

ВИДАВНИЦТВО
РАНОК

Олексій Григорович



НАВЧАННЯ
БЕЗ МЕЖ

ХІМІЯ

РІВЕНЬ СТАНДАРТУ

10

КЛАС



Олексій Григорович

«Хімія (рівень стандарту)»

підручник для 10 класу закладів загальної середньої освіти

Видавництво «Ранок»

Створено відповідно до навчальної програми
«Хімія. 10–11 класи. Рівень стандарту»
для закладів загальної середньої освіти

Олексій Григорович

ХІМІЯ

10

КЛАС

Рівень стандарту

Підручник для 10 класу
закладів загальної середньої освіти

2-ге видання, оновлене

Рекомендовано
Міністерством освіти і науки України



rnk.com.ua/103112

*Електронний
інтерактивний
додаток до підручника*

Харків
Видавництво «Ранок»
2023

Країна, що випереджає решту світу в хімії,
буде також попереду в багатстві і процвітанні.

*Вільям Ремзі,
лауреат Нобелівської премії з хімії 1904 р.*

Шановні десятикласники та десятикласниці!

У цьому навчальному році у вас є чудова нагода поринути в дивовижний світ органічної хімії. Ви вже здобули первинні знання про органічні речовини, але цього року ви ознайомитеся з основними закономірностями у властивостях органічних речовин та дізнаєтеся про взаємозв'язок між будовою молекул органічних речовин та їхніми хімічними й фізичними властивостями. Як ви прочитали в епіграфі, життя взагалі пов'язане з хімічними речовинами. Дивовижно, але всі наші відчуття забезпечуються саме хімічними реакціями. Знання з органічної хімії дають можливість отримати сучасні ліки, фарби, пластмаси тощо. Створено нові, неіснуючі в живій природі органічні речовини, що забезпечують роботу сучасних приладів: від смартфонів до космічних апаратів.

Цей підручник — ваш головний помічник у вивченні хімії. Він містить увесь матеріал, який вам буде необхідний у 10 класі. Кожний параграф закінчується ключовою ідеєю і практичним блоком, який складається з різноманітних запитань і завдань.

У кінці підручника є алфавітний покажчик та відповіді до розрахункових задач.

Умовні позначення



— важлива інформація,
яку необхідно запам'ятати;



— рубрика «Дізнайтеся більше»;



— рубрика «Цікавий факт»;



— рубрика «Хімія
навколо нас»;



— демонстраційний дослід;



— ключова ідея параграфа;



— контрольні запитання;



— завдання для засвоєння
матеріалу.

§ 1. Повторення початкових понять про органічні речовини

Органічна хімія та органічні речовини

На початку становлення органічної хімії як науки органічними вважали ті речовини, що утворювалися в живих організмах. Саме звідси й пішла назва «органічні». Але сьогодні відомо багато органічних речовин, що не належать до живої природи, наприклад, поліетилен, більшість ліків тощо. У ході вивчення органічних речовин виявилось, що між ними та неорганічними речовинами немає чіткої межі. Однією із суттєвих ознак органічних речовин є те, що вони обов'язково містять атоми Карбону, тому найбільш поширеним визначенням органічної хімії є:



Органічна хімія — це розділ хімії, що вивчає сполуки Карбону, їхні властивості та методи одержання.

Головне завдання органічної хімії сформулював ще 1853 року Ш. Жерар: одержання органічних речовин поза життєдіяльністю організмів. Так, сьогодні не можна уявити наше життя без органічних сполук: майже все навколо нас і ми самі складаємося із численних різноманітних речовин (мал. 1.1).

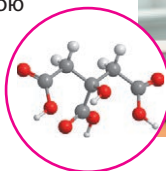
Основні ознаки органічних сполук:

- складаються з атомів Карбону, Гідрогену, часто містять Нітроген, Оксиген (елементи-органогени), хоча можуть містити атоми й інших елементів;
- атоми Карбону в молекулах сполучені один з одним в карбонові ланцюги;

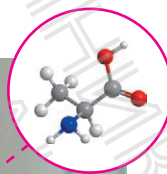
Кофеїн — органічна нітрогеновмісна сполука



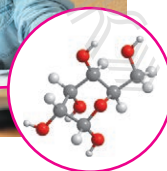
Апельсин та інші фрукти містять лимонну кислоту, яка є органічною сполукою



Волосся складається з білків, які утворені амінокислотами



Одяг і папір складаються із целюлози, яка є полімером глюкози



Мал. 1.1. Органічні сполуки навколо нас

- між атомами в молекулах переважно ковалентні зв'язки;
- більшість органічних речовин мають молекулярну будову, тому для них характерні порівняно низькі температури плавлення й кипіння;
- більшість не розчиняються у воді, є леткими рідинами або легкоплавкими твердими речовинами, багато з них газуваті за звичайних умов;
- розчинні у воді сполуки зазвичай є неелектролітами;
- переважно є горючими речовинами;
- за нагрівання вище 300°C зазвичай розкладаються.

Серед органічних речовин виділяють багато різних груп та класів, тому їхня класифікація є досить складною, детальніше це питання ми розглянемо в параграфі 3. Але за елементним складом серед органічних сполук можна виділити три великі групи:

- *вуглеводні* — речовини, що складаються лише з атомів Карбону й Гідрогену;
- *оксигеновмісні сполуки* — речовини, молекули яких, окрім Карбону й Гідрогену, містять атоми Оксигену;
- *нітрогеновмісні сполуки* — органічні речовини, у молекулах яких наявні атоми Нітрогену.

Метан та його гомологи — насичені вуглеводні

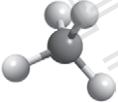
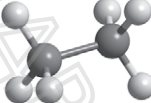
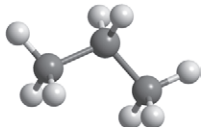
Найпростішою органічною речовиною є метан CH_4 . Він також є першим членом *гомологічного ряду алканів* із загальною формулою $\text{C}_n\text{H}_{2n+2}$, де n — число атомів Карбону в молекулі. У 9 класі ви вже ознайомилися з назвами десяти перших представників ряду (табл. 1). Назви гомологів метану є основою систематичної номенклатури органічних сполук, тому важливо їх пам'ятати.

Таблиця 1. Перші десять представників алканів

Число атомів Карбону n	Молекулярна формула	Назва	Число атомів Карбону n	Молекулярна формула	Назва
1	CH_4	Метан	6	C_6H_{14}	Гексан
2	C_2H_6	Етан	7	C_7H_{16}	Гептан
3	C_3H_8	Пропан	8	C_8H_{18}	Октан
4	C_4H_{10}	Бутан	9	C_9H_{20}	Нонан
5	C_5H_{12}	Пентан	10	$\text{C}_{10}\text{H}_{22}$	Декан

Молекулярні формули відображають лише якісний і кількісний склад речовин. Набагато важливіше знати не молекулярні формули органічних сполук, а структурні, оскільки саме будова молекули речовини визначає її властивості.

Під час складання структурних формул алканів спочатку зображують ланцюг з атомів Карбону. Потім дописують символи атомів Гідрогену так, щоб Карбон був чотиривалентний.

	метан	етан	пропан
Молекулярна формула:	CH_4	C_2H_6	C_3H_8
Структурна формула:	$\begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{H}-\text{C}-\text{H} \\ \\ \text{H} \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \\ \quad \\ \text{H}-\text{C}-\text{C}-\text{H} \\ \quad \\ \text{H} \quad \text{H} \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \\ \quad \quad \\ \text{H}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{H} \\ \quad \quad \\ \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \end{array}$
Скорочена структурна формула:	CH_4	CH_3-CH_3	$\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CH}_3$
Модель молекули:			

Основні властивості метану та його гомологів наведено в таблиці 2.

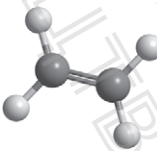
Таблиця 2. Фізичні й хімічні властивості метану та його гомологів

Фізичні властивості	Хімічні властивості
• CH_4 — C_4H_{10} — гази без запаху • C_5H_{12} — $\text{C}_{16}\text{H}_{34}$ — рідини зі специфічним запахом • $\text{C}_{17}\text{H}_{36}$ — C_∞ — тверді, без запаху, жирні на дотик • безбарвні • зі збільшенням числа атомів Карбону підвищуються температури плавлення й кипіння • неполярні, нерозчинні у воді	• <i>Горіння:</i> $\text{C}_5\text{H}_{12} + 8\text{O}_2 \rightarrow 5\text{CO}_2 + 6\text{H}_2\text{O}$ • <i>галогенування</i> — взаємодія з галогенами (Cl_2 та Br_2) за освітлення або нагрівання: $\text{CH}_4 + \text{Cl}_2 \xrightarrow{h\nu} \text{CH}_3\text{Cl} + \text{HCl}$

Етен та етин — ненасичені вуглеводні

Етен та етин — ненасичені вуглеводні, оскільки атоми Карбону в їхніх молекулах сполучені кратним зв'язком. Тому для цих сполук характерні реакції приєднання. Основні характеристики та властивості етену й етину наведено в таблиці 3.

Таблиця 3. Характеристики та властивості етену й етину

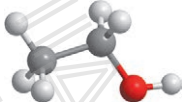
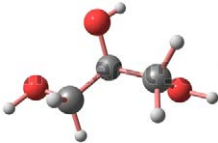
Характеристика	Етен	Етин
Молекулярна формула	C_2H_4	C_2H_2
Структурна формула	$\begin{array}{c} H & & H \\ & \diagdown & / \\ & C = C \\ & / & \diagdown \\ H & & H \end{array}$	$H-C \equiv C-H$
Скорочена структурна формула	$CH_2=CH_2$	$CH \equiv CH$
Модель молекули		
Фізичні властивості	• Газуваті за звичайних умов • безбарвні • погано розчиняються у воді, але добре розчиняються в органічних розчинниках • етен має слабкий солодкуватий запах, а етин не має запаху	
Хімічні властивості	• Горіння: $C_2H_4 + 3O_2 \rightarrow 2CO_2 + 2H_2O$	
	$2C_2H_2 + 5O_2 \rightarrow 4CO_2 + 2H_2O$	
	• гідрування (гідрогенізація) — приєднання водню — відбувається за нагрівання та наявності каталізатора:	
	$C_2H_4 + H_2 \xrightarrow{t, Ni} C_2H_6$	$\begin{array}{l} C_2H_2 + H_2 \xrightarrow{t, Ni} C_2H_4 \\ C_2H_2 + 2H_2 \xrightarrow{t, Ni} C_2H_6 \end{array}$
	• галогенування — приєднання галогенів Cl_2 або Br_2 — відбувається за звичайних умов:	
	$C_2H_4 + Cl_2 \rightarrow C_2H_4Cl_2$	$\begin{array}{l} C_2H_2 + Cl_2 \rightarrow C_2H_2Cl_2 \\ C_2H_2 + 2Cl_2 \rightarrow C_2H_2Cl_4 \end{array}$

Етанол, метанол, гліцерол — представники спиртів

Спирти — це органічні сполуки, що містять одну або декілька гідроксильних груп -OH , сполучених із насиченим атомом Карбону.

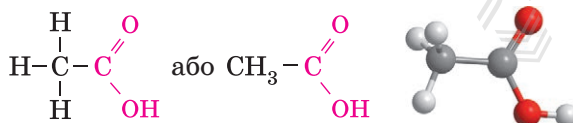
У назвах спиртів наявність гідроксильної групи позначають суфіксом *-ол-*. Характеристики деяких спиртів наведено в таблиці 4.

Таблиця 4. Характеристика та фізичні властивості деяких спиртів

Характеристика	Метанол, або метиловий спирт	Етанол, або етиловий спирт	Гліцерол, або пропантриол
Молекулярна формула	CH_3OH	$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$	$\text{C}_3\text{H}_8\text{O}_3$, або $\text{C}_3\text{H}_5(\text{OH})_3$
Структурна формула	$\text{CH}_3\text{-OH}$	$\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-OH}$	$\begin{array}{c} \text{CH}_2\text{-CH-CH}_2 \\ \quad \quad \\ \text{OH} \text{ OH} \text{ OH} \end{array}$
Модель молекули			
Фізичні властивості	• Безбарвні рідини • леткі • густина менша за воду • необмежено розчиняються у воді • у них розчиняються багато інших органічних речовин • отруйні		• Безбарвна сиропоподібна рідина • нелеткий • густина більша за воду • необмежено розчиняється у воді • дуже в'язкий • без запаху • гігроскопічний

Етанова кислота — представник карбонових кислот

Етанова кислота належить до класу карбонових кислот, оскільки в її молекулах наявна карбоксильна група -COOH :



Властивості етанової кислоти наведено в таблиці 5.

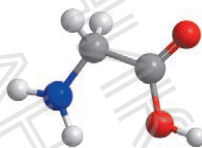
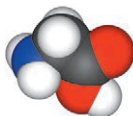
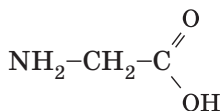
Таблиця 5. Фізичні й хімічні властивості етанової кислоти

Фізичні властивості	Хімічні властивості
- Безбарвна рідина за кімнатної температури - летка - гігроскопічна - густина більша за воду - необмежено розчиняється у воді - має характерний різкий запах - їдка, концентрована етанова кислота спричиняє хімічний опік	У водному розчині незначно дисоціює (є слабкою кислотою), у її розчинах індикатори змінюють забарвлення: $\text{CH}_3\text{--COOH} \rightleftharpoons \text{CH}_3\text{--COO}^- + \text{H}^+$ Як і більшість неорганічних кислот, взаємодіє: - з металами: $2\text{CH}_3\text{COOH} + \text{Zn} \rightarrow \text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2 + \text{H}_2\uparrow$ - з основними оксидами: $2\text{CH}_3\text{COOH} + \text{MgO} \rightarrow \text{Mg}(\text{CH}_3\text{COO})_2 + \text{H}_2\text{O}$ - з лугами: $\text{CH}_3\text{COOH} + \text{NaOH} \rightarrow \text{CH}_3\text{COONa} + \text{H}_2\text{O}$ - із солями слабших кислот: $2\text{CH}_3\text{COOH} + \text{Na}_2\text{CO}_3 \rightarrow 2\text{CH}_3\text{COONa} + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2\uparrow$

Аміноетанова кислота

Величезне значення для життя на Землі мають органічні кислоти, у молекулах яких, окрім карбоксильної групи --COOH , є аміногрупа --NH_2 . Такі сполуки називають *амінокислотами*.

Найпростіша амінокислота — аміноетанова, її також називають амінооцтовою кислотою, або гліцином:



Більшість амінокислот є розчинними у воді безбарвними кристалічними речовинами, трохи солодкими на смак. Певна група амінокислот є «будівельним матеріалом» для синтезу білків у живих організмах.

Амінокислоти також застосовують і як індивідуальні речовини. Наприклад, амінокислоту гліцин у складі фармацевтичних препаратів використовують як нейромедіатор, що сприяє передачі нервових імпульсів. А суміші різних амінокислот містяться в коктейлях для спортивного харчування.

Застосування деяких органічних сполук

Великі обсяги вуглеводнів використовують як паливе: бензин, газ, дизельне паливо, авіаційний бензин, мазут. Із насичених вуглеводнів хімічними перетвореннями одержують багато цінних речовин: синтетичні мийні засоби, розчинники, холодоагенти для холодильників, пластмаси, каучуки тощо.

Етен використовують для одержання інших цінних продуктів хімічної промисловості: поліетилену, вибухових речовин, антифризів, етанолу тощо.

Етин використовують в ацетиленових пальниках для газозварювання, а також для одержання синтетичного каучуку, лакофарбових матеріалів, синтетичних барвників, етанової кислоти тощо.

У побуті використовують не чистий **етанол**, а спиртовмісні засоби: рідини для миття вікон, склоочисні рідини, антифризи для автомобілів, лосьйони, парфуми тощо. **Метанол** у побуті взагалі не використовують через його отруйність.

Застосування **гліцеролу** насамперед ґрунтується на його гігроскопічності. Він пом'якшує шкіру, що використовують у шкіряному виробництві та для виготовлення косметичних засобів. Гліцерол додають до кондитерських виробів, щоб вони довше не черствіли, та до газованих напоїв як підсолоджувач. Через в'язкість та низьку температуру плавлення гліцерол використовують для виготовлення гальмівних рідин та антифризів.

Розбавлену **етанову кислоту** використовують у харчовій промисловості та побуті (столовий оцет). Концентрований розчин та безводну кислоту використовують у промисловості для виготовлення штучних волокон, лікарських препаратів, синтетичних барвників тощо.





Контрольні запитання

1. Назвіть спільні властивості органічних речовин.
2. Які вуглеводні називають насиченими, а які — ненасиченими? Наведіть приклади.
3. Як змінюються температури плавлення й кипіння алканів зі збільшенням числа атомів Карбону в молекулі? Поясніть чому.
4. Схарактеризуйте фізичні властивості й застосування сполук, про які йшлося в параграфі.



Завдання для засвоєння матеріалу

5. Запишіть повні й скорочені структурні формули пентану та гексану.
6. Які хімічні властивості характерні для метану, етену, етину, етанолу та етанової кислоти? Відповідь підтвердьте рівняннями реакцій.

Комплексні завдання

7. Обчисліть відносну густину за повітрям метану, етану, етену, етину та випарів етанолу. У якого із цих газів густина менша за густину повітря, а в якого більша?
8. Запишіть рівняння реакції згоряння пропану. Обчисліть об'єм кисню, необхідний для спалювання пропану об'ємом 5,6 л (н.у.). Обчисліть об'єм вуглекислого газу, що при цьому утвориться.
9. Обчисліть об'єм етину (н. у.), необхідний для взаємодії з бромною водою масою 200 г, у якій масова частка броду становить 2 %.

Завдання для розвитку критичного мислення

10. Проаналізуйте молекулярні формули перших представників ряду алканів та сформулюйте визначення таких понять: гомологічний ряд, гомологи, гомологічна різниця.
11. Зобразіть структурну формулу бутану. На ній дужками позначте групу (або групи) атомів, яку називають гомологічною різницею. Скільки таких груп у молекулі бутану?
12. Що спільного та які існують відмінності у складі та будові молекул етанолу й етанової кислоти?

ТЕМА 1. ТЕОРІЯ БУДОВИ ОРГАНІЧНИХ СПОЛУК

§2. Теорія будови органічних сполук

Пригадайте:

- як складають структурні формули сполук та властивості етанової кислоти (за § 1);
- молекули — найдрібніші частинки речовини, що здатні існувати самостійно, зберігаючи хімічні властивості простої речовини або сполуки.

Становлення теорії будови органічних сполук

Органічну хімію почали вважати окремим розділом хімії близько 200 років тому. До середини XIX століття вже було відомо досить багато органічних сполук, вивчено їхні хімічні й фізичні властивості, встановлено якісний та кількісний склад. У цей період найбільший внесок у розвиток органічної хімії зробили такі відомі вчені, як Ф. Велер, Ш. А. Вюрц, Ф. А. Кекуле, Ж.-Б. Дюма, Ю. Лібіх, С. Канніццаро, А. В. Гофман тощо. Але багато експериментальних фактів та теоретичних тверджень потребували пояснень та систематизації і згодом сформуvalи теорію будови органічних сполук.

Деякі передумови становлення теорії будови органічних сполук

Експериментальні	Теоретичні
1828 р. Ф. Велер одержав сечовину з неорганічної речовини.	1844 р. Ш. Жерар увів поняття про гомологічні ряди.
1831 р. Ю. Лібіх та Ж.-Б. Дюма розробили спосіб визначення вмісту Карбону та Гідрогену в органічних сполуках.	1857 р. Ф. А. Кекуле довів чотири-валентність Карбону.
1839 р. Ж.-Б. Дюма та Е. Пельтьє довели склад жирів.	1858 р. А. Купер висловив гіпотезу про наявність в органічних сполуках карбонових ланцюгів.
1842 р. М. М. Зінін розробив метод одержання ароматичних амінів.	1860 р. у Карлсруе на міжнародному з'їзді хіміків розмежували поняття «атоми» й «молекули», затвердили постулат «молекули утворюються внаслідок взаємодії атомів».
1853 р. М. Бертло синтезував жири, подібні до природних.	1861 р. на 36-му з'їзді натуралістів О. Бутлеров виступив із доповіддю «Про хімічну будову речовин».
1863 р. О. П. Бородін пояснив явище ізомерії спиртів, ґрунтуючись на теорії хімічної будови.	1865 р. В. В. Марковніков запропонував спосіб розрахунку кількості ізомерів
1864 р. О. М. Бутлеров синтезував ізомер бутанолу, 1866 р. — бутану.	

