслідок:**

**один моль будь-якого газу за однакових умов займає однаковий об'єм.**

За нормальних умов (н. у.) об'єм 1 моль будь-якого газу дорівнює 22,4 л. Стала  $V_m = 22,4$  л/моль називається **молярним об'ємом газу** за нормальних умов. За будь-яких умов

**молярний об'єм газу — це величина, що дорівнює відношенню об'єму газу за даних умов до кількості речовини цього газу, тобто**

$$V_m = \frac{V}{\nu},$$

де  $V_m$  — молярний об'єм газу,  $\text{м}^3/\text{моль}$  (л/моль);  $V$  — об'єм газу за будь-яких умов,  $\text{м}^3$  (л);  $\nu$  — кількість речовини газу, моль\*.

Пригадайте, що таке моль і які умови називаються нормальними. Визначте молярний об'єм сірководню, якщо відомо, що за нормальних умов 0,25 моль  $\text{H}_2\text{S}$  займають об'єм 5,6 л.

\* За кімнатної температури (20 °С) і нормального атмосферного тиску (1 атм, або 101,325 кПа) молярний об'єм газу дорівнює не 22,4, а 24 л/моль.



Молярний об'єм газу за нормальних умов можна обчислити також за формулою:

$$V_m = \frac{M}{\rho},$$

де  $V_m$  — молярний об'єм газу, м<sup>3</sup> (л);  $M$  — молярна маса газу, кг/моль (г/моль);  $\rho$  — густина газу, кг/м<sup>3</sup> (г/л).

**Приклад.** Обчисліть об'єм, який займає 1 моль водню за  $T = 273,15$  К і  $p = 101,325$  Па, якщо маса 1 л водню дорівнює 0,09 г.

Дано:  $v(\text{H}_2) = 1$  моль  
 $T = 273,15$  К  
 $p = 101,325$  Па  
 $\rho(\text{H}_2) = 0,09$  г/л

*Розв'язування*

Обчислюємо молярний об'єм водню за нормальних умов. Маса 1 л водню — це і є його густина, тобто  $\rho(\text{H}_2) = 0,09$  г/л. Отже, знаючи молярну масу водню  $M = 2,016$  г/моль, обчислюємо його молярний об'єм за формулою:

$V_m(\text{H}_2)$  (н. у.) — ?

$$V_m = \frac{M}{\rho} ; V_m(\text{H}_2) = \frac{2,016 \text{ г/моль}}{0,09 \text{ г/л}} = 22,4 \text{ л/моль}$$

**Відповідь:**  $V_m(\text{H}_2) = 22,4$  л/моль.

Закон Авогадро справедливий для ідеальних газів. Ідеальний газ — це ідеалізована модель газу, що припускає відсутність взаємодії молекул газу. Для реальних газів спостерігаються відхилення від цього закону, а саме: молярний об'єм деяких газів за нормальних умов дещо менший від 22,4 л/моль. Наприклад, для гідроген хлориду  $\text{HCl}$  він становить 22,2 л/моль, для хлору — 22,0 л/моль. У цьому підручнику значення молярного об'єму газів за нормальних умов вважається сталою величиною і можливі відхилення не враховуються.

**Другий наслідок:** маса одного й того самого об'єму газу тим більша, чим більша маса його молекул. Якщо в однакових об'ємах газів за однакових умов міститься однакове число молекул, то очевидно, що

**відношення мас однакових об'ємів газів за однакових умов дорівнює відношенню їхніх молярних мас:**

$$\frac{m_1}{m_2} = \frac{M_1}{M_2},$$

де  $m_1$  — маса певного об'єму першого газу;  $m_2$  — маса такого самого об'єму другого газу;  $M_1$  і  $M_2$  — молярні маси відповідно першого і другого газів.

Відношення маси певного об'єму одного газу до маси такого самого об'єму іншого газу (взятого за тих самих умов) і є *відносною густиною* першого газу за другим, тобто

$$\frac{m_1}{m_2} = D; \quad D = \frac{M_1}{M_2}$$

Здебільшого відносну густину газу знаходять за воднем, киснем або повітрям.

Напишіть відповідні формули для обчислення відносної густини сульфур(IV) оксиду за воднем, киснем і повітрям та зробіть необхідні розрахунки.

Іншими словами,

*густини різних газів за однакових умов пропорційні їхнім відносним молекулярним масам або їхнім молярним масам, що чисельно дорівнюють останнім:*

$$\frac{\rho_1}{\rho_2} = \frac{M_{r1}}{M_{r2}} = \frac{M_1}{M_2}$$

На другому наслідку із закону Авогадро ґрунтується найпростіший метод визначення молярної маси газуватої речовини (отже, і відносної молекулярної маси).

Він зводиться до встановлення відносної густини речовини в газуватому стані:

$$M_1 = M_2 D$$

Якщо відносну густину газу встановлено за воднем, то  $M = 2D$ , якщо за повітрям —  $M = 29D$ , а якщо відома густина газу (маса 1 л його за н. у.), то обчислення здійснюють за формулою:  $M = 22,4 \text{ л/моль} \cdot \rho$ .

**Теорія будови.** У розділі органічної хімії ви вивчали теорію будови органічних сполук. Положення теорії про залежність властивостей речовин від складу і будови молекул поширюється і на речовини немолекулярної будови, тобто стосується як органічних, так і неорганічних сполук. Отже, теорія будови — загальнохімічна теорія.

Пригадайте передумови створення теорії хімічної будови органічних сполук.

Поясніть суть теорії хімічної будови.

Наведіть приклади ізомерії органічних і неорганічних речовин.

У яких напрямках розвивалася теорія хімічної будови?

Як ви розумієте сучасну теорію будови?



### Завдання для самоконтролю

- У процесі взаємодії алюмінію масою 0,135 г з бромом масою 1,2 г утворився алюміній бромід масою 1,335 г. Доведіть, чи виконується при цьому закон збереження маси речовин.
- Визначте масу їдкого натру, який треба затратити на нейтралізацію етанової кислоти, щоб добути натрій етаноат масою 20,5 г:  
**А** 10 г    **Б** 20 г    **В** 30 г    **Г** 40 г.
- Укажіть серед наведених рівнянь реакцій ендотермічні:  
**А**  $\text{H}_2 + \text{Br}_2 = 2\text{HBr}$ ;  $\Delta H = -72 \text{ кДж}$   
**Б**  $\text{N}_2 + 2\text{O}_2 = 2\text{NO}_2$ ;  $\Delta H = +67 \text{ кДж}$   
**В**  $2\text{Cu} + \text{O}_2 = 2\text{CuO}$ ;  $\Delta H = -324 \text{ кДж}$   
**Г**  $\text{H}_2 + \text{I}_2 = 2\text{HI}$ ;  $\Delta H = +52 \text{ кДж}$



4. На підставі термохімічного рівняння  $2\text{NH}_3 = \text{N}_2 + 3\text{H}_2$ ;  $\Delta H = + 92 \text{ кДж}$  визначте, скільки амоніаку (в молях) розкладається, якщо вбирається 46 кДж теплоти:  
 А 0,5                      Б 1                      В 2                      Г 4.
5. В одному з оксидів Карбону масове співвідношення елементів Карбону і Оксигену становить 3 : 4, в іншому — 3 : 8. Визначте формули даних оксидів і зазначте їхні назви.
6. Унаслідок взаємодії хлору масою 60,7 г і натрію масою 39,3 г утворюється натрій хлорид масою 100 г. Які речовини і якої маси можна виявити після того, як хлор масою 60,7 г прореагує з натрієм масою 46,2 г?
7. Як формулюється закон об'ємних співвідношень? Поясніть його суть на конкретному прикладі.
8. Визначте об'ємне співвідношення газів під час горіння етану в кисні:  
 А 2 : 7 : 4 : 6            Б 1 : 3 : 2 : 3            В 4 : 14 : 8 : 12            Г 1 : 2 : 3 : 4.
9. Визначте об'єми карбон(IV) оксиду і водяної пари (в літрах), що утворюються внаслідок спалювання 4 л бутану:  
 А 8 і 10                      Б 4 і 5                      В 16 і 20                      Г 32 і 40.
10. Як формулюється закон Авогадро? Поясніть його.
11. Визначте об'єм водню в літрах, що виділиться, якщо подіяти магнієм на етанову кислоту кількістю речовини 0,5 моль:  
 А 22,4                      Б 11,2                      В 5,6                      Г 2,8.
12. Визначте молярну масу альдегіду (в грамах на моль), якщо його густина становить 1,339 г/л:  
 А 10                      Б 20                      В 30                      Г 60.
- Запишіть формулу цього альдегіду і назвіть його.
13. Визначте відносну густина метану за воднем і киснем відповідно:  
 А 2 і 8                      Б 8 і 2                      В 16 і 29                      Г 8 і 0,5.
14. На фенол кількістю речовини 0,5 моль подіяли натрієм. Визначте масу натрій феноляту та об'єм водню (н. у.), що утворилися при цьому:  
 А 232 г і 44,8 л    Б 116 г і 22,4 л    В 58 г і 11,2 л    Г 58 г і 5,6 л.

### Додаткові завдання

15. Назвіть характерні особливості органічних сполук порівняно з неорганічними.
16. Як пояснити надзвичайну різноманітність органічних сполук?
17. За допомогою структурних формул наведіть усі варіанти можливого розміщення атомів у молекулі метану, етану, пропану, бутану, пентану й ортофосфатної кислоти  $\text{H}_3\text{PO}_4$ . Який із двох можливих ізомерів цієї кислоти відповідає двохосновній фосфатній(III) кислоті?
18. Як пояснити той факт, що молекула хлороетану достатньо реакційноздатна, а молекула етану — інертна?  
 Напишіть формули цих речовин.
19. Чим зумовлений перехід від кислотних властивостей до основних у ряду речовин  $\text{HCl} \text{ — } \text{H}_2\text{O} \text{ — } \text{NH}_3$  (у водному розчині)?



## § 52. ВИКОРИСТАННЯ ОСНОВНИХ ХІМІЧНИХ ЗАКОНІВ ДЛЯ ОБЧИСЛЕНЬ ЗА ХІМІЧНИМИ РІВНЯННЯМИ

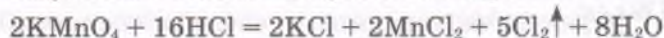
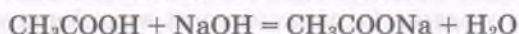
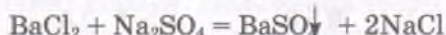
**Хімічне рівняння** — це умовний запис хімічної реакції за допомогою хімічних формул і символів.

Хімічні рівняння складають, виходячи із законів збереження маси та енергії (в останньому випадку рівняння називають *термохімічними*).

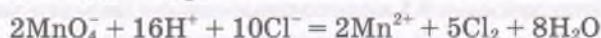
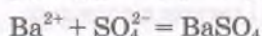
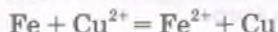
З погляду атомно-молекулярного вчення збереження маси речовин під час перебігу хімічної реакції пояснюється тим, що атоми, які входять до складу речовин, не утворюються з нічого і не зникають. Тому їх загальне число під час реакції залишається незмінним. Оскільки маса кожного атома є сталою, то й загальна маса вихідних речовин, що складаються з цих атомів, дорівнює масі продуктів реакції, які складаються з того самого набору атомів.

Розрізняють такі види рівнянь:

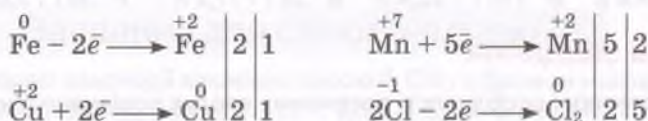
а) *молекулярні* (чому ця назва не є правильною?):



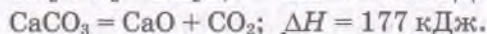
б) *йонні*:



в) *електронні*:



г) *термохімічні*:



Сформулюйте закон збереження енергії, виходячи з якого складають термохімічні рівняння. Ким і коли він був відкритий?

Хімічні рівняння показують молярні співвідношення речовин, що вступають у реакцію й утворюються внаслідок неї. Якщо реагуючі речовини — гази, то хімічне рівняння показує співвідношення об'ємів реагуючих газів. Такі хімічні рівняння називають *стехіометричними*.



Стехіометрія — це галузь хімії, пов'язана з ученням про кількісні співвідношення між масами або об'ємами реагуючих речовин, з виведенням хімічних формул і складанням рівнянь хімічних реакцій.

За хімічними рівняннями можна обчислювати маси, кількості речовин, об'єми газів, що вступають у реакцію або утворюються внаслідок неї.

Проте в реальних хімічних процесах через неповний перебіг реакції і різні втрати речовин маса продуктів реакції або їхній об'єм, як правило, менші від тієї маси або об'єму, що мали б утворитися згідно з рівнянням реакції. У такому разі обчислюють *вихід продукту реакції*.

**Вихід продукту реакції  $\eta$  («ета») дорівнює відношенню маси реально добутого продукту (практичний вихід)  $m_{\text{пр}}$  до його маси, обчисленої за хімічним рівнянням (теоретичний вихід)  $m_{\text{теор}}$ , і, в разі потреби, виражається у відсотках:**

$$\eta = \frac{m_{\text{пр}}}{m_{\text{теор}}} \cdot 100 \%$$

Розглянемо конкретні приклади.

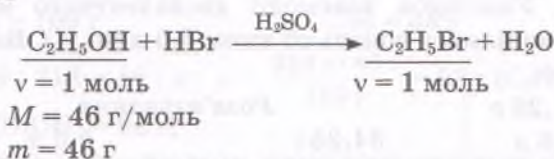
**Приклад 1.** Обчисліть масу етанолу, що під час взаємодії з бромоводнем витрачається на добування бромоетану кількістю речовини 0,5 моль.  
Дано:  $\nu(\text{C}_2\text{H}_5\text{Br}) = 0,5$  моль

$m(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) = ?$

*Розв'язування*

$$m = \nu M$$

**Перший спосіб**



$$46 : x = 1 : 0,5; \quad x = \frac{46 \text{ г} \cdot 0,5 \text{ моль}}{1 \text{ моль}} = 23 \text{ г (C}_2\text{H}_5\text{OH)}$$

**Відповідь:**  $m(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) = 23$  г.

**Другий спосіб**

За рівнянням реакції  $\nu(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) = \nu(\text{C}_2\text{H}_5\text{Br})$ . Виходить, якщо  $\nu(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) = 0,5$  моль, то й  $\nu(\text{C}_2\text{H}_5\text{Br})$  також дорівнює 0,5 моль. Отже,  $m = M\nu$ ;  $m(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) = 46 \text{ г/моль} \cdot 0,5 \text{ моль} = 23 \text{ г}$ .

**Відповідь:**  $m(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) = 23$  г.

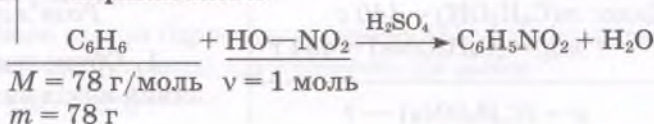
**Приклад 2.** Обчисліть кількість речовини нітратної кислоти, що витрачається на нітрування бензену масою 156 г.

Дано:  $m(\text{C}_6\text{H}_6) = 156$  г

*Розв'язування*

**Перший спосіб**

$\nu(\text{HNO}_3) = ?$



$$78 : 156 = 1 : x; \quad x = \frac{156 \text{ г} \cdot 1 \text{ моль}}{78 \text{ г}} = 2 \text{ моль (HNO}_3\text{)}$$

Відповідь:  $\nu(\text{HNO}_3) = 2 \text{ моль}$ .

Другий спосіб

$$\nu(\text{C}_6\text{H}_6) = \frac{156 \text{ г}}{78 \text{ г/моль}} = 2 \text{ моль}$$

За рівнянням реакції  $\nu(\text{C}_6\text{H}_6) = \nu(\text{HNO}_3)$ , отже,  $\nu(\text{HNO}_3)$  також дорівнює 2 моль.

Відповідь:  $\nu(\text{HNO}_3) = 2 \text{ моль}$ .

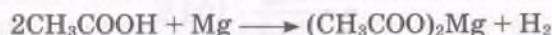
**Приклад 3.** Обчисліть об'єм водню (н. у.), що виділяється внаслідок взаємодії магнію з етановою кислотою масою 15 г.

Дано:  $m(\text{CH}_3\text{COOH}) = 15 \text{ г}$

Розв'язування

$V(\text{H}_2) - ?$

$$V = V_m \nu$$



$$\nu = 1 \text{ моль}$$

$$M = 60 \text{ г/моль}$$

$$m = 60 \cdot 2 = 120 \text{ г}$$

$$\nu = 1 \text{ моль}$$

$$V_m = 22,4 \text{ л/моль}$$

$$V = 22,4 \text{ л}$$

$$120 : 15 = 22,4 : x; \quad x = \frac{15 \text{ г} \cdot 22,4 \text{ л}}{120 \text{ г}} = 2,8 \text{ л (H}_2\text{)}$$

Відповідь:  $V(\text{H}_2) = 2,8 \text{ л}$ .

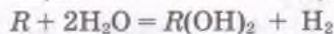
**Приклад 4.** Унаслідок взаємодії двовалентного металу масою 34,25 г з водою виділився водень об'ємом 5,6 л (н. у.). Визначте, який метал було взято.

Дано:  $m(R) = 34,25 \text{ г}$

$V(\text{H}_2) = 5,6 \text{ л}$

Розв'язування

$$34,25 \text{ г} \quad 5,6 \text{ л}$$



$$x \text{ г}$$

$$V_m = 22,4 \text{ л/моль}$$

$$V = 22,4 \text{ л}$$

$$34,25 : x = 5,6 : 22,4$$

$$x = \frac{34,25 \text{ г} \cdot 22,4 \text{ л}}{5,6 \text{ л}} = 137 \text{ г (R)}; \quad M = \frac{m}{\nu}$$

$$M = 137 \text{ г/моль}, \quad A_r = 137.$$

Відповідь: двовалентний метал — барій.

**Приклад 5.** Унаслідок взаємодії фенолу масою 440 г з їдким натром добуто 464 г натрій феноляту. Визначте вихід натрій феноляту.

Дано:  $m(\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}) = 440 \text{ г}$

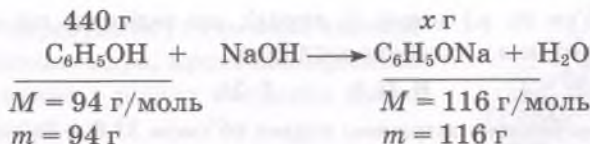
$m_{\text{пр}} = (\text{C}_6\text{H}_5\text{ONa}) = 464 \text{ г}$

Розв'язування

1. Обчислюємо теоретично можливий вихід натрій феноляту ( $m_{\text{теор}}$ ):

$w = (\text{C}_6\text{H}_5\text{ONa}) - ?$





$$94 : 440 = 116 : x; \quad x = \frac{440 \text{ г} \cdot 116 \text{ г}}{94 \text{ г}} = 543 \text{ г (C}_6\text{H}_5\text{ONa)},$$

тобто  $m_{\text{теор}}(\text{C}_6\text{H}_5\text{ONa}) = 543 \text{ г}$ .

2. Обчислюємо вихід натрій феноляту від теоретично можливого:

$$w = \frac{m_{\text{пр}}}{m_{\text{теор}}}; \quad w(\text{C}_6\text{H}_5\text{ONa}) = \frac{440 \text{ г}}{543 \text{ г}} = 0,8, \text{ або } 80 \%$$

**Відповідь:** вихід натрій феноляту становить 0,8, або 80 %.

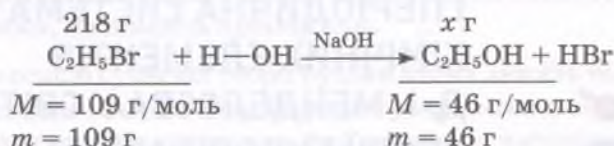
**Приклад 6.** Бромоетан масою 218 г нагрівали з водою за наявності лугу. Обчисліть масу етанолу, що утворився при цьому, якщо вихід його становить 0,95.

Дано:  $m(\text{C}_2\text{H}_5\text{Br}) = 218 \text{ г}$   
 $w(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) = 0,95$

*Розв'язування*

1. Обчислюємо масу етанолу, яка могла б утворитися теоретично, —  $m_{\text{теор}}$ :

$m(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) = ?$



$$109 : 218 = 46 : x; \quad x = \frac{218 \text{ г} \cdot 46 \text{ г}}{109 \text{ г}} = 92 \text{ г (C}_2\text{H}_5\text{OH)},$$

тобто  $m_{\text{теор}}(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) = 92 \text{ г}$ .

2. Обчислюємо масу етанолу, що утворилася практично, —  $m_{\text{пр}}$ :

$$w = \frac{m_{\text{пр}}}{m_{\text{теор}}}; \quad m_{\text{пр}} = m_{\text{теор}} w$$

$$m_{\text{пр}}(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) = 92 \text{ г} \cdot 0,95 = 87,4 \text{ г}.$$

**Відповідь:** етанолу утворилося 87,4 г.



## Завдання для самоконтролю

1. Які види рівнянь ви знаєте і що вони показують? Напишіть по два приклади різних видів хімічних рівнянь.
2. На повну нейтралізацію кальцій гідроксиду затрачено 392 г ортофосфатної кислоти. Укажіть масу солі (у грамах), що утворилась при цьому:

**А** 100 **Б** 155 **В** 310 **Г** 620.

3. Визначте об'єм (н. у.) водню (у літрах), що виділився під час взаємодії 0,5 моль алюмінію з хлоридною кислотою:  
 А 4,2;      Б 8,4;      В 16,8;      Г 21.
4. На гідрування бензену затрачено водень об'ємом 33,6 л. Визначте кількість речовини циклогексану (в молях), що утворився:  
 А 0,5      Б 1      В 2      Г 4.

### Додаткові завдання

5. Внаслідок взаємодії одновалентного металу масою 70 г з водою виділився водень об'ємом 112 л (н. у.). Визначте, який це метал:  
 А Li      Б Na      В K      Г Rb.
6. Добуто етилетаноат масою 140,8 г, вихід якого дорівнює 0,8. Визначте масу кислоти (у грамах), що зазнала естерифікації етанолом:  
 А 30      Б 60      В 90      Г 120.
7. Під час взаємодії хлороетану масою 258 г з водою за наявності лугу добуто етанол масою 169,28 г. Обчисліть вихід спирту (у відсотках):  
 А 62      Б 82      В 92      Г 95.

## § 53. ПЕРІОДИЧНИЙ ЗАКОН І ПЕРІОДИЧНА СИСТЕМА ХІМІЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ Д. І. МЕНДЕЛЄЄВА У СВІТЛІ ТЕОРІЇ БУДОВИ АТОМА



**Сучасні уявлення про будову атома.** Згідно із сучасними уявленнями періодичність зміни властивостей елементів, розміщених у порядку зростання заряду ядра, зумовлена періодичністю змін у будові електронної оболонки атомів. Адже під час хімічних реакцій ядро атома не змінюється. Тому в процесі вивчення хімії структурі електронних оболонок атомів завжди приділяється особлива увага.

У моделі атома, запропонованій Е. Резерфордом, електрони розглядалися як частинки, що рухаються по плоских орбітах навколо ядра. Пізніше було доведено, що це не так. Виявилось, що рух електронів, як і інших елементарних частинок, неможливо пояснити правилами класичної механіки. Адже характерною особливістю електронів є *двоїстість* їхньої поведінки в атомі, а саме: електрони водночас виявляють властивості і *частинок*, і *хвиль*.

Рух і взаємодію мікрочастинок вивчає розділ фізики — *квантова механіка*. Вона стверджує, що на відміну від звичайних тіл для електрона неможливо одночасно визначити місце перебування його в атомі (чіткі координати) і швидкість. Це відповідає *принципу невизначеності Гейзенберга* і пояснюється тим, що електрон, який швидко руха-



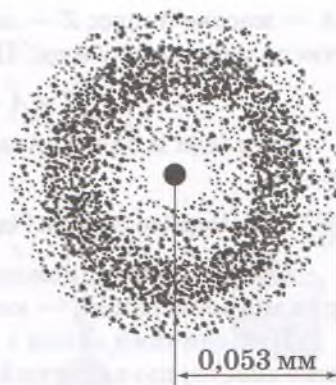
ється, може перебувати у будь-якій частині простору навколо ядра, проте *ймовірність* його перебування в різних частинах цього простору неоднакова.

Різні положення електрона розглядаються як *електронна орбіталь* з певною густиною негативного заряду. Електрон неначе «розмазаний» навколо ядра у вигляді електронної орбіталі.

**Електронна орбіталь** — це квантово-механічна модель електрона в атомі.

На мал. 170 наведено схему будови атома Гідрогену з погляду квантової механіки.

Уважно розгляньте мал. 170. Як ви можете прокоментувати те, що він ілюструє?



Мал. 170. Електронна орбіталь атома Гідрогену з нерівномірним розподілом густини

Отже, під час руху в навколяядерному просторі електрон являє собою електронну орбіталь, густина негативного заряду якої в різних місцях простору різна.

**Простір навколо ядра, в якому перебування електрона є найбільш ймовірним, називають орбіталлю.**

Отже, в основі сучасної теорії будови атома лежать такі положення.

1. *Електрон має двоїсту (корпускулярно-хвильову) природу.* Він може поводитися і як *частинка*, і як *хвиля*: як частинка він має певну масу і заряд, разом з тим електрон, що рухається, виявляє хвильові властивості (здатність до дифракції).

2. *Для електрона неможливо водночас точно виміряти координати і швидкість.* Чим точніше вимірюється швидкість, тим більше невизначеності в координатах, і навпаки (принцип невизначеності Гейзенберга).

3. *Електрон в атомі не рухається по певних траєкторіях, а може перебувати у будь-якій частині навколяядерного простору, проте ймовірність його перебування в різних частинах цього простору неоднакова.* Простір навколо ядра, в якому ймовірність перебування електрона достатньо велика, називають *електронною орбіталлю*.

4. *Ядра атомів складаються з протонів і нейтронів (загальна назва — нуклони).* Число протонів у ядрі дорівнює порядковому номеру елемента, а сума чисел протонів і нейтронів відповідає його *масовому числу*.

Останнє положення було сформульовано після того, як у 1920 р. Е. Резерфорд відкрив протон, а в 1932 р. Дж. Чедвік — нейтрон.

Різні види атомів називають *нуклідами*. Їх характеризують будь-якими двома числами з трьох фундаментальних параметрів:



$A$  — масове число;  $Z$  — заряд ядра, що дорівнює числу протонів;  $N$  — число нейтронів у ядрі. Ці параметри взаємозв'язані так:

$$Z = A - N; \quad N = A - Z; \quad A = Z + N$$

Нукліди з однаковими  $Z$ , але різними  $A$  і  $N$  називаються *ізотопами*.

Пригадайте ізомери Гідрогену і запишіть їх формули й назви.

Сформульовані положення становлять суть нової теорії, що описує рух мікрочастинок, — *квантової механіки*.

**Періодичний закон і Періодична система хімічних елементів.** Ви вже знаєте, що видатний російський учений Д. І. Менделєєв, описуючи хімічні властивості відомих на той час 63 елементів, розмістив їх у порядку зростання атомних мас і помітив, що властивості елементів змінюються не монотонно, а періодично. Наприклад, у ряду елементів\*

$\text{Li} - \text{Be} - \text{B} - \text{C} - \text{N} - \text{O} - \text{F} - \text{Na} - \text{Mg} - \text{Al} - \text{Si} - \text{P} - \text{S} - \text{Cl}$

закономірна зміна властивостей (послаблення металічних і посилення неметалічних властивостей з послідовним збільшенням валентності) у межах одного відрізка ряду (від  $\text{Li}$  до  $\text{F}$ ) повторюється і в інших відрізках (від  $\text{Na}$  до  $\text{Cl}$ , від  $\text{K}$  до  $\text{Br}$  тощо).

Інакше кажучи, періодично повторюються хімічно подібні елементи. Закон, названий Д. І. Менделєєвим *законом періодичності*, вчений сформулював так:

*властивості простих тіл, а також форми і властивості сполук елементів перебувають у періодичній залежності від величини атомних мас елементів.*

Отже, властивості елементів періодично змінюються, і ці зміни позначаються на деяких властивостях простих і складних речовин.

Увесь наступний розвиток хімії і фізики підтвердив правильність такого висновку.

На підставі закону періодичності Д. І. Менделєєв у 1869 р. створив Періодичну систему хімічних елементів, яка стала графічним відображенням відкритого ним закону.

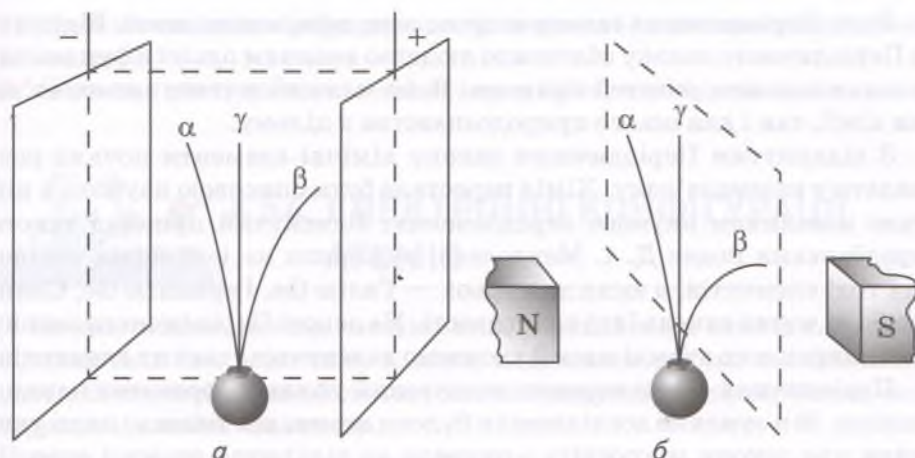
Користуючись Періодичною таблицею, поясніть будову сучасної Періодичної системи хімічних елементів.

За часів Д. І. Менделєєва атом вважався найдрібнішою неподільною частинкою. Однак наприкінці XIX ст. з'явилися докази складності будови атома (відкриття радіоактивності — А. Беккерель, 1896 р., відкриття електрона — Дж. Томсон, 1897 р., радіоактивних елементів Полонію і Радію — М. Склодовська-Кюрі та П. Кюрі, 1898 р.).

Розгляньте мал. 171 і поясніть, що він ілюструє, як ви його розумієте.

\*Інертні гази на той час були невідомі.





Мал. 171. Вплив електричного (а) і магнітного (б) полів на радіоактивне випромінювання

$\alpha$ -Частинки виявились дуже ефективним знаряддям у руках фізиків під час вивчення будови атома. Так, Е. Резерфорд, бомбардуючи  $\alpha$ -частинками тонкі металеві пластинки, вивчав відхилення від початкового напрямку руху під час проходження крізь метал. Результати цих дослідів дали йому змогу в 1911 р. запропонувати схему будови атома, що дістала назву *ядерної моделі будови атома*.

У чому полягає суть ядерної моделі будови атома? Схарактеризуйте частинки, що входять до складу атома.

Прогрес знань про внутрішню будову атома дав змогу уточнити формулювання Періодичного закону:

*властивості елементів, а також форми і властивості їхніх сполук перебувають у періодичній залежності від зарядів ядер атомів елементів.*

Часто вживається коротше означення:

*властивості елементів перебувають у періодичній залежності від зарядів ядер їхніх атомів.*

Нове формулювання закону зовсім не суперечить формулюванню, що його дав Д. І. Менделєєв. Воно тільки ґрунтується на нових даних, які надають Періодичному закону і Періодичній системі сучасного тлумачення і підтверджують їхню достовірність.

Періодична система правильно відображує не тільки Періодичний закон, а й будову атомів елементів. Так, порядковий номер елемента в Періодичній системі показує заряд ядра його атома, отже, і загальне число електронів. Збільшення зарядів ядер від 1 до 118 спричиняє періодичне повторення будови останнього енергетичного рівня. Оскільки властивості елементів залежать в основному від числа електронів на останньому рівні їх атомів, то вони також періодично повторюються. В цьому й полягає фізичний зміст Періодичного закону.



**Роль Періодичного закону в сучасному природознавстві.** Відкриття Періодичного закону збагатило людство знаннями однієї з фундаментальних закономірностей природи. Воно мало величезне значення як для хімії, так і для всього природознавства в цілому.

З відкриттям Періодичного закону хімічні елементи почали розглядати у взаємозв'язку. Хімія перестала бути описовою наукою, в ній стало можливим наукове передбачення. Близкучий приклад такого передбачення подав Д. І. Менделєєв, указавши на існування невідомих тоді елементів, з яких для трьох — Галію Ga, Германію Ge, Скандію Sc — точно описав їхні властивості. На основі Періодичного закону було виправлено атомні маси й уточнено валентності деяких елементів.

Періодичний закон справив величезний вплив на розвиток науки і техніки. Він зумовив дослідження будови атома, що змінило наші уявлення про закони мікросвіту і привело до відкриття атомної енергії. На основі Періодичного закону було відкрито 47 елементів із 118, що відомі сьогодні.

Без перебільшення можна стверджувати, що Періодичний закон є першоджерелом усіх відкриттів у хімії і фізиці XX ст.

Періодичний закон і Періодична система хімічних елементів мають також велике філософське значення для розуміння природи. Адже всі елементи, як подібні, так і різко відмінні за властивостями, розміщені в єдиній системі, причому їхні властивості змінюються закономірно, шляхом переходу кількісних змін у якісні. Властивості будь-якого елемента в Періодичній системі виявляються у зв'язку з іншими елементами. Отже, Періодична система переконливо засвідчує, що природа не є скупченням речовин, ізольованих одна від одної, не зв'язаних між собою. Вона підтверджує, що існує зв'язок між усіма хімічними елементами і що розвиток має місце не лише у світі тварин і рослин, а й у неорганічній природі.