Основні теоретичні положення та експериментальні результати узагальнив та сформулював Олександр Михайлович Бутлеров. Ці положення (постулати), що сьогодні називають *теорією будови органічних сполук*, ми розглянемо в цьому параграфі.



Олександр Михайлович Бутлеров (1828–1886)

Сформулював основні положення теорії хімічної будови органічних сполук.

Перше положення. Хімічна будова



Атоми в молекулі сполучені в певній послідовності відповідно до їхньої валентності. Цю послідовність називають хімічною будовою.

Згідно з цим положенням, атоми в молекулі сполучені в певному порядку. Кожна сполука має певну хімічну будову. Пригадайте, саме це ви засвоїли ще в 7 класі, коли опановували поняття «молекули».

О. Бутлеров був упевнений, що формули не можуть бути просто умовним зображенням молекул, а мають відображати їхню реальну будову. Саме тому сьогодні для органічних сполук ми частіше використовуємо структурні формули, а не молекулярні. Структурна формула молекули відображає хімічну будову речовини.

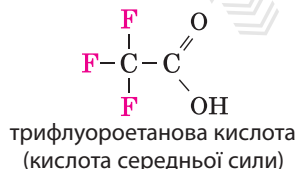
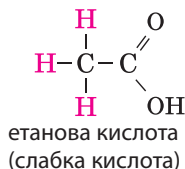
Друге положення. Реакційна здатність сполук



Атоми в молекулі взаємно впливають один на одного. Хімічна реакційна здатність певних груп атомів суттєво залежить від їх хімічного оточення, тобто з якими атомами чи групами атомів сполучені ці групи.

Цей постулат пояснює, що хімічні властивості речовини залежать не лише від того, атоми яких елементів містяться у складі сполуки, але й від порядку їх сполучення. Дослідним шляхом було встановлено вплив наявності певних атомів чи груп атомів у молекулі на реакційну здатність речовин.

У 9 класі ви дізналися про хімічні властивості етанової кислоти: вона виявляє властивості слабких кислот. Якщо ж три атоми Гідрогену в молекулі етанової кислоти замінити атомами Флуору, то сила кислоти зростає й вона стає кислотою середньої сили:



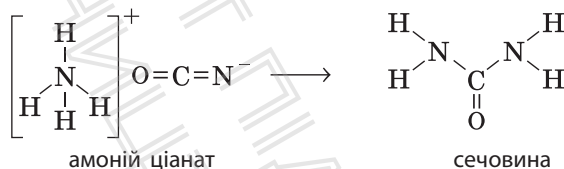
Отже, хімічна будова визначає реакційну здатність та хімічні властивості речовин. Знаючи хімічну будову речовини, можна передбачити та пояснити її хімічні та фізичні властивості.

Третій постулат. Ізомерія

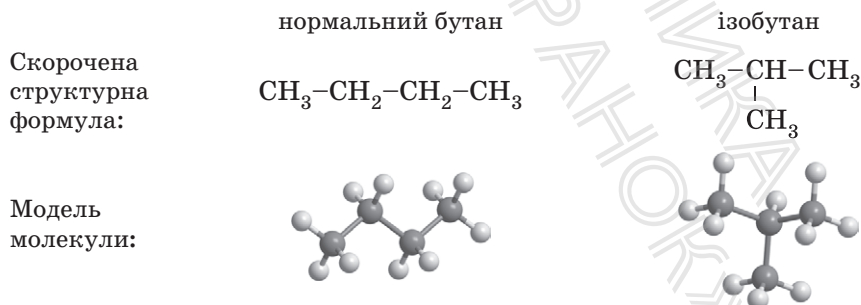


Деякі речовини мають однакову молекулярну формулу (однаковий склад), але різну хімічну будову. Таке явище називають ізомерією, а речовини — ізомерами.

Пригадайте з курсу хімії 9 класу, із чого почався розвиток органічної хімії. Так, це був знаменитий дослід Ф. Велера, коли він з неорганічної речовини амоній ціанату NH_4OCN одержав органічну сечовину $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$. У цьому досліді Велер одержав ізомер амоній ціанату, оскільки амоній ціанат та сечовина мають однаковий елементний склад $\text{N}_2\text{H}_4\text{CO}$, але різну хімічну будову:



Виявилося, що явище ізомерії є досить поширеним, це згодом було експериментально підтверджено. А 1831 року Й. Берцеліус запровадив термін «ізомери». За хімічною будовою речовини можна передбачити можливість існування для неї ізомерів. Наприклад, ви вже вмієте складати структурну формулу бутану C_4H_{10} . Але із чотирьох атомів Карбону може утворитися не лише нерозгалужений карбоновий ланцюг, а й розгалужений.

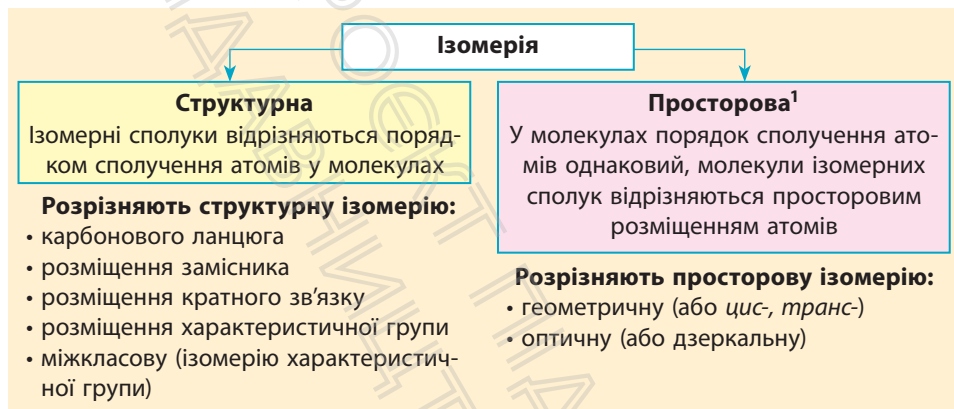


Ці вуглеводні мають однаковий склад, але їхні властивості помітно відрізняються. Так, за однакової молекулярної маси в нормального бутану температура кипіння $-0,5^\circ\text{C}$, а в ізобутану — $-11,7^\circ\text{C}$.

Також є відмінності в хімічних властивостях: реакція бромовання ізобутану відбувається набагато активніше, ніж нормального бутану.

У процесі формулювання теорії будови органічних сполук О. Бутлеров передбачив існування ізомерів бутану, пентану тощо. Учені бутлеровської школи хіміків синтезували ці ізомери, чим експериментально підтвердили істинність цієї теорії.

Залежно від відмінностей молекул ізомерів розрізняють різні типи ізомерії.



На момент створення теорії будови органічних сполук хімікам було відомо лише про один ізомер бутилового спирту — ізобутанол, який одержували з природної сировини, хоча, згідно з теорією, ізомерів має бути чотири. Декілька років О. Бутлеров відбивався від нападів критиків (А. Кольбе, М. Бертло і навіть Д. Менделєєва). І лише після синтезу всіх ізомерів ця теорія була переконливо підтверджена. Але після цього багато хіміків стверджували, що в цій теорії немає нічого нового і вона є цілком очевидною.



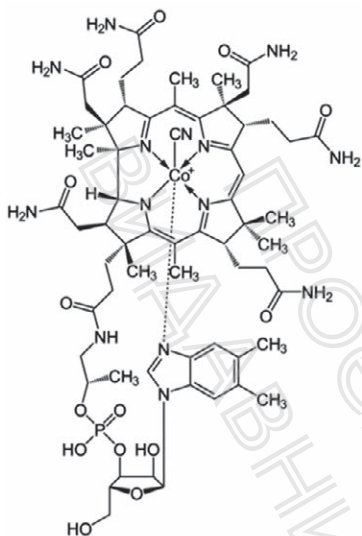
Четвертий постулат. Аналіз і синтез



Хімічну будову речовини можливо пізнати. Можна синтезувати речовину із заданою будовою.

Одним із перших методів дослідження хімічної будови речовин був аналіз. **Аналіз** (від грец. *analysis* — розкладання, розбирання) — у хімії це метод, за якого речовину досліджують для встановлення її хімічної будови, зокрема досліджуючи продукти її

¹ Просторову ізомерію вивчають у поглибленому курсі хімії.



Мал. 2.1. Хімічна будова ціанокобаламіну (вітаміну B₁₂)

хімічних перетворень. Аналізом, наприклад, установили, що білки складаються із залишків молекул амінокислот, оскільки саме ці кислоти утворюються унаслідок гідролізу білків.

Якщо аналізом установили певну будову речовини, то довести свої висновки можна зворотним методом — синтезом. **Синтез** (від грец. *synthesis* — з'єднання, зв'язування) — у хімії це метод одержання певних речовин із необхідною хімічною будовою унаслідок хімічних реакцій.

Одним із найяскравіших прикладів доведення хімічної будови сполук є синтез ціанокобаламіну (вітаміну B₁₂), хімічна будова якого найскладніша з-поміж усіх вітамінів (мал. 2.1). Роберт Вудворд разом із групою приблизно 100 співробітників і студентів протягом 11 років розробляли план синтезу, що складався з майже 100 стадій послідовних хімічних реакцій.

Сьогодні метод синтезу використовують також для одержання нових речовин. Спочатку визначають, які цінні властивості має виявляти нова речовина. Після цього формулюють гіпотезу щодо її будови, розробляють план синтезу і здійснюють власне експеримент.

Після одержання нової речовини перевіряють її властивості відповідно до прогнозованих та роблять висновки щодо подальшого її використання. У хімічних лабораторіях по всьому світу щороку синтезують тисячі нових органічних сполук, які використовують як нові лікарські засоби, барвники, флуоресцентні речовини, наноструктури та молекулярні машини тощо.

Отже, теорія будови органічних сполук є потужним інструментом, що відкриває нові можливості органічної хімії та суміжних наук.



Роберт Бернс Вудворд
(1917–1979)

Зробив значний внесок у розробку методів аналізу і синтезу органічних сполук.



Лекції Роберта Вудворда у Гарвардському університеті стали легендами: вони часто тривали по три-чотири години, а семінари — аж до ночі. Він не користувався слайдами, а зображував хімічні структури кольоровою крейдою. Про Вудворда писали: «Часто на лекціях, узявши в кожен руку по крейді, він із легкістю ілюзійніста починав з обох боків дошки малювати хімічну структуру, і не було випадку, коли б лінії посередині дошки не зійшлися».

Лінгвістична задача

Пригадайте значення термінів «ізотопи» та «полімери». Як ви вважаєте, чи є терміни «ізотопи», «полімери» та «ізомери» спорідненими з позиції словотворення?



Ключова ідея

Згідно з теорією будови органічних сполук властивості органічних сполук зумовлені їхньою хімічною будовою. Користуючись нею, можна виявляти шляхи визначення будови сполук та одержання нових речовин із заданими властивостями.



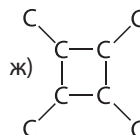
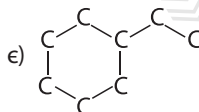
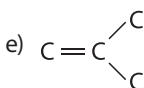
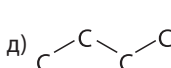
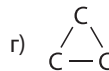
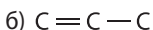
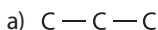
Контрольні запитання

- Поясніть суть терміна «хімічна будова».
- Перелічіть основні експериментальні й теоретичні передумови виникнення сучасної теорії будови органічних сполук.
- Сформулюйте постулати теорії будови органічних сполук. Розкрийте їхнє значення для розуміння характеристик, властивостей та можливих закономірностей для органічних сполук.
- Які вчені зробили внесок у становлення теорії хімічної будови?
- Як за структурною формулою сполуки визначити валентність елементів у її складі?
- Дайте визначення явища ізомерії. Які речовини називають ізомерами? Чи лише в органічних сполук можуть бути ізомери?



Завдання для засвоєння матеріалу

- Знаючи валентності Карбону, Оксигену й Гідрогену, складіть структурну формулу будь-якої органічної сполуки, що містить атоми цих елементів.
- Для наведених карбонових ланцюгів складіть розгорнуту структурну формулу відповідного вуглеводню. Знайдіть серед них формули гомологів та ізомерів.



21. Порівняйте структурні формули двох молекул: а) $\text{CH}_3\text{--CH}_3$ та $\text{CH}_3\text{--CH}_2\text{--CH}_3$; б) $\text{CH}_3\text{--CH}_3$ та $\text{CH}_3\text{--CH}_2\text{--OH}$. Що в них спільного і в чому полягають відмінності?
22. Зобразіть можливі структури карбонових ланцюгів, що складаються: а) з п'яти атомів Карбону; б) із шести атомів Карбону.

Завдання для розвитку критичного мислення

23. Як ви вважаєте, чому порядок сполучення атомів у молекулі може суттєво впливати на реакційну здатність речовин? Як можна пояснити факт, описаний у другому постулаті?
24. Як ви вважаєте, чому властивості метану й етану подібні, а метану й метанолу суттєво відрізняються? Чи не суперечить це другому постулату?
25. Як за допомогою методів аналізу і синтезу визначити хімічну будову речовини? Чи обов'язково завжди застосовувати обидва методи? Відповідь поясніть.

Мініпроекти

26. У додаткових джерелах інформації знайдіть відомості про історію становлення теорії будови органічних сполук. Як вплинула ця теорія на розвиток органічної хімії? Чи погоджуєтеся ви з твердженням, що вплив цієї теорії на розвиток органічної хімії можна порівняти з відкриттям Періодичного закону для розвитку науки взагалі?
27. У додаткових джерелах інформації знайдіть основні положення атомно-молекулярного вчення. Як ви вважаєте, яке значення має це вчення для розвитку науки взагалі й органічної хімії зокрема?
28. У додаткових джерелах знайдіть інформацію про застосування методів аналізу і синтезу для ідентифікації речовин та визначення їхньої хімічної будови.

§ 3. Класифікація органічних сполук

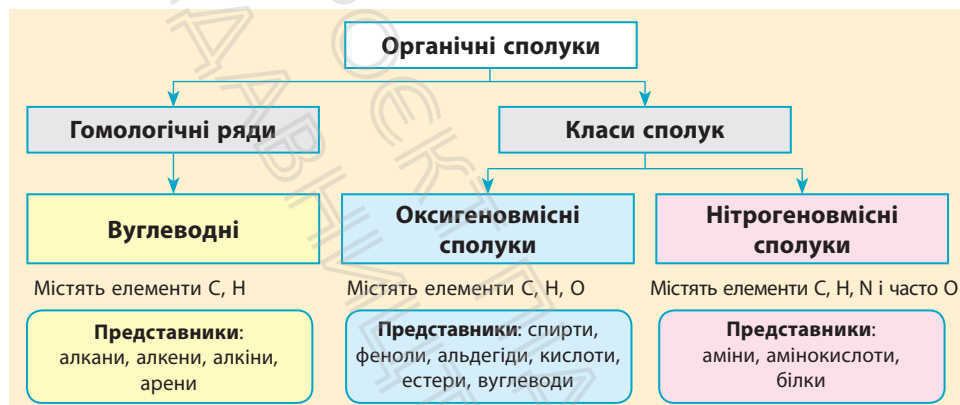
Пригадайте:

- які існують ознаки класифікації неорганічних та органічних сполук;
- ковалентний зв'язок реалізується за рахунок притягання ядер атомів до спільної електронної пари;
- ковалентний зв'язок може бути одинарним, подвійним і потрійним; подвійний і потрійний зв'язки називають кратними.

Класифікація органічних сполук за елементним складом

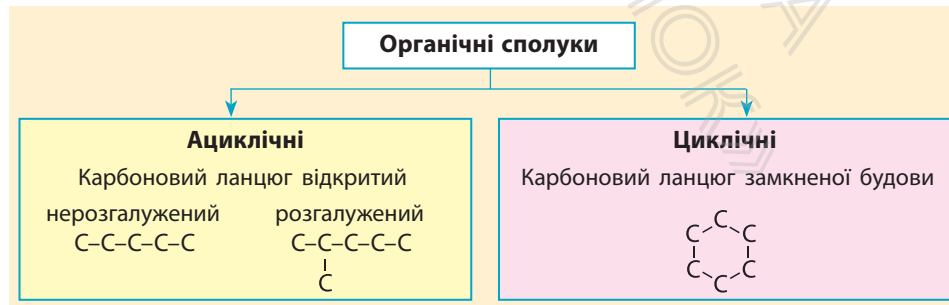
За будовою або властивостями органічні речовини можна об'єднати в гомологічні ряди або класи. Один із принципів класифікації ґрунтується на *елементному складі сполук*.

Ви вже знаєте, що найпростіші органічні сполуки містять лише два елементи — Карбон і Гідроген, їх називають вуглеводнями (від двох слів — вуглець і водень). Якщо сполуки містять ще й Оксиген, то їх називають оксигеновмісними, за наявності Фосфору — фосфоровмісними тощо. Існують органічні сполуки, що містять атоми металічних елементів, їх називають металоорганічними. Сьогодні відомі органічні речовини майже з усіма існуючими хімічними елементами, але в 10 класі ви ознайомитеся з трьома групами:



Класифікація органічних сполук за будовою карбонового ланцюга

1858 року шотландський хімік Арчібальд Купер установив, що основою кожної органічної молекули є *карбоновий ланцюг*, що є послідовністю хімічно сполучених один з одним атомів Карбону. У багатьох реакціях карбоновий ланцюг молекули залишається незмінним. Саме А. Купер запропонував позначати хімічні зв'язки між атомами рисками. Це позначення ми використовуємо, складаючи структурні формули сполук.



Класифікація органічних сполук за типом зв'язку

Органічні сполуки також класифікують за типом ковалентного зв'язку в карбоновому ланцюзі.

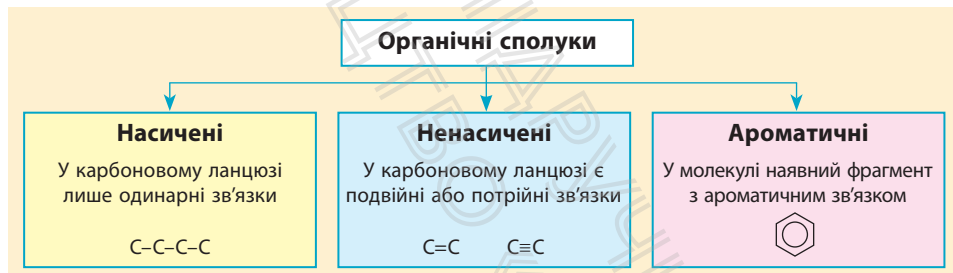
Одинарний ковалентний зв'язок зумовлений утворенням однієї спільної електронної пари між атомами Карбону:



Подвійному та потрійному зв'язкам між атомами Карбону відповідають дві та три спільні електронні пари:



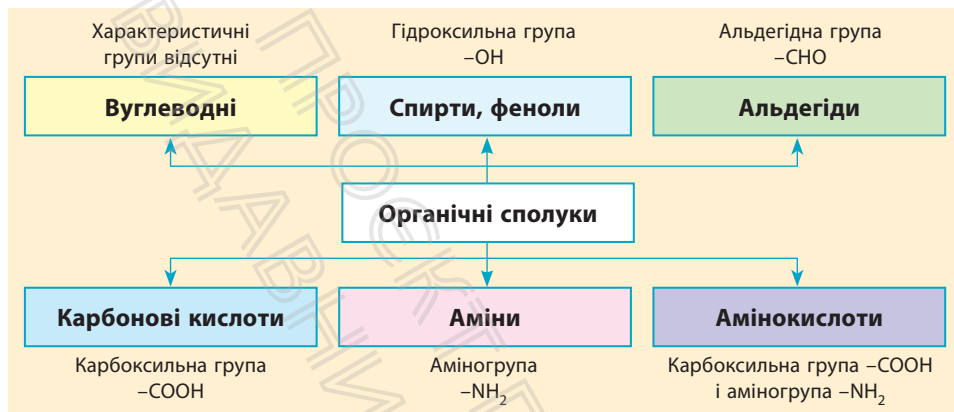
Вам уже відомі *насичені* вуглеводні, у яких у карбоновому ланцюзі всі зв'язки одинарні (їх також називають ординарними, або простими). А сполуки, у яких у карбоновому ланцюзі наявні подвійні $\text{C}=\text{C}$ або потрійні зв'язки $\text{C}\equiv\text{C}$, називають *ненасиченими*. Існують також сполуки з ароматичним зв'язком, які називають *ароматичними*. Із представником таких сполук — бенzenом — ви ознайомитеся в наступних параграфах.



Класифікація органічних сполук за наявністю характеристичних груп

Хімічні властивості органічних речовин визначаються не лише будовою карбонового ланцюга, а й насамперед тими атомами чи групами атомів, які з ним сполучені. У вуглеводнях містяться атоми лише Карбону й Гідрогену. Але існують речовини, у молекулах яких наявні групи атомів, що є характерними для речовин певного класу сполук. Такі групи атомів називають *характеристичними* (*функціональними*). Деякі з таких речовин ви вже вивчали в 9 класі: у молекулах усіх спиртів наявна характеристична група $-\text{OH}$ (гідроксильна), а в молекулах карбонових кислот наявна група $-\text{COOH}$ (карбоксильна).

Характеристичні групи — це активні центри молекул органічних сполук. Саме вони найчастіше зазнають хімічних перетворень, тим самим визначаючи відповідні хімічні властивості органічних речовин.



Існують органічні сполуки, у молекулах яких є кілька функціональних груп. Їх називають *поліфункціональними*. Такими сполуками є вуглеводи, амінокислоти, білки, нуклеїнові кислоти тощо.

Певна річ, наведені класифікації не відображають усього розмаїття органічних сполук.



Ключова ідея

Основою класифікації органічних сполук є будова карбонового ланцюга та наявність характеристичних груп, що відображає їхні хімічні властивості.



Контрольні запитання

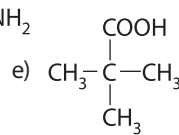
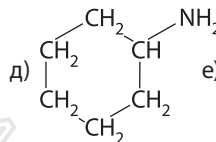
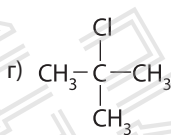
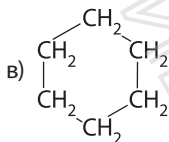
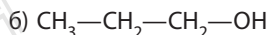
29. За якими ознаками класифікують органічні сполуки?
30. У які групи або класи об'єднують органічні сполуки за певними класифікаційними ознаками?



Завдання для засвоєння матеріалу

31. Найпростіша органічна сполука — метан CH_4 . До яких груп органічних сполук можна його віднести (за різними ознаками)?
32. Які з ланцюгів, наведених у завданні 20 на с. 17, є розгалуженими, нерозгалуженими, циклічними?

33. Визначте, до яких груп органічних сполук за різними ознаками належать: а) етанол C_2H_5OH ; б) етанова кислота CH_3COOH ; в) етин C_2H_2 ; г) етанамін $C_2H_5NH_2$.
34. Наведено структурні формули трьох вуглеводнів: CH_3-CH_3 , $CH_2=CH_2$, $CH\equiv CH$. Запропонуйте ознаки для класифікації цих речовин.
35. Складіть повну й скорочену структурні формули, а також молекулярну формулу будь-якої сполуки, молекули якої містять: а) три атоми Карбону та один подвійний зв'язок $C=C$; б) чотири атоми Карбону та один потрійний зв'язок $C\equiv C$; в) циклічний ланцюг із шести атомів Карбону та одну групу $-OH$; г) розгалужений карбоновий ланцюг із п'яти атомів Карбону та один подвійний зв'язок $C=C$; д) три атоми Карбону, один із яких у складі альдегідної групи; е) циклічний ланцюг із трьох атомів Карбону та одну аміногрупу $-NH_2$.
36. Із-поміж наведених структурних формул сполук укажіть: вуглеводні, циклічні сполуки, спирт, карбонову кислоту, амін.



37. Складіть формули спирту, карбонової кислоти та аміну з найменшим можливим числом атомів Карбону.
38. Формула найпростішого аміну — CH_3NH_2 . Складіть структурну формулу аміну, який містить на один атом Карбону більше.

§ 4. Установлення молекулярної формули речовини за масовими частками елементів

Пригадайте:

- числові значення відносної молекулярної маси однакові, але відносна молекулярна маса є безрозмірною величиною, а молярну масу вимірюють у г/моль;
- кількість речовини дорівнює відношенню маси речовини до її молярної маси.

Установлення молекулярної формули речовин було однією з перших задач, що постали перед хіміками після того, як почали використовувати вимірювання в хімічних дослідженнях. Знаючи масові частки елементів у сполуці (як органічній, так і неорганічній), можна визначити її відносну молекулярну (формульну) масу, а отже, і її хімічну формулу. Для розв'язання таких задач можна використовувати різні алгоритми.

Установлення молекулярної формули речовини за відомою масовою часткою елемента у сполуці

Цей алгоритм найбільш доцільний для виведення формул бінарних сполук (що складаються з атомів двох елементів), зокрема оксидів та вуглеводнів. Його можна застосовувати й для інших сполук, але через велике число невідомих величин це буде досить складно.

Цей алгоритм застосовують, якщо за умовою задачі відомо:

- що речовина є бінарною;
- елементний склад речовини;
- масову частку одного з елементів.

Ви вже у 7 класі навчилися обчислювати масові частки елементів у сполуці за хімічною формулою. Тепер розв'яжемо зворотню задачу.

Масові частки елементів обчислюють за формулою:

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

де w — масова частка елемента, A_r — відносна атомна маса цього елемента, N — число атомів цього елемента в молекулі (формульний одиниці), M_r — відносна молекулярна (формульна) маса сполуки.

За цією формулою виводимо формулу для обчислення відносної молекулярної маси речовини:

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

Відносна атомна маса елемента (A_r) наведена в Періодичній системі, а його масова частка (w) відома за умовою задачі. Але лишається одна невідома величина — N . Ми знаємо, що зазвичай число атомів у молекулі є невеликим цілим числом, тому під час розв'язування задач припускаємо, що N дорівнює 1 або 2, 3 тощо. В органічних сполуках індекси можуть бути й доволі великими, на кшталт 10, 20, 100 тощо, проте в розрахункових задачах таке трапляється зрідка.

Зверніть увагу! Для розв'язання задач, у яких дані наведені у відсотках, зручніше одразу перевести їх у частку від одиниці діленням на 100.

Задача 1. Установіть хімічну формулу вуглеводню, у якому масова частка Карбону становить 81,8 %.

Розв'язання:

У формулу (2) підставляємо $A_r(\text{C}) = 12$ та $w(\text{C}) = 0,818$.

Припускаємо, що атом Карбону один ($N = 1$), та обчислюємо:

$$M_r(\text{речовини}) = \frac{N(\text{C}) \cdot A_r(\text{C})}{w(\text{C})} = \frac{1 \cdot 12}{0,818} = 14,7.$$

Оскільки ми припустили, що у сполуці один атом Карбону, то маса атомів Гідрогену дорівнює різниці: $14,7 - 12 = 2,7$. Оскільки в цьому випадку маса є дробовим числом, то й кількість атомів Гідрогену в молекулі також дробова, а цього бути не може.

Припускаємо, що атомів Карбону два ($N = 2$), та обчислюємо:

$$M_r(\text{речовини}) = \frac{N(\text{C}) \cdot A_r(\text{C})}{w(\text{C})} = \frac{2 \cdot 12}{0,818} = 28,3.$$

У цьому разі відносна молекулярна маса також є дробовим числом, тож за будь-якого складу сполука має містити дробове число атомів Гідрогену. $N = 2$ також не є розв'язком задачі.

Припускаємо, що атомів Карбону три ($N = 3$):

$$M_r(\text{речовини}) = \frac{N(\text{C}) \cdot A_r(\text{C})}{w(\text{C})} = \frac{3 \cdot 12}{0,818} = 44.$$

Оскільки цього разу ми припустили, що у сполуці три атоми Карбону, то від маси 44 віднімаємо масу трьох атомів Карбону.

Тоді $m(\text{H}) = 44 - 12 \cdot 3 = 8$, із чого $N(\text{H}) = 8/1 = 8$. Це відповідає вісьмом атомам Гідрогену. Отже, хімічна формула речовини — C_3H_8 .

Відповідь: формула вуглеводню — C_3H_8 .

Установлення молекулярної формули речовини за відомою відносною молекулярною масою речовини

Цей алгоритм застосовують, якщо за умовою задачі відомо:

- що речовина не обов'язково є бінарною;
- елементний склад речовини;
- масові частки всіх елементів;
- відносна молекулярна або молярна маса речовини.

Для розв'язання задач такого типу також можна використовувати формулу для обчислення масової частки (1), але її необхідно перетворити так, щоб можна було розрахувати число атомів певного елемента:

$$N(\text{елемента}) = \frac{M_r(\text{речовини}) \cdot w(\text{елемента})}{A_r(\text{елемента})} \quad (3)$$

Задача 2. Установіть молекулярну формулу органічної речовини, молярна маса якої дорівнює 60 г/моль, та в якій масова частка Карбону становить 40 %, Гідрогену — 6,67 %, інше — Оксиген.

Розв'язання:

За умовою речовина складається з атомів Карбону, Гідрогену та Оксигену, тож її формулу умовно можна записати як $\text{C}_x\text{H}_y\text{O}_z$. Відносна молекулярна маса речовини чисельно дорівнює її молярній масі, тобто $M_r = 60$.

У формулу (3) підставляємо $M_r = 60$, $w(\text{C}) = 0,4$ та $A_r(\text{C}) = 12$.

$$N(\text{C}) = \frac{60 \cdot 0,4}{12} = 2.$$

Так само визначаємо число атомів Гідрогену: $N(\text{H}) = \frac{60 \cdot 0,067}{1} = 4$.

Число атомів Оксигену можна визначити різницею мас елементів. Від відносної молекулярної маси речовини віднімаємо маси атомів у сполуці Карбону та Гідрогену у сполуці: $60 - 2 \cdot 12 - 4 \cdot 1 = 32$. Це маса атомів Оксигену, що відповідає двом атомам. Отже, хімічна формула сполуки $\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2$.

Відповідь: формула сполуки — $\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2$.

Установлення молекулярної формули небінарної сполуки за відомими масовими частками

Цей алгоритм є універсальним. Його можна використовувати для розв'язування будь-яких задач, у яких необхідно установити молекулярну формулу речовини (як органічної, так і неорганічної) за відомими масовими частками.

Цей алгоритм застосовують, якщо за умовою задачі відомо:

- що речовина небов'язково є бінарною;
- елементний склад речовини;
- масові частки всіх елементів.

Алгоритм ґрунтується на одному з базових принципів хімії — стехіометрії¹. Ви пам'ятаєте, що з індексів у хімічній формулі та коефіцієнтів у рівняннях реакцій можна визначити відношення атомів у молекулі чи молекул унаслідок хімічної взаємодії. Можна впевнено стверджувати, що відношення індексів у хімічній формулі речовини таке саме, як і відношення кількості речовини (у молях) атомів у цій речовині.

Наприклад, для речовини $\text{C}_x\text{H}_y\text{O}_z$ справедливо:

$$x : y : z = n(\text{C}) : n(\text{H}) : n(\text{O}) \quad (4)$$

Оскільки кількість речовини прямо пропорційна масовій частці, то формулу (4) можна перетворити так:

$$x : y : z = \frac{w(\text{C})}{M(\text{C})} : \frac{w(\text{H})}{M(\text{H})} : \frac{w(\text{O})}{M(\text{O})} \quad (5)$$

Зверніть увагу! У цю формулу значення масових часток можна підставляти як у відсотках, так і в частках від одиниці.

Наприклад, для кількостей речовини атомів Карбону та Гідрогену

$$n(\text{C}) : n(\text{H}) = \frac{m(\text{C})}{M(\text{C})} : \frac{m(\text{H})}{M(\text{H})}$$



¹ Розділ хімії про відношення реагентів у реакції.

оскільки $m(\text{C}) = w(\text{C}) \cdot m(\text{речовини})$ та $m(\text{H}) = w(\text{H}) \cdot m(\text{речовини})$, то

$$n(\text{C}) : n(\text{H}) = \frac{w(\text{C}) \cdot m(\text{речовини})}{M(\text{C})} : \frac{w(\text{H}) \cdot m(\text{речовини})}{M(\text{H})} = \frac{w(\text{C})}{M(\text{C})} : \frac{w(\text{H})}{M(\text{H})}$$

Задача 3. Певна речовина містить Карбон (52,2 %), Гідроген (13 %) та Оксиген. Установіть її молекулярну формулу.

Розв'язання:

Записуємо умовну формулу речовини $\text{C}_x\text{H}_y\text{O}_z$.

Визначаємо масову частку Оксигену: $100 \% - 52,2 \% - 13 \% = 34,8 \%$.

У формулу (5) підставляємо масові частки та молярні маси елементів:

$$x : y : z = \frac{52,2}{12} : \frac{13}{1} : \frac{34,8}{16} = 4,35 : 13 : 2,175.$$

Тепер із цього відношення необхідно визначити індекси у формулі. Індекси можуть бути лише цілими числами, тому відношення необхідно перетворити так, щоб усі числа в ньому були цілими. Для цього поділимо всі числа у відношенні на найменше серед них, у нашому випадку на 2,175:

$$x : y : z = 4,35 : 13 : 2,175 = 2 : 6 : 1.$$

Підставляємо обчислені індекси й устанавлюємо формулу речовини — $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$.

Відповідь: формула сполуки — $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$.

Задача 4. Установіть формулу вуглеводню, у якому масова частка Карбону становить 80 %.

Розв'язання:

Записуємо умовну формулу речовини C_xH_y . Визначаємо масову частку Гідрогену: $100 \% - 80 \% = 20 \%$.

За формулою (5) визначаємо відношення індексів:

$$x : y = \frac{80}{12} : \frac{20}{1} = 6,67 : 20.$$

Визначаємо індекси у формулі. Перетворюємо відношення так, щоб усі числа в ньому були цілими. Для цього поділимо всі числа у відношенні на найменше серед них, у нашому випадку на 6,67:

$$x : y = 6,67 : 20 = 1 : 3.$$

Із такими індексами формула сполуки CH_3 . Але речовини з такою формулою існувати не може (оскільки валентність Карбону в органічних сполуках має дорівнювати IV). За цим відношенням можна визначити індекси, якщо помножити його на ціле число (2, 3, 4 тощо) та вибрати індекси такі, що мають хімічний сенс. Наприклад, відношенню 1 : 3 дорівнює відношення 2 : 6. А з такими індексами є формула C_2H_6 (етан).

Відповідь: формула вуглеводню — C_2H_6 .



Ключова ідея

Установлення хімічної формули речовини за відомими масовими частками ґрунтується на базових принципах стехіометрії.



Завдання для засвоєння матеріалу

39. Установіть молекулярну формулу вуглеводню, у якому масова частка Карбону становить 81,82 %.
40. Установіть молекулярну формулу вуглеводню, у якому масова частка Карбону становить 82,76 %, якщо його молярна маса дорівнює 58 г/моль.
41. Установіть молекулярну формулу вуглеводню, у якій молярна маса 78 г/моль, а масова частка Карбону становить 92,3 %.
42. Молярна маса органічної речовини дорівнює 45 г/моль. Масова частка Нітрогену в ній становить 31,11 %, Карбону — 53,33 %, усе інше — Гідроген. Установіть молекулярну формулу речовини.
43. Молекулярна маса органічної речовини дорівнює 90 г/моль. Масова частка Оксигену в ній становить 71,11 %, Карбону — 26,67 %, усе інше — Гідроген. Установіть молекулярну формулу речовини.
44. Певна речовина містить Карбон (62,1 %), Гідроген (10,3 %) та Оксиген. Установіть її молекулярну формулу.
45. Певна речовина містить Карбон (77,4 %), Гідроген (5,83 %) та Нітроген. Установіть її молекулярну формулу.
46. Установіть молекулярну формулу спирту, у якому масова частка Карбону становить 64,86 %, а Гідрогену — 13,51 %.
47. У сполуці масою 3,1 г містяться атоми Карбону масою 0,6 г, атоми Оксигену масою 2,4 г та атоми Гідрогену. Установіть молекулярну формулу речовини.

Мініпроєкти

51. У додаткових джерелах знайдіть інформацію про сучасні методи встановлення елементного складу речовин.

Навчальні проєкти до теми

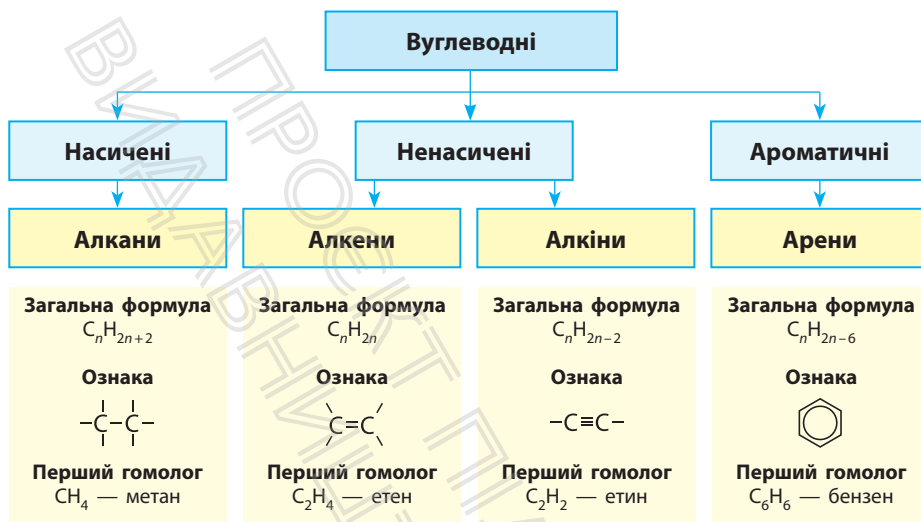
«Теорія будови органічних сполук»

1. Ізмери в природі.
2. Історія створення та розвитку теорії будови органічних сполук.
3. 3D-моделі молекул органічних сполук.



Тестові завдання за темою «Теорія будови органічних сполук».

ТЕМА 2. ВУГЛЕВОДНІ



§ 5. Алкани: ізомерія та номенклатура

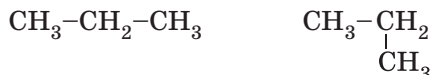
Пригадайте:

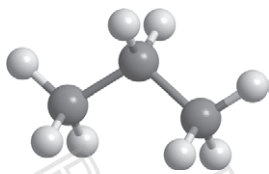
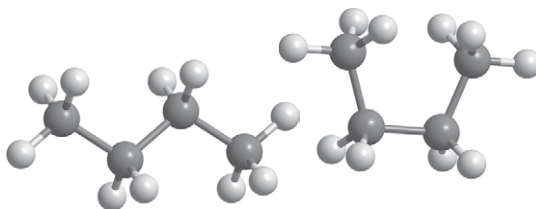
- формули та назви перших десяти членів гомологічного ряду алканів;
- як складають структурні формули (за § 1);
- які речовини називають ізомерами та які існують різновиди ізомерії (за § 2).

Структурна ізомерія алканів

З усіх різновидів структурної ізомерії для алканів характерна лише *ізомерія карбонового ланцюга*. Цей вид ізомерії пов'язаний лише з тим, що атоми Карбону можуть по-різному сполучатися один з одним: утворювати карбонові ланцюги *розгалужені* чи *нерозгалужені* (нормальної будови).

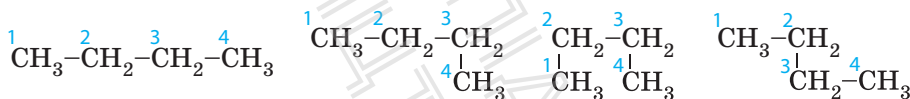
Перші три представники гомологічного ряду алканів — метан, етан, пропан — не мають ізомерів. Хоча, записуючи в різний спосіб формулу пропану, помилково визначають наявність у нього ізомерів:



**Мал. 5.1.** Модель молекули пропану**Мал. 5.2.** Різні форми молекули бутану зумовлені можливістю обертання атомів Карбону навколо одинарного зв'язку. Як ви вважаєте, чи можуть існувати інші форми молекул бутану?

Але обидві ці структурні формули однакові й відображають будову однієї молекули — молекули пропану (мал. 5.1).

Як ви пам'ятаєте з курсу хімії 9 класу, хімічні зв'язки від атома Карбону в молекулі метану спрямовані до вершин тетраедра під кутом $109,5^\circ$. Але зв'язки в структурних формулах для зручності зазначають під кутом 180° або 90° . Наприклад, усі наведені структурні формули бутану є абсолютно однаковими. Поясніть, чому (мал. 5.2).



Утім, бутан є найпростішим алканом, у якого є ізомер. Так, існують дві речовини різної будови складу C_4H_{10} :



нормальний бутан

ізобутан

Це дві різні речовини з різними властивостями.

Чим більше атомів Карбону в ланцюзі, тим більше може існувати можливих комбінацій сполучення атомів, а отже, і більше ізомерів (табл. 6).