### Завдання для самоконтролю

1. Поясніть основні положення сучасної теорії будови атома.
2. Як ви розумієте термін «орбіталь»? Чим він відрізняється від терміна «орбіта», введеного Н. Бором?
3. Порівняйте терміни «нуклони» і «нукліди». Що вони характеризують?
4. Укажіть число нейтронів у ядрі атома Тритію:  
 А 0      Б 3      В 2      Г 1.
5. Укажіть число протонів у аніоні  $\text{PO}_4^{3-}$ :  
 А 36      Б 39      В 95      Г 47.

### Додаткові завдання

6. Ким, коли і як був відкритий Періодичний закон? Наведіть Менделєєвське і сучасне формулювання Періодичного закону. В чому полягає причина його уточнення?



7. Який зв'язок існує між будовою атома елемента і його місцем у Періодичній системі?
- 8.\* Поясніть структуру Періодичної системи у світлі теорії будови атома.



## § 54. ЕЛЕКТРОННІ КОНФІГУРАЦІЇ АТОМІВ

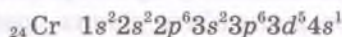
Ви вже знаєте, що під час хімічних реакцій ядра атомів елементів залишаються без змін, тому хімічні властивості атомів залежать від будови їх електронних оболонок, яка зображується *електронною конфігурацією атома елемента*.

Буквено-цифрове позначення розміщення електронів у атомі називається *електронною формулою*, або *електронною конфігурацією, атома*.

Наприклад, електронні формули атома Гідрогену  $1s^1$ , Нітрогену —  $1s^2 2s^2 2p^3$ , Натрію —  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^1$ .

Напишіть електронну формулу атома Калію і поясніть: а) що показує числовий коефіцієнт (велика цифра) перед буквою; б) що позначається буквами  $s, p, d, f$ ; в) що показує цифровий індекс, який ставиться зверху праворуч від букви?

Під час написання електронних формул слід урахувати так зване провалювання електрона. Так, електронна формула атома Хрому має бути такою:  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^4 4s^2$ . Однак на останньому рівні атома Хрому не два електрони, а один — другий електрон «провалився» на  $d$ -підрівень передостаннього енергетичного рівня. Ось чому розміщення електронів у атомі Хрому таке:



Те саме відбувається в атомах Молібдену Mo, Ніобію Nb та інших елементів. У атома Паладію Pd електрони на енергетичних рівнях розміщуються так, що п'ятого енергетичного рівня немає взагалі, бо обидва електрони «провалилися» на сусідній підрівень. Отже, електрони атома Паладію Pd на енергетичних рівнях розміщуються так: 2, 8, 18, 18, 0. Отже, електрони в атомі розміщуються шарами.

**Електронний шар** — це сукупність електронів, що розміщені на певній відстані від ядра й один від одного і які мають певний запас енергії, тому електронні шари ще називають *енергетичними рівнями*.

Число енергетичних рівнів у атомі дорівнює номеру періоду, в якому розміщується елемент у Періодичній системі. Найбільше число електронів на енергетичному рівні дорівнює подвоєному номеру рівня в квадраті, тобто

$$N = 2n^2,$$

де  $N$  — число електронів;  $n$  — номер рівня (якщо лічити від ядра).



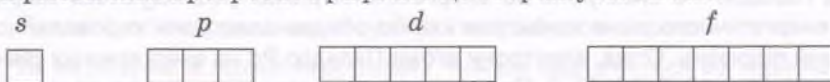
Номер рівня характеризує запас енергії електронів, які займають даний енергетичний рівень. Найменшу енергію мають електрони першого енергетичного рівня, найближчого до ядра. Якщо надати атому енергії, то електрони можуть переходити на більш віддалені від ядра енергетичні рівні. Порівняно з електронами першого рівня електрони наступних рівнів характеризуються більшим запасом енергії.

Отже, електрони останнього рівня, що мають найбільший запас енергії, найслабкіше зв'язані з ядром, а тому можуть відриватися від одних атомів і приєднуватися до інших, входячи до складу їх останнього рівня. При цьому в першому випадку утворюються позитивно заряджені йони, у другому — негативно.

Енергетичні рівні складаються з певного числа енергетичних підрівнів, що позначаються латинськими літерами *s*, *p*, *d*, *f*. Можлива кількість підрівнів для кожного енергетичного рівня дорівнює номеру цього рівня. Відповідно до буквених позначень енергетичних підрівнів електрони, що на них перебувають, називаються *s*-, *p*-, *d*-, *f*-електронами. Рухаючись, ці електрони утворюють орбіталі певної форми. Так, *s*-орбіталі мають форму кулі, *p*-орбіталі — форму об'ємної вісімки (гантелі), *d*- і *f*-орбіталі мають складніші форми.

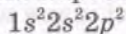
Часто структуру електронних оболонок атомів зображують за допомогою енергетичних (квантових) комірок. Це графічні електронні формули. Кожна така комірка позначається квадратом, а електрон — стрілкою. Квадрат відповідає орбіталі, напрямком стрілки — орієнтації спіну електрона, вільний квадрат — вільній орбіталі, що її може займати електрон під час збудження. У комірці може бути один або два електрони, в останньому випадку вони спарені.

Якщо *s*-орбіталь має лише одне можливе розміщення у просторі (на *s*-підрівні є одна орбіталь), то *p*-орбіталі можуть мати три взаємно перпендикулярні розміщення у просторі (на *p*-підрівні є три орбіталі), *d*-орбіталі можуть мати п'ять різних розміщень у просторі (на *d*-підрівні — п'ять орбіталей), на *f*-підрівні є сім орбіталей і так далі в арифметичній прогресії. Графічно це зображується так:

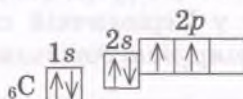


Наприклад, схема розподілу електронів у квантових комірках для атома Карбону така:

а) електронна формула атома Карбону:



б) графічна електронна формула атома Карбону, тобто розподіл електронів у енергетичних, або квантових, комірках:



Зобразіть графічно електронну конфігурацію атома Карбону в збудженому стані.



Залежно від того, який підрівень заповнюється електронами, всі елементи поділяють на чотири родини.

1. Елементи, в атомах яких заповнюється електронами *s*-підрівень останнього енергетичного рівня, називаються *s*-елементами. До них належать елементи головних підгруп I і II груп, а також Гідроген H і Гелій He.





2. Елементи, в атомах яких заповнюється електронами *p*-підрівень останнього енергетичного рівня, називаються *p*-елементами. До них належать елементи головних підгруп III—VIII груп.

3. Елементи, в атомах яких заповнюється електронами *d*-підрівень передостаннього енергетичного рівня (другого ззовні), а на останньому рівні залишається один або два електрони (в атома паладію Pd — нуль), називаються *d*-елементами. До них належать елементи побічних підгруп I—VIII груп.

4. Елементи, в атомах яких заповнюється електронами *f*-підрівень третього ззовні рівня, а на останньому енергетичному рівні залишаються два електрони, називаються *f*-елементами. До них належать лантаноїди та актиноїди.

Розподіл електронів яскраво відображує Періодична система елементів Д. І. Менделєєва. Користуючись нею, можна скласти електронну формулу атома будь-якого елемента. Ви повинні уміти складати електронні формули елементів перших чотирьох періодів.

Під час складання електронних конфігурацій атомів треба керуватися певними принципами і правилами. Пригадаємо найголовніші з них.

**Принцип Паулі.** У 1925 р. В. Паулі встановив, що в атомі не може бути двох електронів з однаковими властивостями, тобто таких, у яких усі чотири квантові числа були б однаковими. Отже, на кожній орбіталі може бути тільки два електрони з протилежними спінами:   (  або  заборонено).

**Принцип найменшої енергії.** В атомі кожний електрон розміщується так, щоб його енергія була мінімальною. Це відповідає міцнішому зв'язку його з ядром.

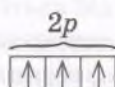
Енергія електрона в основному визначається головним квантовим числом  $n$  і побічним (орбітальним) квантовим числом  $l$ , тому спочатку заповнюються ті підрівні, для яких сума значень квантових чисел  $n$  і  $l$  є найменшою. Наприклад, енергія електрона на підрівні  $4s$  менша, ніж на підрівні  $3d$ , оскільки в першому випадку  $n + l = 4 + 0 = 4$ , а в другому  $n + l = 3 + 2 = 5$ ; на підрівні  $5s$  ( $n + l = 5 + 0 = 5$ ) енергія менше, ніж на  $4d$  ( $n + l = 4 + 2 = 6$ ); на  $5p$  ( $n + l = 5 + 1 = 6$ ) енергія менше, ніж на  $4f$  ( $n + l = 4 + 3 = 7$ ) тощо.

**Правило Гунда (Хунда).** У межах певного підрівня електрони розміщуються так, щоб сумарний спін був максимальним. Звідси випливає:

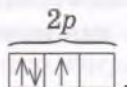
а) під час заповнення підрівня електрони займають різні орбіталі доти, доки це можливо;

б) спіни поодиноких електронів, що перебувають на різних орбіталах, паралельні.

Наприклад, якщо у трьох  $p$ -комірках атома Нітрогену необхідно розмістити три електрони, то вони займуть три окремі комірочки, тобто розмістяться на трьох різних орбіталах:



У цьому випадку сумарний spin дорівнюватиме  $3/2$ , оскільки  $+1/2 + 1/2 + 1/2 = 3/2$ . Ці самі три електрони не можуть розміщуватися таким чином:

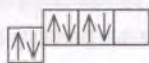


оскільки тоді  $+1/2 - 1/2 + 1/2 = 1/2$ . Сумарний spin менший.



### Завдання для самоконтролю

1. Напишіть електронну конфігурацію атома Феруму.
2. Укажіть, атому якого елемента відповідає електронна конфігурація  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^5 4s^2$ :  
**А** Калій    **Б** Манган    **В** Купрум    **Г** Хром.
3. Як ви розумієте принцип Паулі та правило Гунда? Чи не суперечать вони один одному? Відповідь мотивуйте.
4. Яка з наведених електронних конфігурацій основного стану атома є правильною?



**А**

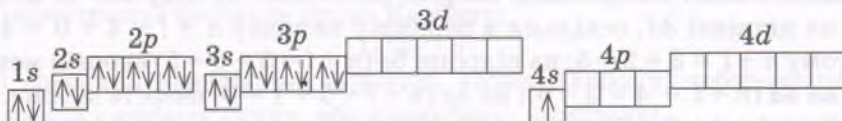


**Б**

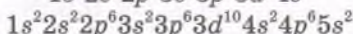
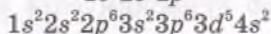
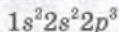
Чому?

### Додаткові завдання

5. Атому якого елемента відповідає таке розміщення електронів у квантових комірках:



- 6.\* Назвіть елементи, атоми яких мають такі електронні конфігурації:



- 7.\* Якому атому і якому двозарядному катіону відповідає електронна конфігурація  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^{10} 4s^2$ ?



- 8.\* Складіть формули водневих сполук р-елементів V групи Періодичної системи і зробіть висновок, яка сполука є найстійкішою і чому.
- 9.\* Під час взаємодії 4 г двовалентного металу з водою виділився водень кількістю речовини 0,1 моль. Який метал було взято?

## § 55. ПЕРІОДИЧНА ЗМІНА ВЛАСТИВОСТЕЙ АТОМІВ ХІМІЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ТА ЇХНІХ СПОЛУК



З формулювання Періодичного закону виходить, що властивості хімічних елементів є періодичною функцією заряду ядра їхніх атомів. Із збільшенням заряду ядра, тобто порядкового номера елемента, періодично змінюється будова зовнішнього (або передостаннього) електронного шару. Електронна конфігурація пов'язана з такими характеристиками атомів, як їхній розмір, енергія йонізації, спорідненість до електрона, електронегативність тощо. Ці параметри в основному й визначають хімічні властивості атомів елементів.

**Розмір атома.** Через хвильовий характер руху електронів їхні орбіталі не мають чітко окреслених меж та й форма орбіталей у різних електронів різна. Ось чому атоми не мають точно визначеного розміру.

Розміри атомів та йонів обчислюють, припускаючи, що вони мають форму кулі. За допомогою рентгенівського випромінювання визначають відстань між сусідніми атомами елемента й обчислюють атомний радіус.

У металів розміри атомів більші від розмірів їхніх йонів, бо вони віддають електрони. У неметалів, коли їхні атоми приєднують електрони, розміри йонів більші за розміри атомів. Ось приклад, що показує справжні розміри атомів і йонів: радіус атома Натрію Na дорівнює 0,189 нм, а йона Натрію  $\text{Na}^+$  — 0,098 нм. Якщо скласти ланцюжок з атомів Натрію та йонів Натрію, то на 1 мм уміститься 2 645 000 атомів або 5 000 000 йонів.

Розглядаючи розміри атомів та їхніх йонів, можна помітити такі закономірності:

- 1) у періодах зі збільшенням заряду ядра радіуси атомів та йонів в основному зменшуються (чому?);
- 2) у підгрупах елементів зі збільшенням заряду ядра радіуси атомів та йонів в основному збільшуються (чому?).

**Енергія йонізації.** Важливою характеристикою атомів хімічних елементів, що частково визначає їхню хімічну активність, є енергія йонізації.

Енергія, необхідна для відриву електрона від атома, що перебуває в нормальному (незбудженому) стані, називається *енергією йонізації*.



При цьому утворюється відповідний катіон. Цю енергію обчислюють на 1 моль атомів і виражають у джоулях (або електрон-вольтах).

Для елементів одного періоду енергія йонізації збільшується зліва направо, оскільки в цьому напрямку збільшується заряд ядра і зменшується радіус атомів. Для атомів лужних металів вона найменша, для інертних газів — найбільша. Наприклад, для атомів елементів II періоду енергія йонізації збільшується від 520 кДж/моль у Літію Li до 3963,5 кДж/моль у Неону Ne.

У підгрупах вона зменшується зверху вниз завдяки збільшенню відстані між електроном і ядром атома елемента. Так, для атомів лужних металів енергія йонізації зменшується від 520 кДж/моль у Літію Li до 384 кДж/моль у Францію Fr, а для атомів інертних газів вона зменшується від 2371,94 кДж/моль у Гелію He до 1036,93 кДж/моль у Радону Rn.

Енергія йонізації пов'язана з хімічними властивостями елементів. Так, лужні метали, енергія йонізації атомів яких невелика, легко віддають електрони і виявляють яскраво виражені металічні властивості.

Хімічна пасивність інертних газів пов'язана з високими значеннями їх енергії йонізації.

**Спорідненість до електрона.** Атоми можуть не тільки віддавати, а й приєднувати електрони. При ньому утворюються відповідні аніони.

**Енергія, що виділяється (або поглинається) внаслідок приєднання до атома одного електрона, називається спорідненістю до електрона.**

Якщо енергія виділяється, то утворюються *стійкі* аніони, а якщо поглинається — *нестійкі*.

Спорідненість до електрона, як і енергію йонізації, виражають у джоулях на моль (або в електрон-вольтах). Значення цієї енергії, на жаль, невідомі для всіх елементів, оскільки вимірювати її достатньо складно. Найбільші значення спорідненості до електрона мають галогени, в атомах яких у зовнішньому електронному шарі розміщується 7 електронів. Це свідчить про посилення неметалічних властивостей елементів у міру наближення до кінця періоду.

**Електронегативність.** Для характеристики відносної здатності атомів певної сполуки набувати негативного заряду користуються поняттям електронегативності.

**Електронегативність** — це умовна величина, що характеризує здатність атома відтягувати до себе електронну густину порівняно з атомами інших елементів тієї самої сполуки.

Ця здатність залежить від енергії йонізації атома та від його спорідненості до електрона (і дорівнює півсумі їх значень).

Сучасне означення електронегативності дав американський учений Л. Полінг у 1932 р. Він запропонував і першу шкалу електронегативностей.



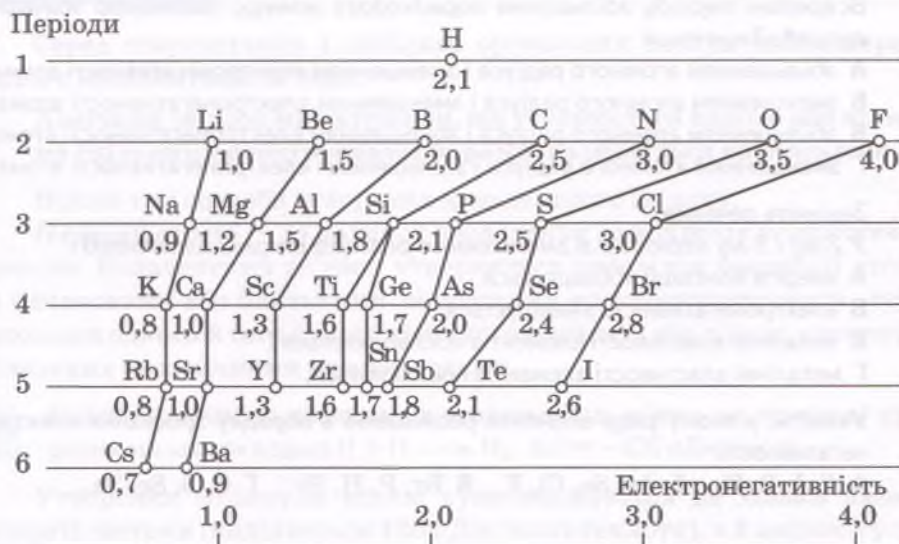


**Лайнус Карл  
Полінг  
(1901—1994)**

Американський хімік і фізик, громадський діяч. Автор перших фундаментальних досліджень із застосування квантової механіки до вивчення хімічного зв'язку. Він автор праць зі структури білків, імунохімії, молекулярної генетики. Разом з А. Ейнштейном, Ф. Жоліо-Кюрі і Б. Расселом був ініціатором громадянського руху вчених за мир, роззброєння, міжнародну безпеку і наукове співробітництво (I конференція відбулась у м. Пагуоші, Канада, в 1957 р.). Виступав проти випробувань ядерної зброї. Лауреат Нобелівської премії з хімії (1954), Нобелівської премії миру (1962).

Зазвичай за одиницю приймають електронегативність Літію і порівнюють з нею електронегативність інших елементів. У результаті дістають прості й зручні для порівняння значення відносної електронегативності елементів, якими й користуються на практиці.

Залежність електронегативності від порядкового номера елемента має періодичний характер: у періодах спостерігається загальна тенденція до зростання електронегативності, а в підгрупах — до її зменшення. Найменші значення електронегативності мають атоми лужних металів, а найбільші — галогенів. Найбільш електронегативним елементом є Флуор.



Мал. 172. Шкала електронегативностей елементів за Полінгом

Якщо бути точними, то елементу не можна приписувати сталу електронегативність. Вона залежить від багатьох чинників, зокрема від валентного стану елемента, типу сполуки, до складу якої він входить, тощо.

Поняття електронегативності використовується для якісного пояснення хімічного зв'язку між атомами: від значення їх відносної електронегативності залежить характер утвореного зв'язку.



## Завдання для самоконтролю

1. Укажіть, яка з наведених нижче характеристик атомів елементів змінюється періодично:  
**А** заряд ядра атома  
**Б** відносна атомна маса  
**В** число енергетичних рівнів у атомі  
**Г** число електронів на останньому енергетичному рівні
2. Як впливає збільшення радіуса атомів у ряду  $\text{Li}-\text{Cs}$  на хімічні властивості цих елементів?
3. Як змінюється міцність зв'язку валентних електронів з ядрами атомів елементів III періоду?
4. Що таке енергія йонізації і як вона пов'язана з хімічними властивостями елементів?
5. Що таке спорідненість до електрона і як вона пов'язана з хімічними властивостями елементів?

## Додаткові завдання

6. Закінчіть речення:  
*Всередині періоду збільшення порядкового номера елемента звичайно супроводжується*  
**А** збільшенням атомного радіуса і зменшенням електронегативності атома  
**Б** зменшенням атомного радіуса і зменшенням електронегативності атома  
**В** збільшенням атомного радіуса і збільшенням електронегативності атома  
**Г** зменшенням атомного радіуса і збільшенням електронегативності атома.
7. Закінчіть речення:  
*У 2-му і 3-му періодах зі зменшенням розмірів атомів елементів*  
**А** енергія йонізації збільшується  
**Б** електронегативність зменшується  
**В** металічні властивості елементів послаблюються  
**Г** металічні властивості елементів посилюються.
8. Укажіть, у якому ряду елементи розміщені в порядку зростання електронегативності:  
**А** C, I, B, Si    **Б** As, Se, Cl, F    **В** Br, P, H, Sb    **Г** O, S, Se, Te.





# Розвиток наукових знань про хімічний зв'язок і будову речовини

За природних умов лише деякі хімічні елементи (Гелій, Неон, Аргон, Криптон, Ксенон) перебувають у стані одноатомного газу. Це пояснюється стійкістю електронної оболонки інертних газів ( $1s^2$  у Гелію або  $ns^2np^6$  — у решти). Всі інші хімічні елементи у природі трапляються в основному не у вигляді окремих атомів, а у вигляді простих і складних речовин, оскільки атоми одного або різних елементів сполучаються між собою з утворенням хімічних зв'язків.

Хімічний зв'язок виникає тоді, коли внаслідок зближення атомів зменшується повна енергія системи, що складається з атомів, які взаємодіють між собою (тобто сума кінетичної і потенціальної енергій усіх частинок).

Відомо кілька типів хімічного зв'язку: ковалентний, йонний, металічний, водневий, міжмолекулярна взаємодія.



## § 56. КОВАЛЕНТНИЙ ЗВ'ЯЗОК, СПОСОБИ ЙОГО УТВОРЕННЯ

Серед неорганічних і особливо органічних сполук найпоширенішим є ковалентний зв'язок.

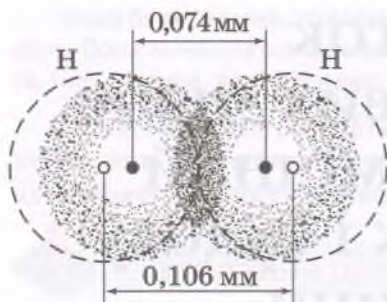
Хімічний зв'язок між атомами, що утворюється однією або кількома спільними електронними парами, називається *ковалентним*.

Відомі три способи утворення ковалентного зв'язку.

**Перший спосіб** — за рахунок неспарених електронів незбудженого атома. Ковалентний зв'язок утворюється внаслідок взаємодії атомів з однаковими або близькими значеннями електронегативності, тобто атомами одного й того самого хімічного елемента або різних елементів, близьких за хімічними властивостями.

Поясніть механізм виникнення ковалентного зв'язку на прикладі утворення молекули водню  $H + H \longrightarrow H_2$ ;  $\Delta H = -436$  кДж/моль.

Утворення молекули водню супроводжується не тільки зміною енергії системи (виділяється 436 кДж/моль теплоти), а й зміною густини електронних орбіталей. Радіус атома Гідрогену становить 0,053 нм, тобто на такій відстані від ядра зосереджується найбільша густина



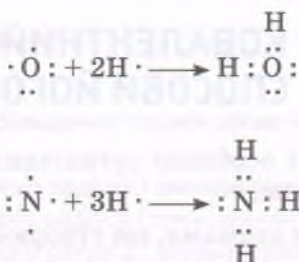
Мал. 173. Схема перекривання електронних 1s-орбіталей атомів Гідрогену в молекулі водню  $H_2$

його електронної орбіталі. Якщо сполучаються два атоми Гідрогену, то відстань між їхніми ядрами, що мала б становити 0,106 нм, насправді дорівнює 0,074 нм (мал. 173).

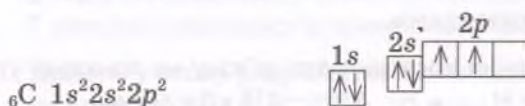
Це свідчить про те, що під час утворення ковалентного зв'язку перекриваються електронні орбіталі атомів Гідрогену. У молекулі густина електронних орбіталей змінюється порівняно з густиною електронної орбіталі ізолюваного атома Гідрогену.

Отже, ковалентний зв'язок виникає в тому разі, якщо стискаються два атоми, що мають неспарені електрони. Тоді стає можливим перекривання електронних орбіталей, що супроводжується виділенням енергії. Внаслідок цього між атомами з'являється зона підвищеної електронної густини, що й зумовлює виникнення хімічного зв'язку.

Оскільки перебування двох електронів у полі дії двох ядер енергетично вигідніше, ніж перебування кожного електрона у полі свого ядра, то в утворенні ковалентних зв'язків беруть участь усі електронні орбіталі. Наприклад, атоми Оксигену, Нітрогену можуть взаємодіяти відповідно з двома, трьома атомами Гідрогену за допомогою своїх неспарених електронів:



**Другий спосіб** — за рахунок неспарених електронів, що виникають внаслідок збудження атома. Число неспарених електронів, що беруть участь в утворенні ковалентного зв'язку, може збільшуватись внаслідок збудження атома. Наприклад, атом Карбону в незбудженому (основному) стані має два неспарені електрони:



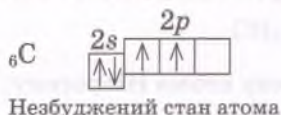
За рахунок наявних неспарених електронів атом Карбону може утворювати два ковалентні зв'язки. Проте для Карбону найхарактернішою є валентність чотири, тобто Карбон утворює численні сполуки, в яких кожен його атом зв'язаний із сусідніми атомами чотирма кова-



лентними зв'язками. Наприклад, карбон(IV) оксид  $\text{CO}_2$ , тетрафлуорометан  $\text{CF}_4$ , метан  $\text{CH}_4$  та всі органічні речовини.

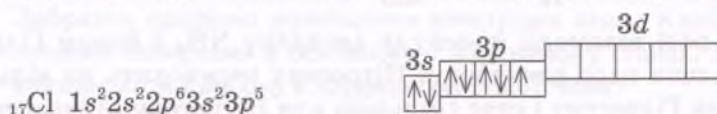
Чотиривалентність Карбону стає можливою через те, що його атом під час утворення хімічних зв'язків з іншими атомами переходить у збуджений стан, тобто у такий стан, коли (у разі затрати деякої енергії) один із наявних в атомі  $2s$ -електронів переходить із  $2s$ -підрівня на вільну  $2p$ -орбіталь.

Процес збудження атома Карбону, що супроводжується розпаровуванням електронів, можна зобразити такою схемою:



Тепер у зовнішньому електронному шарі атома Карбону розміщуються чотири неспарені електрони. У результаті їх гібридизації утворюються гібридні електронні орбіталі, за рахунок яких він може утворювати чотири ковалентні зв'язки з атомами інших елементів. При цьому виділяється значна кількість енергії, що перекидає ту енергію, яка була затрачена на переведення атома Карбону з основного у збуджений стан.

Атоми елементів III і наступних періодів мають у зовнішньому електронному шарі  $d$ -підрівень, на який у разі збудження можуть переходити  $s$ - і  $p$ -електрони зовнішнього шару. Тому тут виникають додаткові можливості збільшення числа неспарених електронів. Наприклад, атом Хлору в основному стані має один неспарений електрон:



Якщо затратити деяку енергію, то, залежно від її значення, атом Хлору можна перевести у збуджені стани, що характеризуються наявністю трьох, п'яти і семи неспарених електронів, завдяки чому атом Хлору може утворювати кілька хімічних зв'язків і виявляти ступені окиснення, що дорівнюють +3, +5, +7, як у молекулах хлоратої(III)  $\text{HClO}_2$ , хлоратної(V)  $\text{HClO}_3$  і хлоратої(VII)  $\text{HClO}_4$  кислот.

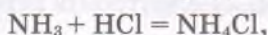
Використовуючи квантові комірки, зобразіть графічно усі можливі збуджені стани атома Хлору, які пояснюють ступені окиснення, що він їх виявляє в згаданих вище кислотах. Запишіть структурні формули та назви кожної з цих кислот.

**Третій спосіб** — за рахунок неподіленої електронної пари одного з атомів. Часто ковалентний зв'язок може виникати тоді, коли з двох частинок А і В, що взаємодіють між собою, одна має пару електронів, наприклад  $\text{A:}$ , а інша — вільну орбіталь  $\square \text{B}$ . У цьому разі частинка А надає частинці В у спільне «користування» свою пару електронів, а частинка В приймає цю пару електронів на свою вільну орбіталь.

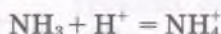
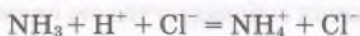
Електронна пара стає спільною для частинок А і В, і між ними виникає ковалентний зв'язок:



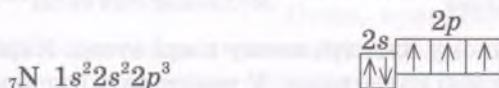
Наприклад, внаслідок взаємодії амоніаку  $\text{NH}_3$  з хлороводною кислотою  $\text{HCl}$  утворюється амоній хлорид  $\text{NH}_4\text{Cl}$ :



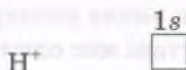
або в йонному вигляді:



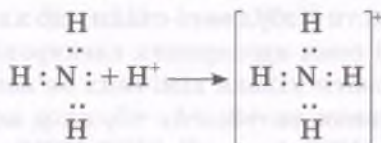
Як же утворився йон амонію? Згадаємо будову атома Нітрогену:



Три неспарені електрони зовнішнього шару атома Нітрогену в молекулі амоніаку беруть участь в утворенні трьох ковалентних зв'язків з трьома атомами Гідрогену. При цьому в атома Нітрогену на зовнішньому шарі залишається ще неподілена електронна пара. Вона також може брати участь в утворенні ковалентного зв'язку з іншим атомом, якщо в нього на зовнішньому електронному шарі є вільна орбіталь. Йон Гідрогену  $\text{H}^+$  взагалі позбавлений електронів, отже, у нього є незаповнена  $1s$ -орбіталь:



Ось чому в разі взаємодії молекули амоніаку  $\text{NH}_3$  з йоном Гідрогену  $\text{H}^+$  неподілена пара електронів Нітрогену переходить на вільну  $1s$ -орбіталь йона Гідрогену і стає спільною для Нітрогену і Гідрогену, внаслідок чого утворюється йон амонію:



Частинка, яка надала для утворення зв'язку неподілену електронну пару, називається *донором*, а частинка, що мала вільну орбіталь і прийняла цю електронну пару, називається *акцептором*.

**Механізм утворення ковалентного зв'язку за рахунок неподіленої електронної пари одного атома і вільної орбіталі іншого називається *донорно-акцепторним*.**

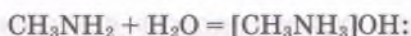
У розглянутому прикладі донором електронної пари є атом Нітрогену молекули амоніаку, акцептором — йон Гідрогену хлороводною кислоти.

Експериментально доведено, що в йоні амонію  $\text{NH}_4^+$  усі чотири зв'язки  $\text{N}-\text{H}$  є рівноцінними. Вони лише утворилися різними способами.

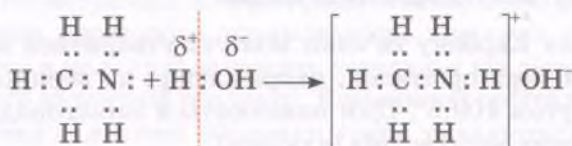


Серед органічних речовин також є багато таких, в яких ковалентний зв'язок утворений за донорно-акцепторним механізмом.

Наприклад, аміни (органічні похідні аміаку, що їх можна розглядати як продукти заміщення одного або кількох атомів Гідрогену на вуглеводневі групи) можуть приєднувати протон за місцем неподіленої електронної пари. Так, під час взаємодії метанаміну  $\text{CH}_3\text{—NH}_2$  з водою відбувається реакція з утворенням метанамоній гідроксиду (порівняйте з реакцією утворення амоній гідроксиду під час взаємодії амоніаку з водою):



Метанамоній гідроксид



**Гібридизація електронних орбіталей атомів.** Ви вже знаєте, що в утворенні ковалентних зв'язків беруть участь як  $s$ -, так і  $p$ -електрони, орбіталі яких мають різні форми і різну напрямленість у просторі. Водночас зв'язки, що утворюються за їх участю, наприклад у молекулі метану, виявляються рівноцінними і розміщеними симетрично.

Пригадайте будову молекул метану, етену, етину.

Напишіть молекулярну, структурну та електронну формули метану.

Зобразіть графічно розміщення електронів атома Карбону за енергетичними комірками в основному і збудженому станах. Яку валентність виявляє атом Карбону в збудженому стані? Чому?

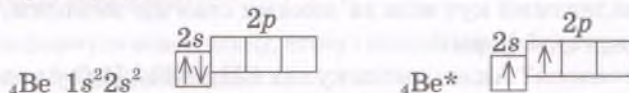
Поясніть, як відбувається  $sp^3$ -,  $sp^2$ -,  $sp$ -гібридизація електронних орбіталей атома Карбону.

Як бачимо, число орбіталей внаслідок їхньої гібридизації не змінюється. Гібридних орбіталей утворюється стільки само, скільки атомних орбіталей зазнають гібридизації.

**Просторова будова молекул** залежить від типу гібридизації і розміщення у просторі гібридних орбіталей під певним валентним кутом\*.

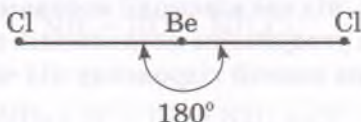
Орбіталі спільних електронних пар заряджені однойменно, тому відштовхуються одна від одної, розміщуючись у просторі під найбільшим можливим валентним кутом.