Таблиця 6. Число структурних ізомерів алканів

Молекулярна формула	Число ізомерів	Молекулярна формула	Число ізомерів
C_5H_{12}	3	$\text{C}_{10}\text{H}_{22}$	75
C_6H_{14}	5	$\text{C}_{15}\text{H}_{32}$ (пентадекан)	4347
C_7H_{16}	9	$\text{C}_{20}\text{H}_{42}$ (ейкозан)	366 319
C_8H_{18}	18	$\text{C}_{25}\text{H}_{52}$ (пентакозан)	36,8 млн
C_9H_{20}	35	$\text{C}_{30}\text{H}_{62}$ (триаконтан)	4,11 млрд

Саме явище ізомерії більшою мірою зумовлює існування набагато більшого числа органічних сполук порівняно з неорганічними.

Під час складання всіх можливих структурних формул ізомерів необхідно враховувати всі можливі комбінації сполучення атомів.

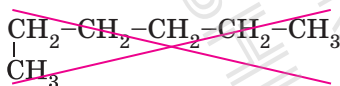
Пам'ятайте, що кожний атом Карбону в ланцюзі утворює по чотири хімічні зв'язки.

Наприклад, складемо формули всіх можливих структурних ізомерів алканів складу C_6H_{14} .

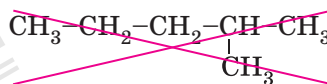
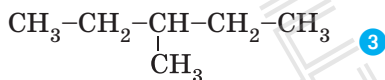
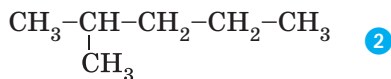
Найпростіше скласти структурну формулу нерозгалуженого алкану:



На наступному етапі скоротимо карбоновий ланцюг на один атом Карбону і з'єднаємо його з іншими атомами Карбону:

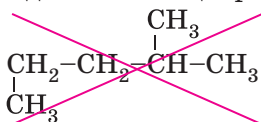


те саме, що формула $\textcircled{1}$

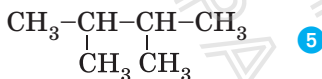
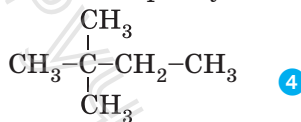


те саме, що формула $\textcircled{2}$

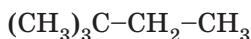
Потім змінюємо розміщення атомів Карбону в ланцюзі й отримуємо ще дві комбінації розміщення атомів Карбону в ланцюзі:



те саме, що формула $\textcircled{2}$



У такий спосіб можна скласти структурні формули всіх можливих ізомерів. Структурні формули можна записувати в інший спосіб. Наприклад, формули $\textcircled{4}$ і $\textcircled{5}$ можна записати так:



Іноді візуально визначити однакові структурні формули речовин складно.

Для того щоб порівняти дві, на перший погляд, різні структурні формули сполук, необхідно їх назвати й порівняти їхні назви. Як це зробити, дізнаємося в наступному підрозділі.

Систематична номенклатура

Дуже важливо, щоб кожна хімічна речовина мала своє власне «ім'я». Із цією метою хіміки розробили спеціальну систему правил — *номенклатуру* (від латин. *nomenclatura* — розпис імен, перелік). Ці правила називають **систематичною номенклатурою**, вони розроблені товариством IUPAC (українською «іюпак») і ними користуються хіміки всього світу (мал. 5.3). Поряд із систематичними назвами сполук часто використовують і традиційні назви — такі, що склалися історично.

Згідно із систематичною номенклатурою назви всіх органічних сполук складають за однаковою загальною схемою:

префікс

родонаціальна структура

суфікс

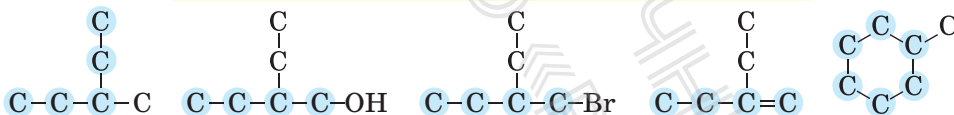
1. Родонаціальна структура. Це частина молекули, що містить **головний карбоновий ланцюг**. Головним ланцюгом зазвичай є:

найдовший ланцюг атомів Карбону

не обов'язково найдовший ланцюг, але який:

- сполучений із характеристичними групами
- сполучений із максимальним числом замісників
- містить фрагмент із кратним зв'язком

циклічна структура



Назви родонаціальної структури:

пентан

бутен

бутан

бутан

циклогексан

↑
корінь назви відповідного алкану

↑ ↑
позначення ступеня насиченості

↑
позначення циклу з атомів Карбону

● — синім позначено атоми Карбону головного ланцюга

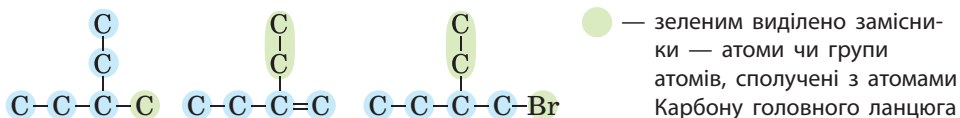
Назва родонаціальної структури утворюється від назви відповідного алкану та суфікса, що позначає ступінь насиченості.

2. Префікс. У більшості сполук з атомами Карбону головного ланцюга сполучені певні атоми чи групи атомів (атоми Гідрогену не враховуються). Ці атоми та групи атомів називають **замісниками**.



International Union of Pure and Applied Chemistry

Мал. 5.3. Логотип IUPAC — міжнародної спілки фундаментальної та прикладної хімії

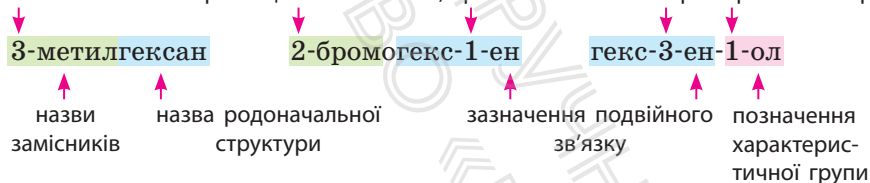


У префіксах зазначають назви замісників. Якщо замісник складається з одного атома, то його називають за назвою хімічного елемента (хлоро-, бромово- тощо). Назви замісників, утворених з алканів, утворюються від назв відповідних їм алканів заміною суфікса *-ан-* на суфікс *-іл-* (*-ил-*):



Разом із назвою замісника зазначають **локант** — число, що позначає номер атома Карбону головного ланцюга, із яким сполучений замісник. Локантами також зазначають розміщення кратного зв'язку та характеристичної групи:

Локантами зазначають розміщення замісників, кратних зв'язків чи характеристичних груп



3. Суфікс. Суфіксом зазвичай позначають наявність **характеристичних груп**. Ви вже знаєте, що в назвах спиртів до назв родоначальної структури додають суфікс *-ол-*, яким позначають наявність групи $-OH$. Докладніше із цим ви ознайомитеся під час вивчення інших класів органічних сполук.

Отже, за систематичною номенклатурою назви органічних сполук відповідають загальній схемі:

префікс	родоначальна структура	суфікс
назви замісників за алфавітом із зазначенням локантів	назва головного ланцюга або циклічної структури	позначення старої характеристичної групи (<i>-ол-</i> , <i>-амін-</i> тощо)
	+	зазначення ступеня насиченості суфіксами <i>-ан-</i> , <i>-ен-</i> (<i>-єн-</i>), <i>-ин-</i> (<i>-ін-</i> , <i>-їн-</i>)



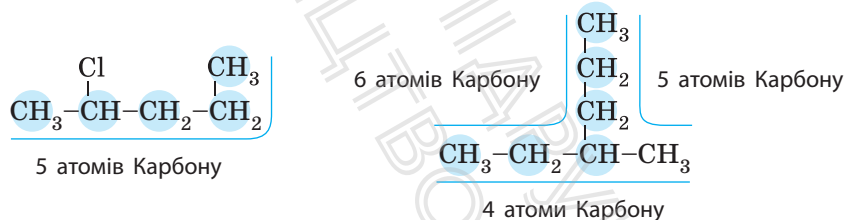
Замісники часто помилково називають *радикалами*. Але радикали — це частинки з неспареними електронами. На сьогодні практика називати замісники радикалами є застарілою, тому IUPAC не рекомендує використовувати термін «радикал» для позначення замісників.

Складання назв алканів та їхніх похідних за систематичною номенклатурою

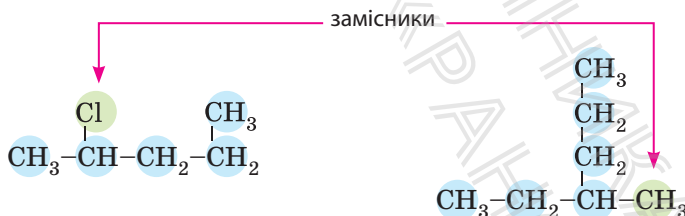
Алгоритм складання назв алканів та їхніх похідних:

- 1) виокремити головний ланцюг;
- 2) визначити замісники;
- 3) пронумерувати атоми Карбону головного ланцюга;
- 4) скласти назву за схемою: префікс, назва родоначальної структури.

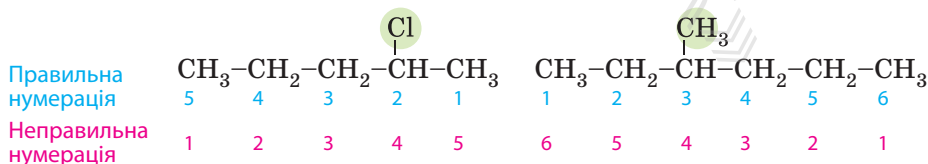
1. Виокремити родоначальну структуру. У молекулах алканів та їхніх похідних — це найдовший карбоновий ланцюг. У другому з наведених прикладів головним є ланцюг із шістьох атомів Карбону:



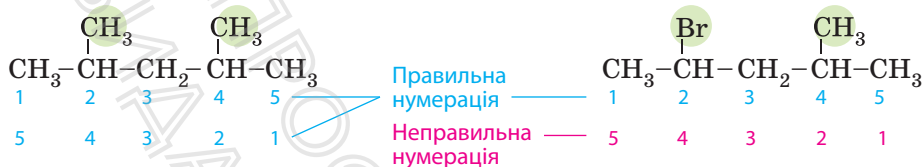
2. Визначаємо замісники:



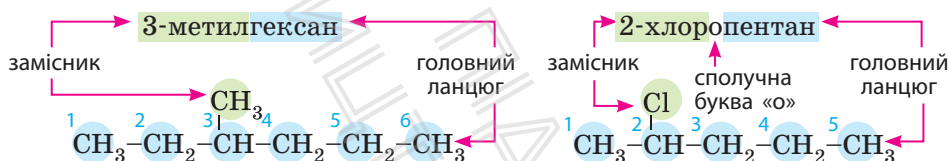
3. Нумеруємо атоми Карбону головного ланцюга. Нумерацію починають із того кінця ланцюга, до якого ближче замісник:



Якщо замісники містяться на однаковій відстані від кінців головного ланцюга, то необхідно звертати увагу на склад замісників: якщо вони однакові, то немає різниці, з якого кінця ланцюга розпочинати нумерацію. А якщо замісники різні, то нумерують із кінця, до якого ближче замісник, назва якого за алфавітом стоїть раніше.



4. Складаємо назву сполуки згідно зі схемою: префікс + ронадначальна структура (суфікса немає, оскільки в алканів відсутні характеристичні групи):



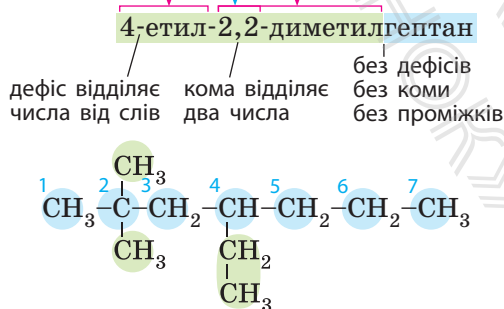
Якщо замісників кілька, то їхні назви записують за алфавітом. Якщо є кілька однакових замісників, то їхню назву наводять лише один раз, а їх число вказують множинними префіксами. Обов'язково числами через кому вказують розміщення (локант) кожного з однакових замісників.

розміщення двох однакових замісників («2,2» означає, що обидва замісники сполучені з другим атомом Карбону)

різні замісники називають за алфавітом

Множинні префікси для позначення числа однакових замісників:

- ди- — 2
- три- — 3
- тетра- — 4
- пента- — 5
- гекса- — 6



Найпоширеніші замісники (за алфавітом):

- Br — бром
- C₂H₅ — етил
- CH₃ — метил
- C₃H₇ — пропіл
- F — флуоро
- Cl — хлоро

Зверніть увагу! Під час визначення порядку називання замісників за алфавітом множинні префікси не враховують.

За таким алгоритмом можна скласти назву для будь-якого алкану або похідної від нього.

Для *нерозгалужених алканів* у назві додають слово «*нормальний*», що означає сполуку нормальної (нерозгалуженої) будови, або скорочено букву «*н*».

$\text{CH}_3\text{—CH}_2\text{—CH}_2\text{—CH}_3$ — нормальний бутан, або *н*-бутан;

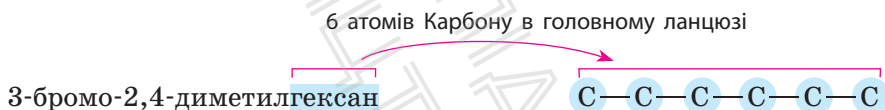
$\text{CH}_3\text{—CH}_2\text{—CH}_2\text{—CH}_2\text{—CH}_3$ — нормальний пентан, або *н*-пентан.

Складання формул органічних сполук за їхньою назвою

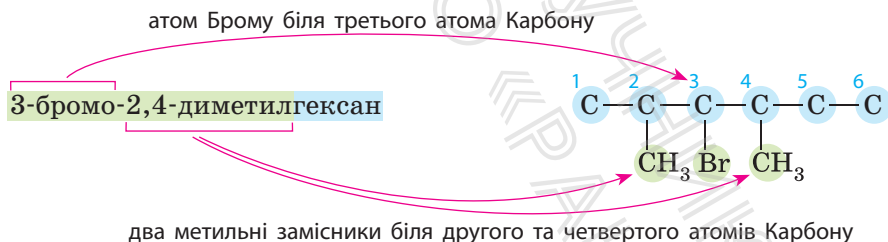
Складання формул за назвою — це обернена задача. Для цього необхідно уважно проаналізувати назву сполуки та відповідно до неї скласти формулу за таким алгоритмом:

Наприклад, навести структурну формулу 3-бromo-2,4-диметилгексану:

1. Записуємо головний ланцюг (родоначальну структуру):

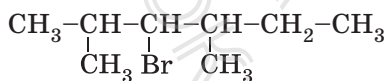


2. Нумеруємо атоми Карбону в ланцюзі та у відповідні місця ланцюга дописуємо формули замісників:



3. Дописуємо символи атомів Гідрогену відповідно до валентності Карбону:

3-бromo-2,4-диметилгексан



Ключова ідея

Для визначення кількості можливих структурних ізомерів алканів слід перебрати можливі комбінації сполучення атомів Карбону в ланцюг. Складання назв органічних сполук — це кодування хімічної будови молекул локантами та назвами фрагментів молекул (замісників та родоначальної структури).

Лінгвістична задача

- Слово «похідні» використовують для позначення сполук, що утворюються заміщенням певних атомів у молекулі на інші атоми чи групи атомів. Наприклад, хлоровмісні похідні алканів — це сполуки, що утворюються, якщо в молекулі певного алкану один чи кілька атомів Гідрогену замінити атомами Хлору (хлорометан, дихлороетан тощо). Поясніть значення таких термінів: гідроксипохідні бензену, моногалогенопохідна пентану, тригалогенопохідні етанової кислоти, монобромпохідна бутану.
- У батьків народилися близнюки Петро та Михайло. Питання: «Скільки братів у родині?» Відповідь: два. Питання: «Скільки братів у Петра?» Відповідь: один. Хоча йдеться про ту саму родину, але відповіді різні. Так само існують особливості вживання слова «ізомер». З урахуванням наведеної аналогії визначте: а) скільки існує ізомерів складу C_4H_{10} ; б) скільки існує ізомерів *n*-бутану?



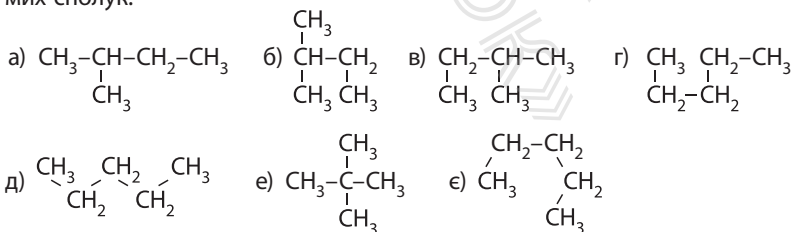
Контрольні запитання

- За якими ознаками класифікують вуглеводні? Уважно розгляньте схему класифікації вуглеводнів на с. 28. Які групи сполук вирізняють серед вуглеводнів? Які їхні характерні ознаки? Назвіть перших представників цих гомологічних рядів.
- Який тип ізомерії характерний для алканів? Наведіть приклади ізомерів серед алканів.
- Опишіть алгоритм складання назв алканів за систематичною номенклатурою.
- Укажіть назву замісника, утвореного: а) з метану; б) етану.

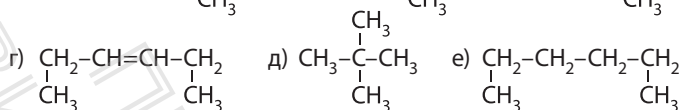
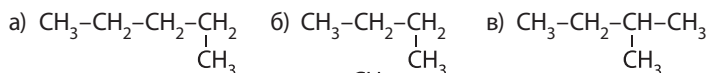


Завдання для засвоєння матеріалу

- Скільки хімічних зв'язків C–C та C–H у молекулах: а) етану; б) 2-метилпропану; в) бутану?
- З-поміж вуглеводнів, формули яких наведено, визначте ненасичені.
 C_7H_{14} , C_2H_2 , C_8H_8 , C_6H_6 , $C_{10}H_{22}$.
- Складіть структурні формули всіх алканів з п'ятьма та сімома атомами Карбону в молекулі. Назвіть їх.
- Запишіть молекулярну формулу алкану, у молекулі якого 14 атомів Карбону.
- Запишіть молекулярну формулу алкану, молекули якого містять: а) 18 атомів Карбону; б) 36 атомів Гідрогену.
- Укажіть, якими з наведених структурних формул описано склад тих самих сполук.

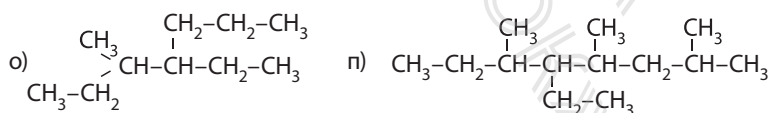
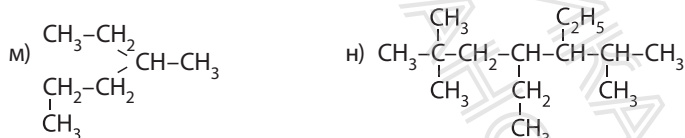
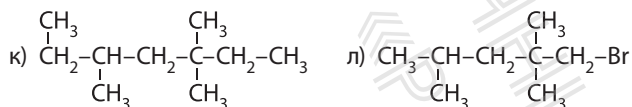
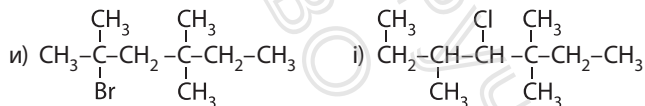
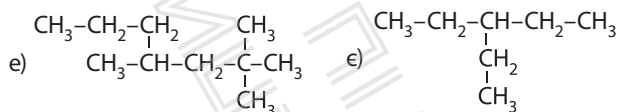
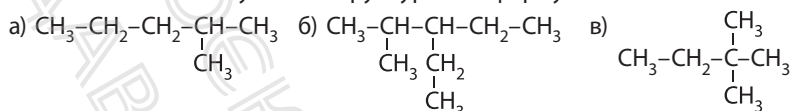


62. З-поміж наведених укажіть структурні формули: а) ізомерів; б) гомологів.



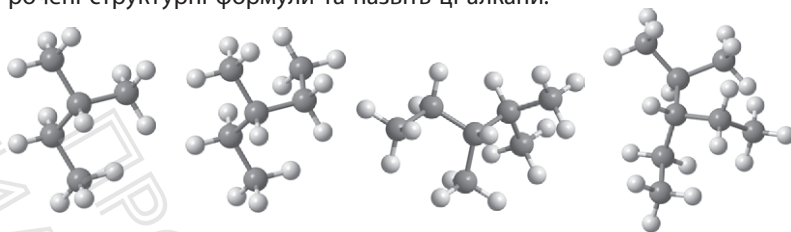
63. Запишіть назви всіх речовин, структурні формули яких наведено в тексті параграфа.

64. Запишіть назви сполук за їх структурними формулами.



65. Складіть структурні формули: а) 3-метилпентану; б) 2,3-диметилгексану; в) 2,4-дихлоропентану; г) 1,2-дибромоетану; д) 2,2,3-триметилпентану; е) 3-етил-2,5-диметилгексану; є) 3,3-діетилпентану; ж) 2,2,3,3-тетраметилбутану.

66. За наведеними рисунками моделей молекул алканів складіть їхні скорочені структурні формули та назвіть ці алкани.



67. Із наведених назв сполук випишіть окремо: а) назви ізомерів гексану; б) назви гомологів гексану.
2-метилпентан, 2-метилбутан, 2,2-диметилбутан, 3-метилпентан, бутан, 2-хлоропропан.
68. Із-поміж наведених молекулярних формул сполук укажіть ті, якими описано склад кількох ізомерів.
 C_2H_5Cl , $C_2H_4Cl_2$, $C_2H_3Cl_3$, $C_2H_2Cl_4$, C_2HCl_5 , C_2Cl_6 .
Складіть структурні формули цих ізомерів та назвіть їх.

Комплексні завдання

69. Хлоропохідна насиченого вуглеводню має відносну молекулярну масу 237. У цій сполуці масова частка Хлору становить 89,9 %, Карбону — 10,1 %. Визначте її молекулярну формулу.

Завдання для розвитку критичного мислення

70. Запропонуйте алгоритм складання формул усіх можливих ізомерів алканів. На які моменти слід звернути особливу увагу?
71. Студент помилково назвав сполуку 1,1,1-триметилетан. Якою має бути назва цієї сполуки?
72. Як ви вважаєте, чому ізомери мають різні хімічні та фізичні властивості?
73. Як ви вважаєте, які замісники можуть утворитися пропаном? Складіть їхні структурні формули. Чи однаково їх називають?

§ 6. Алкани: фізичні й хімічні властивості

Пригадайте:

- на розчинність у воді впливає полярність речовин; вода — полярний розчинник, у ній розчиняються переважно полярні речовини;
- хімічні властивості метану (за § 1).

Фізичні властивості алканів

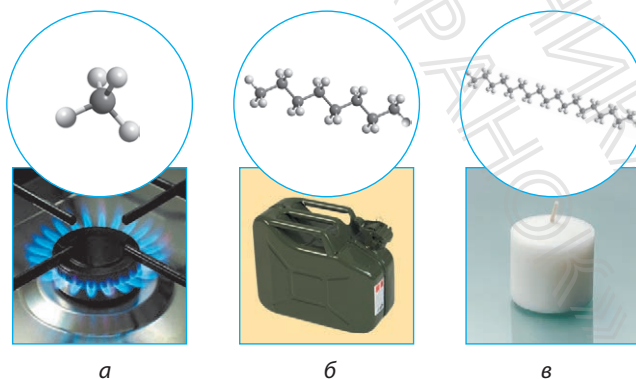
Оскільки речовини гомологічного ряду метану мають подібну будову й відрізняються лише довжиною карбонового ланцюга, то їхні фізичні властивості також подібні.

За звичайних умов перші чотири члени гомологічного ряду метану (від CH_4 до C_4H_{10}) — гази, наступні (від C_5H_{12} до $\text{C}_{16}\text{H}_{34}$) — рідини, сполуки з більшим числом атомів Карбону — тверді речовини (мал. 6.1). Це пояснюється тим, що зі збільшенням довжини карбонового ланцюга збільшується молекулярна маса речовин, відповідно, збільшується й кількість енергії, що необхідна для плавлення або випаровування речовин.

Отже, для будь-якого гомологічного ряду справедливим є твердження, що зі збільшенням числа атомів Карбону в молекулі підвищуються температури плавлення й кипіння речовин (мал. 6.2, с. 40).

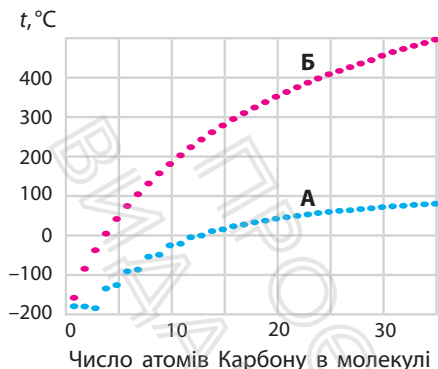
Алкани — безбарвні речовини. Рідкі алкани мають специфічні вуглеводневі або квіткові запахи.

Усі алкани — неполярні сполуки. Вони майже нерозчинні у воді. Тверді алкани — жирні на дотик. Через це алкани, а згодом і інші неароматичні речовини, почали називати аліфатичними сполуками

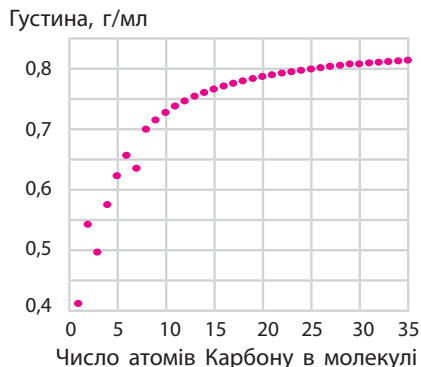


Мал. 6.1. Залежність фізичних властивостей алканів

від довжини карбонового ланцюга: а — газ; б — рідина; в — тверда речовина



Мал. 6.2. Температури плавлення (лінія А) та кипіння (лінія Б) нормальних алканів



Мал. 6.3. Густина нормальних алканів у рідкому агрегатному стані

(від грец. *aleiphar* — жир). Рідкі алкани легші за воду (мал. 6.3), у разі змішування алканів із водою суміш розшаровується. Оскільки алкани є неполярними речовинами, вони добре змішуються один з одним і є розчинниками для інших неполярних сполук, тому алкани та їхні суміші часто використовують як органічні розчинники.

Хімічні властивості алканів

Алкани є хімічно пасивними речовинами, завдяки чому їх у XIX столітті називали «хімічними мерцями». До початку XX століття для них не було відомо жодної хімічної реакції, окрім горіння, тому алкани отримали назву парафіни (від латин. *parum* — мало, незначно та *affinis* — споріднений).

Алкани — насичені вуглеводні, тому для них характерні реакції заміщення та розкладу.



Демонстраційний дослід: відношення насичених вуглеводнів до лугів, кислот

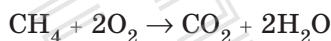
У пробірці з розчинами натрій гідроксиду та сульфатної кислоти помістимо невеликий шматочок парафіну й струсимо. Жодних видимих змін не фіксуємо, оскільки хімічні реакції не відбуваються. Алкани не взаємодіють із кислотами й лугами в розчинах.

Мал. 6.4. Горіння нижчого алкану (метан у газовому пальнику) та вищого (парафін у свічці)



1. Горіння. У 9 класі ми вже розглянули реакцію горіння метану та його гомологів.

Нижчі¹ алкани займаються легко (іноді з вибухом) і згоряють блідо-синім полум'ям з утворенням вуглекислого газу та води:

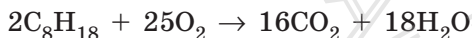


Вищі алкани на повітрі горять кіптявим полум'ям, оскільки відбувається неповне окиснення й утворюються не лише вуглекислий газ, а й чадний газ і вуглець (сажа):



(за нестачі кисню)

Утім за умови достатньої кількості кисню можливе повне окиснення:



(за достатньої кількості кисню)

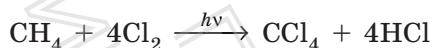
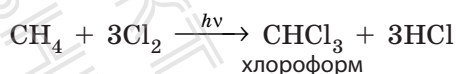
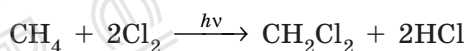
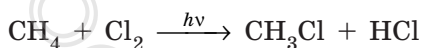
Вищі алкани настільки важко займаються, що, наприклад, парафін сам по собі підпалити дуже складно. Тому з парафіну виготовляють свічки, у середину яких вставляють ґніт. Завдяки горінню ґнота парафін легше плавиться й випаровується, а отже, легше займається. На холоді вищі алкани майже не випаровуються, тому їх важко підпалити. Наприклад, звичайний гас (або дизельне пальне)

¹ Нижчими зазвичай називають перших членів гомологічного ряду певного класу, вищими — членів гомологічного ряду з великим числом атомів Карбону в ланцюзі (не менше 10).

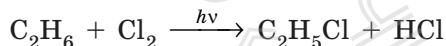
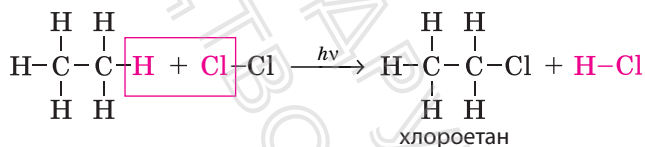
на сильному морозі не спалахує, навіть якщо в посудину кинути запалений сірник. Щоби запалити газ, його необхідно заздалегідь підігріти.

2. Галогенування. Як ви вже знаєте з курсу хімії 9 класу, *реакція галогенування* — це взаємодія речовин із галогенами (із хлором або бромом). Галогенування алканів відбувається за умов освітлення ультрафіолетом чи нагрівання. Унаслідок цієї реакції відбувається заміщення атомів Гідрогену на атоми галогену.

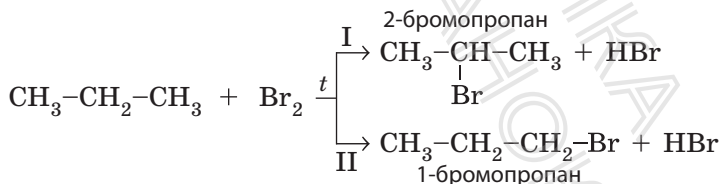
Метан із галогенами може реагувати з утворенням різних речовин:



Подібно до метану з галогенами взаємодіють і інші алкани:



Унаслідок бромовання пропану можуть утворитися два ізомерні продукти:



В органічній хімії майже завжди реакції відбуваються у кількох напрямках. Тому й утворюється суміш різних продуктів реакцій.

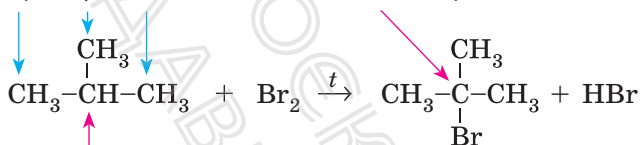
Однак часто один із напрямків переважає, отже, й у суміші продуктів реакції переважає одна речовина. У випадку бромовання пропану переважним є напрямок I з утворенням 2-бромпропану. А за

напрямок II реакція майже не відбувається, тому 1-бромпропану в реакційній суміші значно менше, ніж 2-бромпропану.

У реакціях галогенування алканів виявлено закономірність: чим менше атомів Гідрогену сполучено з певним атомом Карбону, тим легше ці атоми Гідрогену замінити на інший, зокрема атом галогену. Наприклад, під час галогенування 2-метилпропану:

Із цими атомами Карбону сполучено по три атоми Гідрогену, їх важче замінити

Під час галогенування переважно замінюються атоми Гідрогену, сполучені з найменш гідрогенізованим атомом Карбону



Із цим атомом Карбону сполучений один атом Гідрогену, його легше замінити

2-бromo-2-метилпропан

Хлороформ

У переважній більшості міст України перед подачею води у водопровідну мережу її знезаражують — обробляють хлором або хлоровмісними реагентами. Але під час вирішення однієї проблеми часто виникають інші. У разі надмірної кількості хлору він реагує з природними органічними домішками, що є у воді, зокрема гуміновими кислотами. Одним із продуктів реакції є хлороформ. Наявність хлороформу у воді становить загрозу здоров'ю людини. Тому актуальним завданням є розроблення дешевих і безпечних способів знезараження води.

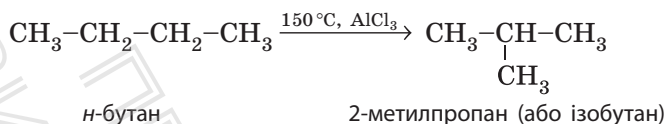


Хімія навколо нас

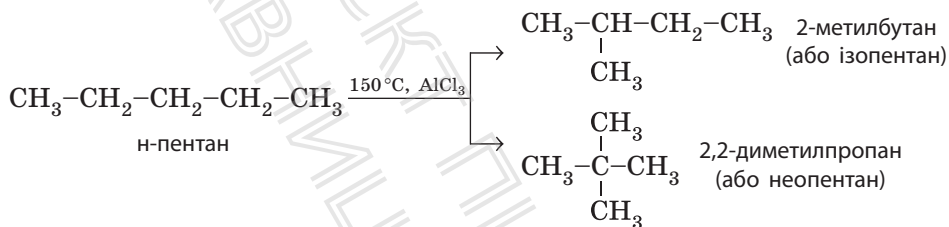


Якщо йдеться про галогенування, то зазвичай йдеться лише про два галогени — хлор та бром — і не йдеться про фтор та йод. Фтор занадто активний галоген, і алкани з ним взаємодіють дуже активно (часто з вибухом): замінюються всі атоми Гідрогену й відбувається руйнування карбонового ланцюга, наприклад, $\text{C}_2\text{H}_6 + 7\text{F}_2 \rightarrow 2\text{CF}_4 + 6\text{HF}$. У йоду, навпаки, хімічна активність занадто низька, і хімічна реакція між ним та алканами енергетично «невигідна», а отже, не відбувається.

3. Ізомеризація. Алкани нормальної будови під час нагрівання за наявності каталізатора перетворюються на розгалужені алкани. Наприклад:



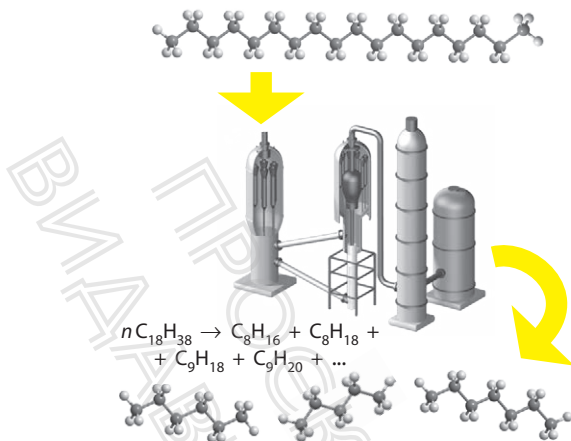
Ця властивість є яскравим прикладом органічних реакцій, які відбуваються в кількох напрямках, унаслідок чого утворюється кілька продуктів реакцій. У *n*-пентану лише два структурні ізомери й два продукти реакції в кінцевій суміші:



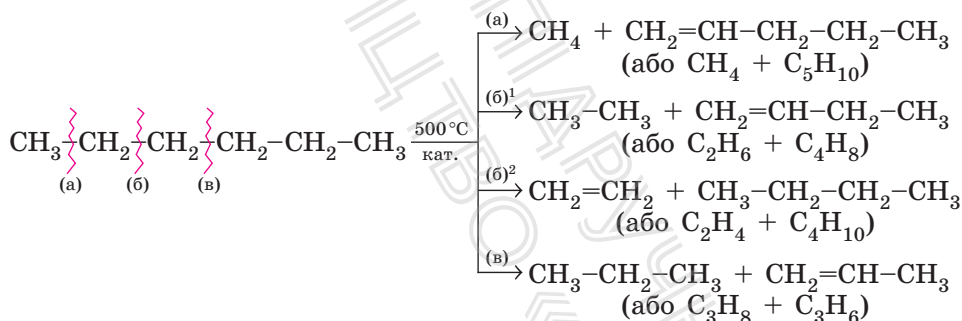
Але зі збільшенням карбонового ланцюга число можливих продуктів значно збільшується. Наразі це не є проблемою, оскільки ізомеризацію використовують лише в промислових масштабах для підвищення октанового числа бензину (цей процес називають риформінгом). Метою риформінгу є перетворення алканів нормальної будови на розгалужені, оскільки бензин, у якому переважають розгалужені алкани, якісніший.

4. Термічний розклад, під час якого відбувається розщеплення карбонових ланцюгів. У такий спосіб з вищих алканів одержують алкани з коротшим ланцюгом. На цій хімічній властивості алканів ґрунтується один зі способів переробки нафти. Оскільки нафта містить значну кількість вищих алканів, а в бензині містяться алкани з довжиною ланцюга переважно 5–10 атомів, то термічний розклад сприяє збільшенню виходу бензину під час переробки нафти.

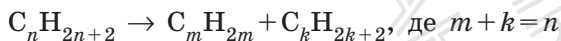
Процес здійснюють зазвичай за температури 500°C за наявності спеціальних каталізаторів. Під час термічного розкладу карбоновий ланцюг руйнується в будь-якому місці, тому в результаті утворюється суміш багатьох сполук. Зазвичай з насичених вуглеводнів утворюється суміш легших насичених і ненасичених вуглеводнів (мал. 6.5). На прикладі гексану можна уявити кількість можливих продуктів термічного розкладу вищих алканів:



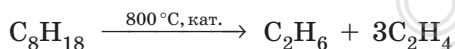
Мал. 6.5. Під час термічного розкладу відбувається розривання карбонових ланцюгів вуглеводнів



У загальному вигляді рівняння термічного розкладу алканів можна описати так:



У разі нагрівання нафти до $700\text{--}900^\circ\text{C}$ у продуктах реакції переважають нижчі алкани, наприклад:



Ключова ідея

Алкани — хімічно малоактивні речовини. Вони є насиченими сполуками, тому для них характерні реакції заміщення Гідрогену в молекулі атомами інших елементів або групами атомів, а також реакції з руйнуванням карбонового ланцюга.

Лінгвістична задача

- У спілкуванні ми використовуємо скорочені або сленгові вирази, і вони можуть бути мовленнєво неправильні. Зокрема, часто некоректно використовувати вислів «реакція відбувається за температури». Такий вислів можна використовувати лише, якщо йдеться про конкретне значення температури. Без кількісного значення температури він не має сенсу, оскільки стану «без температури» не існує. Температура характеризує, наскільки нагріте (або охолоджене) тіло. Проаналізуйте лексичну й смислову правильність таких висловів: а) «термічний розклад відбувається за температури»; б) «реакцію здійснюють за температури 100 °C»; в) «для здійснення реакції нагрівання не потрібне»; г) «реакція можлива без каталізатора та температури».



Контрольні запитання

74. Схарактеризуйте фізичні властивості алканів. Як змінюються температури плавлення й кипіння алканів у гомологічному ряду? Поясніть чому.
75. Які типи реакцій характерні для алканів? Чим це зумовлено? Відповідь проілюструйте прикладами.
76. Які хімічні зв'язки в молекулах алканів руйнуються унаслідок: а) галогенування; б) термічного розкладу?
77. Яке окиснення (повне чи неповне) відбувається під час горіння парафінової свічки? За якою ознакою можна зробити такий висновок?



Завдання для засвоєння матеріалу

78. Поясніть, чому алкани є малополярними речовинами.
79. Якщо в калюжу на вулиці потрапить крапля бензину, що ми спостерігатимемо? Відповідь поясніть.
80. Запишіть рівняння реакції горіння гексану з виділенням: а) вуглекислого газу; б) чадного газу; в) вуглецю.
81. Запишіть рівняння реакцій взаємодії етану з хлором, у яких відношення кількості речовини реагентів: а) 1 : 1; б) 1 : 2; в) 1 : 3.
82. Запишіть рівняння реакцій бромовання: а) етану; б) бутану; в) 2-метилбутану; г) 2,2-диметилбутану. Назвіть продукти реакцій.
83. Промисловим хлоруванням пропану отримують суміш ізомерних дихлоропропанів. Складіть їхні формули.
84. Укажіть число структурних ізомерів сполуки із загальною формулою C_4H_9Cl .
85. Запишіть рівняння реакцій: а) ізомеризації бутану; б) термічного розкладу бутану з утворенням сполук з однаковою довжиною карбонового ланцюга.
86. Запишіть усі можливі рівняння реакцій термічного розкладу гептану, за аналогією гексану, описаного в цьому параграфі (с. 45).
87. Під час очищення стічних вод, що містять домішки органічних речовин, методом бродіння виділяється газ із відносною густиною за киснем 0,5, що використовують на водоочисних станціях як пальне. Установіть молекулярну формулу цього газу.