Наприклад, у сполуках Берилію зв'язки можуть утворюватися за участю двох  $sp$ -гібридних орбіталей:



\*Валентний кут — це кут між напрямками від ядра даного атома до ядер двох сусідніх атомів, які сполучені з першим хімічним зв'язком.

$sp$ -Гібридні орбіталі розміщуються на одній осі й витягуються в протилежних напрямках від ядра атома. Найбільший можливий валентний кут між ними становить  $180^\circ$ . Таке розміщення у просторі двох  $sp$ -гібридних орбіталей зумовлює лінійну будову молекули, наприклад молекули берилій хлориду  $\text{BeCl}_2$ :



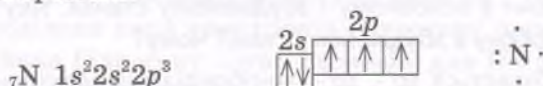
Напишіть структурну формулу молекули етину (ацетилену)  $\text{C}_2\text{H}_2$ , схарактеризуйте хімічні зв'язки в цій молекулі, зазначте тип гібридизації і валентний кут між гібридними зв'язками.

У сполуках Карбону зв'язки можуть утворитися за участю чотирьох  $sp^3$ -гібридних орбіталей, напрямлених до вершин тетраедра під валентним кутом  $109,5^\circ$ . Цим пояснюється зигзагоподібна будова молекул насичених вуглеводнів (алканів).

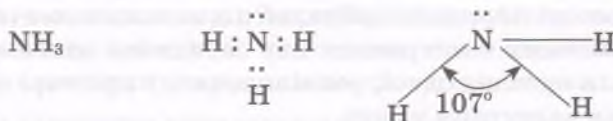
Пригадайте, що таке конформації.

Зі збереженням валентних кутів атомів Карбону пов'язана не тільки зигзагоподібна форма карбонового ланцюга, а й тетраедрична будова молекул метану і багатьох його інших речовин.

Крім того, на просторову будову молекул чинять вплив неподілені електронні пари, що можуть бути в атома. Вони також відштовхують від себе однойменно заряджені орбіталі, які беруть участь в утворенні хімічних зв'язків. Наприклад, у молекулі амоніаку  $\text{NH}_3$  є чотири  $sp^3$ -гібридні орбіталі:



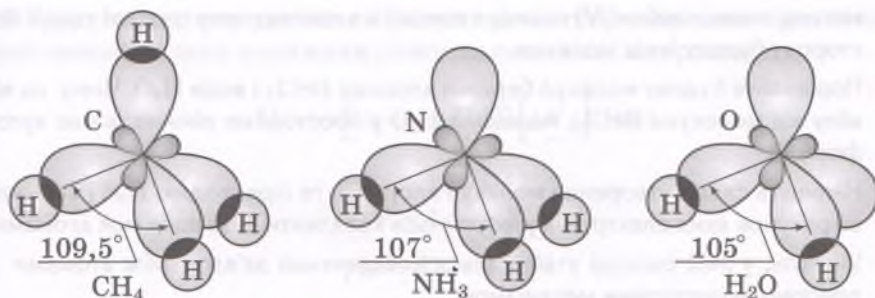
Одну з цих орбіталей займає неподільна електронна пара атома Нітрогену. Вона і впливає на будову молекули амоніаку: валентний кут між гібридними орбіталями зменшується, форма молекули вже не площинна, а пірамідальна:



Якщо розглядати геометричну будову молекули води, то можна побачити, що валентний кут між зв'язками став ще меншим, а молекула води набула кутової форми.

Чому це сталося? Адже в молекулах  $\text{CH}_4$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  у валентних оболонках центральних атомів C, N, O є по чотири електронні пари. Чому ж форма цих молекул різна?



Мал. 174. Схеми будови молекул  $\text{CH}_4$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ 

Пояснення геометричної конфігурації молекул дає теорія Гіллеспі\*, згідно з якою просторова спрямованість хімічних зв'язків полівалентного атома в молекулі залежить передусім від загального числа електронів у його валентній оболонці. Електронні орбіталі зв'язуючих і неподілених пар валентної оболонки грубо уявляються жорсткими сферами, які охоплюють атомне ядро і внутрішні електронні оболонки у такий спосіб, що їхнє взаємне відштовхування є мінімальним, бо вони максимально віддалені одна від одної.

У молекулі  $\text{CH}_4$  усі чотири електронні пари є зв'язувальними, а в атомі Нітрогену й Оксигену є відповідно одна і дві неподілені електронні пари. Згідно з теорією Гіллеспі неподілені пари сильніше відштовхуються від інших електронних пар, бо вони розміщені ближче до ядра. У молекулі  $\text{CH}_4$  неподілених пар немає, тому вона має ідеальну тетраедричну конфігурацію. У молекулах  $\text{NH}_3$  і  $\text{H}_2\text{O}$  через відповідно одну і дві неподілені електронні пари валентні кути менші за тетраедричний (у  $\text{NH}_3$  —  $107^\circ$ , а в  $\text{H}_2\text{O}$  —  $105^\circ$ ). Отже, зі збільшенням числа електронних пар центрального атома зменшується валентний кут між хімічними зв'язками і змінюється просторова будова молекул (мал. 174). Так, молекула метану  $\text{CH}_4$  має форму правильного тетраедра з атомом Карбону в центрі, молекула амоніаку  $\text{NH}_3$  — тригональної піраміди, а молекула води  $\text{H}_2\text{O}$ , в якій дві вершини тетраедра зайнято двома неподіленими електронними парами, має кутову форму.



### Завдання для самоконтролю

1. Складіть схему утворення йона амонію. Яку геометричну форму він має? Укажіть значення валентного кута між зв'язками.
2. Яким є просторове розміщення відносно центрального атома  $sp^3$ -,  $sp^2$ -,  $sp$ -гібридних орбіталей?
3. Напишіть формули етану, етену, етину і поясніть з погляду електронної теорії просторову будову їх молекул.
- 4\*. Напишіть молекулярні, структурні та електронні формули тетрафлуоро-

\*Основні положення теорії сформулювали Р. Гіллеспі та Р. Найхолм у 1957 р.



метану, води, карбон(IV) оксиду і поясніть з погляду електронної теорії просторову будову їхніх молекул.

- 5\*. Порівняйте будову молекул берилій хлориду  $\text{BeCl}_2$  і води  $\text{H}_2\text{O}$ . Чому, на відміну від молекули  $\text{BeCl}_2$ , молекула  $\text{H}_2\text{O}$  у просторі не лінійна, а має кутову форму?
6. Напишіть схеми утворення молекул хлору  $\text{Cl}_2$  та сірководню  $\text{H}_2\text{S}$  і визначте, за рахунок яких електронів утворюється ковалентний зв'язок між атомами.
7. Укажіть, у якій сполуці утворюється ковалентний зв'язок між атомами за донорно-акцепторним механізмом:  
А  $\text{KCl}$  Б  $\text{NH}_4\text{Cl}$  В  $\text{CCl}_4$  Г  $\text{CO}_2$ .
8. Атом Нітрогену й атом Фосфору, незважаючи на однакові електронні конфігурації останнього енергетичного рівня ( $s^2p^3$ ), тобто однакове число (п'ять) валентних електронів, у сполуках утворюють різне число зв'язків. Визначте максимально можливе число зв'язків для атомів Нітрогену і Фосфору. Відповідь обґрунтуйте.

### Додаткові завдання

9. Поясніть, чому атоми Берилію можуть утворювати два ковалентні зв'язки.
10. Проаналізуйте будову атома Бору і зробіть висновок, чи здатна молекула бор флуориду  $\text{BF}_3$  приєднувати до себе атоми інших елементів. Відповідь обґрунтуйте.
11. Аміни як органічні основи взаємодіють із кислотами з утворенням солей. Користуючись молекулярними та електронними формулами, напишіть рівняння реакції між метанаміном  $\text{CH}_3\text{NH}_2$  і хлоридною кислотою. Дайте назву солі, що утворилася.



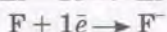
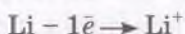
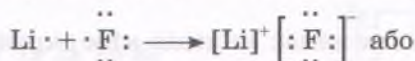
## § 57. ЙОННИЙ ЗВ'ЯЗОК

Серед вільних атомів різних хімічних елементів найстабільнішу конфігурацію мають атоми Гелію ( $1s^2$ ) та інших інертних газів ( $ns^2np^6$ ). Атоми усіх інших елементів «намагаються» набути електронної конфігурації найближчого з інертних газів, бо саме така будова відповідає мінімуму енергії, а тому є найстабільнішою.

Цього можна досягти за рахунок переходу електронів від одного атома до іншого з утворенням йонів, які мають стабільну електронну конфігурацію типу  $1s^2$  або  $ns^2np^6$  і сполучаються між собою силами електростатичного притягання. Наприклад, під час взаємодії атомів Літію ( $1s^22s^1$ ) із атомами Флуору ( $1s^22s^22p^5$ ) відбувається перехід електрона з  $2s$ -орбіталі атома Літію на  $2p$ -орбіталь атома Флуору. При цьому атом Літію перетворюється на позитивно заряджений йон зі стабільною конфігурацією найближчого інертного газу Гелію ( $1s^2$ ), а атом Флуору, приймаючи цей електрон на свою  $2p$ -орбіталь, перетворюється на негативно заряджений йон з електронною конфігурацією  $1s^22s^22p^6$ , характерною для Неону. Протилежно заряджені йони Літію



і Флуору міцно утримуються силами електростатичного притягання. Цей процес можна виражати різними схемами, наприклад:



Зробіть висновок, які частинки називаються йонами і в чому полягає суть йонного типу зв'язку.

**Хімічний зв'язок, утворений у результаті електростатичного притягання йонів, називається йонним зв'язком.**

На відміну від ковалентного йонний зв'язок не має напрямленості. Це пояснюється тим, що електричне поле йона має сферичну симетрію. Тому сила взаємодії між йонами однакова в усіх напрямках.

Міцність йонного зв'язку визначається зарядами йонів та їхніми розмірами. Чим менші розміри йонів і чим більші їхні заряди, тим міцніші електростатичні сили притягання (кулонівські сили) і тим міцніший хімічний зв'язок.

**Хімічні сполуки, що мають йонний зв'язок, називаються йонними.**

До них належать солі безоксигенових і оксигеновмісних кислот ( $\text{NaCl}$ ,  $\text{AlF}_3$ ,  $(\text{CH}_3\text{COO})_2\text{Mg}$ ,  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ), основні оксиди й гідроксиди ( $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{KOH}$ ,  $\text{Ba}(\text{OH})_2$ ), деякі бінарні сполуки (типу  $\text{CaC}_2$ ,  $\text{Li}_3\text{N}$ ) тощо.

**Йонні кристали.** За звичайних умов усі йонні сполуки — тверді кристалічні речовини. Розміщення йонів у йонних сполуках упорядковується у просторі певним чином: катіони та аніони обов'язково чергуються у вузлах кристалічних ґраток.

**Система упорядкованого розміщення катіонів та аніонів називається йонними кристалічними ґратками, а самі тверді речовини — йонними кристалами.**

Йонні кристалічні ґратки міцніші за молекулярні, проте слабкіші за атомні. Усі йонні кристали мають солеподібний характер, тобто характеризуються певними властивостями, на підставі яких йонні кристали відрізняють від кристалічних речовин з іншим типом ґраток. Так, завдяки сильному електростатичному притягненню йонів у кристалах останні дуже міцні й руйнуються лише за високих температур. Багато солей, це багатоеlementні та солі органічних кислот, може розкладатися за температур нижчих, ніж температури кипіння і плавлення.

Типові йонні кристали є добрими діелектриками (ізоляторами). Якщо ж розплавити такий кристал, то електрична провідність різко зростає.



Йонні сполуки, як правило, добре розчиняються у воді і не розчиняються (або розчиняються погано) у неполярних розчинниках (бензині, гасі).

У йонних кристалах немає зв'язків між окремими парами йонів, тобто всі катіони та аніони, що містяться в сполуці, виявляються зв'язаними. Отже, в йонних кристалах, побудованих з катіонів та аніонів, молекул немає. Тільки за високих температур, коли кінетична енергія руху частинок кристала переважає над енергією їхнього взаємного притягання, йонні сполуки можуть існувати у вигляді молекул, тобто тільки в газоватому стані.



### Завдання для самоконтролю

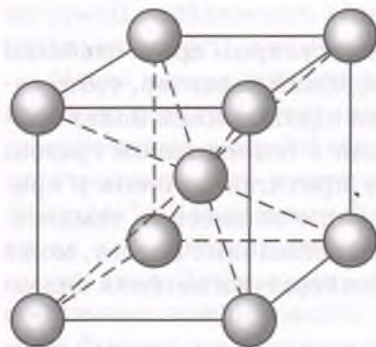
1. Напишіть електронні формули йонів  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{S}^{2-}$ .
2. Укажіть сполуку з найміцнішим йонним зв'язком:  
**A**  $\text{CCl}_4$  (р.)      **Б**  $\text{SiO}_2$  (тв.)      **В**  $\text{KCl}$  (тв.)      **Г**  $\text{NH}_3$  (г.).
3. Укажіть пару елементів, що виявляє максимальну тенденцію до утворення сполуки з йонним зв'язком:  
**A**  $\text{Cu i Cl}$       **Б**  $\text{C i S}$       **В**  $\text{Li i H}$       **Г**  $\text{Na i F}$ .
4. Як змінюється міцність зв'язку між йонами в ряду від  $\text{NaF}$  до  $\text{NaI}$  і чому?
5. Що таке йонні кристали? Яка їх будова і властивості?
6. Виведіть найпростішу формулу солі, масові частки Калію, Хлору й Оксигену в складі якої становлять відповідно 28,16, 25,63 і 46,21 %. Поясніть, якими зв'язками сполучені атоми в цій речовині. Визначте тип кристалічних ґраток.



## § 58. МЕТАЛІЧНИЙ ЗВ'ЯЗОК

Більшість металів у твердому стані є кристалічними речовинами. На мал. 175 зображено металічні кристалічні ґратки Натрію. Атоми

Натрію розміщені у вузлах кристалічних ґраток. Кожний атом оточений вісьмома такими самими атомами.

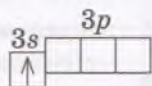
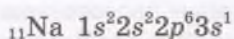


Мал. 175. Металічні кристалічні ґратки Натрію

Як відомо, валентні електрони слабо зв'язані з атомами металів. На їх відщеплення затрачається порівняно небагато енергії. При цьому утворюються позитивно заряджені йони, що мають стійкий електронний шар, як у інертних газів. Тому метали, як у твердому, так і в рідкому стані, існують у вигляді заряджених частинок — йонів, між якими безладно (хаотично) рухаються електрони.



Щоб зрозуміти природу металічного зв'язку, розглянемо будову електронної оболонки атома Натрію:



Атом Натрію на останньому енергетичному рівні має чотири орбіталі й лише один валентний електрон, що його атом віддає дуже легко. У кристалі металу кожний з атомів Натрію надає на утворення хімічного зв'язку всі чотири орбіталі й один електрон. Виходить, що в кристалі Натрію електронів значно менше, ніж орбіталей. В атомах усіх інших металів, так само як і в атомах Натрію, спостерігається надлишок орбіталей і нестача електронів. Це дає змогу електронам вільно рухатися в металі, переходячи з однієї орбіталі на іншу. Такі рухливі електрони належать нібито усім атомам одночасно і називаються *електронним газом*. Отже,

**металічний зв'язок зумовлюється утворенням електронами всіх атомів металу єдиної рухливої електронної орбіталі.**

Металічний зв'язок не має напрямленості: в ньому беруть участь всі атоми кристала металу. У багатьох металів, особливо тих, що утворені елементами IV—VI груп Періодичної системи, між сусідніми атомами виникають ковалентні зв'язки. Тому в кристалі металу, як правило, спостерігається комбінація ковалентного і металічного зв'язків.



### Завдання для самоконтролю

1. Схарактеризуйте природу металічного зв'язку і поясніть, чому в металах не утворюється йонний зв'язок, хоча у вузлах металічної ґратки містяться йони.
2. Чому метали легко окиснюються і вважаються добрими відновниками? Покажіть це на прикладі двох-трьох рівнянь хімічних реакцій.
3. Як пояснити велику міцність і високі температури плавлення таких металів, як титан, цирконій, молибден, вольфрам?

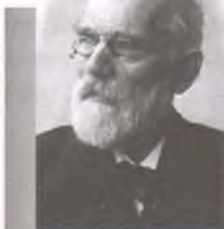


## § 59. МІЖМОЛЕКУЛЯРНА ВЗАЄМОДІЯ

Будь-які полярні молекули (і навіть неполярні, але в яких виникають диполі під впливом зовнішнього електричного поля) можуть взаємодіяти між собою. Така взаємодія полягає в притяганні різнойменно заряджених кінців молекул і відштовхуванні однойменно заряджених. Сили, за рахунок яких виникає така взаємодія, часто називають *вандерваальсовими* на честь ученого, який уперше ввів поняття міжмолекулярної взаємодії.

Порівняно з ковалентним зв'язком вандерваальсова взаємодія дуже слабка, навіть слабкіша за водневий зв'язок, але вона має велике значення. Адже від вандерваальсової взаємодії залежить багато





**Йоханнес Дидерик  
Ван-дер-Ваальс  
(1837—1923)**

Нідерландський учений, який для пояснення властивостей реальних газів і рідин запропонував у 1873 р. рівняння стану (рівняння Ван-дер-Ваальса), яке враховує міжмолекулярну взаємодію. Лауреат Нобелівської премії (1910).

властивостей речовин. Вона визначає відмінність реальних газів від ідеальних, існування рідин і молекулярних кристалів.

Основу вандерваальсової взаємодії становлять кулонівські сили, вони й зумовлюють притягання молекул і агрегацію (від лат. *aggregatio* — приєднання) речовин, перетворення газуватої речовини на рідину і далі — на тверде тіло.

**Молекулярні кристали.** Під дією вандерваальсових сил утворюються кристали з молекулярним типом кристалічних ґраток. У вузлах таких ґраток містяться молекули. В молекулах атоми сполучені значно міцнішими ковалентними зв'язками. Тому процеси плавлення або сублімації\* молекулярних кристалів відбуваються без руйнування окремих молекул.

Молекулярні кристали утворюють органічні сполуки й неорганічні бінарні сполуки типу  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CO}_2$  тощо. У формі молекулярних кристалів перебувають деякі тверді прості речовини ( $\text{H}_2$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{S}_8$ , галогени). Кристали інертних газів також молекулярні, побудовані з одноатомних молекул.

Поряд із звичайною вандерваальсовою взаємодією в молекулярних кристалах спостерігається напрямлена міжмолекулярна взаємодія. Найчастіше це водневий зв'язок, завдяки якому кристалічна структура дещо зміцнюється. Саме так побудовані кристали льоду, спиртів, карбонових кислот, амінокислот тощо. І все ж молекулярні кристали мають значно меншу міцність, ніж йонні або кристали металів.

Для типових молекулярних кристалів характерні низькі температури плавлення, значна стисливість, невелика твердість. Вони часто леткі. За кімнатної температури більшість молекулярних кристалів — діелектрики.

**Водневий зв'язок.** Атом Гідрогену, сполучений з атомом електронегативного елемента (Флуору, Оксигену, Нітрогену, рідше Хлору і Сульфур), здатний утворювати ще один хімічний зв'язок з атомом електронегативного елемента, який входить до складу тієї самої або іншої молекули. Оце і є водневий зв'язок.

\*Сублімація (від лат. *sublimo* — підіймаю, підношу) — перехід речовини під час нагрівання з твердого стану безпосередньо в газуватий, обминаючи рідку фазу.

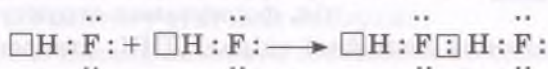


**Механізм утворення водневого зв'язку на прикладі гідроген флуориду HF.** Під час утворення хімічного зв'язку між атомами Гідрогену і Флуору, що характеризується високою електронегативністю, спільна електронна пара сильно зміщується до атома Флуору. Молекула HF

стає полярною, виникає диполь  $\text{H}^{\delta+} \longrightarrow \text{F}^{\delta-}$ . Диполі двох або кількох полярних молекул взаємодіють один з одним за рахунок електростатичного притягання, утворюючи водневий зв'язок (позначається трьома крапками):



Зв'язок у молекулі HF ковалентний і дуже полярний. Атом Гідрогену практично повністю втрачає свою електронну орбіталь, тобто в атома Гідрогену звільняється орбіталь і залишається лише ядро атома Гідрогену (протон), що поводить як акцептор. На цю вільну орбіталь потрапляє неподілена електронна пара сусіднього атома Флуору (донор):



Виходить, що виникнення водневого зв'язку може бути пов'язане і з донорно-акцепторною взаємодією молекул.

Отже, утворення водневого зв'язку пояснюється тим, що позитивно заряджений йон Гідрогену (протон), маючи мізерно малий розмір, здатний глибоко проникати в електронну оболонку сусіднього (ковалентно з ним не зв'язаного) негативно зарядженого йона. Внаслідок цього в разі виникнення водневого зв'язку поряд з електростатичною виявляється і донорно-акцепторна взаємодія.

Водневий зв'язок слабкіший за ковалентний, його енергія становить у середньому 20 кДж/моль. З підвищенням температури його міцність зменшується. Тому водневий зв'язок у речовинах у газуватому стані виявляється рідко (вода, карбонові кислоти, гідроген флуорид). Він характерний для речовин, що перебувають у твердому і рідкому станах. Завдяки водневим зв'язкам молекули об'єднуються в асоціати. Наприклад, структура гідроген флуориду відповідає формулам  $(\text{HF})_2$ ,  $(\text{HF})_4$ ,  $(\text{HF})_6$ , тобто  $(\text{HF})_n$ .

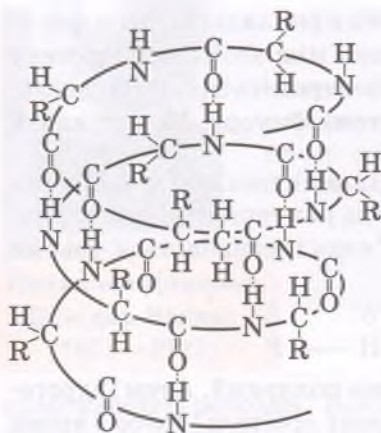
Водневий зв'язок дуже поширений серед неорганічних (вода, амоніак) та органічних (спирти, карбонові кислоти, білки) сполук.

Водневий зв'язок впливає на властивості багатьох речовин. Так, завдяки водневому зв'язку, що виникає між молекулами амоніаку  $\text{NH}_3$ , останній легко зріджується і має високу температуру кипіння.

Пригадайте, як впливає водневий зв'язок на властивості спиртів і карбонових кислот. Наведіть приклади.

Водневий зв'язок може виникати і між атомами однієї молекули. Найчастіше *внутрішньомолекулярний* водневий зв'язок виникає в молекулах органічних сполук, які містять у своєму складі такі групи





Мал. 176. Вторинна (спіралеподібна) структура молекули білка

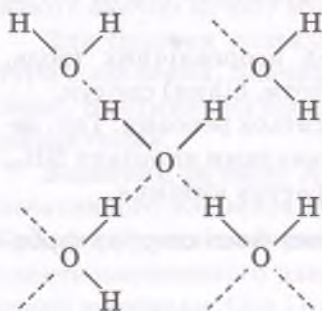
атомів, як  $-\text{OH}$ ,  $=\text{NH}$ ,  $-\text{NH}_2$  тощо. Так, у більшості білків поліпептидні ланцюги, з яких складаються їхні молекули, скручені у вигляді спіралі. Просторова конфігурація, якої набуває поліпептидний ланцюг, називається *вторинною структурою* білка (мал. 176). Така структура підтримується завдяки численним водневим зв'язкам між групами  $>\text{CO}$  і  $>\text{NH}$ , розміщеними на сусідніх витках спіралі.

Водневий зв'язок відіграє важливу роль у процесах, що відбуваються в живій і неживій природі, а також у багатьох процесах хімічної технології. Це розчинення, кристалізація, адсорбція, формування структури білків, полісахаридів, утворення подвійної спіралі ДНК, утворення кристалогідратів, сольватація йонів, електролітична дисоціація, каталіз тощо.



### Завдання для самоконтролю

1. Розкрийте суть міжмолекулярної взаємодії.
2. Що таке молекулярні кристали? Для яких речовин вони характерні?
3. Порівняйте властивості йонних і молекулярних кристалів. Яка причина відмінності їхніх властивостей?
4. Чому речовини з молекулярними ґратками легкоплавкі, мають невисоку міцність, часто леткі?
5. До складу речовини входять елементи Натрій, Карбон і Оксиген, масові частки яких відповідно становлять 43,4, 11,3 і 45,3 %. Виведіть найпростішу формулу речовини, назвіть зв'язки, що в ній існують. Визначте тип кристалічних ґраток і деякі фізичні властивості цієї речовини.



Мал. 177. Схема утворення водневих зв'язків між молекулами води  $\text{H}_2\text{O}$

6. Зробіть узагальнення щодо основних типів кристалічних ґраток, які ви знаєте. Назвіть тип кристалічних ґраток, характерних для цинку, ацетату натрію, алмазу, етанолу, і поясніть зв'язок між властивостями цих речовин та характером взаємодії частинок у їхніх кристалах.

### Додаткові завдання

7. За мал. 177 поясніть, за рахунок чого кожна молекула води може утворювати чотири водневі зв'язки із сусідніми молекулами.
8. Чим пояснити високу температуру кипіння спирту порівняно з вуглеводнем, який має приблизно таку саму масу, як і спирт?



9. Чи збережеться водневий зв'язок, якщо в метиловому спирті гідроксильну групу замінити на бром? Як це позначиться на температурі кипіння речовини?
- 10.\* Укажіть, у якому ряду спостерігається зростання міцності водневих зв'язків:  
 А  $\text{O} - \text{H} \cdots \text{Cl}$ ;  $\text{O} - \text{H} \cdots \text{N}$ ;  $\text{N} - \text{H} \cdots \text{O}$ ;  
 Б  $\text{N} - \text{H} \cdots \text{O}$ ;  $\text{O} - \text{H} \cdots \text{Cl}$ ;  $\text{O} - \text{H} \cdots \text{N}$ ;  
 В  $\text{O} - \text{H} \cdots \text{Cl}$ ;  $\text{N} - \text{H} \cdots \text{O}$ ;  $\text{O} - \text{N} \cdots \text{H}$ ;  
 Г  $\text{N} - \text{H} \cdots \text{O}$ ;  $\text{O} - \text{H} \cdots \text{N}$ ;  $\text{O} - \text{H} \cdots \text{Cl}$ .
- 11.\* Знаючи закономірності виникнення водневого зв'язку, поясніть, чи можливий він в альдегідів. Чому?



## § 60. ВАЛЕНТНІСТЬ ЕЛЕМЕНТІВ У СВІТЛІ ЕЛЕКТРОННОЇ ТЕОРІЇ ХІМІЧНОГО ЗВ'ЯЗКУ

Термін «валентність» було введено в хімію у 1853 р. англійським ученим Е. Фрэнклендом для обґрунтування кількісних співвідношень атомів різних елементів у хімічних сполуках.

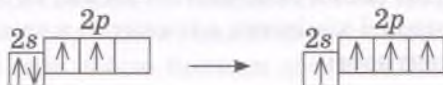
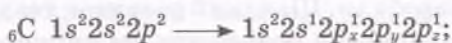
*Валентністю* почали називати *здатність атомів елементів приєднувати певне число атомів інших елементів*.

Глибоке знання валентних співвідношень елементів у сполуках дало змогу Д. І. Менделєєву під час створення Періодичної системи (1869) використати цю властивість атомів. Валентність для Д. І. Менделєєва була одним із головних орієнтирів під час розв'язування спірних питань у процесі розміщення елементів у клітинках Періодичної системи за зростанням атомної маси (наприклад, Кобальту і Ніколу).

І в наш час менделєєвська валентність «за Гідрогеном» і «за Оксигеном» використовується для оцінювання складу і властивостей сполук, утворених елементами тієї чи іншої групи Періодичної системи.

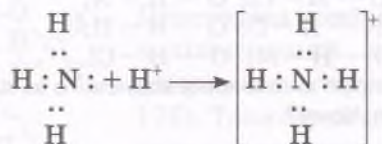
Отже, поняття «валентність» відіграло в розвитку хімії значну роль, важливість якої важко переоцінити. Разом з тим треба пам'ятати, що поняття валентності елементів було введено в хімію ще до того, як стало відомо про будову атомів. Тому не дивно, що воно трактувалось формально.

З розвитком електронних уявлень про будову речовини валентність дістає фізичне обґрунтування, її починають пов'язувати з числом неспарених електронів, завдяки яким здійснюється зв'язок між атомами. Так, атом Гідрогену ( $1s^1$ ) — одновалентний. Валентність атома Літію ( $1s^2 2s^1$ ) в усіх сполуках також дорівнює одиниці. Берилій ( $1s^2 2s^2$ ) стає двовалентним завдяки переходу атома у збуджений стан ( $1s^2 2s^1 2p^1$ ). Це пояснюється тим, що енергія, яка затрачається на збудження атома, повністю компенсується під час утворення хімічного зв'язку. Те саме відбувається і з атомом Карбону, який стає чотиривалентним:





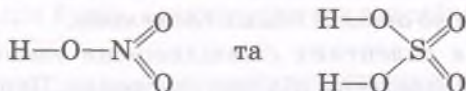
Атом Нітрогену ( $1s^2 2s^2 2p^3$ ) має три неспарені електрони, тому він тривалентний. Однак його валентність може збільшуватися до чотирьох за рахунок донорно-акцепторного механізму утворення ковалентного зв'язку:



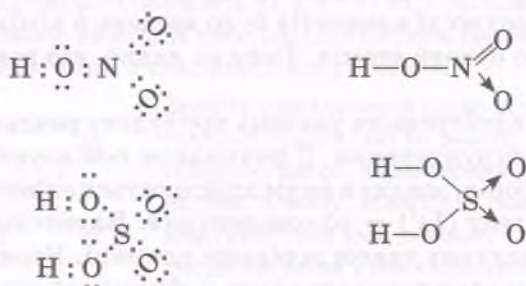
У йоні амонію Нітроген чотиривалентний.

Отже, хімічний зв'язок може утворюватися і за рахунок неподіленої електронної пари, що належить донору і яку приймає акцептор. Тому валентність не можна ототожнювати з числом тільки неспарених електронів, які беруть участь в утворенні зв'язку. *Валентність елемента дорівнює числу електронних пар, за допомогою яких цей елемент зв'язується з іншими елементами.*

Розглянемо будову молекул нітратної і сульфатної кислот. Часто їхні структурні формули зображують у такий спосіб:



Проте відомо, що в структурних формулах кожна риска має відповідати парі спільних електронів. У цьому разі виходить, що атом Нітрогену здійснює зв'язок з атомами Оксигену за допомогою десяти електронів, а атом Сульфуру — за допомогою дванадцяти. Насправді ж у зазначених кислотах валентність і Нітрогену, і Сульфуру дорівнює чотирьом. Зверніть увагу на валентні електрони атомів у електронних формулах нітратної і сульфатної кислот і стане зрозумілим, як слід писати їхні структурні формули:



Стрілками позначено зв'язки, утворені за донорно-акцепторним механізмом.

Проте є й інші погляди на суть поняття «валентність». Єдиного погляду вчені ще не виробили. Швидкий розвиток теорії будови хімічних сполук виявляє дедалі нові й нові факти, на які не можна не зважати, розглядаючи властивості хімічних елементів, але які не вкладаються у старе поняття валентності.



У наш час під валентністю розуміють усю сукупність взаємодій між атомами в речовині. Ці взаємодії різні за своєю природою та енергетичним внеском в утворення сполуки. До них належать і електростатичні сили, які існують між зарядженими частинками, і ковалентні взаємодії, що виникають внаслідок утворення нових електронних пар або перерозподілу існуючих (донорно-акцепторний зв'язок тощо). Ось чому, оцінюючи валентні співвідношення в реальних хімічних сполуках, розглядають утворення зв'язків локалізованих і делокалізованих, напрямлених і ненапрямлених, на́сичуваних і ненасичуваних.

Важливо пам'ятати, що практично ніколи не здійснюється якась одна за фізичною природою взаємодія, наприклад тільки йонна або тільки ковалентна. Тому й складно буває визначити число зв'язків між атомами у сполуках не тільки йонної будови, як наприклад  $\text{NaCl}$ , а навіть і молекулярної. Так, якщо визначення валентності Карбону в метані не становить труднощів, то визначити число і кратність зв'язку у двохатомних молекулах Оксигену — складне завдання. Особливо складно схарактеризувати якимось числом валентність атомів-партнерів у молекулярних сполуках типу нікол тетракарбоніл  $\text{Ni}(\text{CO})_4$ , ферум пентакарбоніл  $\text{Fe}(\text{CO})_5$  тощо.

Отже, сучасна наука визнає, що реальні валентні відношення простим числовим виразом схарактеризувати неможливо. Ось чому з навчальною метою використовується поняття «валентність» у його формальному трактуванні, яке не завжди відповідає реальним валентним співвідношенням атомів у сполуці.



### Завдання для самоконтролю

1. Як пояснити, що атом Карбону, маючи два неспарені електрони, виявляє валентність 4, а атом Нітрогену, маючи три неспарені електрони, також може бути чотиривалентним?
2. Запишіть електронну формулу атома Силіцію, покажіть розміщення електронів за квантовими комірками й обґрунтуйте можливу валентність Силіцію.
3. Як пояснити, що Натрій і Хлор вважаються одновалентними, хоча відомо, що в кристалічному натрій хлориді  $\text{NaCl}$  кожний іон Натрію і Хлору оточений шістьма йонами протилежного знака і всі шість зв'язків рівноцінні?