Комплексні завдання

88. Обчисліть об'єм хлорометану, що утвориться унаслідок взаємодії метану об'ємом 11,2 л (н. у.) із хлором.
89. Унаслідок термічного розкладу газуватого октану об'ємом 1 л утворилися два продукти реакції об'ємом по 1 л. Відносні густини за воднем обох продуктів реакції приблизно однакові. Запишіть рівняння цієї реакції.
90. Унаслідок термічного розкладу газуватого гексану об'ємом 1 л утворилися два продукти реакції. Одного з продуктів утворилося також 1 л, а другого — у два рази більше. Відносні густини за повітрям обох продуктів реакції приблизно однакові. Запишіть рівняння цієї реакції.
91. Обчисліть масу моногалогенопохідної, що утвориться унаслідок взаємодії пропану об'ємом 5,6 л (н. у.) із бромом.

Завдання для розвитку критичного мислення

92. «Не існує нездійсненних реакцій. А якщо реакція не відбувається, то просто ще не винайдений відповідний каталізатор», — писав М. Д. Зелінський. Як ви розумієте ці слова? Як їх можна проілюструвати з використанням матеріалу цього параграфа?
93. Чи можна виявити появу метану в шахті органолептичним способом, тобто за запахом, смаком або іншими ознаками?
94. Проаналізуйте графіки на малюнку 6.2. За значеннями температур плавлення та кипіння визначте проміжки, на яких наведено дані для газуватих, рідких та твердих алканів.
95. Проаналізуйте графік на малюнку 6.3. Що свідчить про те, що алкани легші за воду? Як ви вважаєте, чому в алканів із числом атомів Карбону в ланцюзі більшим за 10 густина майже однакова?
96. Поясніть, чому парафін не займеться, поки частина його не розплавиться, а гас перед запаленням потрібно підігріти або розприскати його з пульверизатора.
97. У мірний циліндр налили воду та гексан. Через певний час дві рідини розшарувалися. Як можна довести, який із шарів рідин є водою, а який — гексаном, використовуючи лише воду?
98. Як ви вважаєте, чи існує залежність: відбуватиметься повне чи неповне окиснення алканів залежно від доступу кисню та довжини карбонового ланцюга? Чи може під час горіння метану утворюватися кіптяве полум'я? Чи може октан горіти безбарвним (синім) полум'ям? Відповідь поясніть.
99. Молекули алканів не поглинають видиме світло, тому вони безбарвні. Але тверді алкани, зокрема парафін, вазелін тощо, білі. Поясніть цей факт.
100. Пригадайте, як визначають полярність ковалентного зв'язку за електронегативностями хімічних елементів. Поясніть, чому всі хімічні зв'язки в молекулах алканів неполярні.

§ 7. Установлення молекулярної формули речовини за загальною формулою гомологічного ряду та густиною або відотною густиною

Пригадайте:

- формули для обчислення відносної густини газів, густини речовини та одиниці вимірювання цих величин;
- алгоритми розв'язування задач (за § 4).

Установлення молекулярної формули речовин за загальною формулою гомологічного ряду

Ви вже вмієте виводити формули сполук за відомими масовими частками елементів у них. У цьому параграфі ви навчитеся робити це, але за іншими даними.

Цей алгоритм застосовують, якщо з умови задачі відомо:

- до якого гомологічного ряду або класу належить сполука, тобто відома загальна формула;
- молекулярну або молярну масу речовини.

За загальною формулою сполук можна записати рівняння для відносної молекулярної маси.

Загальною формулою алканів є C_nH_{2n+2} . Якщо молекула алкану містить n атомів Карбону, то загальна маса всіх атомів Карбону становитиме $12n$ (оскільки $A_r(C) = 12$). У цій молекулі міститься також $2n + 2$ атомів Гідрогену, загальна маса яких дорівнює також $2n + 2$ (оскільки $A_r(H) = 1$). Отже, рівняння для обчислення відносної молекулярної маси алканів:

$$M_r(C_nH_{2n+2}) = n \cdot A_r(C) + (2n + 2) \cdot A_r(H) = n \cdot 12 + (2n + 2) \cdot 1 = 14n + 2$$

Оскільки відносна молекулярна маса та молярна маси чисельно однакові, то для алканів:

$$M(C_nH_{2n+2}) = 14n + 2$$

Так само можна вивести загальні формули для обчислення молярної маси сполук інших гомологічних рядів або класів:

- алкенів $M(C_nH_{2n}) = 14n$;
- алкінів $M(C_nH_{2n-2}) = 14n - 2$;
- аренів $M(C_nH_{2n-6}) = 14n - 6$;
- насичених одноатомних спиртів $M(C_nH_{2n+1}OH) = 14n + 18$.

Задача 1. Установіть формулу алкану, молярна маса якого дорівнює 72 г/моль.

Розв'язання:

За умовою відомо, що сполука є алканом, тому використовуємо формулу для обчислення молярної маси алканів:

$$M(C_nH_{2n+2}) = 14n + 2.$$

Підставляємо значення молярної маси в рівняння:

$$14n + 2 = 72; n = 5.$$

Отже, у кожній молекулі цього алкану міститься по 5 атомів Карбону.

Підставляємо число 5 у загальну формулу алканів. Молекулярна формула сполуки — C_5H_{12} .

Відповідь: формула алкану C_5H_{12} .

Установлення молекулярної формули речовин за відносною густиною

Цей алгоритм застосовують:

- для газуватих або летких сполук;
- якщо з умови задачі відомо, до якого гомологічного ряду або класу належить сполука, тобто відома загальна формула або масові частки елементів у сполуці;
- якщо відома відносна густина.

Цей тип задач нагадує задачі з попереднього підрозділу, але формулу для обчислення молярної маси речовини виводимо за відносною густиною. Відносна густина газу є часткою від ділення молярних мас невідомого (B) та відомого (A) газів:

$$D_A(B) = \frac{M(B)}{M(A)} \quad (1)$$

Отже, молярну масу невідомого газу обчислюємо за формулою:

$$M(B) = M(A) \cdot D_A(B) \quad (2)$$

Слід пам'ятати, що відносну густина можна обчислювати відносно повітря, у цьому випадку використовують середню молярну масу повітря, що дорівнює 29 г/моль.

Задача 2. Установіть формулу алкінів, відносна густина яких за гелієм становить 13,5.

Розв'язання:

Спочатку обчислюємо молярну масу алкінів за формулою (2). Оскільки відома відносна густина за гелієм, то для обчислення використовуємо молярну масу гелію $M(He) = 4$ г/моль:

$$M(C_nH_{2n-2}) = M(He) \cdot D_{He}(C_nH_{2n-2}) = 4 \text{ г/моль} \cdot 13,5 = 54 \text{ г/моль}.$$

За формулою для обчислення молярної маси алкінів визначаємо кількість атомів Карбону:

$$M(C_n H_{2n-2}) = 14n - 2; 14n - 2 = 54; n = 4.$$

Отже, молекули невідомих алкінів містять по 4 атоми Карбону. Підставляємо число 4 в загальну формулу алкінів, тож молекулярна формула C_4H_6 .

Відповідь: формула алкінів — C_4H_6 .

Частіше трапляються комбіновані задачі, у яких є дані про відносну густину, але невідомо, до якого класу належить речовина. Замість цього відомі масові частки елементів у сполуці. Але, використовуючи масові частки, можна вивести лише *емпіричну формулу речовини* — це формула, що показує відношення числа атомів різних елементів у сполуці. На відміну від молекулярної формули, що відображає реальний склад молекули.

У більшості неорганічних сполук емпірична та молекулярна формули збігаються, але серед органічних сполук частіше трапляється навпаки. Наприклад, у складі молекули етану два атоми Карбону та шість атомів Гідрогену: молекулярна формула етану — C_2H_6 . Але в молекулі етану відношення атомів Карбону й Гідрогену дорівнює 1 : 3, емпірична формула етану — CH_3 . І таких випадків досить багато.

Емпірична формула:	Молекулярна формула:
CH_3	C_2H_6 — етан
CH_2	C_2H_4 , C_3H_6 та інші алкени
CH	C_6H_6 — бензен або C_2H_2 — етин
CH_2O	метаналь CH_2O , етанова $C_2H_4O_2$ та молочна $C_3H_6O_3$ кислоти, глюкоза $C_6H_{12}O_6$ тощо

У таких задачах за масовими частками спочатку встановлюємо емпіричну формулу, а за відносною густиною встановлюємо молекулярну формулу.

Задача 3. Установіть молекулярну формулу вуглеводню, у якому масова частка Карбону становить 84,2 %, а відносна густина його випарів за повітрям дорівнює 3,93.

Розв’язання:

Записуємо умовну формулу вуглеводню C_xH_y . Масова частка Гідрогену: $100 \% - 84,2 \% = 15,8 \%$.

Визначаємо відношення індексів:

$$x:y = \frac{84,2}{12} : \frac{15,8}{1} = 7,02:15,8.$$

Визначаємо індекси в емпіричній формулі. Перетворюємо відношення так, щоб усі числа в ньому були цілими, для чого поділимо всі числа у відношенні на найменше серед них, у даному випадку на 7,02:

$x:y = 7,02:15,8 = 1:2,25$, а потім множимо на 4:

$x:y = 1:2,25 = 4:9$.

Отже, формула C_4H_9 , але речовини з такою формулою не існує, тож емпірична й істинна молекулярна формули речовини — різні.

За формулою (2) обчислюємо молярну масу вуглеводню за відносною густиною і середньою молярною масою повітря $M(\text{повітря}) = 29 \text{ г/моль}$:

$$M(C_xH_y) = M(\text{повітря}) \cdot D_{\text{пов.}}(C_xH_y) = 29 \text{ г/моль} \cdot 3,93 = 114 \text{ г/моль}.$$

Якби формула речовини була C_4H_9 , то її молярна маса дорівнювала б 57 г/моль ($12 \cdot 4 + 1 \cdot 9$), що вдвічі менше за обчислену. Отже, індекси в емпіричній формулі слід помножити на 2. Молекулярна формула вуглеводню — C_8H_{18} .

Відповідь: формула вуглеводню — C_8H_{18} .

Установлення молекулярної формули речовин за густиною

Цей алгоритм застосовують:

- для газуватих або летких сполук;
- якщо відомо, до якого гомологічного ряду або класу належить сполука, тобто відома загальна формула або відомі масові частки елементів у сполуці;
- якщо відома густина газу або випарів рідини.

Замість відносної густини для установлення молекулярної формули можна використовувати й звичайну густина. Знаючи густина, можна також обчислити молярну масу речовини. Густина обчислюють, знаючи масу та об'єм речовини:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (3)$$

Для речовини кількістю 1 моль маса дорівнюватиме молярній масі сполуки M , а об'єм — молярному об'єму V_m . Отже,

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{M}{V_m} \quad (4)$$

Зверніть увагу, що зазвичай наводять об'єми газів, виміряні за нормальних умов. У цьому разі ми можемо використовувати значення

молярного об'єму, що дорівнює 22,4 л/моль. Із формули (4) видно, що густина залежить від об'єму, а отже, й від умов вимірювання. Тож, зазвичай, значення густини випарів наводять, приведені до нормальних умов.

Отже, формулу (4) можемо використовувати для обчислення молярної маси невідомої речовини:

$$M = \rho \cdot V_m \quad (5)$$

Задача 4. Установіть молекулярну формулу вуглеводню, у якому масова частка Карбону становить 85,7 %, а густина його випарів за нормальних умов дорівнює 3,125 г/л.

Розв'язання:

Записуємо умовну формулу вуглеводню C_xH_y . Масова частка Гідрогену: 100 % – 85,7 % = 14,3 %.

Визначаємо відношення індексів:

$$x : y = \frac{85,7}{12} : \frac{14,3}{1} = 7,14 : 14,3.$$

Визначаємо індекси в емпіричній формулі. Для цього поділимо всі числа у відношенні на 7,14: $x : y = 7,14 : 14,3 = 1 : 2$.

Емпірична формула — CH_2 .

За формулою (5) обчислюємо молярну масу вуглеводню за густиною:

$$M = \rho \cdot V_m = 3,125 \text{ г/л} \cdot 22,4 \text{ л/моль} = 70 \text{ г/моль}.$$

Якби формула речовини була CH_2 , то її молярна маса дорівнювала б 14 г/моль ($12 + 1 \cdot 2$), що вп'ятеро менше за обчислену. Отже, індекси в емпіричній формулі слід помножити на 5. Молекулярна формула — C_5H_{10} .

Відповідь: формула вуглеводню — C_5H_{10} .



Ключова ідея

Знаючи загальну формулу гомологічного ряду або класу сполук, можна вивести молекулярну формулу речовини за молярною масою. Якщо загальна формула невідома, використовують інші дані, за якими можна визначити відношення числа атомів у молекулах.



Завдання для засвоєння матеріалу

- 101.** Установіть формулу для обчислення молярної маси алкенів, алкінів, аренів та насичених одноатомних спиртів.
- 102.** Установіть молекулярні формули таких речовин:
 - а) алкан, $M = 44$ г/моль; б) алкен, $M = 70$ г/моль; в) алкін, $M = 54$ г/моль; г) арен, $M = 92$ г/моль; д) спирт, $M = 74$ г/моль.
- 103.** Установіть молекулярну формулу алкену, відносна густина якого за вуглекислим газом дорівнює 2,55.

- 104.** Установіть молекулярну формулу арену, відносна густина якого за метаном дорівнює 6,625.
- 105.** Установіть молекулярну формулу вуглеводню, масова частка Карбону в якому становить 0,75, а відносна густина його випарів за повітрям дорівнює 0,552.
- 106.** Установіть молекулярну формулу вуглеводню, масова частка Карбону в якому становить 80 %, а його густина за нормальних умов дорівнює 1,342 г/л.
- 107.** За даними хімічного аналізу, кількісний склад речовин **A** та **B** приблизно однаковий. Речовина **A** містить: Карбон — 51,89 %, Гідроген — 9,73 %, Хлор — 38,38 %. Відносна густина випарів речовини **B** за повітрям приблизно у два рази більша, ніж у речовини **A**. Визначте речовини **A** та **B**. Чи одна відповідь у цій задачі?
- 108.** Установіть молекулярну формулу вуглеводню, масова частка Карбону в якому становить 85,7 %, а відносна густина його випарів за повітрям дорівнює 1,93.
- 109.** Установіть молекулярну формулу речовини, у якій масова частка Карбону становить 80 %, Гідрогену — 20 %, а відносна густина за воднем дорівнює 15.
- 110.** Установіть структурну формулу вуглеводню, масова частка Карбону в якому 81,82 %, а густина дорівнює 1,964 г/л.
- 111.** Масова частка Карбону у вуглеводні становить 85,7 %. Густина його випарів за повітрям дорівнює 1,45. Визначте число атомів Карбону в одній молекулі цього вуглеводню.
- 112.** Установіть молекулярну формулу вуглеводню, у якому масова частка Карбону становить 88,2 %, а густина його випарів за нормальних умов дорівнює 3,036 г/л.
- 113.** Установіть молекулярну формулу вуглеводню, у якому масова частка Карбону становить 88,09 %, а густина його випарів за нормальних умов дорівнює 7,5 г/л.

§ 8. Установлення молекулярної формули речовини за масою, об'ємом або кількістю речовини реагентів або продуктів реакції

Пригадайте: формули для обчислення кількості речовини, використовуючи дані про масу або об'єм речовин.

Установлення молекулярної формули за даними про продукти згоряння речовин

Установлення молекулярної формули органічної сполуки — це один із перших етапів у дослідженні їхньої хімічної будови. Одним зі способів, що почали використовувати хіміки для цього, стало дослідження продуктів згоряння або інших продуктів характерних реакцій — елементний аналіз. У цьому параграфі ми розглянемо саме такий алгоритм установлення молекулярних формул.

Цей алгоритм застосовують, якщо з умови задачі відомо:

- масу, або об'єм, або кількість речовини продуктів згоряння;
- загальну формулу гомологічного ряду або класу сполук, або масові частки елементів у сполуці, або молярну масу, або відносну густину випарів.

Ви знаєте, що рівняння реакцій надають нам важливу інформацію про стехіометричні відношення кількостей речовини реагентів та продуктів реакції. Знаючи ці відношення, можна визначити склад речовини.

У загальному вигляді рівняння реакції горіння вуглеводнів можна записати так:



Знаючи кількості речовини продуктів згоряння, можемо визначити відношення атомів Карбону й Гідрогену у вуглеводні та встановити його емпіричну формулу.

Задача 1. Унаслідок згоряння вуглеводню утворилися вуглекислий газ масою 13,2 г та вода масою 2,7 г. Відносна густина випарів вуглеводню за гелієм дорівнює 19,5. Установіть молекулярну формулу вуглеводню.

Розв'язання:

Під час розв'язування задач завжди зручніше використовувати кількість речовини, а не масу чи об'єм. Тому перший крок (як і для інших типів задач) — обчислення кількості речовини:

$$n(\text{CO}_2) = \frac{m(\text{CO}_2)}{M(\text{CO}_2)} = \frac{13,2 \text{ г}}{44 \text{ г/моль}} = 0,3 \text{ моль.}$$

$$n(\text{H}_2\text{O}) = \frac{m(\text{H}_2\text{O})}{M(\text{H}_2\text{O})} = \frac{2,7 \text{ г}}{18 \text{ г/моль}} = 0,15 \text{ моль.}$$

Записуємо умовну формулу вуглеводню C_xH_y . Відношення індексів дорівнює відношенню кількостей речовини атомів Карбону та Гідрогену:

$$x : y = n(\text{C}) : n(\text{H}).$$

В одній молекулі вуглекислого газу міститься один атом Карбону, отже, кількість речовини атомів Карбону у вуглеводні дорівнює кількості речовини утвореного вуглекислого газу $n(\text{C}) = n(\text{CO}_2) = 0,3 \text{ моль}$.

В одній молекулі води міститься два атоми Гідрогену, отже, у вуглеводні кількість речовин атомів Гідрогену у два рази більша за кількість речовини води:

$$n(\text{H}) = 2 \cdot n(\text{H}_2\text{O}) = 2 \cdot 0,15 \text{ моль} = 0,3 \text{ моль.}$$

$$\text{Відношення індексів: } x : y = 0,3 : 0,3 = 1 : 1.$$

Емпірична формула сполуки — CH .

Для установлення молекулярної формули використаємо значення відносної густини. Молярна маса вуглеводню:

$$M(\text{C}_x\text{H}_y) = M(\text{He}) \cdot D_{\text{He}}(\text{C}_x\text{H}_y) = 4 \text{ г/моль} \cdot 19,5 = 78 \text{ г/моль.}$$

Якби формула речовини була CH , то її молярна маса дорівнювала 13 г/моль ($12 + 1$), що в шість разів менше за обчислену. Отже, множимо індекси на 6, і молекулярна формула C_6H_6 .

Відповідь: формула вуглеводню — C_6H_6 .

Задача 2. Під час згоряння органічної речовини масою $1,38 \text{ г}$ утворилися вуглекислий газ масою $2,64 \text{ г}$ та вода масою $1,62 \text{ г}$. Відносна густина випарів речовини за гелієм дорівнює $11,5$. Установіть молекулярну формулу цієї речовини.

Розв'язання:

У цій задачі йдеться не про вуглеводень, а взагалі про будь-яку органічну речовину, яка може містити не лише атоми C і H , а ще й атоми інших елементів. Оскільки в продуктах згоряння наявні лише вуглекислий газ і вода, то невідома речовина могла містити ще й Оксиген, і це треба перевірити. Перевірка ґрунтується на законі збереження маси. Якщо сума мас атомів Карбону та Гідрогену дорівнюватиме масі початкової речовини, то інші елементи в ній відсутні. В іншому випадку, речовина містить також Оксиген.

Обчислюємо маси атомів Карбону та Гідрогену за кількістю речовини:

$$n(\text{CO}_2) = \frac{m(\text{CO}_2)}{M(\text{CO}_2)} = \frac{2,64 \text{ г}}{44 \text{ г/моль}} = 0,06 \text{ моль.}$$

$$n(\text{C}) = n(\text{CO}_2) = 0,06 \text{ моль, отже: } m(\text{C}) = n(\text{C}) \cdot M(\text{C}) = 0,06 \text{ моль} \cdot 12 \text{ г/моль} = 0,72 \text{ г}$$

$$n(\text{H}_2\text{O}) = \frac{m(\text{H}_2\text{O})}{M(\text{H}_2\text{O})} = \frac{1,62 \text{ г}}{18 \text{ г/моль}} = 0,09 \text{ моль.}$$

$$n(\text{H}) = 2n(\text{H}_2\text{O}) = 0,18 \text{ моль.}$$

$$m(\text{H}) = 0,18 \text{ моль} \cdot 1 \text{ г/моль} = 0,18 \text{ г.}$$

Сума мас атомів Карбону й Гідрогену: $0,72 \text{ г} + 0,18 \text{ г} = 0,9 \text{ г}$, що менше за початкову масу речовини. Тобто в органічній речовині ще міститься Оксиген масою: $1,38 \text{ г} - 0,9 \text{ г} = 0,48 \text{ г}$.

$$n(\text{O}) = \frac{m(\text{O})}{M(\text{O})} = \frac{0,48 \text{ г}}{16 \text{ г/моль}} = 0,03 \text{ моль}.$$

Установити молекулярну формулу можна у два способи.