## § 61. ВАЛЕНТНІСТЬ І СТУПІНЬ ОКИСНЕННЯ. ОКИСНО-ВІДНОВНІ РЕАКЦІЇ

Як ви переконалися, поняття «валентність», що визначається числом електронних пар, спільних з іншим атомом, і характерне лише для сполук із ковалентним зв'язком, визначається не завжди просто. А до атомів, сполучених між собою йонним або металічним зв'язком його



навіть чи можна застосовувати. Ось чому для характеристики стану атома у будь-якій сполуці, незалежно від типу зв'язку, введено поняття *ступінь окиснення*. Витоки цього поняття сягають теорії «електровалентності» Я. Берцеліуса, яка передбачала наявність у всіх хімічних сполуках тільки йонних зв'язків. Електровалентність могла бути позитивною і негативною. Пізніше ця теорія була спростована.

Такі самі вихідні позиції і в ступеня окиснення. Це видно з означення.

*Ступінь окиснення — це умовний електричним заряд, що його мав би атом, якби спільні електронні пари, що зв'язують його з іншими елементами, повністю змістилися до більш електро-негативного атома, а електронні пари, що зв'язують атоми одного й того самого елемента, були б поділені порівну між ними.*

Знаючи, що Флуор — найбільш електронегативний з елементів, можна стверджувати, що в усіх сполуках він має негативний ступінь окиснення, який дорівнює  $-1$ . Оскільки Оксиген за значенням електронегативності поступається лише Флуору, то в усіх сполуках, крім флуоридів, він має негативний ступінь окиснення  $-2$ , за винятком

$+1 -1 \quad +1 -1 \quad +2 -1$

пероксидів ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ,  $\text{Na}_2\text{O}_2$ ,  $\text{BaO}_2$ ), у яких ступінь окиснення Оксигену формально дорівнює  $-1$ .

Як впливає з наведеного означення, ступінь окиснення відроджує положення теорії електровалентності й, отже, узаконює формальний підхід до будови хімічних сполук. Адже припускається, що всі зв'язки у хімічній сполуці є чисто йонними, хоча це неправильно навіть для найбільш йонно побудованих хлоридів лужних металів, утворених елементами-партнерами, що дуже відрізняються за своєю електронегативністю. Крім того, стехіометричній формулі надається зміст структурно-молекулярної, тобто стехіометрична формула, що фактично відображує лише мольне співвідношення атомів у сполуці, приймається за структурну одиницю, з яких складається ця сполука. Наприклад, щоб визначити ступінь окиснення атомів елементів, які входять до складу натрій хлориду, слід вважати структурною одиницею стехіометричну формулу  $\text{NaCl}$ . Тоді вважаючи, що ступінь окиснення йонів лужних металів завжди  $+1$  (хоча ефективний заряд на йоні Натрію, наприклад, не перевищує значення  $+0,8$ ), і на підставі закону електронейтральності хімічних сполук можна прийняти, що Хлор у натрій хлориді має ступінь окиснення  $-1$ .

Для галогенідів лужних металів відхилення значення ефективного заряду, формально обчисленого за правилами визначення ступеня окиснення, від справжнього заряду на атомах кристалічної сполуки є мінімальним. А для складніших за будовою сполук це відхилення буває настільки великим, що ступінь окиснення для них стає умовною величиною. Наприклад, вважаючи, що атоми Оксигену в хімічних сполуках найчастіше мають ступінь окиснення  $-2$ , для атома Хрому в хроматах, наприклад  $\text{Na}_2\text{CrO}_4$ , одержуємо ступінь окиснення  $+6$ , для



атома Хлору в перхлоратах і хлорній кислоті  $\text{HClO}_4$  ступінь окиснення +7.

Проте нині доведено, що зв'язки Хром — Оксиген або Хлор — Оксиген у цих сполуках, так само, як і в інших подібних оксоаніонах, переважно ковалентні, складні за природою, включають утворення локалізованих  $\sigma$ - і делокалізованих  $\pi$ -зв'язків. Ефективний позитивний заряд на атомі елемента, що утворює оксоаніон, у таких сполуках ніколи не перевищує 2+.

Отже, ступінь окиснення — поняття умовне, що має формальний зміст. Ним слід користуватися, але не підміняти поняття «валентність». Саме так буває, коли говорять, що в хроматах «шестивалентний Хром» або в сульфатах «чотиривалентний Сульфур» тощо. При цьому, згадуючи «валентність», мають на увазі тільки ступінь окиснення.

Ступінь окиснення легко обчислювати, а тому цим поняттям зручно користуватися.

Визначаючи ступінь окиснення атома елемента, слід пам'ятати, що *у молекулі будь-якої речовини алгебрична сума ступенів окиснення елементів з урахуванням числа їхніх атомів завжди дорівнює нулю, а в складному йоні — його заряду.*

Причому атом одного й того самого елемента в різних речовинах може перебувати в різних ступенях окиснення. Наприклад, Карбон

у сполуках  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{C}_2\text{H}_6$ ,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{C}_3\text{H}_8$ ,  $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ ,  $\text{CH}_3-\text{C} \begin{smallmatrix} \text{O} \\ \parallel \\ \text{H} \end{smallmatrix}$ ,

$\text{CH}_3\text{COOH}$  виявляє різні ступені окиснення. Покажемо, як їх визначати.

Позначимо ступінь окиснення Карбону через  $x$ . Пам'ятаючи, що ступінь окиснення Гідрогену дорівнює +1, а Оксигену -2, матимемо:

Карбон(II) оксид $\text{CO}$	$x + (-2) = 0$	$x = +2$
Карбон(IV) оксид $\text{CO}_2$	$x + 2 \cdot (-2) = 0$	$x = +4$
Метан $\text{CH}_4$	$x + 4 \cdot (+1) = 0$	$x = -4$
Етан $\text{C}_2\text{H}_6$	$2x + 6 \cdot (+1) = 0$	$x = -3$
Карбонат натрію $\text{Na}_2\text{CO}_3$	$2 \cdot (+1) + x + 3 \cdot (-2) = 0$	$x = +4$

В органічній хімії, як правило, ступенями окиснення Карбону не користуються, але за потреби їх обчислюють за тими самими правилами. Треба лише пам'ятати, що для кожного з атомів Карбону ступінь окиснення обчислюється окремо. Наприклад:

Пропан $\text{C}_3\text{H}_8$	$\begin{array}{ccc} -3 & -2 & -3 \\ \text{CH}_3 & -\text{CH}_2 & -\text{CH}_3 \end{array}$
Етанол $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$	$\begin{array}{cc} -3 & -1 \\ \text{CH}_3 & -\text{CH}_2 & -\text{OH} \end{array}$
Етаналь $\text{CH}_3\text{CONH}_2$	$\begin{array}{cc} -3 & -1 \\ \text{CH}_3 & -\text{C} \end{array} \begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{H} \end{array}$
Етанова кислота $\text{CH}_3\text{COOH}$	$\begin{array}{cc} -3 & +3 \\ \text{CH}_3 & -\text{C} \end{array} \begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{OH} \end{array}$

$$x + (-2) + (-2) + (+1) = 0; x = +3.$$



Найважливіше застосування ступенів окиснення елементів — це їхнє використання в разі підбору коефіцієнтів у окисно-відновних реакціях.

Напишіть рівняння реакцій: а) горіння кальцію та етану в кисні; б) взаємодії магнію з хлоридною та етановою кислотами. Зробіть висновок, у чому полягає суть окисно-відновних реакцій.

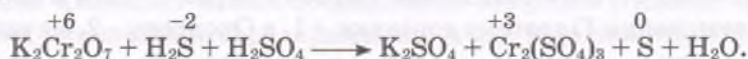
Отже, найсуттєвішою ознакою окисно-відновних реакцій є те, що вони відбуваються зі зміною ступенів окиснення атомів тих елементів, які входять до складу реагуючих речовин.

Чим, з погляду електронної теорії, можна пояснити зміну ступенів окиснення елементів? Які процеси називаються окисненням, а які — відновленням?

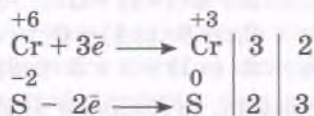
Зважаючи на те, що зміна ступенів окиснення атомів пояснюється переходом електронів від одних атомів або йонів до інших, для підбору коефіцієнтів в окисно-відновних реакціях використовують *метод електронного балансу*. Він ґрунтується на порівнянні ступенів окиснення атомів у вихідних речовинах і кінцевих продуктах і загальному балансі електронів. Тобто обчислюючи коефіцієнти за цим методом, виходять з того, що

**число електронів, відданих відновником, має дорівнювати числу електронів, приєднаних окисником.**

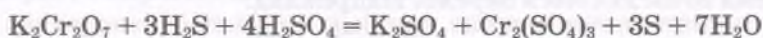
Розглянемо конкретний приклад. Припустімо, потрібно підібрати коефіцієнти в рівнянні окисно-відновної реакції, яка відбувається за схемою:



Визначаємо, які атоми змінюють ступінь окиснення, і складаємо електронні рівняння:



Знайдені коефіцієнти записуємо у схему реакції й підбираємо інші, зрівнюючи число атомів до і після реакції:



Зверніть увагу, що використання ступеня окиснення для складання електронних рівнянь створює ілюзію відображення в них справжнього механізму окисно-відновної реакції, яка відбувається. Це пояснюється тим, що під час перебігу окисно-відновних реакцій значення ступеня окиснення ототожнюється із зарядами на відповідних атомах.

Наприклад, атоми Хрому зі ступенем окиснення  $\overset{+6}{\text{Cr}}$  розглядаються як йони хрому із зарядом  $6+$  ( $\text{Cr}^{6+}$ ), що приєднують три електрони.



6+

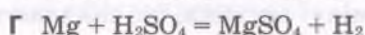
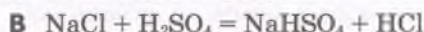
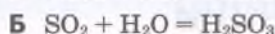
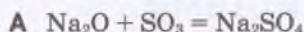
Проте відомо, що в умовах реакції йони хрому ( $\text{Cr}^{6+}$ ) реально існувати не можуть.

Отже, ви ще раз переконалися, що ступінь окиснення — величина умовна. Нею можна користуватися не тільки маючи на меті навчальні, а й різні практичні цілі, але треба пам'ятати, що реального змісту вона позбавлена.

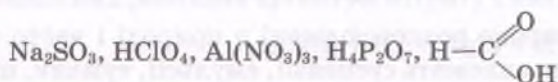


## Завдання для самоконтролю

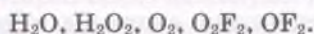
1. Розкрийте суть поняття «ступінь окиснення».
2. Укажіть, які з наведених реакцій відбуваються зі зміною ступенів окиснення елементів:



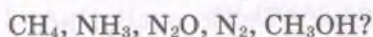
3. Визначте ступені окиснення атомів у молекулах:



- 4\*. Визначте ступінь окиснення Оксигену в таких речовинах:

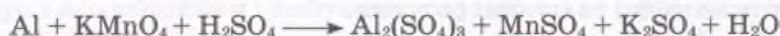
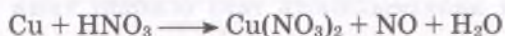


- 5\*. Які валентність і ступені окиснення атомів у молекулах:



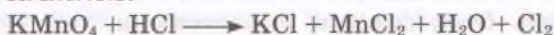
## Додаткові завдання

6. Виведіть найпростішу формулу солі, масові частки Калію, Хрому і Оксигену в складі якої становлять відповідно 26,53, 35,37 і 38,1 %. Зазначте ступінь окиснення кожного з елементів.
7. Передбачте мінімальний та максимальний ступені окиснення елемента з порядковим номером 34.
8. Користуючись методом електронного балансу, розставте коефіцієнти у таких схемах окисно-відновних реакцій:



Зазначте окисник і відновник.

- 9\*. Визначте суму коефіцієнтів у правій частині рівняння окисно-відновної реакції, що подана за схемою:



**A** 4    **Б** 8    **В** 17    **Г** 18.



# Дисперсні системи



## § 62. ЗАГАЛЬНІ УЯВЛЕННЯ ПРО ДИСПЕРСНІ СИСТЕМИ. КОЛОЇДНІ РОЗЧИНИ

**Дисперсні системи** — це фізико-хімічні системи, що складаються з подрібнених частинок (дисперсна фаза), розподілених у навколишньому середовищі (дисперсне середовище).

Дисперсні системи широко розповсюджені у природі і часто трапляються в техніці. До них належать суспензії, емульсії, тумани, піни, дими, гірські породи, ґрунти, космічний пил, сплави, бетони, волокнисті матеріали, гума, шкіра, а також усі тканини живих організмів.

Найважливішою характеристикою дисперсних систем є **ступінь дисперсності**, тобто середній розмір частинок дисперсної фази. За ступенем дисперсності дисперсні системи поділяють на:

- **істинні розчини** (діаметр частинок  $< 1 \text{ нм}$ , тобто  $1 \cdot 10^{-9} \text{ м}$ );
- **тонкодисперсні, або колоїдні розчини** (діаметр частинок від  $1$  до  $500 \text{ нм}$ , тобто  $1 \cdot 10^{-9} \text{ м}$  до  $5 \cdot 10^{-7} \text{ м}$ );
- **грубодисперсні** (середній діаметр частинок  $> 1 \text{ нм}$ , тобто  $> 1 \cdot 10^{-9} \text{ м}$ ).

Від ступеня дисперсності залежать властивості дисперсних систем, зокрема їхня стійкість. Грубодисперсні системи нестійкі й з часом розділяються на дисперсну фазу і дисперсне середовище. Колоїдні розчини значно стійкіші.

Залежно від агрегатного стану дисперсного середовища і дисперсної фази виокремлюють такі основні типи дисперсних систем (табл. 22).

Серед різних типів дисперсних систем у хімії найбільше значення мають колоїдні та істинні розчини.

**Колоїдні розчини (золі)** за розміром частинок посідають проміжне місце між суспензіями й емульсіями (зависями) та істинними розчинами. Золі виявляють специфічні властивості, їх вивчає *колоїдна хімія*. Так, золі залежно від розміру частинок можуть мати різне забарвлення, а в істинних розчинах воно однакове. Наприклад, золі золота можуть бути синіми, фіолетовими, вишневими, рубіново-червоними.



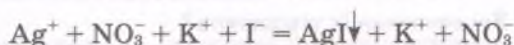
Таблиця 22

## Типи дисперсних систем

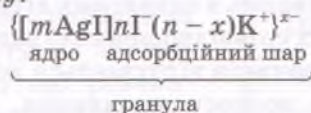
Вид дисперсної системи	Фазовий стан		Приклади
	Дисперсна фаза	Дисперсне середовище	
Аерозоль	Рідина	Газ	Туман, хмари
Аерозоль	Тверда	•	Дим, пил, смог
Піна	Газ	Рідина	Мильна піна, збиті вершки
Емульсія	Рідина	•	Молоко, майонез
Золь	Тверда	•	Фарби
Тверда емульсія, гель	Рідка	Тверде	Масло, желе

Пригадайте, як можна відрізнити колоїдний розчин від істинного. Як такий ефект називається?

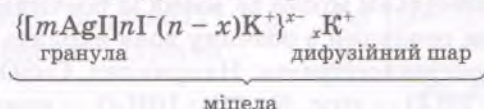
**Дослід.** Приготуйте колоїдний розчин аргентум йодиду з дуже розбавлених розчинів аргентум нітрату і калій йодиду:



Нерозчинні молекули  $\text{AgI}$  утворюють ядро колоїдних частинок — *міцел*. Ядро складається із нерозчинних у дисперсному середовищі кількох тисяч нейтральних молекул (або атомів). У даному разі ядро — це  $[\text{mAgI}]$ . Ядро адсорбує на своїй поверхні ті чи інші йони, які є в розчині, передусім ті, що входять до складу ядра. Наприклад, адсорбуються йони йоду. Вони добудовують кристалічні ґратки ядра, входять в їх структуру, утворюючи *адсорбційний шар* і надаючи ядру негативного заряду:  $[\text{mAgI}]n\Gamma^-$ . У розчині залишаються йони, протилежні за знаком, — *протийони*,  $\text{K}^+$ . Вони електростатично притягуються до адсорбційного шару. Частина протийонів  $\text{K}^+$  входить в адсорбційний шар, утворюючи *гранулу*:



Частина протийонів, що залишилася, утворює *дифузійний шар* йонів. Ядро з адсорбційним і дифузним шарами являє собою міцелу:



Наявність однойменного заряду в усіх гранул даного колоїдного розчину (золя) є важливим чинником його стійкості. Заряд перешкоджає злипанню й укрупненню колоїдних частинок.

Якщо додати електроліту, то відбувається зменшення заряду гранул, що спричиняє злипання частинок.

**Злипання колоїдних частинок у крупніші агрегати називається коагуляцією.**

У результаті коагуляції частинки або випадають в осад під впливом сили тяжіння, або утворюють напівтверду пружну масу — *гель*, або *драглі*.

Найчастіше золі коагулюють, якщо додати електроліти. При цьому золі, що містять позитивно заряджені частинки, коагулюють під впливом аніонів, а золі, що містять негативно заряджені частинки, — під впливом катіонів.

Колоїдні розчини широко застосовуються в різних технологічних процесах: миловарній, паперовій, текстильній промисловості, фармацевтичному виробництві тощо.



### Завдання для самоконтролю

1. Що таке дисперсна система і які типи дисперсних систем ви знаєте? Наведіть приклади.
2. За яким критерієм і як класифікують дисперсні системи? Наведіть приклади.
3. Що таке золі? Які речовини їх утворюють?
4. Пригадайте суть ефекту Тіндалля. Для чого його використовують?
5. Розкрийте позитивне і негативне значення колоїдів.



## § 63. ІСТИННІ РОЗЧИНИ

Ви вже знаєте, що будь-який істинний розчин (або розчин) — це система, яка складається мінімум із двох індивідуальних речовин, одну з яких називають *розчинником*, а іншу — *розчиненою речовиною*.

Такий поділ є достатньо умовним, особливо якщо розчинник і розчинювана речовина перебувають в однакових агрегатних станах і можуть змішуватися у будь-яких співвідношеннях (наприклад, спирт і вода).

Процес утворення розчинів відбувається довільно. Одна з причин, що пояснює довільність процесу розчинення, — це хімічна взаємодія частинок розчинюваної речовини із молекулами розчинника з утворенням *сольватів* (або *гідратів*, якщо розчинником є вода). Інколи гідратна вода настільки міцно зв'язана із розчиненою речовиною, що в разі виділення речовини з розчину вона входить до складу кристалів, утворюючи *кристалогідрати*. Наприклад,  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  — мідний купорос,  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  — гіпс,  $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$  — кристалічна сода. Отже,

**розчин** — це однорідна фізико-хімічна дисперсна система, що складається з розчинника, розчиненої речовини і продуктів їх взаємодії.



Уявлення про визначальну роль взаємодії розчинюваної речовини з розчинником лежать в основі хімічної теорії розчинів, розробленої Д. І. Менделєєвим.

Поясніть суть процесу розчинення, доведіть його фізико-хімічну природу і зазначте, на які групи можна поділити речовини за їх розчинністю у воді.

Причини різної розчинності речовин досі не з'ясовані, хоча вважають, що має значення характер взаємодії молекул розчинника з розчинюваною речовиною. Відомо, наприклад, що речовини з молекулярними кристалами (сірка, водень, азот, багато органічних речовин і полімерів) практично не розчинні у воді, бо енергія руйнування кристалічних ґраток настільки велика, що не може бути компенсована теплотою, яка виділяється під час взаємодії розчинюваної речовини з розчинником. Разом з тим сахароза (молекулярні кристали) дуже добре розчиняється у воді.

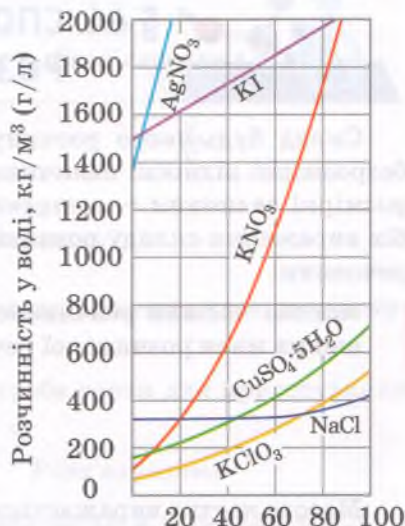
Ще до появи теорії розчинів експериментально було встановлено правило, згідно з яким *подібне розчиняється в подібному*. Так, речовини з йонним типом зв'язку (солі, луги) або з ковалентним полярним (спирти, альдегіди) добре розчиняються в полярних розчинниках, насамперед у воді. Наприклад, метанол, етанол і пропанол змішуються з водою у будь-яких співвідношеннях.

Напишіть молекулярні та структурні формули згаданих спиртів і поясніть, як утворюються водневі зв'язки між молекулами спирту і води.

Розчинність залежить від природи розчинюваної речовини і розчинника, температури, а для газів — ще й від тиску.

Проаналізуйте криві розчинності (мал. 178) і зробіть висновок про залежність розчинності у воді твердих речовин від температури. Сформулюйте суть такої залежності.

Розчинність газів у воді на противагу розчинності твердих речовин із підвищенням температури знижується. Слід зазначити, що розчинність більшості газів узагалі значно нижча, ніж розчинність твердих речовин. Винятком є гази, які взаємодіють з водою: амоніак, карбон(IV) оксид, сульфур(IV) оксид, гідроген хлорид тощо.



Мал. 178. Криві розчинності у воді деяких солей залежно від температури

Пригадайте, як впливає тиск на розчинність газів і сформулюйте залежність між ними.



Щодо рідин, то багато які з них змішуються з водою у будь-яких співвідношеннях вже за звичайних умов. До них належать, наприклад, сильні мінеральні кислоти, метанол, етанол. Проте існує багато рідин, нерозчинних у воді: бензен  $C_6H_6$ , анілін  $C_6H_5NH_2$ , олії тощо.

Розчинність речовин можна характеризувати кількісно, визначаючи коефіцієнт розчинності.

**Коефіцієнт розчинності** показує, яка маса речовини може розчинитися в 1 л води за даної температури з утворенням насиченого розчину.

Коефіцієнт розчинності (або розчинність речовини) вимірюють у кілограмах на кубічний метр ( $кг/м^3$ ) або в грамах на літр ( $г/л$ ).



### Завдання для самоконтролю

1. На вашу думку, можна вважати розчини: а) механічними сумішами; б) хімічними сполуками? Відповідь мотивуйте.
2. Як з погляду гідратної теорії розчинів Д. І. Менделєєва пояснити теплові явища, що відбуваються під час розчинення речовин?
3. Чому кисень у бензені розчиняється значно краще, ніж у воді?
4. У чому краще розчиняється амоніак — у воді чи органічних розчинниках? Чому?
5. Користуючись кривими розчинності (див. мал. 178), визначте розчинність калій нітрату при  $70^\circ C$ , мідного купоросу при  $80^\circ C$  і калій йодиду при  $20^\circ C$ .



## § 64. СПОСОБИ ВИРАЖЕННЯ СКЛАДУ РОЗЧИНІВ

Склад будь-якого розчину можна виразити кількісно: а) через безрозмірні відносні величини — *частки* (масову, об'ємну); б) через розмірні величини — *концентрації* (молярну, масову). Із цих способів вираження складу розчинів пригадаємо масову частку розчиненої речовини:

**масова частка розчиненої речовини  $w$**  («дубль-ве») — це відношення маси розчиненої речовини до маси розчину:

$$w = \frac{m(\text{речовини})}{m(\text{розчину})}$$

Масова частка виражається в частках одиниці або у відсотках.

У воді масою 220 г розчинили 30 г натрій хлориду. Обчисліть масову частку NaCl у розчині.

**Відповідь:**  $w(\text{NaCl}) = 0,12$ , або 12 %.



Об'ємна частка розчиненої речовини  $\varphi$  («фі») — це відношення об'єму розчиненої речовини до об'єму розчину:

$$\varphi = \frac{V(\text{речовини})}{V(\text{розчину})}$$

Об'ємна частка — також безрозмірна величина. Вона виражається в частках одиниці або у відсотках.

Обчислити об'ємну частку ацетальдегіду в розчині об'ємом 240 мл, який приготовлено розбавлянням водою 50 мл альдегіду.

Відповідь:  $\varphi(\text{CH}_3-\text{C} \begin{smallmatrix} \text{O} \\ \parallel \\ \text{H} \end{smallmatrix}) = 0,21$ , або 21 %.

Склад розчину можна виражати молярною концентрацією розчиненої речовини.

**Молярна концентрація  $c$  («це»)** є відношенням кількості розчиненої речовини до об'єму розчину:

$$c = \frac{\nu}{V}$$

Молярна концентрація виражається у молях на кубічний метр (моль/м<sup>3</sup>) або в молях на літр (моль/л).

Наведемо приклади розрахунків з використанням молярної концентрації розчиненої речовини.

**Приклад 1.** Яка молярна концентрація калій карбонату, якщо під час розчинення його кількістю речовини 0,5 моль утворився розчин об'ємом 250 мл?

Дано:  $\nu(\text{K}_2\text{CO}_3) = 0,5$  моль  
 $V(\text{розчину}) = 250$  мл = 0,25 л

Розв'язування

$c(\text{K}_2\text{CO}_3) = ?$

$$c = \frac{\nu}{V}$$

$$c(\text{K}_2\text{CO}_3) = \frac{0,5 \text{ моль}}{0,25 \text{ л}} = 2 \text{ моль/л}$$

Відповідь:  $c(\text{K}_2\text{CO}_3) = 2$  моль/л; це означає, що утворився двомолярний розчин  $\text{K}_2\text{CO}_3$ .

**Приклад 2.** Яку масу калій нітрату треба взяти для приготування 2 л децимолярного розчину  $\text{KNO}_3$ ?

Дано:  $V(\text{розчину}) = 2$  л  
 $c(\text{KNO}_3) = 0,1$  моль/л

Розв'язування

$m(\text{KNO}_3) = ?$

1. Виходячи з формули  $c = \frac{\nu}{V}$  ;

$\nu = cV$ , обчислюємо потрібну кількість речовини  $\text{KNO}_3$ :

$$\nu(\text{KNO}_3) = 0,1 \text{ моль/л} \cdot 2 \text{ л} = 0,2 \text{ моль}.$$

2. Обчислюємо молярну масу калій нітрату  $\text{KNO}_3$ :

$$M(\text{KNO}_3) = 39 + 14 + 16 \cdot 3 = 101 \text{ (г/моль)}$$

3. Визначаємо масу калій нітрату, яку треба взяти:

$$m = M \cdot \nu = 101 \text{ г/моль} \cdot 0,2 \text{ моль} = 20,2 \text{ г.}$$

**Відповідь:** для приготування 2 л 0,1 М розчину треба взяти 20,2 г  $\text{KNO}_3$ .

**Приклад 3\*.** Який об'єм розчину з масовою часткою ортофосфатної кислоти 14,6 % ( $\rho = 1,08 \text{ г/мл}$ ) треба взяти для приготування 500 мл 0,1 М розчину?

Дано:  $V(\text{розчину}) = 500 \text{ мл} = 0,5 \text{ л}$

$$c(\text{H}_3\text{PO}_4) = 0,1 \text{ моль/л}$$

$$w(\text{H}_3\text{PO}_4) = 14,6 \%, \text{ або } 0,146$$

$$\rho(\text{розчину}) = 1,08 \text{ г/л}$$

$$V(\text{розчину } \text{H}_3\text{PO}_4) = ?$$

#### Розв'язування

1. Обчислимо кількість речовини ортофосфатної кислоти у 500 мл 0,1 М її розчину:

$$M(\text{H}_3\text{PO}_4) = 1 \cdot 3 + 31 + 16 \cdot 4 = 98 \text{ г/моль};$$

$$\nu = cV; \nu(\text{H}_3\text{PO}_4) = 0,5 \text{ л} \cdot 0,1 \text{ моль/л} = 0,05 \text{ моль}$$

2. Обчислюємо масу ортофосфатної кислоти кількістю речовини 0,05 моль:

$$m = M \cdot \nu; m(\text{H}_3\text{PO}_4) = 98 \text{ г/моль} \cdot 0,05 \text{ моль} = 4,9 \text{ г}$$

3. Знаходимо масу розчину, в якому міститься 4,9 г  $\text{H}_3\text{PO}_4$  і в якому ця маса кислоти становить 14,6 % маси розчину:

$$m(\text{розчину } \text{H}_3\text{PO}_4) = \frac{m(\text{H}_3\text{PO}_4)}{w(\text{H}_3\text{PO}_4)}$$

$$m(\text{розчину } \text{H}_3\text{PO}_4) = \frac{4,9 \text{ г}}{0,146} = 33,56 \text{ г}$$

4. Знаходимо об'єм розчину, маса якого дорівнює 33,56 г:

$$V = \frac{m}{\rho}; V(\text{розчину } \text{H}_3\text{PO}_4) = \frac{33,56 \text{ г}}{1,08 \text{ г/мл}} = 31,07 \text{ мл}$$

**Відповідь:** треба взяти 31,07 мл розчину з масовою часткою  $\text{H}_3\text{PO}_4$  14,6 %, розчинити у воді й розбавити водою до 500 мл; дістанемо 0,1 М розчин.



### Завдання для самоконтролю

- Визначте масу солі, яка міститься в 200 г розчину з масовою часткою 20 %:  
**А** 10 г    **Б** 20 г    **В** 40 г    **Г** 30 г.
- 80 мл пропілового спирту розбавили водою до утворення розчину об'ємом 640 мл. Визначте об'ємну частку пропанолу в розчині:  
**А** 0,125    **Б** 0,25    **В** 0,5    **Г** 0,625.



3. Визначте масову частку  $\text{CuSO}_4$  у насиченому водному розчині при  $20^\circ\text{C}$ , якщо коефіцієнт розчинності купрум(II) сульфату у воді при  $20^\circ\text{C}$  дорівнює 172:  
**A** 0,9    **B** 0,6    **B** 0,3    **Г** 0,15.
4. Визначте масу натрій хлориду, який треба розчинити у воді, щоб добути 100 мл розчину з масовою часткою  $\text{NaCl}$  20 %. Густина розчину дорівнює 1,15 г/мл.
5. Мідний купорос  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  масою 100 г розчинили в 400 г розчину купрум(II) сульфату з масовою часткою  $\text{CuSO}_4$  4 %. Визначте масову частку купрум(II) сульфату в утвореному розчині.

### Додаткові завдання

6. Обчисліть кількість речовини тринітрофенолу, що утворився внаслідок взаємодії фенолу з розчином нітратної кислоти об'ємом 30 мл ( $w(\text{HNO}_3) = 0,8$ ;  $\rho = 1,145$  г/мл).
- 7\*. У водний розчин натрій гідроксиду масою 50 г опустили шматочок натрію масою 2,3 г. Після закінчення реакції масова частка розчиненої речовини становила 10%. Визначте масову частку натрій гідроксиду у вихідному розчині.
- 8\*. Залізну платівку масою 20 г занурили в розчин аргентум нітрату об'ємом 200 мл ( $\rho = 1,25$  г/мл;  $w = 20\%$ ). Через деякий час маса платівки збільшилась до 24 г. Визначте масу аргентум нітрату, що залишився в розчині.



## § 65. ЕЛЕКТРОЛІТИЧНА ДИСОЦІАЦІЯ

Ви вже знаєте, що водний розчин натрій хлориду  $\text{NaCl}$  на відміну від кристалічної солі добре проводить електричний струм. Таку саму здатність мають й інші солі, кислоти, основи. Ці речовини належать до електролітів. Багато речовин виявляють властивості електролітів у розплавленому стані.

Сформулюйте означення, які речовини називаються електролітами. Наведіть два-три приклади та зазначте формули і назви цих речовин.

Розчини багатьох речовин у воді не проводять електричного струму. Такі речовини називаються *неелектролітами*. До них належить багато органічних речовин, наприклад етанол, гліцерол, глюкоза.

Напишіть молекулярні та структурні формули згаданих органічних сполук, розгляньте будову їхніх молекул і на цій підставі поясніть, чому їхні водні розчини не проводять електричного струму.

Уявлення про утворення йонів як переносників електричного струму в розчинах електролітів укріпилося в хімії у першій половині XIX ст. завдяки працям англійського фізика і хіміка М. Фарадея. Проте він помилково вважав, що електроліти розщеплюються на йони під дією електричного струму.

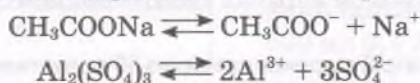
Шведський учений С. Арреніус у 1887 р. сформулював *теорію електролітичної дисоціації* водних розчинів. Однак вона не пояснювала



причин розщеплення електролітів на йони. Ці причини було з'ясовано пізніше завдяки працям російського вченого І. О. Каблукова, який, досліджуючи електричну провідність неводних розчинів, запровадив поняття *сольватації* (від лат. *solvo* — розчиняю) йонів. Одночасно і незалежно від нього український учений В. О. Кістяківський, досліджуючи водні розчини, одним із перших (1889—1890) указав на наявність гідратації йонів. Праці цих учених сприяли об'єднанню теорії електролітичної дисоціації С. Арреніуса і хімічної теорії розчинів Д. І. Менделєєва.

Наведемо основні положення сучасної теорії електролітичної дисоціації.

1. Під час розчинення у воді (або в іншому полярному розчиннику) чи в процесі розплавлення електроліти дисоціюють (розщеплюються) на позитивно і негативно заряджені йони, наприклад:



2. У розчинах йони утворюються з молекул і кристалів речовин, що мають йонний або ковалентний полярний тип хімічного зв'язку, в розплавах — лише йонний зв'язок.

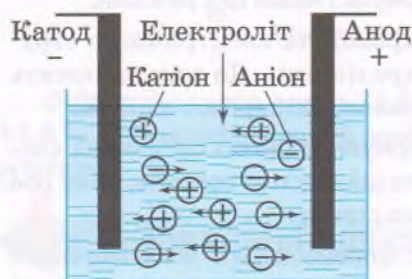
3. У водних розчинах йони оточені гідратною оболонкою (гідратовані йони<sup>\*</sup>, наприклад  $\text{Na}^+ \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ;  $\text{SO}_4^{2-} \cdot m\text{H}_2\text{O}$ ;  $\text{H}^+ \cdot \text{H}_2\text{O}$ , або  $\text{H}_3\text{O}^+$  — йон гідроксонію).

4. Йони у водному розчині рухаються хаотично. Якщо в розчин електроліту занурити електроди і прикласти електричну напругу, то йони набувають напрямленого руху: позитивно заряджені йони рухаються до катода (негативного електрода) і називаються *катіонами*, а негативно заряджені йони — до анода (позитивного електрода) і називаються *аніонами* (мал. 179).

5. Дисоціація — оборотний процес. Як правило, він не відбувається до кінця. У розчинах устаноується динамічна рівновага, тобто такий стан, за якого швидкість розщеплення молекул електроліту (або йонних асоціатів) на йони дорівнює швидкості зворотного процесу — утворення з йонів вихідних молекул або йонних асоціатів електроліту.

6. Електрична провідність розчинів і розплавів електролітів зумовлена наявністю позитивно і негативно заряджених йонів, що вивільняються внаслідок електролітичної дисоціації, тобто електроліти — це провідники з йонною провідністю.

Узагальнюючи наведені дані, можна сформулювати означення електролітичної дисоціації.



Мал. 179. Напрявлений рух йонів у розчині під дією електричного струму

\*Щоб не ускладнювати запис рівнянь реакцій за участю йонів у розчині, як правило, гідратну оболонку не зазначають.



Процес розщеплення електролітів на йони у водних розчинах (або в інших полярних розчинниках) і розплавах називається *електролітичною дисоціацією*.



### Завдання для самоконтролю

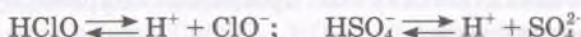
1. Чим відрізняється електроліт від неелектроліту за типом хімічного зв'язку і поведінкою в розчині?
2. Порівняйте електричну провідність розчинів електролітів і електричну провідність металів. У чому полягає суттєва відмінність між ними?
3. Внаслідок змішування розчинів калій хлориду і аргентум нітрату випадає білий осад. Напишіть рівняння реакції і поясніть, чому електрична провідність суміші розчинів при цьому помітно знижується.
4. Укажіть речовини і суміші, що не проводять електричного струму:  

<b>А</b> розчин йоду в бензині	<b>В</b> водний розчин гідроген хлориду
<b>Б</b> зріджений гідроген хлорид	<b>Г</b> розплавлений калій йодид.



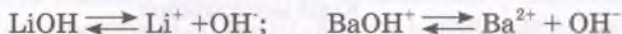
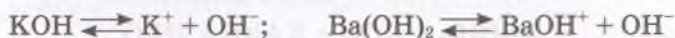
## § 66. ДИСОЦІАЦІЯ ЕЛЕКТРОЛІТІВ У ВОДНИХ РОЗЧИНАХ

Пригадаємо, як дисоціюють кислоти у водних розчинах на прикладі таких рівнянь електролітичної дисоціації:



Напишіть рівняння електролітичної дисоціації у розчинах таких кислот: а) йодоводневої; б) етанової; в) ортофосфатної. Зробіть висновок, які речовини називаються кислотами з погляду теорії електролітичної дисоціації.

Під час дисоціації основ утворюються гідроксид-іони  $\text{OH}^-$ . Наприклад:



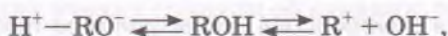
Напишіть рівняння електролітичної дисоціації у розчинах таких основ:  
а) натрій гідроксид; б) кальцій гідроксид. Зробіть висновок, які речовини називаються основами з погляду теорії електролітичної дисоціації.

Амфотерні гідроксиди (амфоліти), як відомо, здатні виявляти кислотні й основні властивості залежно від природи іншої речовини, з якою вони вступають у кислотно-основну взаємодію. Виходить, що один і той самий гідроксид під час взаємодії із сильною кислотою має

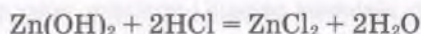
тенденцію виявляти основні властивості, а під час взаємодії із сильною основою — кислотні.

Як же пояснити явище амфотерності?

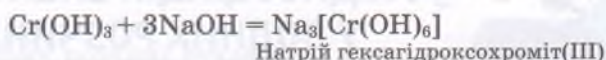
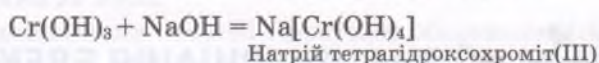
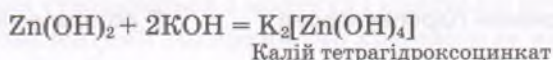
Якщо раніше явище амфотерності пояснювалось подвійною дисоціацією амфоліту  $\text{ROH}$ , який у водному розчині нібито відщеплює то йони Гідрогену, то гідроксид-іони за схемою:



то тепер доведено, що таке пояснення не може бути прийняте. Якщо йдеться про взаємодію, наприклад, цинк гідроксиду з хлоридною кислотою, то тут все зрозуміло, бо це звичайний процес взаємодії кислоти з основою:



Якщо ж ідеться про взаємодію з лугом, то в цьому разі доведено, що утворюються *цинкати*, які мають склад гідроксокомплексів, наприклад:

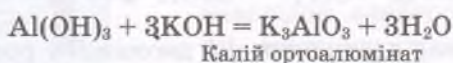
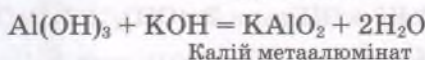
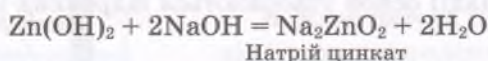


Доведіть амфотерність алюміній гідроксиду. Рівняння реакцій напишіть у молекулярній та йонній формах. Зазначте назви утворених солей.

Саме такий перебіг реакцій між амфотерними гідроксидами і лугами у водних розчинах пояснюється процесами комплексоутворення, що при цьому відбуваються.

У водних розчинах амфотерні гідроксиди приєднують гідроксид-іони  $\text{OH}^-$ , утворюючи гідроксокомплекс, наприклад  $[\text{Al(OH)}_4]^-$ ,  $[\text{Al(OH)}_6]^{3-}$ , а не обмінюють йони Гідрогену на йони металу, як вважалося раніше.

У твердофазних системах амфотерні гідроксиди під час нагрівання з лугами утворюють відповідні цинкати, алюмінати тощо. Наприклад:

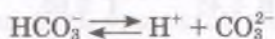
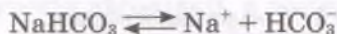


У результаті дисоціації *солей* утворюються різні йони залежно від типу солі: середні, кислі, основні тощо.

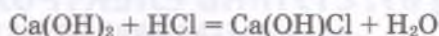
Напишіть рівняння електролітичної дисоціації у розчинах таких середніх солей: а) натрій сульфат; б) барій нітрат; в) ферум(III) хлорид. Зробіть висновок, які солі називаються середніми з погляду теорії електролітичної дисоціації.



**Кислі солі**, будучи продуктом неповного заміщення Гідрогену кислоти на метал, внаслідок дисоціації утворюють два типи катіонів — катіони металу і катіони Гідрогену. Вони дисоціюють ступінчасто: спочатку відщеплюються йони металу, а потім — йони Гідрогену. Наприклад,



**Основні солі** — це продукти неповного заміщення гідроксид-іонів основ (або амфотерних гідроксидів) на кислотні залишки. Наприклад:

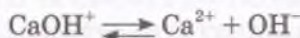


Кальцій гідрохлорид

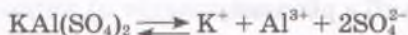
Основні солі також можуть дисоціювати ступінчасто, але в основному за першим ступенем:



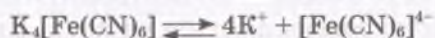
Подальша дисоціація катіонів основних солей відбувається незначною мірою:



**Подвійні солі** — це сполуки, що складаються з атомів двох різних металів і кислотного залишку. Наприклад,  $\text{KAl(SO}_4)_2$  — калій алюміній сульфат,  $\text{NH}_4\text{Fe(SO}_4)_2$  — амоній ферум(III) сульфат. Вони дисоціюють відразу на йони, з яких складаються. Наприклад:



**Комплексні солі** — це сполуки, до складу яких входять складні (комплексні) йони, здатні існувати в розчинах і розплавах. Наприклад,  $\text{K}_4[\text{Fe(CN)}_6]$  — калій гексацианоферат(II) (жовта кров'яна сіль — реактив на йони  $\text{Fe}^{3+}$ );  $\text{K}_2[\text{Zn(OH)}_4]$  — калій тетрагідрокцинкат;  $[\text{Cu(NH}_3)_4]\text{SO}_4$  — сульфат тетрааміноміді(II). У водних розчинах і розплавах вони дисоціюють на йони:



Дуже незначною мірою комплексні йони можуть дисоціювати далі:



## Завдання для самоконтролю

1. Напишіть рівняння електролітичної дисоціації у розчинах або розплавах таких електролітів:  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{NaOH}$ ,  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ ,  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ,  $\text{Cu(OH)}_2$ ,  $\text{NaHS}$ .
2. Напишіть рівняння електролітичної дисоціації таких солей:  $\text{Ca(HCO}_3)_2$ ,  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$ ,  $\text{Ba(OH)NO}_3$ . Зазначте назву кожної з цих сполук.
3. Укажіть ряд, у якому формули солей Феруму розміщено за збільшенням числа молів йонів, що утворюються внаслідок дисоціації 1 моль зазначених солей:

**A**  $\text{Fe(NO}_3)_3$   $\text{FeCl}_2$   $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$  **B**  $\text{FeCl}_2$   $\text{Fe(NO}_3)_3$   $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$

**Б**  $\text{Fe(NO}_3)_3$   $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$   $\text{FeCl}_2$  **Г**  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$   $\text{Fe(NO}_3)_3$   $\text{FeCl}_2$ .

4. Визначте молярну концентрацію сульфат-іонів у 0,1 М розчині сульфату алюмінію:  
 А 0,1      Б 0,2      В 0,3      Г 0,4.
- 5.\* Визначте сумарне число молів йонів барію та нітрат-іонів, якщо в розчині об'ємом 1 л міститься 0,15 молів барій нітрату.  
 А 0,15      Б 0,30      В 0,45      Г 0,60.



## § 67. СТУПІНЬ ЕЛЕКТРОЛІТИЧНОЇ ДИСОЦІАЦІЇ

Для характеристики стану розчиненої речовини в розчині введено поняття про ступінь дисоціації.

**Ступінь дисоціації  $\alpha$  («альфа»)** — це відношення числа молекул  $n$ , що розщепилися на йони, до загального числа молекул  $N$  розчиненої речовини:

$$\alpha = \frac{n}{N}$$

Оскільки число молекул речовини в розчині пропорційне її кількості та її молярній концентрації, то виходить, що ступінь дисоціації — це відношення числа молів електроліту, що розпався на йони, до його загальної концентрації в розчині:

$$\alpha = \frac{c_{\text{дис}}}{c_{\text{заг}}}$$

Ступінь дисоціації визначають експериментально і виражають у частках одиниці або відсотках. Якщо  $\alpha = 0$ , то дисоціація не відбувається, отже, розчинена речовина — неелектроліт. Якщо  $\alpha = 1$ , або 100 %, то електроліт повністю розщеплюється на йони. Якщо ж, наприклад,  $\alpha = 70$  %, то це означає, що з кожних 100 частинок електроліту (молекул або йонних асоціатів) 70 розщепляються на йони.

За значенням ступеня дисоціації усі електроліти поділяють на сильні та слабкі.

**Сильні електроліти** в розчині дисоціюють практично повністю. До них належать:

- а) майже всі солі;
- б) багато мінеральних кислот, наприклад  $\text{HCl}$ ,  $\text{HBr}$ ,  $\text{HI}$ ,  $\text{HNO}_3$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{HMnO}_4$ ,  $\text{H}_2\text{SeO}_4$ ,  $\text{HClO}_4$ ;
- в) гідроксиди лужних і лужноземельних металів:  $\text{KOH}$ ,  $\text{NaOH}$ ,  $\text{Ba(OH)}_2$  тощо.

Для таких електролітів, як  $\text{NaCl}$ ,  $\text{K}_2\text{SO}_4$  (та й інших добре розчинних солей), поняття про ступінь дисоціації їх на йони взагалі втрачає зміст, бо такі електроліти в індивідуальному стані побудовані з йонів, і тому взагалі не можуть «постачати» молекули в розчин.



Однак практично ступінь дисоціації навіть дуже сильних електролітів дещо відхиляється від одиниці, або 100 %. Це пояснюється тим, що ступінь дисоціації визначають на підставі вимірювання концентрації йонів, що вільно рухаються в розчині. При цьому дістають не справжні значення ступенів дисоціації, а *позірні*. Вони завжди менші за справжні значення, бо під час руху йони стикаються один з одним (можливе утворення асоціатів), унаслідок чого їхня рухливість, особливо за великої концентрації у розчині, частково зменшується.

*Слабкі електроліти* у розчині дисоціюють частково. До них належать:

- а) майже всі органічні кислоти;
- б) деякі мінеральні кислоти, наприклад  $\text{H}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{HNO}_2$ ,  $\text{HClO}$ ,  $\text{H}_2\text{SiO}_3$ ;
- в)  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{NH}_4\text{OH}$  та нерозчинні гідроксиди металів.

Розрізняють ще електроліти *середньої сили*, ступінь дисоціації яких перебуває у межах 2 — 30 %, наприклад  $\text{H}_3\text{PO}_4$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_3$ ,  $\text{Mg}(\text{OH})_2$ , але здебільшого їх відносять до слабких електролітів. Як бачимо, поділ електролітів на сильні та слабкі є достатньо умовним.

На ступінь дисоціації електролітів впливають різні чинники.

**1. Природа розчиненої речовини.** Різні електроліти під час розчинення у воді дисоціюють по-різному. Це залежить насамперед від їхньої будови, точніше — від полярності хімічного зв'язку:

чим зв'язок полярніший, тим він легше розривається і тим електроліт легше дисоціює ( $\alpha$  підвищується).

Наприклад, у 0,1 М розчині етанової кислоти  $\text{CH}_3\text{COOH}$  за температури 25 °С ступінь дисоціації дорівнює 0,013, або 1,3 %. За цих самих умов ступінь дисоціації хлороводню в розчині становить 0,9, тобто 90 %.

**2. Природа розчинника.** Для визначення ступеня дисоціації електроліту має значення, в якому розчиннику він розчинений. Як впливає із закону Кулона, сила електростатичної взаємодії двох різнойменно заряджених частинок залежить не тільки від їхніх зарядів і відстані між ними, а й від природи середовища, в якому взаємодіють заряджені частинки. Так, вода у 80 разів послаблює силу притягання йонів (порівняно з вакуумом). Тому гідроген хлорид  $\text{HCl}$  добре дисоціює у воді і практично не дисоціює в бензені.

**3. Концентрація.** Чиста сульфатна кислота (моногідрат,  $w = 100\%$ ) практично не містить йонів. У міру розбавлення її водою дедалі більше відбувається дисоціація її молекул і в розбавленому розчині досягає повної дисоціації ( $\alpha = 1$ ). Отже,

зі зменшенням концентрації розчиненої речовини (з розбавленням розчинів) ступінь дисоціації збільшується.

Це пояснюється тим, то в розбавлених розчинах асоціація йонів відбувається повільніше внаслідок меншої ймовірності їх зіткнення. Тому, як впливає з принципу Ле Шательє, рівновага процесу дисоціації зміщується вправо.

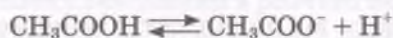


**4. Температура.** Ступінь дисоціації дуже складно залежить від температури розчину. Відомо, що для кожного слабкого електроліту існують температурні умови, за яких він дисоціює найбільшою мірою. Наприклад, для етанової кислоти  $\text{CH}_3\text{COOH}$  максимальна дисоціація спостерігається при  $25^\circ\text{C}$ . Нижче і вище від цієї температури дисоціація зменшується. Отже, складно встановити просту залежність ступеня дисоціації від температури. Разом з тим для багатьох електролітів існує широкий температурний інтервал, у межах якого зберігається достатньо проста залежність між тепловим ефектом, ступенем дисоціації й температурою розчину. В цьому разі для передбачення характеру залежності ступеня дисоціації від температури можна використати принцип Ле Шательє:

якщо дисоціація супроводжується виділенням теплоти, то під час нагрівання системи ступінь дисоціації зменшується, якщо поглинанням теплоти — збільшується.

**5. Наявність однойменних іонів.** Добавляння однойменних іонів зменшує ступінь дисоціації. Цей висновок також впливає з принципу Ле Шательє.

Розглянемо зміщення стану рівноваги, яка встановлюється між недисоційованими молекулами етанової кислоти  $\text{CH}_3\text{COOH}$  та йонами, на які розщепилися молекули внаслідок електролітичної дисоціації:



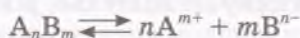
Рівновагу, яка встановилася, можна зміщувати вправо або вліво. Так, під час розбавлення водою розчину етанової кислоти рівновага зміститься вправо, бо при цьому концентрація кислоти в розчині зменшиться, і ступінь дисоціації зросте. Під час упарювання розчину, навпаки, рівновага зміщуватиметься вліво, і ступінь дисоціації зменшуватиметься.

Зміщення стану рівноваги можна досягти, якщо до розчину етанової кислоти добавляти ацетат-іони  $\text{CH}_3\text{COO}^-$  (долити розчину натрій ацетату  $\text{CH}_3\text{COONa}$ ). Рівновага зміститься вліво, і ступінь дисоціації кислоти зменшиться. Такий самий ефект спостерігатиметься, якщо додатково вводити в розчин йони Гідрогену  $\text{H}^+$  (добавити розчин сильної кислоти). Звідси висновок:

добавляння до розчину слабкого електроліту однойменних іонів (однакових з йонами електроліту) зменшує ступінь дисоціації цього електроліту, і навпаки, зменшення концентрації одного з іонів змщує стан рівноваги вправо.

Для кількісної характеристики слабких електролітів використовують константу дисоціації  $K_d$ . Будь-яка зворотна реакція характеризується константою рівноваги. У випадку дисоціації константу рівноваги називають константою дисоціації, або константою йонізації.

Для слабкого електроліту загальної формули  $A_nB_m$





згідно із законом дії мас у стані рівноваги константа дисоціації дорівнює:

$$K_d = \frac{[A^{m+}]^n [B^{n-}]^m}{[A_n B_m]}$$

Константа йонізації характеризує здатність електроліту дисоціювати на йони. Чим більше константа дисоціації, тим більше йонів у розчині. Наприклад:

$$K_d(\text{CH}_3\text{COOH}) = \frac{[\text{CH}_3\text{COO}^-] \cdot [\text{H}^+]}{[\text{CH}_3\text{COOH}]} = 2 \cdot 10^{-5}$$

$$K_d(\text{HCN}) = \frac{[\text{H}^+] \cdot [\text{CN}^-]}{[\text{HCN}]} = 7 \cdot 10^{-10} \text{ (за } t = 25^\circ\text{C)}$$

Обчислення констант дисоціації цих кислот показує, що етанова кислота набагато сильніше дисоціює, ніж ціановоднева кислота.

Константа дисоціації не залежить від концентрації розчину. Тому для будь-якої концентрації розчину електроліту значення константи дисоціації є сталим, але воно змінюється зі зміною температури.

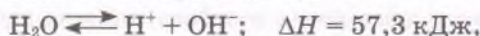
Для сильних електролітів поняття константи дисоціації не має сенсу, оскільки у водних розчинах вони повністю дисоційовані на йони.



### Завдання для самоконтролю

- Поясніть вираз: «Ступінь дисоціації етанової кислоти дорівнює 1,3 %».
- На якій підставі електроліти поділяють на сильні та слабкі? Відповідь підтвердіть прикладами.
- Як пояснити «суперечність» між твердженням, що сильні електроліти у водних розчинах повністю дисоціюють на йони, і практичним вимірюванням ступеня дисоціації, який завжди менший, ніж 100 %?
- Визначте кількість сульфат-іонів (у молях), що утворюються в разі повної дисоціації алюміній сульфату  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  у воді кількістю речовини 2 моль:  
 А 2            Б 3            В 6            Г 12.
- Укажіть найсильнішу з наведених кислот:  
 А  $\text{H}_2\text{SO}_4$     Б  $\text{H}_2\text{SO}_3$     В  $\text{H}_2\text{CO}_3$     Г  $\text{H}_3\text{PO}_4$ .
- Як ви розумієте залежність ступеня дисоціації електроліту від його природи і природи розчинника?
- Поясніть залежність між концентрацією електроліту в розчині і ступенем дисоціації цього електроліту.

8. Знаючи, що процес дисоціації води ендотермічний:



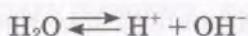
поясніть на підставі принципу Ле Шательє, як упливатиме підвищення температури на ступінь дисоціації води.

9. Як уплине на ступінь дисоціації етанової кислоти добавляння розчину лугу? В який бік при цьому зміститься стан рівноваги?

## § 68. ДИСОЦІАЦІЯ ВОДИ. ВОДНЕВИЙ ПОКАЗНИК. РЕАКЦІЇ У РОЗЧИНАХ ЕЛЕКТРОЛІТІВ



Вода — слабкий електроліт, проте незначною мірою й вона дисоціює на йони  $\text{H}^+$  і  $\text{OH}^-$ , які перебувають у рівновазі з недисоційованими молекулами води:



Як видно з рівняння, концентрації йонів  $[\text{H}^+]$  і  $[\text{OH}^-]$  однакові. Встановлено, що в 1 л води за кімнатної температури (22 °С) дисоціації зазнають лише  $10^{-7}$  моль  $\text{H}_2\text{O}$  і при цьому утворюється  $10^{-7}$  моль/л йонів  $\text{H}^+$  і  $10^{-7}$  моль/л йонів  $\text{OH}^-$ .

**Добуток концентрацій йонів Гідрогену і гідроксид-йонів у воді називається йонним добутком води (позначається  $K_w$ ).**

За певної температури  $K_w$  — величина стала. Числове позначення за  $t = 22^\circ\text{C}$  дорівнює  $10^{-14}$ :

$$K_w = [\text{H}^+] \cdot [\text{OH}^-] = 10^{-7} \cdot 10^{-7} = 10^{-14}$$

Зі сталості добутку  $[\text{H}^+]$  і  $[\text{OH}^-]$  виходить, що зі збільшенням концентрації одного з йонів води відповідно зменшується концентрація іншого йона. Тому, знаючи концентрацію одного з цих йонів, можна визначити концентрацію іншого. Наприклад, знайдемо концентрацію гідроксид-йонів у розчині, якщо відомо, що концентрація гідроген-йонів у цьому розчині дорівнює  $[\text{H}^+] = 10^{-2}$  моль/л:

$$[\text{OH}^-] = 10^{-14} / 10^{-2} = 10^{-12}$$

Концентрація гідроген-йонів визначає кислотність розчину (середовища), а концентрація гідроксид-йонів — лужність.

**Розчини, в яких концентрації гідроген- і гідроксид-йонів однакові й дорівнюють  $10^{-7}$  моль/л, називають нейтральними.**

Якщо до нейтрального розчину додати кислоти ( $\text{HA} \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{A}^-$ ), то концентрація гідроген-йонів у розчині збільшиться. Внаслідок цього рівновага  $\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{OH}^-$  зміститься, бо концентрація гідроксид-йонів зменшиться у стільки разів, у скільки зросте концентрація гідроген-йонів.



Розчини, в яких концентрація гідроген-іонів перевищує концентрацію гідроксид-іонів  $[H^+] > [OH^-]$ , називають *кислими*.

Розчини, в яких концентрація гідроген-іонів менша, ніж гідроксид-іонів  $[H^+] < [OH^-]$ , називають *лужними*.

Отже, кислотність розчинів виражають через концентрацію гідроген-іонів. Проте для зручності замість концентрації гідроген-іонів  $[H^+]$  використовують водневий показник рН.

**Водневий показник рН** — це від'ємний десятковий логарифм концентрації гідроген-іонів.

$$pH = \lg [H^+]$$

Наприклад, при  $[H^+] = 10^{-1}$  рН = 1; при  $[H^+] = 10^{-5}$  рН = 5.

Знаючи концентрацію гідроген-іонів, можна визначити рН розчину і навпаки. У нейтральних розчинах  $[H^+] = [OH^-] = 10^{-7}$  моль/л, рН = 7. У лужних розчинах  $[H^+] < 10^{-7}$  моль/л рН > 7. У кислих розчинах рН < 7.

Кислотність розчинів можна визначити за допомогою індикаторів — речовин, які змінюють свій колір залежно від рН середовища. Зміна кольору індикаторів відбувається в певному інтервалі значень рН. Кожний індикатор характеризується своїм інтервалом переходу (табл. 23).

Таблиця 23

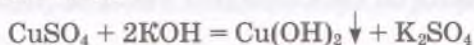
Зміна забарвлення індикаторів у різних середовищах

Індикатор \ рН	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Лакмус	Червоний						Інтервал переходу		Синій						
Фенолфталеїн	Безбарвний									Інтервал переходу		Пурпурний			
Метиловий оранжевий	Червоний			Інтервал переходу			Жовтий								

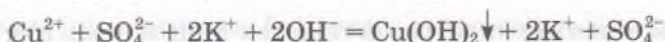
Існують універсальні індикатори, за допомогою яких можна визначити будь-яке значення рН з точністю до одиниці.

Багато промислових, хімічних і біологічних процесів відбувається лише за певних значень рН розчину.

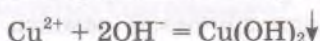
Реакції у розчинах електролітів відбуваються до кінця, тобто є практично необоротними, у тих випадках, коли утворюються слабкі електроліти, малорозчинні й газоваті продукти. Наприклад, під час взаємодії у розчині купрум(II) сульфату й калій гідроксиду випадає осад купрум(II) гідроксиду:



Написане рівняння умовно називають рівнянням у молекулярній формі (чому умовно?). Його можна виразити в йонній формі:

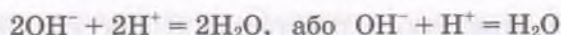
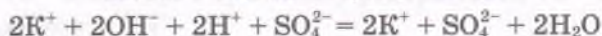
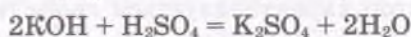
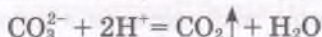
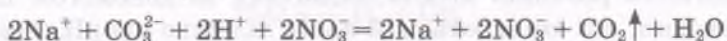
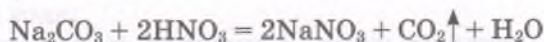


Якщо вилучити з цього рівняння однакові йони у правій і лівій частинах, то дістанемо запис рівняння в скороченій йонній формі:

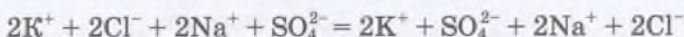


Таке рівняння показує, що реакція між купрум(II) сульфатом і калій гідроксидом зводиться до взаємодії між йонами  $\text{Cu}^{2+}$  та йонами гідроксиду з утворенням нерозчинного купрум(II) гідроксиду. З погляду теорії електролітичної дисоціації йони  $\text{SO}_4^{2-}$  і  $\text{K}^+$  не беруть участі в реакції.

За таким самим принципом можна скласти інші реакції обміну у водних розчинах електролітів. Наприклад, запишемо рівняння реакції, що спричиняє виділення газоватого продукту або утворення слабкого електроліту — води:



Розглянемо ще один приклад — взаємодію в розчині калій хлориду і натрій сульфату:



Зверніть увагу, в лівій і правій частинах рівняння записано одні й ті самі йони. Згідно з теорією електролітичної дисоціації такі реакції не відбуваються. І справді, якщо злити розчини  $\text{KCl}$  і  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , то помітних змін не буде. Але якщо упарити розчин досуха, то в залишку можна виявити всі чотири солі:  $\text{KCl}$ ,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{K}_2\text{SO}_4$  і  $\text{NaCl}$ . Отже, реакція відбулася, але вона належить до оборотних, до кінця не йде.



### Лабораторні дослід

#### Реакції обміну між розчинами електролітів

Дослід 1. У пробірку налейте 1—2 мл розчину ферум(III) хлориду і додайте такий самий об'єм розчину їдкого натру. Що спостерігається? Чому?

Дослід 2. У пробірку налейте 1—2 мл розчину натрій карбонату і додайте такий самий об'єм хлоридної кислоти. Що спостерігається? Чому?



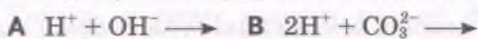
Дослід 3. У пробірку з розчином їдкого натру (1—2 мл) додайте 2—3 краплини розчину фенолфталеїну. Що спостерігається? Чому? Після цього добавляйте по краплинах розчин сульфатної кислоти, струшуючи пробірку до знебарвлення розчину. Що відбулося? Чому розчин знебарвився?

Напишіть рівняння виконаних реакцій і виразіть їх у повній та скороченій йонних формах.



### Завдання для самоконтролю

- Поясніть: а) що таке водневий показник; б) як ви розумієте кислотність середовища: кисле, лужне, нейтральне.
- Поясніть, чому відбуваються до кінця реакції між: а) кристалічною кухонною сіллю і концентрованою сульфатною кислотою; б) розчинами калій гідроксиду та нітратної кислоти; в) розчинами барій хлориду і натрій сульфату.
- Складіть рівняння реакцій, які відповідають таким схемам:



- Визначте об'єм (у літрах) водню (н. у.), що виділяється внаслідок взаємодії алюмінію кількістю речовини 0,5 моль з хлоридною кислотою:

**A** 2,1      **Б** 4,2      **В** 8,4      **Г** 16,8.

- Визначте масу солі (в грамах), якщо змішали 20 г їдкого натру і 60 г сульфатної кислоти:

**A** 60      **Б** 120      **В** 240      **Г** 142.

- Визначте концентрацію йонів Гідрогену (в молях на літр), якщо ступінь дисоціації флуоридної кислоти HF у 0,1 М розчині дорівнює 15 %:

**A** 0,010      **Б** 0,030      **В** 0,015      **Г** 0,045.



## § 69. ГІДРОЛІЗ СОЛЕЙ

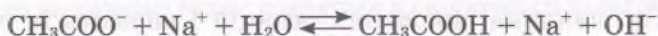
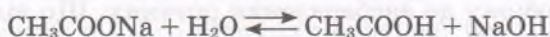
Ви вже знаєте, що чиста вода є нейтральною ( $\text{pH} = 7$ ). Водні розчини кислот і основ мають відповідно кислу ( $\text{pH} < 7$ ) і лужну ( $\text{pH} > 7$ ) реакцію. Проте не лише кислоти й основи, а й солі можуть мати лужну або кислу реакцію. Причиною є *гідроліз солей*.

**Гідроліз** — реакція обмінної взаємодії речовин з водою.  
**Гідроліз солей** — це взаємодія солей з водою, в результаті якої утворюється кислота (або кисла сіль) і основа (або основна сіль).

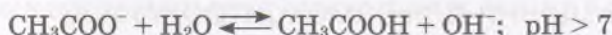
Пригадаємо основні типи гідролізу солей.

1. *Солі сильної основи і сильної кислоти* (наприклад, KBr,  $\text{NaNO}_3$ ) під час розчинення у воді не зазнають гідролізу, і розчин солі має нейтральну реакцію.

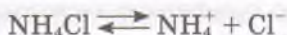
2. Солі, утворені катіонами сильної основи та аніоном слабкої кислоти, наприклад  $\text{KClO}$ ,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{CH}_3\text{COONa}$ ,  $\text{Na}_2\text{S}$ ,  $\text{K}_2\text{SiO}_3$ , гідролізують за аніоном:



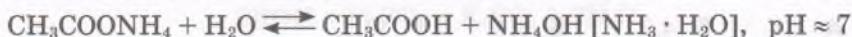
У результаті реакції утворився слабкий електроліт — етанова кислота. У скороченій йонній формі:



3. Солі, утворені катіоном слабкої основи та аніоном сильної кислоти, наприклад  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ,  $\text{FeCl}_2$ ,  $\text{CuBr}_2$ ,  $\text{NH}_4\text{Cl}$ , гідролізують за катіоном:

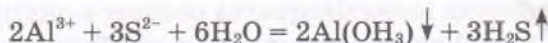


4. Солі, утворені катіоном слабкої основи і аніоном слабкої кислоти, наприклад  $\text{Al}_2\text{S}_3$ ,  $\text{Cr}_2\text{S}_3$ ,  $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ ,  $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ , гідролізують і за катіоном, і за аніоном. Під час розчинення у воді таких солей утворюється малодисоційована кислота й основа:



Реакція середовища в розчинах таких солей залежить від відносної сили кислоти й основи. У даному разі вона буде слабколужною, оскільки константа дисоціації амоній гідроксиду дещо більша за константу дисоціації етанової кислоти. Отже, розчини таких солей можуть виявляти нейтральну, кислу і лужну реакції.