Спосіб I

Для сполуки із загальною формулою $\text{C}_x\text{H}_y\text{O}_z$ відношення індексів:

$$x : y : z = n(\text{C}) : n(\text{H}) : n(\text{O}) = 0,06 : 0,18 : 0,03 = 2 : 6 : 1.$$

Емпірична формула сполуки $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$, її молярна маса $M = 46 \text{ г/моль}$. Порівнюємо з молярною масою органічної сполуки:

$$M(\text{C}_x\text{H}_y\text{O}_z) = M(\text{He}) \cdot D_{\text{He}}(\text{C}_x\text{H}_y\text{O}_z) = 4 \text{ г/моль} \cdot 11,5 = 46 \text{ г/моль}.$$

Молярні маси однакові, отже, установлена емпірична формула є істинною молекулярною.

Спосіб II

Визначимо кількість речовини органічної сполуки. Молярну масу обчислюємо за відносною густиною сполуки (46 г/моль), отже, кількість речовини:

$$n(\text{C}_x\text{H}_y\text{O}_z) = \frac{m(\text{C}_x\text{H}_y\text{O}_z)}{M(\text{C}_x\text{H}_y\text{O}_z)} = \frac{1,38 \text{ г}}{46 \text{ г/моль}} = 0,03 \text{ моль}.$$

Порівняємо кількість речовини невідомої сполуки з кількостями речовини атомів: очевидно, що кількість речовини атомів Оксигену дорівнює кількості невідомої речовини, атомів Карбону — у 2 рази більше, а Гідрогену — у 6 разів. Отже, молекулярна формула $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$.

Відповідь: формула сполуки — $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$.

Установлення молекулярної формули за даними про реагенти та продукти реакції

Цей алгоритм застосовують, якщо з умови задачі відомо:

- масу, або об'єм, або кількість речовини одного з реагентів;
- масу, або об'єм, або кількість речовини одного з продуктів реакції;
- відношення кількостей речовини реагентів або продуктів реакції, тобто відомі стехіометричні коефіцієнти в рівнянні реакції.

За стехіометричними коефіцієнтами можна установити формулу невідомої речовини за результатами аналізу мас (або об'ємів чи кількостей речовини) реагентів та продуктів реакції для будь-якої хімічної взаємодії. Цей підхід ґрунтується на використанні відомих відношень кількостей речовини в реакції.

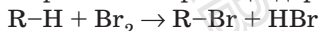
Задача 3. Унаслідок бромовання невідомого газуватого вуглеводню об'ємом 89,6 мл (н. у.) добуто монобромпохідну масою 0,38 г. Установіть молекулярну формулу вуглеводню, який прореагував, за умови, що інших бромпохідних вуглеводню в реакційній суміші не виявлено і вуглеводень прореагував повністю.

Розв'язання:

Оскільки йдеться про вуглеводень, то його можна позначити C_xH_y або, простіше, $R-H$ (літерою R позначають будь-який залишок молекули органічної речовини, атом чи групу атомів).

Оскільки відомо, що в результаті реакції утворилася моногалогенопохідна сполука, то в її формулі замість одного атома Гідрогену міститься атом Брому, і формулу продукту реакції позначимо $R-Br$.

За рівнянням реакції дорівнює:



очевидно, що кількості речовини вуглеводню $R-H$ та продукту реакції $R-Br$ реакції однакові.

Кількість речовини вуглеводню дорівнює $0,0896 \text{ л} / 22,4 \text{ л/моль} = 0,004 \text{ моль}$. Оскільки кількість речовини продукту реакції така сама, то молярна маса продукту реакції дорівнює:

$$M(R-Br) = \frac{m(R-Br)}{n(R-Br)} = \frac{0,38 \text{ г}}{0,004 \text{ моль}} = 95 \text{ г/моль}.$$

молярна маса R дорівнює:

$$M(R) = M(R-Br) - M(Br) = 95 - 80 = 15 \text{ г/моль}.$$

Таку молярну масу має лише один вуглеводневий залишок $-CH_3$. Невідомий вуглеводень — метан. Якщо молярна маса вуглеводневого залишка була б значно більшою і не було б інших відомостей про вуглеводень (загальна формула чи відношення атомів у молекулі), то таку задачу розв'язати було б значно складніше.

Відповідь: формула вуглеводню — CH_4 .



Ключова ідея

Установлення молекулярної формули за відомими даними про масу або об'єм реагентів хімічної реакції ґрунтується на стехіометричному відношенні речовин.



Завдання для засвоєння матеріалу

- 114.** Запишіть у загальному вигляді рівняння реакцій горіння: а) алканів; б) алкенів; в) алкінів.
- 115.** Укажіть число атомів Карбону, що містяться в одній молекулі алкану, на спалювання 3 л якого витрачається кисень об'ємом 15 л.
- 116.** Для повного згоряння невідомого вуглеводню об'ємом 0,4 л витрати-ли кисень об'ємом 1 л. Після закінчення реакції та приведення об'ємів

газів до початкових умов об'єм газуватих продуктів становив 0,8 л. Установіть молекулярну формулу вуглеводню.

117. Установіть молекулярну формулу вуглеводню, під час згоряння якого утворився вуглекислий газ масою 6,6 г і вода масою 2,7 г. Відносна густина випарів вуглеводню за воднем становить 42.
118. Унаслідок згоряння вуглеводню кількістю речовини 0,05 моль утворилися вуглекислий газ та вода масами 11 г та 5,4 г відповідно. Установіть молекулярну формулу вуглеводню.
119. Установіть молекулярну формулу вуглеводню, якщо унаслідок спалювання його кількістю речовини 0,1 моль утворюється вода масою 5,4 г і вуглекислий газ об'ємом 8,96 л (н. у.).
120. Унаслідок спалювання вуглеводню масою 4,4 г утворилися вуглекислий газ масою 13,2 г і вода масою 7,2 г. Відносна густина випарів цього вуглеводню за повітрям 1,517. Установіть молекулярну формулу вуглеводню.
121. Унаслідок спалювання вуглеводню утворилися вуглекислий газ об'ємом 8,96 л (н. у.) та вода масою 7,2 г. Густина випарів вуглеводню 1,25 г/л. Установіть молекулярну формулу вуглеводню та вкажіть на особливості будови молекул речовин цього класу.
122. Унаслідок згоряння вуглеводню кількістю речовини 0,1 моль утворилися вуглекислий газ об'ємом 13,44 л (н. у.) і вода масою 12,6 г. Установіть молекулярну формулу вуглеводню.
123. Унаслідок згоряння органічної речовини масою 2,175 г утворилися вуглекислий газ і вода масою 4,95 г та 2,025 г відповідно. Відносна густина випарів речовини за повітрям дорівнює 2. Установіть молекулярну формулу речовини.
124. Унаслідок хлорування вуглеводню масою 1,44 г одержано його дихлоропохідну масою 2,82 г. Визначте вуглеводень.
125. Унаслідок хлорування алкану масою 0,114 г одержано його дихлоропохідну масою 0,183 г. Установіть вуглеводень.

§ 9. Алкени й алкіни: гомологічні ряди, ізомерія, номенклатура

Пригадайте:

- особливості будови молекул етену й етину;
- які вуглеводні називають ненасиченими;
- які речовини називають гомологами;
- загальні формули алкенів і алкінів;
- алгоритм складання назв алкінів (за § 5).

Поняття про алкени та алкіни. Гомологічні ряди алкенів і алкінів

Із курсу хімії 9 класу з ненасичених вуглеводнів вам уже відомі етен та етин. Ще 1862 року Еміль Ерленмейер висловив ідею про те,

що в молекулі етену наявний подвійний зв'язок між атомами Карбону, а в молекулі етину — потрійний. Після становлення теорії валентного зв'язку в наступному столітті ця ідея була блискуче підтверджена.

Етен та етин — найпростіші ненасичені вуглеводні, вони є першими представниками двох гомологічних рядів — алкенів і алкінів. Зверніть увагу на подібність загальних назв вуглеводнів та назв конкретних представників: за номенклатурою IUPAC наявність у молекулі подвійного зв'язку $C=C$ у назві позначають суфіксом *-ен-(-єн-)*, як в етену.



Алкени — ненасичені нециклічні вуглеводні, у молекулах яких є один подвійний зв'язок між атомами Карбону.

У молекулі етину наявний потрійний зв'язок $C\equiv C$, який у назві за номенклатурою IUPAC позначають суфіксом *-ин-(-ін-)*.



Алкіни — ненасичені нециклічні вуглеводні, у молекулах яких є один потрійний зв'язок між атомами Карбону.

Назви алкенів та алкінів складати дуже легко. Назви цих вуглеводнів походять від назв відповідних алканів заміною суфікса *-ан-* на суфікс *-ен-* (*-єн-*) для алкенів та на суфікс *-ин-* (*-ін-*) для алкінів (табл. 7).

Таблиця 7. Гомологічні ряди алкенів і алкінів

Алкени ($C_n H_{2n}$)		Алкіни ($C_n H_{2n-2}$)	
Молекулярна формула	Назва	Молекулярна формула	Назва
C_2H_4	етен (етилен)	C_2H_2	етин (ацетилен)
C_3H_6	пропен (пропілен)	C_3H_4	пропін

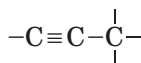
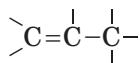
Структурні формули алкенів та алкінів складають так само, як і алканів, але в карбоновому ланцюзі зазначають подвійний (потрійний) зв'язок, після чого дописують символи атомів Гідрогену з урахуванням, що Карбон чотиривалентний.

Розгляньмо складання структурних формул на прикладі пропену та пропіну.

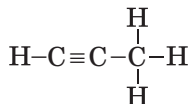
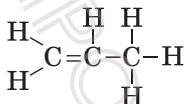
1. Зображуємо карбоновий ланцюг: для обох сполук він складається з трьох атомів Карбону. Позначаємо кратні зв'язки (між будь-якими атомами Карбону, якщо не вказано його розміщення):



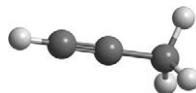
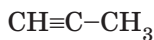
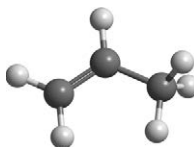
2. Від кожного атома Карбону зображуємо хімічні зв'язки так, щоб у кожного атома їх було по чотири:



3. Допишуємо символи атомів Гідрогену:



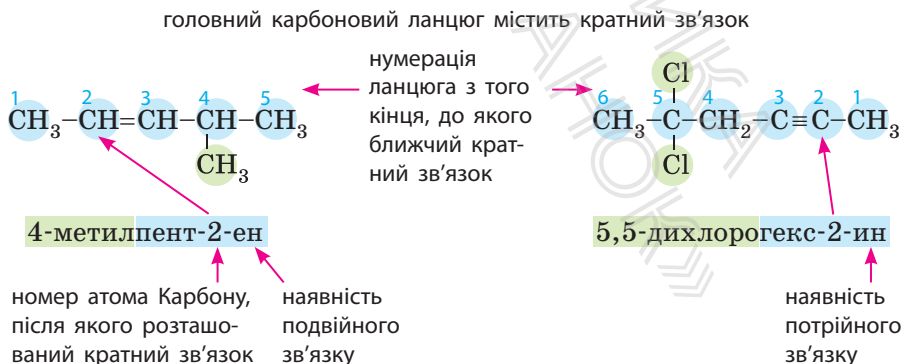
Скорочені структурні формули та моделі молекул, відповідно, виглядатимуть так:



Ненасичені вуглеводні: ізомерія та номенклатура

Як і для алканів, для алкенів та алкінів характерна структурна ізомерія, а саме *ізомерія карбонового ланцюга*. Разом із цим для них також характерний ще один вид ізомерії — ізомерія положення кратного зв'язку, що обов'язково відображається в назвах сполук.

Принцип складання назв алкенів, алкінів та їхніх похідних такий самий, як і для алканів (§ 5), але існують певні особливості:





Ріхард Август Карл Еміль Ерленмейєр (1825–1909)

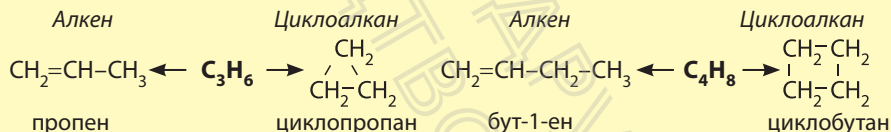
Установив наявність кратних зв'язків у молекулах етену й етину.

Ненасичені сполуки досить поширені в природі. Морква та гарбуз мають жовтий колір завдяки наявності каротиноїдів — речовин, із яких у нашому організмі утворюється вітамін А, необхідний для зору. Терпени — клас вуглеводнів, що містяться в ефірних оліях, живиці сосни. Один із терпенів — лімонен — зумовлює запах цитрусових.



Для алкенів характерний ще один вид структурної ізомерії, а саме те, що два ізомери належать до різних гомологічних рядів.

Для алкенів характерна ізомерія з циклоалканами, тобто зі складом C_nH_{2n} може існувати алкен та циклоалкан. Наприклад:



Ключова ідея

У алкенів та алкінів необхідно враховувати можливість ізомерії положення кратного зв'язку та позначати його положення в назві.



Контрольні запитання

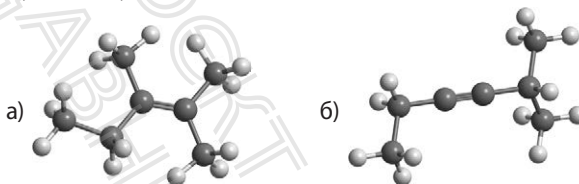
126. Які вуглеводні називають ненасиченими? У чому полягає їхня головна відмінність від насичених вуглеводнів?
127. Чому перші члени гомологічних рядів алкенів та алкінів містять по два атоми Карбону, а не по одному?
128. Які види структурної ізомерії характерні для алкенів та алкінів? Наведіть приклади ізомерів.



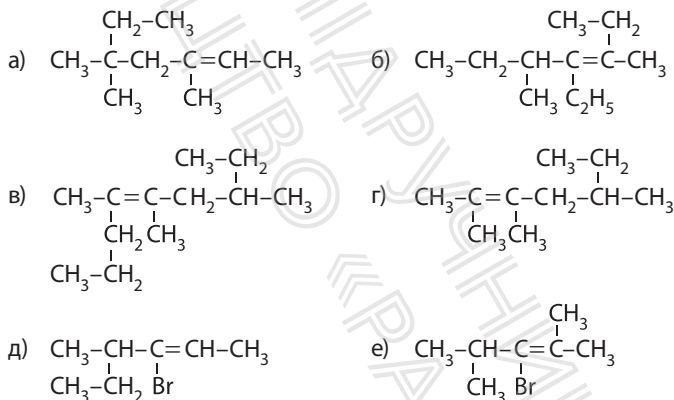
Завдання для засвоєння матеріалу

129. Складіть молекулярні формули алкену та алкіну, молекули яких містять по 6 атомів Карбону.

- 130.** Складіть структурні формули найпростіших алкену й алкіну з розгалуженим карбоновим ланцюгом. Назвіть їх за систематичною номенклатурою.
- 131.** Складіть структурні формули сполук: а) бут-1-ен; б) бут-2-ин; в) пент-2-ен; г) 4-метилпент-2-ин; д) 2,3,5-триметилгепт-2-ен; е) 2,3,5-триметилгекс-3-ен; є) 2,4-дибромо-3,5-диметилгекс-3-ен; ж) 3-бромо-2,4-диметилпент-2-ен; з) 3-бромо-4-метилгекс-2-ен; и) 3-бромо-4-метилпент-2-ен; і) 3,3-диметилбут-1-ин; к) 1,3-дибромо-3-метилбут-1-ин; л) 1,4-дихлоробут-2-ин; м) 4,4-дибромопент-2-ин.
- 132.** За наведеними моделями молекул складіть скорочені структурні формули сполук та назвіть їх.



- 133.** Назвіть сполуки за структурними формулами:



- 134.** Складіть усі можливі структурні ізомери сполук із подвійним зв'язком: а) C_5H_{10} ; б) $\text{C}_4\text{H}_7\text{Cl}$; в) $\text{C}_4\text{H}_6\text{Br}_2$. Назвіть їх.

Комплексні завдання

- 135.** У скільки разів густина газуватого пропену більша за густину етену (н. у.)?
- 136.** Установіть молекулярну формулу сполук: а) алкену ($M_r = 84$); б) алкіну ($M_r = 68$); в) алкену (густина 1,875 г/л).
- 137.** Установіть формулу вуглеводню, у якому масова частка Карбону становить 85,7 %, а відносна густина його випарів за гелієм дорівнює 28.

Завдання для розвитку критичного мислення

138. Чому назва вуглеводню «пентин» не зовсім коректна?

139. Чи існують сполуки з назвами: а) 1,4,4-трибромобут-2-ен; б) 3-метил-1-хлоробут-2-ин; в) 2,4-диметилбут-2-ен? Відповідь поясніть.

§ 10. Етен та етин: хімічні властивості

Пригадайте:

- фізичні властивості етену та етину;
- реакції гідрогенізації (гідрування) та галогенування етену й етину (за § 1);
- взаємодія етену й етену з бромною водою (розчином броду у воді), унаслідок якої відбувається знебарвлення. Це — якісна реакція на ненасичені сполуки.

Хімічні властивості етену та етину

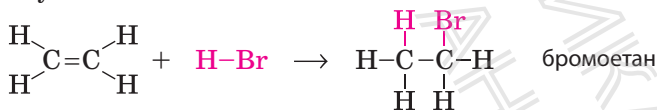
У 9 класі ви вже вивчали реакції гідрогенізації (гідрування) та галогенування етену й етину. Цими реакціями ілюструють ненасичений характер цих вуглеводнів, а саме можливість етену й етину приєднувати інші речовини (реакції приєднання).

Для алкенів та алкінів характерними є реакції приєднання:

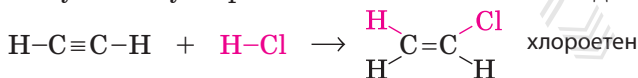
- водню — гідрогенізація (гідрування);
- галогеноводнів (HF, HCl, HBr, HI) — гідрогенгалогенування;
- води — гідратація.

1. Гідрогенгалогенування. Процес приєднання галогеноводнів (HF, HCl, HBr, HI) називають *гідрогенгалогенуванням*. Реакція відбувається так само, як із воднем або галогенами: кратний зв'язок між атомами Карбону руйнується (перетворюється на одинарний), до цих атомів Карбону приєднуються атоми Гідрогену й Галогену.

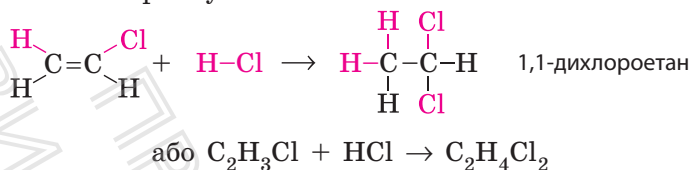
Для етену:



Етин із галогеноводнями може реагувати за двома стадіями. На першому етапі утворюється моногалогенопохідна етену:



На другому етапі утворюється дигалогенопохідна етану, причому в молекулі утвореної речовини обидва атоми Галогену сполучені з одним атомом Карбону:



Сумарне рівняння: $\text{C}_2\text{H}_2 + 2\text{HCl} \rightarrow \text{C}_2\text{H}_4\text{Cl}_2$

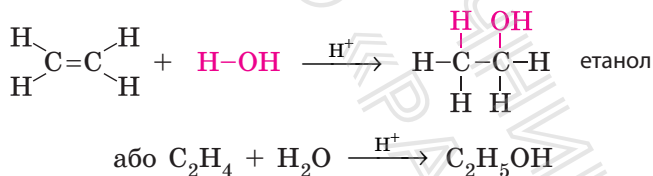
Реакція гідрогенгалогенування відбувається за звичайних умов і лише з хлороводнем — за незначного нагрівання.