Якщо кислота й основа, що утворили сіль, не тільки є слабкими електролітами, а й малорозчинні або нестійкі й розкладаються з утворенням газоватих продуктів, то гідроліз, зазвичай, відбувається практично необоротно:



На гідроліз впливає не лише природа речовини, а й інші чинники, наприклад розбавлення розчину, оскільки збільшення води в розчині посилює гідроліз. Нагрівання також посилює гідроліз. Отже, гідроліз — це явище, яке істотно впливає на перебіг хімічних процесів, тому нехтувати ним не можна.



### Завдання для самоконтролю

1. Поясніть, у чому полягає суть гідролізу солей. Наведіть приклад реакції гідролізу солі.
2. Наведіть приклад солі, яка у воді не зазнає гідролізу, і поясніть, чому.
3. Напишіть рівняння гідролізу солей  $\text{KCN}$ ,  $\text{FeCl}_2$ , зазначте реакцію середовища.



4. Напишіть рівняння реакції гідролізу тристеарину.
5. Серед наведених формул солей укажіть ті, що в розчині гідролізують:  
**А**  $\text{Na}_2\text{SO}_4$     **Б**  $\text{CaCl}_2$     **В**  $\text{KNO}_3$     **Г**  $\text{Cr}_2\text{S}_3$ .
6. Яку реакцію мають розчини таких солей:  
 $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$ ,  $\text{NaBr}$ ,  $\text{BaCl}_2$ ,  $\text{K}_2\text{S}$ ,  $\text{CuCl}_2$ ?  
 Відповідь ілюструйте рівняннями реакцій у йонній формі.
7. Укажіть, які з хлоридів зазнаватимуть гідролізу:  
**А**  $\text{NaCl}$     **Б**  $\text{CaCl}_2$ ,    **В**  $\text{BaCl}_2$     **Г**  $\text{KCl}$     **Д**  $\text{CuCl}_2$   
 Напишіть відповідні рівняння реакцій.

### Додаткові завдання

8. Укажіть, в якому з водних розчинів солей середовище буде кислим:  
**А** калій карбонат    **В** ферум(III) хлорид  
**Б** купрум(II) хлорид    **Г** кальцій бромід.
9. Укажіть, у якому водному розчині фенолфталеїн набуває малинового забарвлення:  
**А** калій карбонат    **В** алюміній хлорид  
**Б** калій бромід    **Г** натрій силікат.
- 10\*. Часто-густо під час реакції обміну замість очікуваного осаду солі випадає осад гідроксиду металу, наприклад під час реакції між ферум(III) хлоридом і натрій карбонатом утворюється не ферум(III) карбонат, а ферум(III) гідроксид. Поясніть це явище і запишіть відповідне рівняння реакції.
11. Як можна посилити гідроліз калій сульфід у розчині:  

$$\text{K}_2\text{S} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{KHS} + \text{KOH}?$$
12. Установіть відповідність між названими солями і середовищем їхніх водних розчинів:
- | Назва солі       | Середовище розчину  |
|------------------|---------------------|
| 1 цинк хлорид    | <b>А</b> кисле      |
| 2 калій хлорид   | <b>Б</b> нейтральне |
| 3 натрій силікат | <b>В</b> лужне      |
| 4 калій нітрат   |                     |
- 13\*. Поясніть, чому неможливо отримати ферум(III) карбонат змішуванням розчинів ферум(III) хлориду і натрій карбонату. Які продукти утворюються в результаті? Відповідь ілюструйте рівняннями реакцій.
- 14\*. Що відбудеться при зливанні розчинів алюміній хлориду і натрій карбонату? Напишіть молекулярне і йонне рівняння реакцій.
- 15\*. Запишіть вираз для константи гідролізу  $\text{NH}_4\text{CN}$ .
- 16\*. Яке середовище буде в розчині, виготовленому шляхом змішування розчину сульфатної кислоти масою 50 г з масовою часткою  $\text{H}_2\text{SO}_4$  10 % і розчину калій гідроксиду масою 50 г з масовою часткою  $\text{KOH}$  10 %? Визначте кількість речовини сульфат-іонів у цьому розчині.



# Хімічні реакції



## § 70. КЛАСИФІКАЦІЯ ХІМІЧНИХ РЕАКЦІЙ

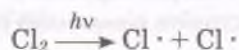
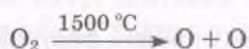
Нині відомо дуже багато різних хімічних реакцій. Кожна реакція цілком індивідуальна, оскільки в ній беруть участь конкретні речовини з притаманними їм хімічними властивостями. Водночас хімічні реакції мають багато спільних ознак, за якими їх можна поділяти на групи. Це виділення або поглинання теплоти, зміна забарвлення або агрегатного стану речовин, випадання осаду або виділення з розчину бульбашок газу, зміна кислотності середовища тощо. Деякі з наведених ознак спостерігаються і під час перебігу фізичних процесів. Тому їх не можна брати за основу класифікації хімічних реакцій.

Для хімічних реакцій найхарактернішою є зміна *хімічного складу вихідних речовин і утворення нових речовин, які мають інший склад та інші властивості*.

Найпростішою класифікацією хімічних реакцій є та, що ґрунтується на атомно-молекулярному вченні, за якою розрізняють такі типи реакцій: розкладу, сполучення, заміщення, обміну тощо.

**1. Реакції розкладу** — це реакції, під час перебігу яких з однієї речовини утворюються дві або кілька нових речовин.

До цього типу належать численні реакції розкладу молекулярного кисню, водню, хлору на атоми (вільні радикали) під дією сильного нагрівання (термічний розклад) або сонячного світла (фотохімічний розклад):

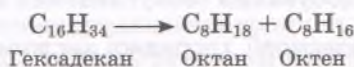
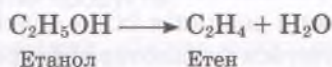
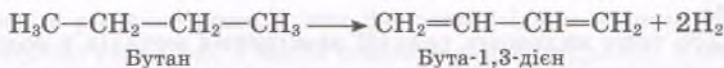
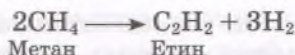


Іноді подібні процеси супроводжуються зміною агрегатного стану речовини. Наприклад, у твердому стані сірка складається з молекул  $\text{S}_8$ . Під час сильного нагрівання вона плавиться і переходить у газуватий стан, у якому сірка складається з молекул  $\text{S}_2$  і навіть з окремих атомів.

■ Напишіть рівняння реакцій розкладу кальцій карбонату і калій перманганату під час нагрівання.



В органічній хімії до реакцій розкладу належать численні реакції дегідрування, дегідратації, різноманітні реакції, що відбуваються під час термічного і каталітичного крекінгу нафтопродуктів, наприклад:



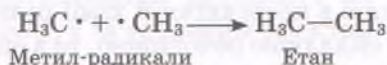
Реакції електролітичної дисоціації органічних кислот так само, як і неорганічних, належать до реакцій розкладу.

Напишіть рівняння дисоціації етанової та сульфатної кислот у розбавлених розчинах.

Складніші органічні речовини (білки, вуглеводи тощо) під час термічного або мікробіологічного розкладу утворюють велику кількість різних речовин; при цьому відбуваються реакції, що належать до різних типів.

**2. Реакції сполучення** — це реакції, під час перебігу яких з двох і більше речовин утворюється одна нова речовина.

Вони відбуваються під впливом зміни зовнішніх умов, температури, тиску, радіоактивного опромінення, поглинання квантів світла, навіть унаслідок простого зіткнення атомів, що приводить до утворення молекул (водню, кисню, хлору тощо), та під час взаємодії радикалів, наприклад:



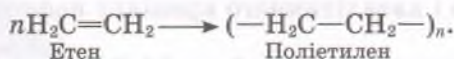
Напишіть рівняння реакцій калію із сіркою, заліза з киснем, алюмінію з бромом, водню з йодом, амоніаку з водою, кальцій оксиду з нітроген(V) оксидом.

В органічній хімії до цього типу реакцій належать реакції приєднання галогенів, гідроген галогенідів і води до ненасичених вуглеводнів: алкенів за місцем подвійного зв'язку, алкадієнів за місцем двох подвійних зв'язків і алкінів за місцем потрійного зв'язку.

Напишіть рівняння реакцій бромовання етену, бута-1,3-дієну та етину, зазначте назви добутих продуктів.

До цього типу належать також реакції вулканізації каучуків, тобто «зшивання» лінійних молекул каучуку в місцях окремих подвійних

зв'язків за допомогою атомів Сульфуру, а також реакції полімеризації тощо. Наприклад:

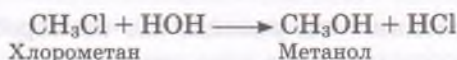
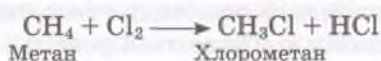


**3. Реакції заміщення** — це реакції заміни атомів у молекулі складної речовини на атоми простої речовини (або на групи атомів складної речовини).

До цього типу належать реакції заміщення металів у водних розчинах солей на інші, активніші метали; витіснення менш активних галогенів більш активними з розчинів їхніх солей тощо. У промисловості широко використовуються металотермічні реакції (алюмінотермія, магнійтермія) з метою добування безвуглецевих металів і сплавів.

Напишіть рівняння взаємодії хлоридної кислоти з алюмінієм, розчину купрум(II) сульфату із залізом, бром у розчині калій йодиду, відновлення ферум(II) оксиду воднем.

Подібні реакції є і в органічній хімії: заміщення Гідрогену у вуглеводнях на Хлор або Бром; взаємодія лужних металів з фенолом або спиртом; взаємодія бром у або хлору з бенzenом, фенолом; добування нітробензену, аніліну тощо. Наприклад:



Зверніть увагу, якщо в неорганічній хімії реакції заміщення — це реакції між простою і складною речовиною, то в органічній хімії це можуть бути також реакції між двома складними речовинами, у процесі яких атоми заміщуються не тільки на інші атоми, а й на групу атомів, як під час нітрування бензену.

Напишіть рівняння реакцій натрію з етанолом, гліцеролом, фенолом; бром у й нітратної кислоти — з фенолом. Зазначте назви добутих продуктів.

**4. Реакції обміну** — це реакції, під час перебігу яких дві складні речовини обмінюються своїми складовими.

До них належать різноманітні реакції солей одна з одною: кислот із солями, основними оксидами і гідроксидами; осадження нерозчинних гідроксидів розчинами лугів, а також реакції нейтралізації, гідролізу тощо.



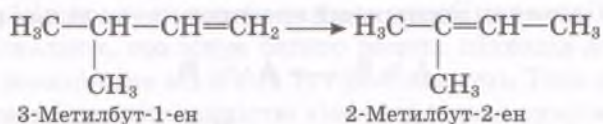
Напишіть рівняння реакцій обміну у водних розчинах між барій нітратом і калій сульфатом, кальцій оксидом та ортофосфатною кислотою, нейтралізації калій гідроксиду сульфідною кислотою, гідролізу амоній хлориду.

В органічній хімії до цього типу реакцій належать взаємодія фенолу з лугами, омилення естерів, гідроліз солей карбонових кислот тощо.

Напишіть рівняння реакцій між фенолом і їдким натром, етанолом і бромідною кислотою, а також рівняння реакції гідролізу етилетаноату. Зазначте назви добутих продуктів.

**5. Реакції перегрупування**, під час яких одна речовина перетворюється на іншу.

До цього типу належать реакції алотропних перетворень, коли одна алотропна модифікація простої речовини перетворюється на іншу модифікацію. Внаслідок таких перетворень відбувається перебудова хімічних зв'язків. Типовими прикладами можуть бути такі перетворення: графіт  $\rightleftharpoons$  алмаз, кисень  $\rightleftharpoons$  озон, червоний фосфор  $\rightleftharpoons$  білий фосфор. Ці перетворення, як і всі реакції, супроводжуються тепловими ефектами. До цього типу належать також реакції ізомеризації органічних сполук, наприклад:



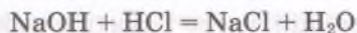
Безперечно, існують й інші класифікації. Все залежить від того, який критерій обрано. Так, якщо зважати на те, що одні реакції супроводжуються зміною ступеня окиснення елементів, а інші відбуваються без його зміни, то всі реакції можна поділити на дві групи: *окисно-відновні* (як правило, це реакції розкладу, сполучення, заміщення) і реакції *не окисно-відновні* (обміну, перегрупування тощо).

За джерелом енергії реакції поділяють на *термохімічні*, *фотохімічні*, *електрохімічні*, а за тепловим ефектом — на *екзотермічні* та *ендотермічні*.

Одним із критеріїв класифікації хімічних реакцій може бути агрегатний стан реагентів. У цьому разі розрізняють реакції *газові*, *у розчині*, *твердофазні* й *між речовинами в різних агрегатних станах*.

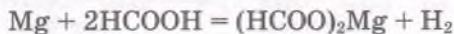
Наведіть приклади відповідних рівнянь реакцій за участю неорганічних та органічних речовин, що ілюструють згадані вище типи хімічних реакцій.

Залежно від фазового стану середовища реакції поділяють на *гомогенні* та *гетерогенні*. Реакції, що відбуваються в однорідному середовищі, наприклад у суміші газів або в розчині між розчиненими речовинами, називаються *гомогенними*.



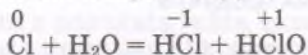
Усі ці речовини (NaOH, HCl, NaCl, H<sub>2</sub>O) перебувають у розчині.

Якщо середовище неоднорідне, то реакції відбуваються на поверхні поділу твердої речовини і газу, твердої речовини і рідини. Такі реакції називаються *гетерогенними*:



У цьому разі реагенти і продукти реакції перебувають у різних фазах: Mg — твердий, HCOOH і  $(\text{HCOO})_2\text{Mg}$  — у розчині, а  $\text{H}_2$  — газ.

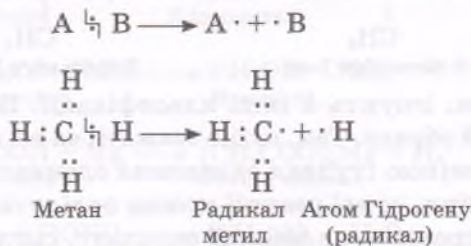
Звичайно, не всі реакції чітко вкладаються в наведені класифікаційні схеми. Наприклад, взаємодія хлору з водою відбувається з утворенням хлоридної і нестійкої хлоратної(I) кислот:



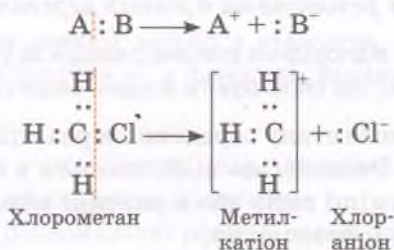
Як бачимо, одночасно відбувається зменшення і збільшення ступеня окиснення Хлору. Такі реакції належать до реакцій *диспропорціонування*.

Крім того, в сучасній хімії реакції класифікують і за механізмами їх перебігу, тобто за способом розриву хімічних зв'язків. Таких способів два — гомолітичний і гетеролітичний.

*Гомолітичний* розрив ковалентного зв'язку (або радикальний) полягає в тім, що електронна пара, яка утворила зв'язок, симетрично розділяється. Внаслідок цього утворюються дві незаряджені частинки, кожна з яких має один неспарений електрон, — це вільні радикали:



*Гетеролітичний* (йонний) розрив ковалентного зв'язку полягає в тім, що електронна пара не розділяється, а цілком залишається в одній з частин молекули, надаючи їй негативного заряду і перетворюючи на аніон. Інша частина молекули, втративши електрон, набуває позитивного заряду і перетворюється на катіон. Відбувається несиметричний розрив хімічного зв'язку:



Отже, механізм реакцій може бути ще одним критерієм їхньої класифікації (табл. 24).



Таблиця 24

## Класифікація хімічних реакцій за механізмом їх перебігу

Реакції з вільнорадикальним механізмом	Реакції з йонним механізмом
$\text{H}_2 + \text{Cl}_2 \xrightarrow{h\nu} 2\text{HCl}$	$\text{NaOH} + \text{HCl} = \text{NaCl} + \text{H}_2\text{O}$
$\text{CH}_4 + \text{Cl}_2 \xrightarrow{h\nu} \text{CH}_3\text{Cl} + \text{HCl}$	$\text{H}^+ + \text{OH}^- = \text{H}_2\text{O}$
$\text{CH}_3\text{Cl} + \text{Cl}_2 \xrightarrow{h\nu} \text{CH}_2\text{Cl}_2 + \text{HCl}$ <div>Хлорометан                      Дихлорометан</div>	$\text{H}_2\text{C}=\text{CH}_2 + \text{HCl} \xrightarrow{h\nu} \text{CH}_3\text{CH}_2\text{Cl}$ <div>Етен                                      Хлороетан</div>

Отже, в реакціях, що відбуваються за участю неорганічних і органічних речовин, частинки, які взаємодіють, можуть бути як електро-нейтральними (вільні радикали), так і зарядженими (йони). У зв'язку з цим усі хімічні реакції за механізмом їх перебігу можна поділити на дві групи; 1) ті, що відбуваються з утворенням вільних радикалів — *гомолітичні реакції*; 2) ті, що відбуваються з утворенням йонів, — *гетеролітичні реакції*. За яким із механізмів відбуватиметься реакція, залежить від природи атомів та умов перебігу реакції.

Ви переконалися, що існує багато різних підходів до класифікації хімічних реакцій (не всі з них тут розглянуто). Така різнобічність підходів зумовлюється складністю хімічної форми руху матерії, невичерпністю і безмежністю процесу її пізнання, тому будь-яка класифікація є умовною і відносною. А через це, щоб наблизитися до розуміння суті хімічної реакції, треба розглядати її всебічно, з різних поглядів, намагатися враховувати різні ознаки.



## Завдання для самоконтролю

1. До якого типу належать такі реакції: а) добування пропену з пропанолу; б) гідрування етину; в) перетворення  $\text{NO}_2$  на  $\text{N}_2\text{O}_4$  під час охолодження? Напишіть рівняння реакцій.
2. Під час нейтралізації розбавлених розчинів кислот розчинами лугів на 1 моль утвореної води завжди виділяється 60 кДж теплоти. За рахунок якої йонної реакції виділяється теплота і до якого типу слід віднести реакцію нейтралізації?
3. Напишіть рівняння реакцій гідратації кальцій оксиду, фосфор(V) оксиду, етену й етину. Зазначте назви продуктів і тип реакцій.
4. Бензен можна добути з етину, а гексахлороциклогексан — з бензену. Напишіть рівняння реакцій, зазначте умови їх перебігу і тип реакцій.
5. Якщо до концентрованого розчину натрій феноляту додати воду, то відбувається гідроліз феноляту. Напишіть рівняння реакції. Чому ця реакція відбувається і до якого типу вона належить?





## § 71. ЕНЕРГЕТИКА ХІМІЧНИХ ПЕРЕТВОРЕНЬ

Ви вже знаєте, що хімічні реакції полягають у розриві одних і утворенні інших зв'язків, тому вони супроводжуються тепловими ефектами.

Теплота, що вивільняється або поглинається під час хімічних реакцій, називається *тепловим ефектом реакції*.

Пригадайте, як класифікують хімічні реакції за тепловим ефектом і складіть рівняння відповідних реакцій.

Теплові ефекти хімічних реакцій змінюються у широких межах залежно від природи процесу. Найчастіше вони змінюються від  $10$  до  $10^3$  кДж/моль. Це достатньо вузькі межі в енергетичному спектрі природних явищ, що охоплюють інтервал від  $10^{-23}$  (рух молекул газу за кімнатної температури) до  $10^{10}$  кДж (космічне випромінювання). Цікаво порівняти енергію хімічних реакцій з енергією ядерних перетворень: під час згоряння вугілля масою  $0,5$  т виділяється стільки само теплоти, скільки під час повного радіоактивного розпаду радію масою  $1$  г.

Звідки ж береться теплота під час хімічних перетворень? Пригадайте з курсу фізики, що кожне тіло має певний запас внутрішньої енергії. *Внутрішня енергія* включає енергію руху молекул відносно одна одної, енергію руху атомів у молекулі, поєднану з рухом складових частин атома, ядерну енергію. Запас внутрішньої енергії залежить від природи тіла, його маси та умов, в яких це тіло перебуває.

Сумарна внутрішня енергія продуктів реакції відрізняється від сумарної внутрішньої енергії реагентів, оскільки в процесі реакції відбувається перебудова електронних оболонок атомів тих молекул, що взаємодіють. Ця різниця якраз і відповідає тепловому ефекту реакції.

У термодинаміці **тепловий ефект реакції  $\Delta H$**  — це різниця між умістом енергії у вихідних речовинах і кінцевих продуктах.

Оскільки тепловий ефект обчислюють відносно всієї реакційної системи, то для *екзотермічних реакцій* (коли теплота виділяється й енергія системи зменшується) він буде негативним. Для *ендотермічних реакцій* (коли теплота поглинається й енергія системи збільшується) тепловий ефект реакції буде позитивним. Його називають ще *ентальпією реакції*, оскільки тепловий ефект дорівнює зміні внутрішньої енергії системи і позначається  $\Delta H$  (за сталого тиску). Отже, реакція буде екзотермічною, якщо  $\Delta H < 0$ , і ендотермічною, якщо  $\Delta H > 0$ .

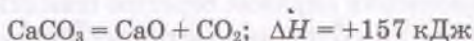
Розділ хімії, що вивчає теплові ефекти хімічних реакцій, називається *термохімією*, а рівняння реакцій, в яких зазначено теплові ефекти, називаються *термохімічними*.





## Завдання для самоконтролю

1. Що таке тепловий ефект хімічної реакції? Чому він виникає і яким може бути?
2. Що таке внутрішня енергія? У результаті яких процесів вона може збільшуватися?
3. Унаслідок окиснення одного моля  $\text{SO}_2$  до  $\text{SO}_3$  виділяється 98 кДж теплоти. Запишіть термохімічне рівняння цієї реакції.
4. Термохімічне рівняння реакції розкладу вапняку:



Скільки теплоти витрачається на розклад вапняку масою 1 кг? Який об'єм карбон(IV) оксиду при цьому утворюється (н. у.)?

5. У результаті відновлення заліза з ферум(III) оксиду масою 100 г алюмінієм виділилося 476 кДж теплоти. Обчисліть тепловий ефект цієї реакції та складіть відповідне рівняння.



## § 72. ШВИДКІСТЬ ХІМІЧНИХ РЕАКЦІЙ

Поняття про швидкість хімічних реакцій має велике значення, бо з ним найтісніше пов'язані уявлення про перетворення речовин й економічну ефективність їх промислового виробництва.

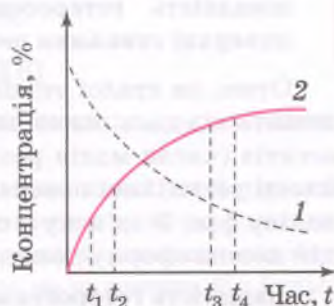
**Швидкість гомогенної хімічної реакції  $v_{\text{гом}}$**  — це фізична величина, що визначається відношенням зміни концентрації однієї з речовин, які беруть участь у реакції, до інтервалу часу, протягом якого ці зміни сталися.

Якщо розглянути випадок, коли об'єм системи не змінюється ( $V = \text{const}$ ), а концентрація кожної з вихідних речовин із часом зменшується ( $c_2 < c_1$ ;  $\Delta c < 0$ ), то концентрація кожного з продуктів реакції збільшується ( $c_2 > c_1$ ;  $\Delta c > 0$ ).

Зміну концентрації речовин, що беруть участь у процесі, показано на мал. 180.

Як бачимо, зміна концентрацій  $\Delta c$  для речовин, що реагують, має від'ємне значення. Тому у виразі швидкості реакції ставиться знак «мінус»:

$$v_{\text{гом}} = - \frac{c_2 - c_1}{\tau_2 - \tau_1} = \frac{\Delta c}{\Delta \tau}.$$



Мал. 180. Зміна концентрацій реагуючих речовин (1) і продуктів реакції (2) у ході хімічної реакції

Проте швидкість реакції можна вимірювати і за збільшенням концентрації продукту реакції в одиницю часу.

У цьому разі швидкість реакції матиме додатне значення:

$$v_{\text{гом}} = \frac{\Delta c}{\Delta \tau}$$

Щоб значення швидкості реакції завжди було додатним, перед дробом ставлять знак « $\pm$ »:

$$v_{\text{гом}} = \pm \frac{\Delta c}{\Delta \tau}$$

Наведене відношення виражає середню швидкість реакції за інтервал часу  $\tau_2 - \tau_1$ . Воно тим ближче до істинної швидкості, чим менше  $\Delta \tau$ .

**Приклад.** Визначте середню швидкість реакції, якщо відомо, що вихідна концентрація однієї з реагуючих речовин становила 1 моль/л, а через 4 с від початку реакції вона дорівнювала 0,6 моль/л.

$$\begin{array}{l} \text{Дано: } c_1 = 1 \text{ моль/л} \\ c_2 = 0,6 \text{ моль/л} \\ \Delta \tau = 4 \text{ с} \end{array}$$

$v = ?$

*Розв'язування*

$$v = \pm \frac{c_1 - c_2}{\Delta \tau}$$

$$v = \pm \frac{1 \text{ моль/л} - 0,6 \text{ моль/л}}{4 \text{ с}} = 0,1 \text{ моль/л} \cdot \text{с}$$

**Відповідь:** щосекунди протягом перших чотирьох секунд від початку реакції в 1 л розчину 0,1 моль реагенту перетворюється на продукт реакції.

Якщо реакція гетерогенна, наприклад реакція між газом і твердою речовиною (спалювання твердого палива), то реагуючі речовини стикаються між собою не в усьому об'ємі, а лише на поверхні. Чим більше таких зіткнень молекул газу з поверхнею твердої речовини за одиницю часу, тим швидше відбувається реакція. Кількість зіткнень зростає як унаслідок підвищення концентрації газу, що бере участь у реакції, так і через збільшення площі поверхні твердого тіла. Чим більша ця площа, тим більша ймовірність зіткнення частинок реагуючих речовин. Отже,

**швидкість гетерогенних реакцій прямо пропорційна площі поверхні стикування реагуючих речовин.**

Отже, за сталої температури швидкість гетерогенних реакцій залежить від двох показників: 1) концентрації газуватих або рідких реагентів (числа молів реагуючої речовини, що припадає на одиницю площі реакційної поверхні, моль/м<sup>2</sup> або моль/см<sup>2</sup>); 2) площі поверхні поділу фаз. У зв'язку з цим означення швидкості гетерогенних реакцій можна сформулювати так:

**швидкість гетерогенної реакції  $v_{\text{гет}}$  визначається числом молів речовини, що вступила в реакцію або утворилася внаслідок реакції за одиницю часу на одиниці поверхні:**

$$v_{\text{гет}} = \pm \frac{\Delta n}{s \Delta t}$$



На швидкість хімічних реакцій впливають переважно чинники, що їх описано нижче.

**Природа реагуючих речовин.** Метали, наприклад з кислотами, реагують по-різному. Так, кальцій з хлоридною кислотою взаємодіє дуже швидко, а залізо за таких самих умов — повільно.

Напишіть рівняння відповідних реакцій і поясніть, чим зумовлена така відмінність.

Речовини з йонним і полярним ковалентним зв'язками у водних розчинах взаємодіють між собою дуже швидко. А суміш газуватих водню  $H_2$  і кисню  $O_2$  може зберігатися протягом багатьох років при  $20^\circ C$  без змін (утворення води не відбувається; чому?).

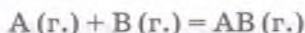
**Стан реагуючих речовин.** Якщо брати реагуючі речовини в розчиненому стані або у вигляді газів, то швидкість реакцій між ними залежатиме від їхньої концентрації, а якщо брати речовини у твердому стані — то від площі поверхні стикання реагуючих речовин. Чим площа поверхні більша, тим швидкість реакції вища. Відомо, що вугільний пил у шахтах може стати причиною вибуху. Чому?

**Концентрація.** Вплив концентрації реагентів можна пояснити на основі теорії зіткнень, згідно з якою хімічна взаємодія є результатом зіткнення частинок реагуючих речовин. Збільшення числа частинок у даному об'ємі приводить до частіших зіткнень, тобто спричиняє збільшення швидкості реакції, хоча не кожне зіткнення веде до взаємодії.

Вплив концентрації реагентів на швидкість хімічних реакцій виражається основним законом хімічної кінетики — *законом дії мас*<sup>\*</sup>. Наведемо одне з його формулювань:

швидкість простої гомогенної хімічної реакції прямо пропорційна добуткові концентрацій реагуючих речовин, узятих у степенях, що дорівнюють стехіометричним коефіцієнтам у рівнянні реакції.

Наприклад, для двомолекулярної реакції



математичний вираз закону дії мас має вигляд:

$$v = K c_A c_B, \text{ або } v = K[A][B]$$

де  $v$  — швидкість реакції;  $K$  — константа швидкості;  $c_A$ ,  $c_B$  — концентрації реагентів  $A$  і  $B$ .

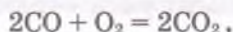
Константа швидкості  $K$  чисельно дорівнює швидкості реакції ( $v = K$ ), якщо концентрація відповідних речовин дорівнює одиниці, тобто  $c_A = c_B = 1$  моль/л. Константа швидкості реакції залежить від температури та природи реагуючих речовин, але не залежить від їхньої концентрації.

<sup>\*</sup>Закон дії мас був установлений у 1864—1867 рр. норвезьким ученим, математиком К. М. Гульдбергом і хіміком П. Вааге, а його точне термодинамічне виведення зробив американський фізик Дж. Гіббс у 1875—1878 рр.



Наведений математичний вираз закону дії мас і є *кінетичним рівнянням*. Воно показує залежність швидкості даної реакції від концентрації речовин, що реагують.

Для тримолекулярної реакції, наприклад



швидкість реакції виражається таким кінетичним рівнянням:

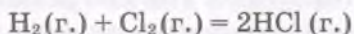
$$v = Kc_{\text{CO}}^2c_{\text{O}_2}, \text{ або } v = K[\text{CO}]^2[\text{O}_2]$$

За цим рівнянням можна, наприклад, обчислити, як зміниться швидкість окиснення CO до CO<sub>2</sub>, якщо, приміром, збільшити концентрацію карбон(II) оксиду втричі. Швидкість реакції при цьому зросте в 9 разів (3<sup>2</sup>).

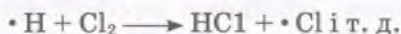
Однак такі реакції, у процесі яких водночас реагують три молекули, відбуваються дуже рідко. Реакцій, молекулярність яких більша ніж три, взагалі не буває, оскільки малоімовірно, щоб в одній точці зіткнулися водночас чотири молекули.

Розглянута залежність швидкості реакцій від концентрації речовин, що реагують, у точному математичному вигляді реалізується дуже рідко. Вона придатна лише для простих гомогенних реакцій, що відбуваються в одну стадію. Найчастіше всі елементарні хімічні реакції є двомолекулярними.

Рівняння хімічної реакції не відбиває складності й багатостадійності процесу, який може складатися з кількох елементарних реакцій. Так, навіть реакції з відносно простим стехіометричним рівнянням насправді виявляються складнішими, ніж це здається на підставі рівняння. Наприклад, під час взаємодії хлору з воднем



за рахунок поглинання кванта енергії ультрафіолетових променів (або нагрівання) відбувається ланцюгова реакція за радикальним механізмом:



Звичайно, швидкість реакції, що складається з кількох елементарних стадій, зумовлюється швидкістю найповільнішої з них. Тому в кінетичному рівнянні треба використовувати коефіцієнти як показники степенів цієї найповільнішої стадії. Проте саме вона часто невідома, крім того, не завжди відомий і справжній механізм реакції.

Отже, для більшості хімічних реакцій їхнє рівняння не відображає справжнього механізму процесу. Тому показники степенів у законі дії мас не дорівнюють коефіцієнтам і мають формальний характер. Це завжди слід пам'ятати.



Залежність швидкості реакції від концентрації реагентів, яку виражає закон дії мас, з певними обмеженнями поширюється на газові суміші та розчини. Цей закон непридатний для реакцій за участю твердих речовин, бо в цьому разі реакція відбувається не в усьому об'ємі системи, а на межі поділу фаз реагентів. Тому для речовин у твердому стані *швидкість хімічних реакцій прямо пропорційна площі поверхні реагуючих речовин*.

**Температура.** Відомо, що з підвищенням температури швидкість більшості хімічних реакцій суттєво зростає. Залежність швидкості реакцій від температури виявлено давно. Зокрема, згідно з правилом Вант-Гоффа (1884) з підвищенням температури на кожні  $10^{\circ}\text{C}$  швидкість реакції (гомогенної) збільшується у 2—4 рази (температурний коефіцієнт швидкості).

У чому ж причина того, що швидкість реакції є функцією температури?

Можна припустити, що з підвищенням температури зростає число зіткнень молекул (частинок) речовин, що реагують. Проте встановлено, що з підвищенням температури на  $100^{\circ}\text{C}$  число зіткнень зростає приблизно в 1,2 раза, тобто значно меншою мірою, ніж це має бути для зростання швидкості за правилом Вант-Гоффа.

Як пояснити цю суперечність?

Виявляється, що не всяке зіткнення спричиняє взаємодію молекул. Потрібна достатньо висока енергія їх взаємодії, аби подолати енергетичний бар'єр, що існує завдяки стабілізації вихідних реагентів включенням їх до складу асоціатів, сольватів, гідратів тощо. Це можливо лише якщо молекули, які реагують, належать до активних, тобто таких, які мають достатню енергію для здійснення реакції.

Отже, вплив температури зводиться в основному до збільшення числа *активних молекул*, зіткнення яких веде до утворення продукту (ефективного зіткнення).



## Завдання для самоконтролю

1. Наведіть приклади хімічних реакцій, що відбуваються з різною швидкістю. Поясніть, що таке швидкість хімічної реакції і для чого її треба вивчати.
2. Обчисліть середню швидкість реакції гідролізу етилетаноату їдким натром, якщо початкова концентрація естеру становила  $0,1863$  моль/л, а через 12 с вона дорівнювала  $0,1791$  моль/л.
3. Чим можна пояснити вибухонебезпечність у суміші з повітрям багатьох речовин, що перебувають у пилоподібному стані?
4. Складіть формально кінетичне рівняння окиснення нітроген(II) оксиду до нітроген(IV) оксиду та обчисліть, у скільки разів зросте швидкість реакції, якщо концентрацію нітроген(II) оксиду збільшити в 4 рази. Яка ваша думка щодо тримолекулярних реакцій у цьому разі?

## Додаткові завдання

5. У скільки разів мала б зрости швидкість деякої реакції з підвищенням температури від 200 до 300 °С (температурний коефіцієнт 2), якби повністю справджувалось правило Вант-Гоффа?
6. Як зміниться швидкість хімічної реакції  

$$A(г.) + O_2 = C(г.),$$
 якщо замість кисню взяти такий самий об'єм повітря?
7. Як зміниться швидкість реакції  

$$CaO + CO_2 = CaCO_3,$$
 якщо тиск у системі збільшити вдвічі?
- 8\*. Через 10 с після початку реакції, що відбувається згідно з рівнянням  

$$2A(г.) + B(г.) = C(г.),$$
 концентрація речовини А дорівнювала 0,2 моль/л. За цей самий час концентрація речовини В зменшилась на 0,02 моль/л. Якою була початкова концентрація речовини А?

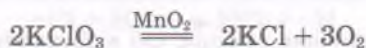
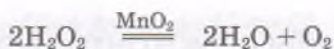


## § 73. КАТАЛІЗ

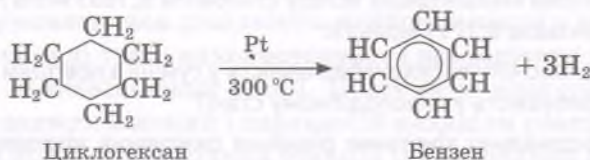
Один із найефективніших засобів впливу на швидкість перебігу реакцій — використання каталізаторів.

**Каталізатори** — це речовини, що змінюють швидкість хімічної реакції (або спричиняють її), але не входять до складу продуктів реакції.

Процес зміни швидкості хімічної реакції під впливом каталізаторів називається *каталізом*, а реакції, що відбуваються за участю каталізатора, — *каталітичними*. Наприклад, розклад гідроген пероксиду або бертолетової солі (калій хлорату) прискорюється манган(IV) оксидом:



Бензен легко утворюється з циклогексану під впливом платини або паладію як каталізатора (за температури 300 °С):

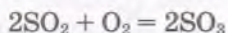


Каталізатори не тільки прискорюють реакції, а й зумовлюють їх напрямок. Наприклад, карбон(II) оксид і водень залежно від природи каталізатора можуть утворювати різні продукти реакції.



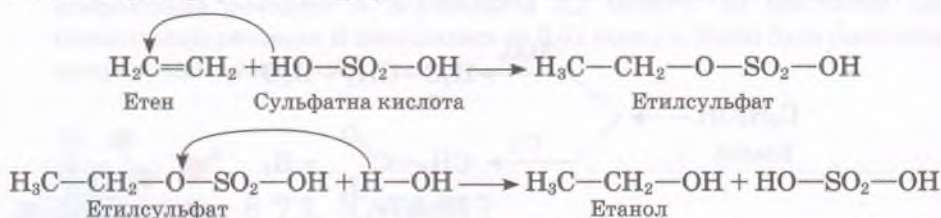


Наприклад, енергія активації реакції окиснення сульфур(IV) оксиду до сульфур(VI) оксиду на повітрі



дорівнює 240 кДж/моль, а на поверхні платинового каталізатора вона знижується до 60 кДж/моль. Це різко прискорює хімічний процес.

Завдяки тому, що каталізатори змінюють не лише швидкість реакції, а й її механізм, вони можуть спричинити реакцію, яка без них не відбувається. Наприклад, гідратацію етену спричиняє каталізатор сульфатна (або ортофосфатна) кислота. Адже етен з водою безпосередньо не реагує. Він взаємодіє із сульфатною кислотою  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (або  $\text{HO}-\text{SO}_2-\text{OH}$ ) з утворенням проміжної сполуки, яка, в свою чергу, реагує з водою із утворенням спирту:



**Гомогенний і гетерогенний каталіз.** Під час перебігу гомогенного каталізу речовини, що реагують, і каталізатори утворюють одну однорідну систему. Наприклад, окиснення  $\text{SO}_2$  до  $\text{SO}_3$  під впливом каталізатора  $\text{NO}$  відбувається в однорідній газуватій системі. Каталітичне розщеплення етилетаноату під дією кислоти також відбувається в однорідній системі.

Особливим варіантом каталізу є так званий автокаталіз.

**Автокаталіз** — самоприскорення реакції, зумовлене нагромадженням кінцевого або проміжного продукту, який виявляє каталітичну дію в даній реакції.

Наприклад, автокаталіз спостерігається під час гідролізу естерів через нагромадження кислоти, яка прискорює процес. Багато реакцій у розчинах прискорюються йонами Гідрогену, точніше йонами гідроксонію  $\text{H}_3\text{O}^+$ , особливо реакції органічних сполук, що відбуваються в кислому середовищі. До них належать естерифікація, гідроліз крохмалю, сахарози, утворення нітросполук тощо. Реакції, що відбуваються в лужному середовищі, прискорюються йонами гідроксиду  $\text{OH}^-$  (гідроліз естерів тощо). Іноді каталітичну дію в розчинах чинять йони  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{CH}_3\text{COO}^-$ , які дуже прискорюють реакції.

У разі гетерогенного каталізу речовини, які реагують, і каталізатор перебувають у різних фазах. Звичайно каталізатором є тверде тіло, а реагенти перебувають у газуватій або рідкій фазі. Прикладами гетерогенного каталізу можуть бути окиснення амоніаку до  $\text{NO}$  або  $\text{SO}_2$  до  $\text{SO}_3$  під впливом платинового чи ванадієвого каталізатора; синтез амоніаку під впливом заліза як каталізатора; добування альдегідів із спиртів за допомогою мідного або срібного каталізатора тощо.



Напишіть рівняння згаданих вище реакцій, зазначте назви речовин.

Особливість гетерогенного каталізу полягає в тому, що каталізатори (найчастіше тверді речовини) перебувають в іншому фазовому стані, ніж реагенти і продукти реакції. Реакція відбувається на поверхні твердого тіла, яке завжди має багато дефектів, у тім числі вільні електронні пари. Молекули реагентів легко взаємодіють з цими електронами і завдяки утвореним зв'язкам утримуються на поверхні каталізатора. Внаслідок такої взаємодії деякі зв'язки всередині адсорбованих молекул настільки послаблюються, що молекули або руйнуються, або перетворюються на активні радикали. *Каталітична активність твердої речовини тим вища, чим сильніше реагенти адсорбуються на її поверхні і чим слабкіше продукти реакції утримуються нею.*

Згідно із сучасними уявленнями каталітична активність твердого тіла зумовлена не всією його поверхнею, а лише окремими частинами поверхні, що називаються *активними центрами* (їхня природа ще точно не з'ясована). Отже, площа поверхні каталізатора сама по собі ще не визначає його активності. Важливішим є стан поверхні, тобто число активних центрів на одиниці площі поверхні.

**«Отруєння» каталізаторів.** Під час використання твердих каталізаторів завжди звертають увагу на можливість їх «отруєння», тобто зменшення числа активних центрів на поверхні під впливом «отрути». Ясна річ, ідеться не про звичайну отруту, а про специфічні речовини, що пригнічують каталітичну активність. Наприклад, залізний каталізатор під час синтезу амоніаку «отрується» сірководнем, карбон(II) сульфідом, киснем, водяною парою, карбон(II) оксидом. Дія деяких каталітичних отрут оборотна: її можна легко усунути спеціальною обробкою каталізатора. Наприклад, активність залізного каталізатора синтезу амоніаку можна відновити, якщо крізь нього пропускати свіжу суміш азоту і водню. Ці гази витискують отруту з активних центрів (тільки кисень, водяну пару і CO), а така отрута, як  $\text{H}_2\text{S}$  і  $\text{CS}_2$ , залишається і блокує активні центри.

**Інгібітори.** Розрізняють катализ позитивний, якщо швидкість хімічної реакції зростає під впливом каталізатора, і негативний, якщо швидкість реакції зменшується.

**Речовини, що гальмують хімічні реакції, називаються інгібіторами (від лат. *inhibeo* — зупиняю, стримую).**

Інгібітори використовують для сповільнення корозії металів у агресивному середовищі. Вони адсорбуються поверхнею металу, утворюючи захисну плівку. Інгібітори використовують для захисту обладнання і трубопроводів у газо- і нафтовидобувній і переробній галузях промисловості. Їх широко використовують для регулювання швидкості радикальної полімеризації, стабілізації поліалкенів і каучуків під час їхньої переробки, вуглеводневого палива, зберігання харчових жирів і лікарських препаратів тощо.



**Значення каталізу.** Сучасна промисловість широко використовує каталізатори, особливо основна хімічна, нафтопереробна, нафтохімічна та промисловість органічного синтезу. Більш ніж на 90 % хімічна промисловість є каталітичною. І це зрозуміло, бо каталіз — найефективніший метод інтенсифікації промислового виробництва. Від розвитку каталізу значною мірою залежить прогрес не тільки хімічної, а й інших галузей промисловості. Здійснення багатьох економічно вигідних процесів добування нових матеріалів для сучасної техніки, реалізація сучасних технологічних схем, використання доступніших сировинних ресурсів, розв'язування проблеми очищення стічних вод, твердих і газових промислових викидів та інших проблем охорони навколишнього середовища нерозривно пов'язано з пошуком нових, активніших каталізаторів.

Каталізатори відіграють істотну роль і в життєдіяльності організмів. Хімічні реакції у клітинах, тканинах, різних органах відбуваються під дією *ферментів* — каталізаторів біохімічних процесів. Так, слина містить фермент *птіалін*, який каталізує перетворення крохмалю на глюкозу. Розщеплення білків у шлунку прискорюється ферментом *пепсином*.

*Ферменти* — речовини білкової природи, які містять ще окремі атоми або групи атомів небілкового походження. За властивостями вони дуже подібні до неорганічних каталізаторів, але їх активність надзвичайно висока. Каталітична дія ферментів пояснюється тим, що вони утворюють проміжні нестійкі сполуки. Вони так само, як і неорганічні каталізатори, можуть «отруюватися» різними шкідливими речовинами, особливо алкоголем, нікотинном, і втрачати свою активність, що позначається на здоров'ї.

Ферментативні процеси широко використовують у харчовій промисловості (виробництво спирту, етанової кислоти, сиру, чаю, тютюну тощо). Зважаючи на те, що активність ферментів на 2—4 порядки перевищує активність мінеральних каталізаторів, перед сучасною хімічною кінетикою стоїть проблема створення високоактивних каталізаторів, які наближалися б за активністю і селективністю дії до ферментів. Певною мірою це є однією з проблем і сучасної біоніки.

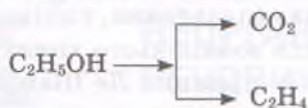


### Завдання для самоконтролю

1. Наведіть приклади каталітичних реакцій з курсів неорганічної та органічної хімії.
2. Наведіть приклади гомогенних і гетерогенних реакцій.
3. Чому каталізатори збільшують швидкість хімічних реакцій? Відповідь мотивуйте.
4. За наявності платини амоніак окиснюється повітрям до нітроген(II) оксиду, а за наявності хром(III) оксиду — до азоту. Напишіть рівняння відповідних реакцій і прокоментуйте їх. Про яку властивість каталізаторів свідчать ці процеси?



5. Напишіть рівняння і схарактеризуйте реакції, що відбуваються за схемою



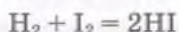
6. Чому для окиснення цукру на повітрі потрібні високі температури, тоді як в організмі людини така реакція здійснюється при 36,7 °С?
7. Використовуючи знання з біології, поясніть значення ферментів для життєдіяльності організмів.



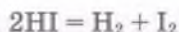
## § 74. ОБОРОТНІ Й НЕОБОРОТНІ РЕАКЦІЇ

Ви вже знаєте, що під час хімічних реакцій вихідні речовини не завжди повністю перетворюються на продукти реакції. Це відбувається тому, що в міру нагромадження продуктів реакції можуть створюватися умови для перебігу реакції у протилежному напрямку.

Справді, якщо, наприклад, змішати пари йоду з воднем за температури  $\approx 200^\circ\text{C}$ , то відбувається реакція:



Проте відомо, що гідроген йодид вже за температури  $180^\circ\text{C}$  починає розкладатися:



Зрозуміло, що за таких умов не буде ні цілковитого розкладу HI (бо продукти реакції здатні знову прореагувати між собою), ні повного утворення HI.

**Хімічні реакції, що за одних і тих самих умов можуть відбуватися у протилежних напрямках, називають оборотними.**

Пригадайте і поясніть, як змінюється швидкість прямої і зворотної реакцій.

**Стан, у якому швидкість зворотної реакції дорівнює швидкості прямої реакції, називається хімічною рівновагою.**

Стан хімічної рівноваги за незмінних зовнішніх умов теоретично може зберігатися нескінченно довго. У реальних умовах унаслідок зміни температури, тиску або концентрації реагентів рівновага може «зміститися» у той чи інший бік. Зміни, що відбуваються в системі в результаті зовнішніх впливів, визначаються *принципом Ле Шательє*.

**Зовнішній вплив на систему, що перебуває у стані рівноваги, веде до зміщення цієї рівноваги в напрямку, за яким ефект цього впливу послаблюється**

Принцип Ле Шательє універсальний, бо застосовний не тільки до хімічних процесів, а й до фізичних (плавлення, кипіння тощо).

Стосовно трьох основних типів зовнішнього впливу — зміни концентрації, тиску й температури — принцип Ле Шательє трактується так.

*Зі збільшенням концентрації одного з реагентів рівновага зсувається в бік затрачання цього реагента, а зі зменшенням концентрації — у бік утворення цієї речовини.*

Вплив тиску дуже нагадує ефект зміни концентрації реагентів, але позначається він тільки на газових системах: збільшення тиску зсуває рівновагу в бік зменшення кількості газуватих речовин, тобто в бік зниження тиску, а зменшення тиску зсуває рівновагу в бік зростання кількості газуватих речовин, тобто в бік збільшення тиску. Якщо реакція відбувається без зміни числа молекул газуватих речовин, то тиск не впливає на положення рівноваги в цій системі.

Під час зміни температури змінюється як пряма, так і зворотна реакції, але різною мірою. Отже, для з'ясування впливу температури на хімічну рівновагу необхідно знати знак теплового ефекту реакції.

*З підвищенням температури рівновага зсувається в бік ендотермічної реакції, а зі зниженням температури — у бік екзотермічної реакції.*

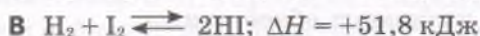
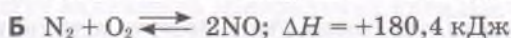
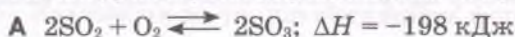


### Завдання для самоконтролю

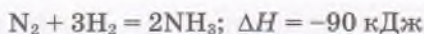
1. Наведіть означення хімічної рівноваги і запишіть рівняння відповідної реакції.

2. Поясніть суть принципу Ле Шательє на конкретному прикладі.

3. Укажіть, у якому випадку підвищення тиску не вплине на рівновагу:



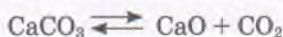
4. Укажіть, у який бік зміститься рівновага процесу з підвищенням температури:



**A** праворуч

**Б** ліворуч.

5. Унаслідок розкладу кальцій карбонату в закритій посудині встановилася рівновага:



Як слід змінити умови перебігу цієї реакції, щоб за тієї самої температури довести її до кінця?

6. За яких умов рівновагу в системі



можна змістити в бік утворення гідроген бромиду?





## § 75. ГЕНЕТИЧНИЙ ЗВ'ЯЗОК НЕОРГАНІЧНИХ І ОРГАНІЧНИХ РЕЧОВИН

Вивчаючи хімію, ви звернули увагу на численні синтези, які засвідчують, що між органічними і неорганічними речовинами, між різними класами органічних речовин (так само, як і неорганічних) існує зв'язок. Його називають *генетичним* (від грец. γένεσις — походження).

Поясніть, чому, незважаючи на те, що після синтезів органічних речовин остаточно зникла грань, яка відділяла органічні речовини від неорганічних, назва «органічні речовини», або «органічні сполуки», зберігається досі.

Генетичний зв'язок речовин не є випадковим. Він встановлюється і розкривається через добування речовин одного класу з речовин іншого класу, під час взаємодії органічних речовин і неорганічних між собою і з простими речовинами, взаємоперетворення речовин. Це є результатом об'єктивних закономірностей, що поєднують в єдине ціле всі речовини природи.

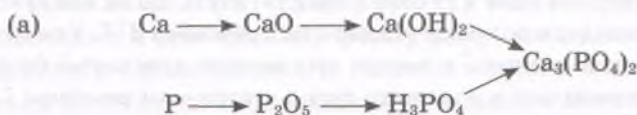
Знання властивостей речовин дає змогу керувати їх взаємоперетвореннями і тим самим добувати потрібні хімічні продукти.

Погортайте підручник, пригадайте інші розділи хімії, які ви вивчали, й наведіть приклади генетичних зв'язків між неорганічними й органічними речовинами. Виконайте завдання.

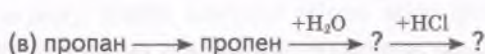
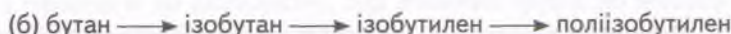
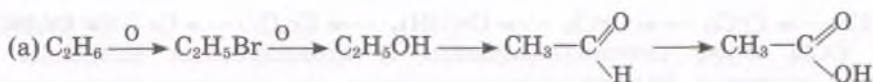


### Завдання для самоконтролю

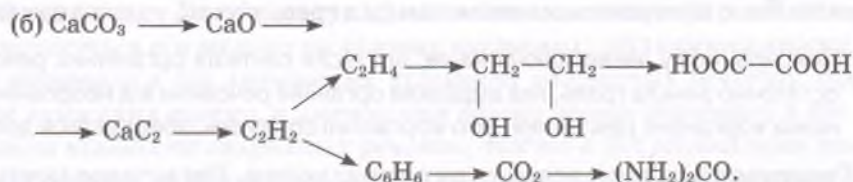
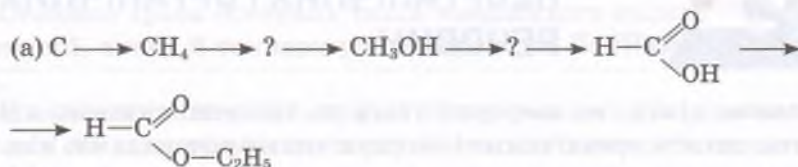
- За поданими схемами напишіть рівняння реакцій, що відображають генетичний зв'язок між неорганічними речовинами:



- За поданими схемами напишіть рівняння реакцій, що відображають генетичний зв'язок між органічними речовинами:

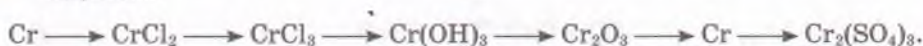


3. За поданими схемами напишіть рівняння реакцій, що відображають генетичний зв'язок між органічними і неорганічними речовинами:



### Додаткові завдання

- На нейтралізацію суміші етанової кислоти і фенолу у воді масою 10 г затрачено розчин їдкого натру об'ємом 47,6 мл ( $w = 6,4\%$ ,  $\rho = 1,05$  г/моль), а в результаті дії на ту саму масу розчину надлишку бромної води утворився осад масою 9,93 г. Обчисліть масові частки фенолу й етанової кислоти в розчині.
- Залізна платівка занурена у розчин купрум(II) сульфату. Коли платівка вкрилася міддю, її маса збільшилася на 3 г. Визначте масу міді, що осіла на залізній платівці, і масу заліза, яке перейшло в розчин.
- У лабораторії є ферум(II) сульфід, з якого треба добути барій сульфат. Напишіть рівняння всіх необхідних реакцій, за допомогою яких можна здійснити таке перетворення. Обчисліть масу барій сульфату, яку можна добути з ферум(II) сульфіду кількістю речовини 0,1 моль, вважаючи, що вихід продуктів реакції на кожній стадії становить 100 %.
- Проста тверда світло-сірого кольору речовина А при взаємодії з розчином кислоти або лугу виділяє одну й ту саму кількість газу Б, що не має ні кольору, ні запаху. Відповідно в розчинах утворюються речовини В і Г. У результаті дії на речовину В еквівалентної\* кількості лугу випадає драглистий безбарвний осад, що розчиняється в надлишку лугу з утворенням речовини Г. Визначте речовини А, Б, В, Г, якщо відомо, що під час розчинення речовини А масою 10,8 г виділяється газ Б об'ємом 13,44 (н. у.). Напишіть відповідні рівняння реакцій.
- Напишіть рівняння реакцій, за допомогою яких можна здійснити такі перетворення:



\*Еквівалентний — рівнозначний, рівноцінний, однаковий за величиною.





# Роль хімії в житті суспільства

## § 76. МІСЦЕ ХІМІЇ СЕРЕД НАУК ПРО ПРИРОДУ, ЇЇ ЗНАЧЕННЯ ДЛЯ РОЗУМІННЯ НАУКОВОЇ КАРТИНИ СВІТУ



Виокремлюють такі основні науки про природу — астрономію, біологію, географію, фізику, хімію. До природничих наук відносять також екологію, геологію, медицину. Предметом вивчення цих наук є матерія, тобто увесь матеріальний світ з усією різноманітністю його існування і перетворень.

Матерія існує у просторі й часі і перебуває у безперервному русі. Форми руху матерії надзвичайно різноманітні. Вони взаємозв'язані й можуть переходити одна в одну.

Кожна природнича наука вивчає окрему форму руху матерії. Фізика вивчає механічний рух — переміщення мас у просторі, що є найпростішою формою руху, а також фізичні процеси — електромагнітні, гравітаційні, ядерні, які пов'язані з механічним рухом, але не зводяться до нього.

Хімія вивчає хімічну форму руху матерії — хімічні реакції. Вони включають в себе фізичну форму руху, наприклад перехід електронів від атомів одних елементів до атомів інших елементів, і супроводжуються фізичними процесами (поглинанням або виділенням теплоти чи світла, електроенергії тощо). Проте хімічні процеси не зводяться до фізичних форм руху.

Предметом вивчення біології є органічна форма руху матерії (життя), яка неможлива без механічної, хімічної форм руху, але не вичерпується ними, а є якісно новою, відмінною від попередніх, формою руху матерії.

Наведена класифікація (і підпорядкування) форм руху має об'єктивний характер, бо відображує об'єктивний розвиток матерії від простого до складного, від нижчих форм до вищих. Вона разом з тим є й класифікацією наук, що ці форми вивчають. Серед наук про природу хімія посідає місце між фізикою і біологією. Хімічні знання значною мірою формуються на основі фізичних і, в свою чергу,



становлять основу для формування біологічних знань. У своїй сукупності ці взаємозв'язані види знань дають змогу зрозуміти сучасну наукову картину світу.

**Наукова картина світу** — це цілісна система уявлень про загальні властивості й закономірності природи.

Вона створюється в результаті узагальнення і синтезу основних природничо-наукових понять і принципів. Оскільки науку в загальному розумінні утворює система галузей знань, що взаємодіють між собою, наукова картина світу створюється в результаті синтезу знань, добутих із різних наук. Отже, наукова картина світу є вищою формою узагальнення і систематизації знань про об'єктивну реальність. У цьому значенні її називають *загальною науковою картиною світу* — вона включає уявлення як про природу, так і про життя суспільства.

Знання про речовини, їхній склад, будову, властивості, застосування, хімічні реакції та закономірності їх перебігу, роль хімії у синтезі нових матеріалів дають змогу зрозуміти *наукову картину хімічної реальності*, так звану *хімічну картину світу*. Вона є лише фрагментом, частиною матеріального світу, але без неї неможливо здобути цілісне уявлення про загальну наукову картину світу.

Вивчаючи хімію, ви помітили, що уявлення про речовини та їх перетворення в міру розвитку пізнання і практики змінюються. Так, атомно-молекулярне вчення, основні положення якого були розроблені в середині XVIII ст. М. В. Ломоносовим і Дж. Дальтоном, мало величезне значення для утвердження матеріалістичного погляду на світ. Проте із розвитком науки виявилось, що не всі речовини складаються з молекул. Багато речовин мають йонну або атомну будову. На основі таких наукових поглядів хімічна картина світу змінилася, стала досконалішою.

Перші синтези органічних речовин із неорганічних, що завдали нищівної поразки віталістичному вченню і підтвердили єдність органічного й неорганічного світу, також привели до змін наукової картини природи.

Наступним важливим кроком у розвитку поглядів на речовину було відкриття Д. І. Менделєєвим Періодичного закону і створення Періодичної системи хімічних елементів. У результаті природу почати уявляти як комплекс взаємозв'язаних предметів і явищ, які перебувають у постійному русі, змінюються, розвиваються.

Наступні успіхи природознавства у вивченні складної будови атома, радіоактивності дали змогу вирішити питання про штучне створення і цілеспрямоване перетворення хімічних елементів, вивільнення при цьому внутрішньоатомної енергії. Тим самим було внесено зміни в наукову картину світу. Вона стала ще досконалішою.

Людина дедалі глибше проникає в таємниці мікро- і макросвіту. У зв'язку з останніми науковими відкриттями виникає низка проблем, розв'язування яких, на думку вчених, може викликати створення



нових теорій, що також внесуть певні зміни в наукову картину світу. Все це засвідчує матеріальність світу, різноманітність форм руху матерії, її пізнаваність і невичерпність.



### Завдання для самоконтролю

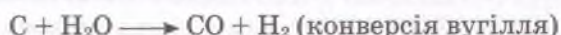
1. Обґрунтуйте місце хімії серед наук про природу.
2. Який зміст вкладається у поняття «наукова картина світу»?
3. Що таке наукова картина хімічної реальності? Яке значення вона має для розуміння загальної наукової картини світу?



## § 77. РОЛЬ ХІМІЇ У РОЗВ'ЯЗУВАННІ ГЛОБАЛЬНИХ ПРОБЛЕМ ЛЮДСТВА

«Широко простягає хімія руки свої у справи людські» — ці слова великого російського вченого Михайла Ломоносова, сказані ним понад 250 років тому, дотепер не втратили свого значення, а навпаки, звучать з особливою актуальністю. Адже нині, як ніколи раніше, зросла роль хімічних явищ і хімічних знань у житті суспільства. «Вік хімії», «вік полімерів» — ці образні характеристики аж ніяк не є надмірним перебільшенням. Вони наочно відображають об'єктивний факт безпрецедентного за своєю могутністю, масштабністю і наслідками вторгнення хімії у найрізноманітніші сфери діяльності людини, всього життя суспільства.

Відомо, яке значення для промисловості та сільського господарства, транспорту, оборони країни і побуту має тверде, рідке і газувате паливо. Хімії належить видатна роль у розробленні процесів виробництва різних видів палива, створенні ракетного палива та окисників для нього, палива для реактивних двигунів. Разом із фізикою вона створила наукові основи добування палива для ядерних реакторів. У зв'язку з вичерпуванням запасів природного газу і нафти хіміки вже сьогодні дбають про паливо майбутнього. Так, розв'язується проблема добування синтетичного газу метану з кам'яного вугілля:



Метод конверсії вугілля набуває значення також у розвитку водневої енергетики. Водень як екологічно чисте паливо можна використовувати на всіх видах транспорту.

Не менше значення має розв'язування проблеми використання метанолу як добавки до бензину. Це є значним досягненням хіміків,



бо продукти згоряння етанолу (які?) не забруднюють повітря. Отже, хімія відіграє важливу роль у *сучасній енергетиці*.

Промислове виробництво неможливе без машин та інструментів. Головними матеріалами, з яких вони виготовляються, є метали і сплави, що добуваються на основі хімічної переробки природних мінералів. Хімія дає металургії способи дослідження руд з метою визначення в них умісту потрібних металів, способи збагачення сировини і добування корисних металів, інтенсифікації металургійних процесів, способи вловлювання і переробки відходів. Так, доменні шлаки використовують для виробництва шлакоситалу — міцного й твердого матеріалу, що застосовується у будівництві. За комплексом властивостей і собівартістю він здатний конкурувати з будь-яким будівельним матеріалом. Отже, хімія має велике значення для розвитку і вдосконалення *металургії*.

Завдяки досягненням хімії виготовляються не лише металеві, а й нові матеріали — надпровідники, напівпровідники, ізолятори, які забезпечують розвиток електротехніки, радіоелектроніки, комп'ютерної техніки. *Нові матеріали* — надміцні, жаротривкі тощо використовуються в конструкціях супутників, космічних кораблів, ядерних реакторів. Великі надії покладаються на розвиток виробництва *нано-матеріалів*.

Швидкими темпами розвивається виробництво *полімерних матеріалів*: пластмас для виготовлення деталей машин і механізмів; каучуків для виготовлення шин, покришок, прокладок; ізоляційних матеріалів; синтетичних волокон, штучної шкіри та інших шкірозамінників.

Хімія має велике значення і для виробництва *харчових продуктів*. Рослинництву вона дає мінеральні та органо-мінеральні добрива, різні засоби захисту рослин від бур'янів, шкідників, хвороб; тваринництву — кормові добавки, вітаміни, лікувальні й санітарні засоби. Багато процесів харчової промисловості, яка переробляє первинні сільськогосподарські продукти, ґрунтуються на хімії — виробництво етанової кислоти, спирту, цукру, маргарину, крохмальної патоки, консервантів тощо.

Отже, хімія глибоко проникла в *сільське господарство і харчову промисловість*.

Велике значення має хімія і для *охорони здоров'я*. Продукти органічного синтезу використовуються як засоби лікування, дезінфекції, знеболювання, протезування тощо.

Завдяки таким продуктам, як парфумерні й косметичні засоби, мило і мийні засоби, розчинники, лаки, фарби, дезінфікувальні речовини, засоби для виведення плям та боротьби з побутовими паразитами і гризунами, хімія широко увійшла й у *побут людей*.

Стрімкий розвиток хімізації усіх галузей виробництва, який нині яскраво виявляється в усьому світі, змушує по-новому розуміти *соціальне значення хімії*.



Ще порівняно недавно кожний успіх у практичному освоєнні та в пізнанні хімічної дії речовини звеличувався як нове свідчення зростаючого панування людини над світом речовин, над природою і оцінювався як благодіяння людству.

А сьогодні спостерігається інша крайність: з'явилася своєрідна мода критикувати хімію, засуджувати застосування хімічних методів і продуктів. Хімізація виробництва нерідко вважається головним винуватцем загрозливого забруднення навколишнього середовища, пропагується відмова від хімізації та використання штучних і синтетичних продуктів. В обивательській свідомості хімічні продукти асоціюються з чимось протиприродним.

Водночас відомо, що хімізація як практичне використання хімічних властивостей речовин та перетворень речовини у виробництві засобів життя для людини почалася ще з давніх-давен, власне з оволодіння вогнем. Реакція горіння — це перший хімічний процес, практично освоєний людиною, що набув широкого і різноманітного застосування в житті суспільства, створенні матеріальних благ, практичному використанні речовини.

Сьогодні хімізація — це не тільки зростання виробництва і застосування речовин і матеріалів, виготовлених хімічним способом, це ще й використання хімічних властивостей речовин у виготовленні потрібних людині предметів. Елементи хімізації трапляються навіть у тих виробництвах, де переважають механічна обробка речовин і механічні операції. Наприклад, використання бетону в будівництві, просочування деревини спеціальними речовинами для зменшення горючості або гниття, що збільшує термін служби виробів і в кінцевому підсумку підвищує продуктивність праці людини.

Отже, щодо негативного впливу на навколишнє середовище і здоров'я людини, то винна не хімія сама по собі, а винні люди, які недостатньо хімічно освічені, або люди, хімічні знання яких не набули чи вже втратили свою функціональність. Такі люди, як правило, нехтують знаннями про речовини і хімічні процеси, легко порушують норми і правила їх використання, проектують виробництва без очисних споруд, закопують відходи в землю або викидають у водойми, розпилюють хімікати тощо. Своєю діяльністю вони завдають шкоди здоров'ю людей і навколишньому середовищу. Такий рівень практичної хімізації спричиняє зіткнення суспільної свідомості з цілою низкою питань хімічного, технологічного, екологічного, соціального характеру.

Завершуючи свою загальну хімічну освіту, ви, напевно, вже усвідомили діалектичну природу самої хімії, її користь і шкоду. Зрозуміли, як і чому, благом чи злом для людства і природи планети обертаються ті могутні й надзвичайно тонкі у своїй вибірковості хімічні дії речовин, що використовуються людиною. А тому в своїй практичній діяльності завжди намагайтеся реалізувати гуманістичну спрямованість хімії.

Розуміючи, що таке хімія в руках людських, завжди вдосконалюйте свої хімічні знання, пам'ятайте про їх соціальне значення.





## ПРАКТИЧНІ РОБОТИ

### Практична робота 1

#### Виконання окисно-відновних реакцій і вправ на складання їхніх рівнянь

**Дослід 1. Відмінність окисно-відновної реакції від реакції обміну.**

**Варіант I.** У дві пробірки налейте по 0,5 мл хлоридної кислоти. В одну з пробірок помістіть шматочок алюмінієвої фольги, а в другу додайте 2 краплини розчину лакмусу і по краплинах добавляйте розчин кальцій гідроксиду.

Що спостерігається у пробірках і чому?

**Варіант II.** У дві пробірки налейте по 0,5 мл розчину сульфатної кислоти. В одну з пробірок додайте трохи розчину барій гідроксиду, а в другу — шматочок магнієвої стрічки.

Що спостерігається у пробірках і чому?

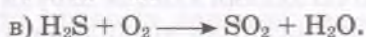
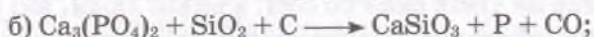
**Завдання. 1.** Виконайте досліді згідно із запропонованим варіантом і напишіть відповідні рівняння реакцій.

2. Визначте, яка з реакцій є окисно-відновною, і поясніть, чому.

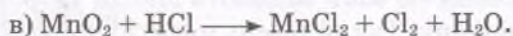
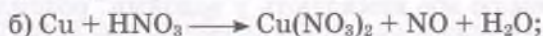
3. Для окисно-відновної реакції складіть електронні рівняння й зазначте окисник і відновник.

**Дослід 2. Складання рівнянь окисно-відновних реакцій за методом електронного балансу.**

**Варіант I**



**Варіант II**



**Завдання.** Для кожної з поданих схем окисно-відновних реакцій складіть електронні рівняння, підберіть коефіцієнти й зазначте окисник і відновник.

### Практична робота 2

#### Реакції обміну між розчинами електролітів

**Дослід 1. Реакції, що відбуваються з утворенням осаду.**

**Варіант I.** В одну пробірку налейте 1—2 мл розчину ферум(III) хлориду і додайте трохи розчину лугу. У другу пробірку налейте 1—2 мл



розчину кальцій хлориду і додайте трохи розчину натрій ортофосфату. Що спостерігається?

**Варіант II.** В одну пробірку налейте 1—2 мл розчину барій нітрату і додайте трохи розчину алюміній сульфату.

У другу пробірку налейте 1—2 мл розчину купрум(II) сульфату і додайте трохи розчину лугу. Що спостерігається?

**Завдання.** 1. Напишіть відповідні рівняння реакцій і виразіть їх у повній і скороченій йонних формах.

2. Поясніть, чому утворилися осад.

### Дослід 2. Добудьте речовини з реактивів, що є на вашому столі.

#### Варіант I

- а) Магній карбонат;
- б) мідь;
- в) натрій гідроксид;
- г) сульфур(IV) оксид.

#### Варіант II

- а) Ферум(III) гідроксид;
- б) карбон(IV) оксид;
- в) калій гідроксид;
- г) водень.

**Завдання.** Напишіть відповідні рівняння реакцій і виразіть їх у повній і скороченій йонних формах.

## Практична робота 3

### Складання йонних рівнянь

#### Дослід 1. Проведіть реакції між зазначеними речовинами.

##### Варіант I

- а) Магній хлорид і натрій ортофосфат;
- б) калій карбонат і хлоридна кислота;
- в) сульфатна кислота і магній.

##### Варіант II

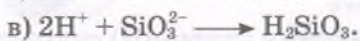
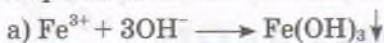
- а) Хлоридна кислота й алюміній;
- б) натрій сульфід і сульфатна кислота;
- в) барій нітрат і натрій сульфат.

**Завдання.** Напишіть відповідні рівняння реакцій і виразіть їх у повній і скороченій йонних формах.

#### Дослід 2. Проведіть реакції, що відповідають наведеним нижче схемам.

##### Варіант I

- а)  $\text{Ca}^{2+} + \text{CO}_3^{2-} \longrightarrow \text{CaCO}_3 \downarrow$
- б)  $\text{H}^+ + \text{OH}^- \longrightarrow \text{H}_2\text{O}$
- в)  $\text{SO}_3^{2-} + 2\text{H}^+ \longrightarrow \text{SO}_2 \uparrow + \text{H}_2\text{O}$ .

**Варіант II****Практична робота 4****Гідроліз солей і визначення pH середовища**

**Варіант I.** У три пробірки налейте нейтральний розчин лакмусу до  $\frac{1}{3}$  їх об'єму і додайте в кожну з пробірок по одній горошині солей: у першу — натрій карбонату, в другу — амоній хлориду, в третю — натрій нітрату.

**Варіант II.** У три пробірки налейте нейтральний розчин метило-ранжу до  $\frac{1}{3}$  їх об'єму і додайте в кожну з пробірок по одній горошині солей: у першу — калій сульфату, в другу — натрій етаноату, в третю — цинк хлориду.

**Завдання 1.** За зміною забарвлення зробіть висновок про реакцію середовища в розчині кожної солі.

2. Напишіть відповідні рівняння реакцій та виразіть їх у йонній формі.

**Практична робота 5****Якісні реакції на деякі неорганічні й органічні речовини****Варіант I**

а) Доведіть експериментально, що до складу амоній хлориду входять йони амонію та йони хлору;

б) визначте за допомогою характерних реакцій кожну з трьох запропонованих речовин: 1) фенол; 2) етаналь; 3) етанову кислоту.

**Варіант II**

а) визначте за допомогою характерних реакцій кожну з трьох запропонованих речовин: 1) гліцерол; 2) мило; 3) крохмаль (розчини);

б) доведіть експериментально наявність йонів ферум(III) та сульфат-йонів у складі ферум(III) сульфату.

**Завдання 1.** Обміркуйте послідовність дій щодо розпізнання речовин згідно із запропонованим варіантом.

2. Визначте, які реактиви та обладнання вам потрібні.

3. Напишіть відповідні рівняння реакцій; де необхідно, виразіть їх у йонній формі.

4. Зазначте характерну ознаку, за якою ви розпізнали речовину чи йон.



## ВІДПОВІДІ ДО ЗАВДАНЬ

- § 5. 4. Б; 7. А, В.  
§ 6. 4. В; 8. Г; 14. Ні. 16. Б, В; 17. Б; 18. 4.  
§ 7. 9. Г; 11.  $C_4H_{10}$ .  
§ 8. 1-Г, 2-А, 3-Б, 4-В.  
§ 9. 11. А так; Б ні; 12. А; 14. Г; 15. Б; 20. А, Г.  
§ 10. 3. Б.  
§ 11. 1. А; 15. Б.  
§ 12. 17. А, В, Г.  
§ 13. 9. А, Г. 10. Б, В; 18. А, В, Г, Е; 20.  $C_2H_4$ .  
§ 14. 2. В; 15. 89,6 л.  
§ 15. 3. А, В; 4. 1-Г, 2-А, 3-В, 4-Б; 8. В, Г, Д, Ж; 18. 1-Г, 2-Б, 3-В, 4-А, 5-Д;  
19. 10 %.  
§ 16. 14. Б, Г, Е, Є; 15. Б; 23. 60 %.  
§ 17. 10. Б; 17. Б; 18. 100,8 л.  
§ 19. 6. 1 моль.  
§ 20. 3. 1-Б, 2-Г, 3-В, 4-А; 4. 2-Б, 3-Б, В, Г; 4-Б, В, Г; 5-Б; 6-Б, Г; 7-А;  
5. 1-Б, 2-Г, 3-В; 6. До алкенів; 7. 1-Б; 2-В; 3-А; 4-Г.  
§ 21. 8. А, Е.  
§ 22. 2. А, Г. 4. 575 л.  
§ 23. 9. 1-Г, 2-Д, 3-А, 4-Б.  
§ 25. 15. 16 г; 16. 1,2 т; 17. 0,75 т.  
§ 26. 12. А; 13. Б, В, Г; 33.  $C_2H_6O$ .  
§ 27. 13. Б.  
§ 28. 16. Б; 17. 68,4 г; 18. 0,21 кг.  
§ 29. 16. А, Б. 23.  $C_3H_7CHO$ . 24. 29,3 %; 25. Г.  
§ 30. 15. Б, Г.  
§ 31. 4. 1-Б, 2-Г, 3-В, 4-Д; 12. 1-Д, 2-В, 3-Г, 4-Б; 29. 180 г безв.  $CH_3COOH$ ;  
30.  $C_3H_5COOH$ .  
§ 32. 7. 1-А, Г, 2-Б, В.  
§ 33. 21. Б.  
§ 34. 11. А.  
§ 35. 6. Б, В.  
§ 36. 8. В.  
§ 38. 8. В; 24. Г —  $ClCH_2COOH$ ; 25. 9,5 кг.  
§ 39. 4.  $C_6H_5NO_2$ .  
§ 41. 8. А.

§ 42. 4. а) 100 %; 6) 90,0 %; 10. Б.

§ 44. 11. А, Б.

§ 45. 3. Б; 11. В, Г.

§ 46. 11. А, Б, Д.

§ 51. 2. А; 3. Б, Г; 4. Б; 6. 100 г NaCl і 6,9 г Na; 8. А; 9. В; 11. В; 12. В; 13. Г; 14. Г.

§ 52. 2. Г; 3. В; 4. А; 5. А; 6. Г; 7. В.

§ 53. 4. В; 5. Г.

§ 54. 2. Б; 4. Б; 5. Калій; 6. N, Mn, Sr; 7.  $Zn^0$ ;  $Ye^{2+}$ ; 8.  $NH_3$ ; 9. Ca.

§ 55. 1. А; 6. Г; 7. А, В; 8. Б.

§ 56. 7. Б.

§ 57. 2. В; 3. Г; 6.  $KClO_4$ .

§ 59. 5.  $Na_2CO_3$ ; 10. В.

§ 61. 2. Г; 6.  $K_2Cr_2O_7$ ; 9. В.

§ 64. 1. В; 2. А; 3. Г; 4.  $m(NaCl) = 23$  г; 5.  $w(CuSO_4) = 16$  %; 6.  $\approx 0,145$  моль;  
7.  $w(NaOH) = 2,44$  %; 8.  $m(AgNO_3) = 41,5$  г.

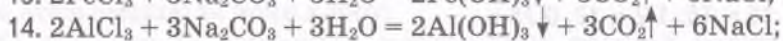
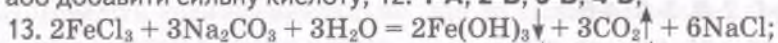
§ 65. 4. А, Б.

§ 66. 3. В; 4. В; 5. В.

§ 67. 4. В; 5. А; 8.  $\alpha$  має зростати; 9. Праворуч.

§ 68. 4. Г; 5. А; 6. В.

§ 69. 5. Г; 7. Д; 8. Б, В; 9. А, Г; 11. Підвищити температуру, розбавити розчин або додати сильну кислоту; 12. 1-А, 2-Б, 3-В, 4-Б;



$$15. K_{гидр.} = \frac{K_{H_2O}}{K_{NH_3 \cdot H_2O} \cdot K_{HCN}}; 16. \text{Кисле. } (SO_4^{2-}) = 0,0051 \text{ моль.}$$

§ 71. 4. 1570 кДж;  $v(CO_2) = 224$  л; 5;  $\Delta H = 761,6$  кДж.

§ 72. 2.  $v = 0,006$  моль/(л · с); 4. У 16 разів; 5. У 1024 рази; 6. Зменшиться у 5 разів; 7. Збільшиться у 2 рази; 8. Згідно з рівнянням реакції  $2A + B = C$  речовини А і В взаємодіють у молярному співвідношенні 2 : 1. Якщо через 10 с концентрація речовини В зменшилась на 0,02 моль/л, то концентрація речовини А — на 0,04 моль/л. Отже, початкова концентрація речовини А становила  $0,2 + 0,04 = 0,24$  моль/л.

§ 74. 3. Б, В; 4. Б; 5. Зменшити тиск. 6. Рівновага зміщується у бік утворення бромоводню зі зниженням температури й підвищенням концентрації реагентів.

§ 75. 4.  $w(CH_3COOH) = 30$  %;  $w(C_6H_5OH) = 28,2$  %; 5.  $m(Cu) = 24$  г;  $m(Fe) = 21$  г; 6.  $m(BaSO_4) = 23,3$  г; 7. А — Al; Б —  $H_2$ ; В —  $AlCl_3$ ; Г —  $Na_3[Al(OH)_6]$ .



## Розчинність основ, кислот, амфотерних гідроксидів і солей у воді (за температури 20—25 °С)

Катіон Аніон	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>
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	м	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

Умовні позначення:

«р» — розчинна речовина (розчинність понад 1 г речовини в 100 г води);

«м» — малорозчинна речовина (розчинність від 1 г 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 реагує з водою (її розчинність визначити неможливо).

## Відносні молекулярні маси (округлені) деяких органічних речовин

Органічні речовини	Радикали	$-\text{CH}_3$ (15)	$-\text{C}_2\text{H}_5$ (29)	$-\text{C}_3\text{H}_7$ (43)	$-\text{C}_4\text{H}_9$ (57)	$-\text{C}_5\text{H}_{11}$ (71)	$-\text{C}_6\text{H}_5$ (77)
Вуглеводні:							
алкани	$\text{H}(\text{I})$	16	30	44	58	72	78
алкени	$\text{CH}_2=\text{CH}-$ (27)	42	56	70	84	98	104
алкіни	$\text{CH}\equiv\text{C}-$ (25)	40	54	68	82	96	102
Галогенопохідні вуглеводнів							
	$\text{Cl}-$ (35,5)	50,5	64,5	78,5	92,5	106,5	112,5
	$\text{Br}-$ (80)	95	109	123	137	151	157
	$\text{I}-$ (127)	142	156	170	184	198	204
Ароматичні вуглеводні	$\text{C}_6\text{H}_5-$ (77)	92	106	120	134	148	154
Спирти і феноли	$\text{OH}-$ (17)	32	46	60	74	88	94
Етери	$\text{CH}_3-\text{O}-$ (31)	46	60	74	88	102	108
	$\text{C}_2\text{H}_5-\text{O}-$ (45)	60	74	88	102	116	122
Альдегіди	$-\text{CHO}$ (29)	44	58	72	86	100	106
Карбонові кислоти	$-\text{COOH}$ (45)	60	74	88	102	116	122
Нітросполуки	$-\text{NO}_2$ (46)	61	75	89	103	117	123
Аміни:							
первинні	$-\text{NH}_2$ (16)	31	45	59	73	87	93
вторинні	$\text{CH}_3\text{NH}-$ (30)	45	59	73	87	101	107

Примітка. В дужках наведено відносні молекулярні маси алкільних та фенільної груп.



Відносні молекулярні маси (округлені) деяких неорганічних речовин

Катіон Аніон	H <sup>+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Ag <sup>+</sup>	Ba <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Zn <sup>2+</sup>	Mn <sup>2+</sup>	Cu <sup>2+</sup>	Pb <sup>2+</sup>	Hg <sup>2+</sup>	Fe <sup>2+</sup>	Fe <sup>3+</sup>	Al <sup>3+</sup>	Cr <sup>3+</sup>
O <sup>2-</sup>	18	—	94	62	232	153	56	40	81	71	80	223	217	72	160	102	152
OH <sup>-</sup>	18	35	56	40	—	171	74	58	99	89	98	241	—	90	107	78	103
Cl <sup>-</sup>	36,5	53,5	74,5	58,5	143,5	208	111	95	136	126	135	278	272	127	162,5	133,5	158,5
Br <sup>-</sup>	81	98	119	103	188	297	200	184	225	215	224	367	361	216	296	267	292
I <sup>-</sup>	128	45	166	150	235	391	294	278	319	309	—	461	455	210	—	408	433
S <sup>2-</sup>	34	68	110	78	248	169	72	56	97	87	96	239	233	88	208	150	200
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	63	80	101	85	170	261	164	148	189	179	188	331	325	180	242	213	238
SO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	82	116	158	126	296	217	120	104	145	135	—	287	281	136	—	—	—
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	98	132	74	142	312	233	136	120	161	151	160	303	297	152	400	342	392
CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	62	96	138	106	276	197	100	84	125	115	124	267	—	116	—	—	—
SiO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	78	112	154	122	292	213	116	100	141	131	140	283	277	132	—	—	—
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	98	149	212	164	419	601	310	262	385	355	382	811	793	358	151	122	147
CH <sub>3</sub> COO <sup>-</sup>	60	77	98	82	167	255	158	142	183	173	182	325	319	174	—	204	229

## ІМЕННИЙ ПОКАЖЧИК

Авогадро А. 280, 281  
Аррениус С. 329  
Байер А. 56  
Бертло П. Е. 12, 188  
Бертолле К. Л. 277  
Берцелиус Й. Я. 11  
Богатський О. В. 100  
Бутлеров О. М. 15  
Ван-дер-Ваальс Й. Д. 312  
Велер Ф. 11  
Вюрц Ш. А. 47  
Гей-Люссак Ж. Л. 279  
Горбачевський І. Я. 13  
Дальтон Дж. 279  
Ейнштейн А. 276  
Зелінський М. Д. 92  
Зінін М. М. 224  
Каблуков І. О. 330  
Кекуле Ф. А. 14, 87  
Кіпріанов А. І. 225  
Кірсанов О. В. 100  
Кістяківський В. О. 330  
Кольбе А. 12

Коновалов М. І. 45  
Купер А. 14  
Курнаков М. С. 277  
Кучеров М. Г. 165  
Кюри П. 290  
Лавуазьє А. 275  
Ломоносов М. В. 275, 276  
Майєр Ю. Р. 276  
Марковников В. В. 68  
Менделєєв Д. І. 114, 288, 292, 315, 325  
Полінг Л. 298, 299  
Резерфорд Е. 289  
Реформатський С. М. 12  
Сабатьє П. 114  
Склодовська-Кюри М. 290  
Томсон Дж. 290  
Фарадей М. 399  
Фішер Е. Г. 234  
Франкленд Е. 14  
Чедвік Дж. 289  
Шеврель М. 187  
Шилов Е. О. 44



## ПРЕДМЕТНИЙ ПОКАЖЧИК

- Адамантан 59  
Аденозинтрифосфат 244  
Аерозоль 323  
Азотисті основи 240  
Акцептор  
Алкадієни 72  
Алкани 26  
Алканолати 140  
Алкени 60, 62  
Алкільні замісники 30  
Алкіни 77  
Алкоголь 144  
Альдегіди 159, 161  
Амілоза 207  
Амілопектин 207  
Аміни 217  
Амінокислоти 229  
Амфоліти 331  
Амфотерність 332  
Ангідриди 174  
Анілін 154  
Аніон 330  
Анод 330  
Антрацен 101  
Арени 86  
Ароматизація 91, 122  
Аспірин 186  
Атом  
— збуджений стан 22, 302, 303, 315  
— модель будови 291  
— радіус 297  
Ацетати 173  
Ацетилен 77, 83  
Ацетиленіди 82  
Ацетон 159  
  
Барвники анілінові 224  
Бензен 86  
Бензин 121  
Бертоліди 277  
Білки 234  
— кольорові реакції 237  
— структура (див. Структура білків)  
Біодизель 193  
Біоетанол 214  
Біотехнологія 238  
Біполярний йон 231  
Будова молекул  
— зигзагоподібна 32  
— кутова 307  
— лінійна 306  
— нормальна (нерозгалужена) 29  
— пірамідальна 307  
— просторова 63  
— тетраедрична 21, 307  
Бутадиєн 72  
Бутан 26, 48  
Бутанол 136  
  
Валентність 315—317  
Взаємний вплив атомів 15, 94, 155, 222  
Взаємодія  
— вандерваальсова 311, 313  
— донорно-акцепторна 303, 304  
Вихід продукту 285  
Вітамін А 35  
Водневий показник 339  
Волокна 257  
— натуральні 257  
— синтетичні 257, 258  
— штучні 212, 257  
Вугілля кам'яне 126  
Вуглеводи 195  
Вуглеводні 21  
— ароматичні 86  
— насичені 21  
— ненасичені 60, 72, 77  
Вулканізація 75  
  
Газ  
— біогаз 35  
— болотний 35  
— коксовий 127  
— природний 114  
— рудниковий 35  
— супутній 115  
— чадний 42  
Газойль 121  
Галогенопохідні (галогеноалкани) 43, 51  
Гас 121  
Гексан 26  
Гексахлоробензен 99  
Гексахлороциклогексан (гексахлоран) 99  
Генетичний зв'язок 20, 262, 363  
Гептан 26  
Гетероциклічні сполуки 106  
Гібридизація електронних орбіталей 22, 61, 77, 82, 109, 134, 159, 219, 305—307  
Гідрати 324  
Гідроліз солей 341  
Глікоген 209  
Гліцерол 147, 150  
Глюкоза 196  
Гомологи 26  
Група функціональна  
— альдегідна 159  
— гідроксильна 133  
— естерна 183

- карбоксильна 168
- карбонільна 159
- пептидна 232
- Гума 76
- Гутаперча 75
- Дальтоніди 277
- Дезоксирибоза 201
- Декан 26
- Декстрини 208
- Делокалізація електронів 72, 88
- Денатурат 144
- Денатурація білків 236
- Детонація 123
- Дивініл 72
- Димер 169
- Динаміт 94
- Дипептид 232
- Дипольний момент 25
- Дисоціація
  - води 338
  - електролітична 329, 330
  - карбонових кислот 171
- Дисперсна система 322
- Дифлуоридхлорометан 53
- Дихлороетан 68
- Дихлорометан 43, 53
- Довжина зв'язку 24, 25
- Ебоніт 76
- Електроліти
  - сильні 334
  - слабкі 335
- Електронегативність 82, 298, 299
- Елементи *s*, *p*, *d*, *f* 294
- Емульсія 323
- Енергія
  - внутрішня 350
  - зв'язку 23, 25
  - йонізації 297
  - спорідненості до електрона 298
  - спряження 73, 88
- Ентальпія 350
- Естери 174, 183, 184
- Етан 26
- Етанолат 140
- Етанол (етиловий спирт) 135, 136, 143
- Етен 60, 62
- Етери 142
- Етил 30
- Етилен 60
- Етиленгліколь 147, 150
- Жири 187
  - рідкі 187
  - тверді 187
- Закон Авогардо 279—281
  - Бутлерова 16
  - дії мас 337, 353
  - збереження енергії 276
  - збереження маси 275
  - об'ємних відношень 279
  - періодичний 288, 291
  - сталості складу 277, 278
- Заряд частковий 24
- Зв'язок
  - водневий 137, 312, 313
  - йонний 308—310
  - ковалентний 23, 300—307
  - металічний 310, 311
  - пептидний 232
  - подвійний 60
  - полуторний 88
  - полярний (*див.* Полярність зв'язку)
  - потрійний 77
  - спряжений 72
  - хімічний 301
- Золь 323
- Ізобутан 17
- Ізомери 17
- Ізомерія
  - міжгрупова 63, 78, 218
  - міжкласова 78, 171
  - просторова (стереоізомерія) 63
  - оптична 201, 229
  - *-цис*, *-транс* 63, 75
  - структурна 27, 51, 62, 78, 135, 160, 171, 218, 229
- Ізооктан 123
- Ізопрен 75
- Інгібітори 353
- Індиго 108
- Індукційний ефект 52
- Йодоформ 54
- Йони
  - гідроксонію 330
  - розмір 297
- Йонний добуток води 338
- Кам'яновугільна смола (*див.* Смола кам'яновугільна)
- Капрон 258
- Карбід 81
- Карбін 82
- Карбокатіон 67
- Каталіз 356
- Каталізатори 356
  - отруєння 359, 360
  - селективність 357
- Катіони 330



- Катод 330  
 Каучук  
   — натуральний 73  
   — синтетичний 255  
 Кетони 159, 161  
 Кислота  
   — акрилова 178  
   — бензойна 96, 179  
   — глюконова 198  
   — елаїдинова 178  
   — етанова 170, 176  
   — карболова 155  
   — карбонова 168  
   — мурашина (форміатна) 170, 176  
   — нуклеїнова (*див.* Нуклеїнові кислоти)  
   — олеїнова 178  
   — оцтова (*див.* етанова)  
   — пальмітинова 177  
   — пікринова 156  
   — саліцилова 186  
   — стеаринова 177  
   — фталева 179  
   — хлороетанова 171  
   — щавлева 171  
 Клітковина 209  
 Коагуляція 324  
 Кокс 126  
 Коксова піч 126  
 Коксування 126  
 Комірки  
   — квантові (енергетичні) 294  
 Конформація (і)  
   — алканів 30  
   — загальмована 31  
   — затінена 31  
   — циклоалканів 56  
 Концентрація молярна 327  
 Кофеїн 107  
 Крекінг 43, 120  
 Кристали  
   — йонні 309  
   — металу 311  
   — молекулярні 309  
 Кристалогідрати 324  
 Крохмаль 207  
 Мазут 121  
 Маргарин 190  
 Метан 21, 26, 48  
 Метаналь 161, 165  
 Метанол 134 136, 143  
 Метил 30  
 Метод електронного балансу 320  
 Механізм реакції  
   — галогенування 43  
   — гетеролітичний 347, 348  
   — гомолітичний 348, 349  
   — приєднання 66  
 Мийні засоби синтетичні 192  
 Мило 187, 192  
 Моделі молекул 28, 30  
 Моносахариди 196  
 Нафта 116  
   — перегонка (*див.* Перегонка нафти)  
 Нафтален 101  
 Нафтени 57  
 Нафтопродукти 121, 123  
 Нафтохімія 122  
 Неелектроліти 329  
 Нікотин 107  
 Нітробензен 90  
 Нітрогліцерин 151  
 Нітродетан 216  
 Нітросполуки 216  
 Новокаїн 226  
 Номенклатура  
   — алкадієнів 72  
   — алканів 29  
   — алкенів 64  
   — алкінів 79  
   — альдегідів 160  
   — амінів 218  
   — амінокислот 229  
   — аренів 94  
   — вуглеводів 196  
   — галогенопохідних алканів 52  
   — естерів 183  
   — карбонових кислот 169  
   — кетонів 160  
   — спиртів 136  
   — циклоалканів 56  
 Нонан 26  
 Нуклеїнові кислоти 240  
   — дезоксирибонуклеїнова 240  
   — рибонуклеїнова 240  
   — структура 241  
 Нуклеозид 241  
 Нуклеотид 241  
 Об'єм газу молярний 280  
 Озокерит 49  
 Октан 26  
 Октанове число 123  
 Олія 187  
 Орбіталь електронна 22, 289  
   — гібридна 22, 305  
 Орієнтація замісників 95  
 Панадол 227  
 Парафін 48

- Парафіни 42
- Парниковий ефект 128
- Патока 208
- Пентан 26
- Перегонка нафти 118, 121
- Пестициди 99
- Піна 323
- Піридин 106
- Піримідинові основи 240
- Піроксилін 212
- Піроліз 43, 83
- Пластмаси 250
  - феноло-формальдегідні 254
- Подвійна спіраль ДНК 242
- Поліетилен 251
- Полієн 82
- Полімери 246
  - термопластичні 249
  - термореактивні 249
- Поліметилметакрилат 253
- Поліпептид 232
- Поліпропілен 252
- Полістирол 253
- Поліхлорвініл 252
- Полярність зв'язку 24
- Правило Вант-Гоффа 355
  - Гунда 295, 296
  - Зайцева 142
  - Марковникова 68
- Принцип
  - Гейзенберга 288
  - комплементарності 242
  - Ле Шательє 335, 336, 361, 362
  - найменшої енергії 295
  - Паулі 295
- «Провалювання» електрона 393
- Пропан 26, 48
- Пропанол 136
- Пропанон (ацетон) 161, 166
- Пропен 62
- Пропіл 30
- Просторова напрямленість зв'язку 23
- Пуринові основи 240
- Радикали 44, 246**
- Реакція (ї)**
  - алкадієнів 74
  - алканів 41
  - алкенів 65
  - алкінів 80
  - альдегідів 163
  - амінів 220
  - амінокислот 231
  - бензену 90
  - глюкози 198
  - карбонових кислот 172
  - кетонів 163
  - крохмалю 209
  - піридину 110
  - сахарози 204
  - спиртів 140
  - фенолу 154
  - целюлози 212
  - циклоalkanів 58
- Реакція**
  - бродіння 199
  - Вагнера 66, 150
  - Вюрца 47
  - Вюрца—Фіттіга 97
  - галогенування 43, 91
  - гетерогенна 348, 349
  - гетеролітична 381
  - гідратації 143
  - гідролізу 237
  - гідрування 102, 190
  - гомогенна 347
  - гомолітична 381
  - Густавсона 58
  - дегідратації 69, 141
  - дегідрогалогенування 69, 84
  - дегідродіклятизації 91, 97
  - дегідрування 69
  - диспропорціонування 348
  - екзотермічна 350
  - ендотермічна 350
  - естерифікації 174, 184, 212
  - заміщення 43, 346
    - електрофільне 91, 155
  - Зініна 223
  - ізомеризації 45, 65, 121
  - йодокрохмальна 209
  - каталітична 356
  - Коновалова 45
  - Кучерова 165
  - ланцюгова 45
  - необоротна 339
  - нітрування 45, 91
  - обміну 346
  - оборотна 361
  - окисно-відновна 317—321
  - омилення 150, 190
  - перегрупування 347
  - поліконденсації 164, 247
  - полімеризації 164, 246
  - приєднання
    - електрофільне 66
  - Рамзая 111
  - розкладу 344
  - сполучення 345
  - сульфування 91
  - «срібного дзеркала» 162, 198
  - Фріделя—Крафтса 97



- Ректифікат 144  
 Ректифікація 119  
 Ремантадин 59  
 Реплікація 243  
 Рибоза 201  
 Риформінг 122  
 Рівень енергетичний 293  
   — підрівень 294  
 Рівні структурної організації речовин 262  
 Рівновага хімічна 361  
 Рівняння  
   — Ейнштейна 276  
   — електронне 284  
   — йонне 284  
   — кінетичне 354  
   — молекулярне 284  
   — стехіометричне 284, 285  
   — термохімічне 284, 350  
   — хімічне 284  
 Розрив зв'язку  
   — гетеролітичний 67, 348  
   — гомолітичний 44, 348  
 Розчини  
   — істинні 324  
   — кислі 339  
   — колоїдні 322  
   — лужні 339  
   — нейтральні 338  
 Розчинність 325  
   — коефіцієнт 326  
 Сажа 48  
 Сахароза 204  
 Сечовина 12  
 Синтетичні мийні засоби (див. Мийні засоби синтетичні)  
 Синтез-газ 47  
 Смог фотохімічний 129  
 Смола кам'яновугільна 127  
 Сольватація 330  
 Сольвати 324  
 Спектроскопія  
   — ІЧ 38  
   — ЯМР 39  
 Спирти  
   — багатоатомні 147  
   — вторинні 124  
   — одноатомні 123  
   — первинні 124  
   — третинні 124  
 Спряжена електронна система 72, 88  
 Стеарин 182  
 Стерохімія 19  
 Стрептоцид 226  
 Структура білків 235  
 Структурна формула (див. Формула структурна)  
 Ступінь  
   — дисоціації 334  
   — окиснення 317—321  
   — полімеризації 247  
 Теорія 13  
   — Гіллеспі 307  
   — хімічної будови 15  
 Тепловий ефект реакції 350  
 Тетрахлорометан 43, 53  
 Тефлон 254  
 Толуен 94, 97  
 Тринітрогліцерин 150  
 Тринітролуен (тротил) 97  
 Трипептид 232  
 Тристеарин 190  
 Трихлорометан 43, 53  
 Тріюли 147  
 Уротропін 165  
 Фенантрен 101  
 Фенол 153  
 Формалін 165  
 Формула хімічна  
   — електронна 293, 294  
   — структурна 15, 314  
 Фотосинтез 195  
 Фреон 53  
 Фруктоза 200  
 Хімічна будова 15  
 Хлороангідриди  
 Хлороетан 53  
 Хлорометан 43  
 Хлорофіл 107  
 Хлороформ 53  
 Целофан 213  
 Целулоїд 212  
 Целюлоза 209  
 Циклоалкани 55  
 Цукор 205  
 Частка  
   — масова 326  
   — об'ємна 327  
 Швидкість реакції 351, 352  
 Шовк штучний 212

Навчальне видання

**ВЕЛИЧКО Людмила Петрівна**  
**БУРИНСЬКА Ніна Миколаївна**

## **ХІМІЯ**

Підручник для 11 класу  
загальноосвітніх навчальних закладів

**Профільний рівень**

*Рекомендовано Міністерством освіти і науки України*

Відповідальний за випуск **Ю. О. Корбуш**  
Редактор **О. А. Корбуш**  
Дизайн обкладинки **І. П. Медведовської**  
Комп'ютерна верстка **І. А. Чурикової**

Підписано до друку 15.07.2013. Формат 70х100/16. Папір офсет.  
Гарнітура Шкільна. Друк офсет. Умов. друк. арк. 31,2.  
Тираж 3 000 пр. Зам. № 13-304.

Виготовлено згідно із СОУ 22.2-02477019-07:2012

Учбово-видавничий центр «Школяр»,  
02094, Київ, вул. Сергієнка, 18  
Свідцтво ДК № 360 від 14.03.2001 р.

Тел.: (044) 599-64-48, 067-209-60-88  
[www.shkolyar.com.ua](http://www.shkolyar.com.ua)  
E-mail: [shkolyar\\_info@ukr.net](mailto:shkolyar_info@ukr.net)

Віддруковано на ПАТ «Білоцерківська книжкова фабрика»,  
09117, м. Біла Церква, вул. Леся Курбаса, 4.  
Свідцтво серія ДК № 4063 від 11.05.2011р.  
Впроваджена система управління якістю  
згідно з міжнародним стандартом DIN EN ISO 9001:2000

---

Права авторів та видавничі права УВЦ «Школяр» захищені Законом України «Про авторське право і суміжні права» від 23.12.1993 р. (зі змінами від 11.07.2001 р.).

Друковане копіювання книжки або її частини, будь-які інші контрафактні видання тягнуть за собою відповідальність згідно зі ст. 52 цього Закону.

---