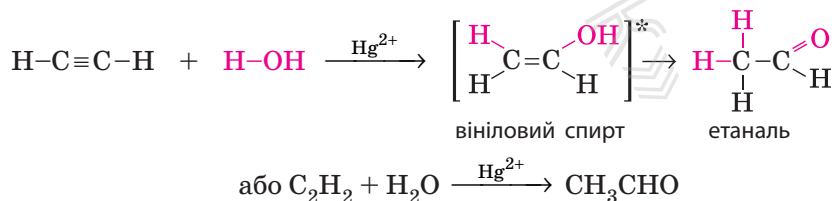
Залишок $\text{CH}_2=\text{CH}-$ називають вініл, тому в хлоретену є ще одна назва — вінілхлорид, яку вживають частіше за номенклатурну назву, особливо в промисловості. Вінілхлорид є сировиною (мономером) для промислового одержання дуже цінного полімеру — полівінілхлориду (ПВХ).

2. Гідратація. Процес приєднання води називають *гідратацією*. Якщо описані вище властивості етену й етину принципово не відрізнялися, то гідратація цих сполук відбувається по-різному.

Гідратація етену відбувається внаслідок пропускання його крізь розчин кислот (сульфатної чи ортофосфатної). При цьому до одного атома Карбону приєднується атом Гідрогену, а до іншого — $-\text{OH}$. Продуктом реакції є спирт:

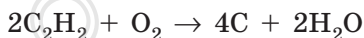


Гідратація етину відбувається за наявності солей Меркурію(II). Спочатку утворюється нестійкий ненасичений спирт (вініловий спирт, його нестійкість позначено квадратними дужками із зірочкою), який одразу перетворюється на етаналь:

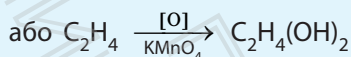
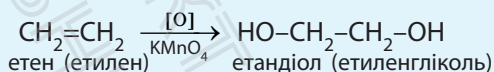


Неможливість існування ненасичених спиртів, у яких група $-\text{OH}$ сполучена з атомом Карбону поряд із подвійним зв'язком, довів український учений О. П. Ельтеков і сформулював правило, що назване його ім'ям.

3. Часткове окиснення. Під частковим окисненням розуміють такі реакції, у яких Карбон у продуктах реакції не у вищому ступені окиснення (менше ніж $+4$). І етен, і етин за умови нестачі кисню згоряють кіптявим полум'ям унаслідок утворення вуглецю:



Часткове окиснення етену відбувається внаслідок пропускання етену крізь розчин калій перманганату з утворенням етандіолу:



В органічній хімії у схемах реакцій окиснення часто не пишуть хімічну формулу окисника, а замінюють її символом $[\text{O}]$.

Під час реакції спостерігають перетворення калій перманганату на іншу сполуку, яка має інший колір, тому цю реакцію (а також реакцію з розчином броду) використовують як якісну для виявлення ненасичених сполук.

Промислове значення має часткове окиснення етену киснем за наявності срібла як каталізатора. Продуктом є цінна для промисловості речовина — етиленоксид, що є сировиною для одержання етиленгліколю та поліетиленгліколю.

Ключова ідея

Етен та етин хімічно активніші за алкани: більшість хімічних реакцій відбуваються за звичайних умов. Для ненасичених вуглеводнів характерними є реакції приєднання.



Контрольні запитання

- 140.** Схарактеризуйте хімічні властивості ненасичених вуглеводнів.
- 141.** За допомогою яких реакцій можна довести, що етен чи етин — це ненасичені сполуки?



**Олександр Павлович
Ельтеков (1846–1894)**

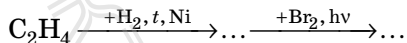
Досліджував хімічні властивості ненасичених сполук.

142. Поясніть, чому за однакового об'єму етин приєднує у два рази більше водню за етен.
143. Запишіть рівняння реакцій взаємодії етену й етину: а) із воднем; б) гідроген бромідом; в) хлором.



Завдання для засвоєння матеріалу

144. У який спосіб можна відрізнити метан від суміші етану з етеном? Складіть відповідні рівняння реакцій.
145. Історична назва алкенів — олефіни — пішла від того, що етен із хлором утворює олієподібний продукт («олія голландських хіміків», відкритий 1795 року). Запишіть рівняння цієї реакції.
146. Запишіть рівняння реакції взаємодії етину кількістю речовини 1 моль із хлором кількістю речовини 2 моль та назвіть продукт реакції.
147. Запишіть рівняння реакцій для здійснення перетворень за схемою:



Комплексні завдання

148. Обчисліть масу хлоропропану, який можна добути з пропену об'ємом 11,2 л (н. у.).
149. Обчисліть об'єм кисню, необхідний для повного згоряння бут-2-ену об'ємом 180 л.
150. Обчисліть об'єм водню, із яким взаємодіє: а) етен масою 7 г; б) етин об'ємом 5,6 л (н. у.).
151. Обчисліть масу продукту реакції пропіну об'ємом 11,2 л (н. у.) із хлором, узятим у надлишку.
152. Обчисліть масу дихлороетану, який можна добути гідрогенгалогенуванням етину об'ємом 16,8 л (н. у.).
153. На бромовання етену витрачено розчин бром масою 100 г із масовою часткою бром 6,4 %. Обчисліть масу продукту реакції.
154. Суміш метану й етену об'ємом 0,56 л (н. у.) пропустили крізь розчин бром масою 160 г з масовою часткою 2 %, унаслідок чого забарвлення розчину зникло. Обчисліть об'ємну частку етену в суміші.
155. Для взаємодії з алкеном масою 8,4 г витратили водень кількістю речовини 0,15 моль. Установіть формулу алкену.
156. Суміш етену, пропану й пропену об'ємом 1 л може прореагувати з хлором масою 3,55 г. Обчисліть об'єм водню, який прореагує з такою самою сумішшю такого самого об'єму.

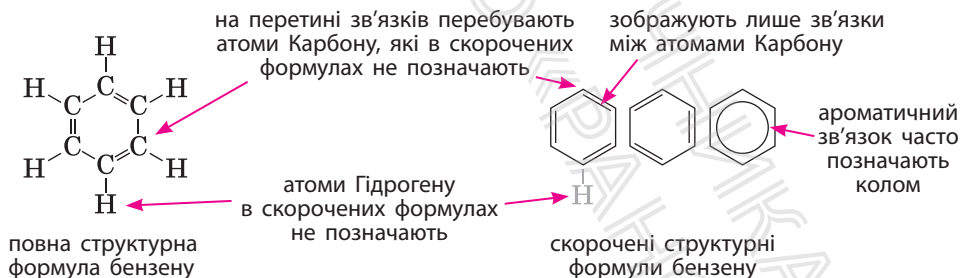
§ 11. Бензен — найпростіший ароматичний вуглеводень

Поняття про ароматичні вуглеводні. Формула бензену

Особливе місце з-поміж органічних сполук посідають ароматичні речовини, зокрема ароматичні вуглеводні. *Ароматичними* є сполуки, молекули яких містять *бензенове кільце* — цикл із шести атомів Карбону з особливим типом зв'язку між ними (ароматичним зв'язком). Ця назва склалася історично, тому що перші відомі речовини цього класу мали приємний запах.

Найпростіший ароматичний вуглеводень — бензен (часто також використовують назву «бензол»). Це перший представник *гомологічного ряду ароматичних вуглеводнів — аренів*. Загальна формула аренів C_nH_{2n-6} ($n \geq 6$).

Молекула бензену утворена шістьма атомами Карбону (бензенове кільце), що у просторі розташовані в кутах правильного шестикутника. Кожний атом Карбону сполучений з одним атомом Гідрогену. Молекулярна формула бензену C_6H_6 . Структурну будову молекули бензену зображують по-різному:

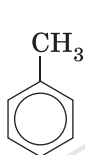


Будову молекули бензену запропонував німецький хімік Ф. Кекуле 1865 року, як і термін «ароматичні сполуки».

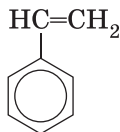
Ароматичний зв'язок у молекулі бензену зображують за допомогою одинарних та подвійних зв'язків, що чергуються, або кола всередині шестичленного карбонового циклу. Інші сполуки, що містять фрагмент молекули бензену, також називають ароматичними, наприклад:



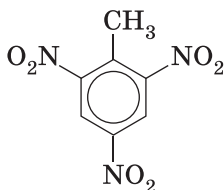
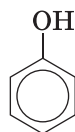
Фрідріх Август Кекуле фон Штрадоніц (1829–1896)
Установив будову молекули бензену.



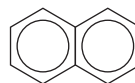
толуен



стирен

тринітротолуен
(тротил)

фенол

нафтален
(нафталін)

Нафталін

Напевно, ви бачили вдома невеличку комаху — міль. Самі по собі ці комахи не шкідливі, але їхні гусениці є шкідниками. Існують різні види молі, які можуть пошкодити і хутряну шубу, і вовняний одяг, і меблі, і крупи. Першим хімічним засобом боротьби з міллю (інсектицидом) була ароматична сполука нафтален (або нафталін). Нафтален за звичайних умов є твердою речовиною, але він дуже легкий і має специфічний запах. Він є отрутою для молі, тому ним прошаровували одяг у шафах. За тривалого зберігання речі набували нафталенового запаху, звідки пішов вислів «пахне нафталіном» для позначення дуже старих речей.

Ідея будови молекули бензену народилася в Кекуле під час роботи над підручником з хімії. Саме в той час він був свідком на судовому процесі зі вбивства графінї Герліц. Як доказ там демонстрували каблучку у вигляді двох переплєтених зміюк. Із записів Кекуле: «Мої думки кружляли... довгі нитки зближалися й згорталися в кільце, нагадуючи змію. Одна з них учепилася у власний хвіст, продовжуючи глумливо кружляти перед моїми очима».



Фізичні властивості бензену

- Безбарвна рідина зі специфічним «солодкуватим» запахом;
- $t_{\text{пл.}} = 5,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, $t_{\text{кип.}} = 80,1\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\rho = 0,88\text{ г/см}^3$;
- не розчиняється у воді (0,08 г у 100 г води), добре розчиняється в органічних розчинниках і сам є добрим розчинником для багатьох органічних речовин;

- токсичний: вдихання випарів бензену спричиняє головний біль і запаморочення, за високих концентрацій бензену в повітрі можна знепритомніти. Випари бензену подразнюють очі й слизові оболонки;

- канцерогенний: підвищує ймовірність виникнення злоякісних пухлин, є ксенобіотиком — речовиною, чужорідною для живих організмів.



Хімічні властивості бензену

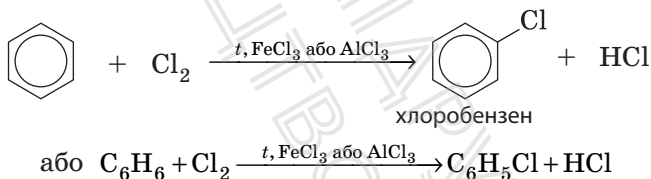
1. Горіння. Як і всі вуглеводні, бензен добре горить. У надлишку кисню він згоряє безбарвним полум'ям з утворенням вуглекислого газу і води:



Але в більшості випадків бензен горить кіптявим полум'ям (мал. 11.2).

- Для аренів більш характерні є реакції заміщення, зокрема з галогенами (Cl_2 , Br_2) — галогенування;
- менш характерні реакції приєднання, зокрема водню — гідрогенізація (гідрування);
- як і для більшості органічних сполук, для бензену характерна реакція горіння.

2. Галогенування. Хоча бензен не є насиченим вуглеводнем, але завдяки ароматичному зв'язку він є хімічно дуже малоактивною речовиною і тому для бензену характерні реакції заміщення, як для насичених вуглеводнів. Бензен взаємодіє з галогенами (Cl_2 та Br_2) за наявності каталізаторів (галогенідів Алюмінію чи Феруму(III)). Унаслідок реакції заміщується один атом Гідрогену біля будь-якого атома Карбону:



Для реакції бензену з хлором використовують хлориди Алюмінію чи Феруму(III), а для реакції з бромом — броміди.

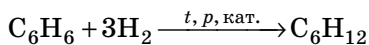
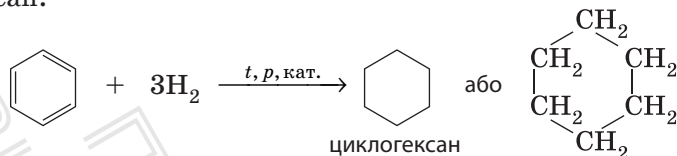
На відміну від етену й етину бензен не реагує з бромом, розчиненим у воді (бромною водою). Це доводить, що бензен не можна називати ненасиченою сполукою, а в його молекулах немає подвійних зв'язків. Бензен — ароматична сполука з особливим (ароматичним) зв'язком, відмінним від одинарних, подвійних і потрійних зв'язків.

3. Гідрогенізація (гідрування). Хоча для бензену більш характерні реакції заміщення, утім можливі й реакції приєднання. Зокрема, він реагує з воднем за умов сильного нагрівання, високого тиску й наявності каталізаторів (Ni , Pd або Pt).

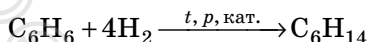


Мал. 11.2. Горіння бензену

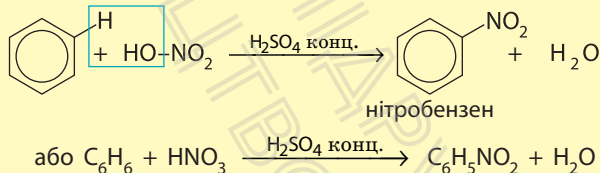
Продуктом реакції гідрювання бензену є циклічний вуглеводень циклогексан:



За тривалого нагрівання продуктом цієї реакції є *n*-гексан:

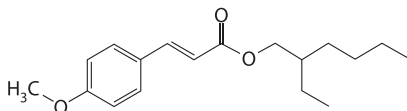


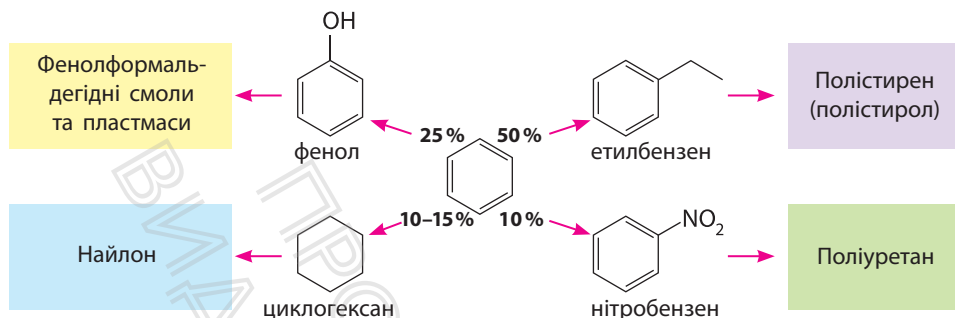
Реакція нітрування. Досить важливою для промисловості є хімічна властивість бензену та інших аренів взаємодіяти з нітратною кислотою. Це перша стадія в технології виробництва вибухових речовин та штучних анілінових барвників. Унаслідок нагрівання бензену з концентрованою нітратною кислотою у суміші з концентрованою сульфатною (цю суміш називають нітрувальною) відбувається заміщення атома Гідрогену нітрогрупою $-\text{NO}_2$:



Сонцезахисні креми

Від Сонця на Землю потрапляє електромагнітне випромінювання, певний діапазон якого має шкідливий вплив на живі організми, зокрема ультрафіолетове випромінювання. Більшою мірою воно поглинається озоновим шаром, але частина його потрапляє до поверхні Землі. Ультрафіолет спричиняє засмагу шкіри людини, але у великих дозах він може спричинити певні захворювання, зокрема рак шкіри. Тому збільшується використання сонцезахисних кремів. Речовини, що містяться в таких кремах, поглинають шкідливе випромінювання та перетворюють його на теплове (інфрачервоне) випромінювання. Таку дію зумовлює наявність у молекулах цих речовин фрагментів бензену, сполучених з іншими характеристичними групами.





Мал. 11.3. Основні напрямки переробки бензену

Застосування бензену

Чистий бензен використовують мало, переважно як органічний розчинник. Але бензен є найважливішою сировиною для хімічної промисловості, оскільки на його основі одержують багато похідних, що мають широке застосування.

Бензен — сировина для виробництва ліків, барвників, полімерів, пестицидів, інсектицидів тощо (мал. 11.3). Продукти нітрування бензену та його похідних використовують для виготовлення вибухівки. Продукти його взаємодії із сульфатною кислотою є основою для виготовлення синтетичних мийних засобів.

Уперше бензен одержав 1832 року Ейльгард Мітчерліх нагріванням бензойної кислоти з вапном. Учений назвав його бензином. 1834 року Лібіх запропонував змінити цю назву на бензен, оскільки, на його думку, суфікс *-ин-* нагадує стрихнін, хінін тощо — речовини, із якими бензен не має спільних властивостей.



Ключова ідея

Бензен — найпростіший ароматичний вуглеводень. Ароматичний зв'язок зумовлює подібність його хімічних властивостей як до алканів, так і до алкенів.



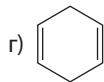
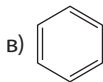
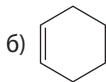
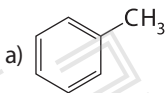
Контрольні запитання

157. Які речовини відносять до ароматичних?
158. Поясніть, чому структурні формули бензену зображають по-різному.
159. Схарактеризуйте фізичні властивості бензену.
160. До яких вуглеводнів подібний бензен за хімічними властивостями: до насичених чи ненасичених? Відповідь поясніть.
161. Складіть повну (розгорнуту) структурну формулу хлоробензену.
162. Схарактеризуйте галузі застосування бензену.

**Завдання для засвоєння матеріалу**

163. Запишіть рівняння реакції неповного окиснення бензену з утворенням вуглецю.

164. З-поміж наведених визначте формули ароматичних сполук.



165. Запишіть рівняння бромовання бензену. Які каталізатори для цього можна застосовувати?

Комплексні завдання

166. Обчисліть відносну густину випарів бензену за повітрям та воднем.

167. Обчисліть масу хлоробензену, який можна добути з бензену масою 15,6 г.

168. Обчисліть масу дихлоробензену, який можна добути з бензену, якщо було витрачено хлор об'ємом 44,8 л (н. у.).

169. До водного басейну об'ємом 500 тис. м³ помилково потрапили промислові викиди з умістом бензену. Обчисліть об'єм бензену (густина 0,88 г/л), що потрапив у басейн, якщо його концентрація у воді басейну становить максимально допустиму. За нормативами, гранично допустима концентрація бензену у воді (ГДК) — 0,05 г/л.

Завдання для розвитку критичного мислення

170. Уявіть ситуацію: ви зайшли в лабораторію і побачили, що бензен у склянці перебуває у твердому стані. Про що це свідчить?

171. У двох пробірках містяться дві безбарвні рідини: бензен і гексен. Як можна відрізнити вміст цих пробірок, маючи бром та залізний порошок?

Мініпроекти

172. У додаткових джерелах знайдіть інформацію про застосування бензену та його похідних. Поясніть, на яких фізичних або хімічних властивостях ґрунтується їхнє застосування.

§ 12. Методи одержання вуглеводнів. Взаємозв'язок між вуглеводнями

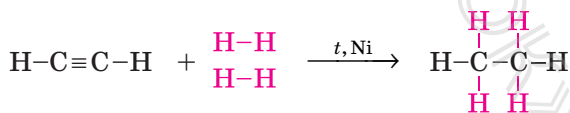
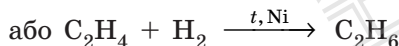
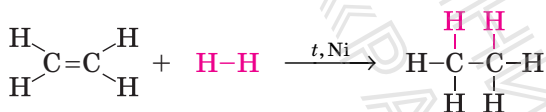
Одержання алканів

Алкани є досить поширеними в природі сполуками. Переважно з алканів складаються природний газ та нафта, тому алкани зазвичай виділяють із відповідних природних копалин.

Але одержати алкани можна також у результаті хімічних реакцій. Зокрема, два методи одержання алканів ми вже розглянули в §6.

Ізомеризація та термічний розклад — хімічні властивості алканів. Але під час цих процесів із одних алканів утворюються інші, отже, вони також є методами добування алканів. Це характерна особливість органічної хімії: хімічні властивості речовин одного гомологічного ряду або класу сполук є методом одержання речовин іншого гомологічного ряду або класу та навпаки.

Ще один метод одержання алканів ви розглянули в 9 класі — *гідрогенізація (гідрування) ненасичених вуглеводнів* — приєднання водню до етену й етину та їхніх гомологів під час нагрівання за наявності каталізатора:

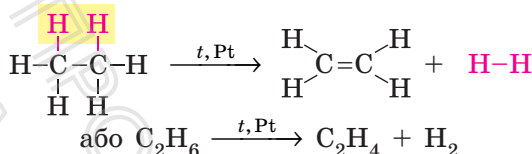


Поль Сабатьє (1854–1941)
Дослідив реакцію гідрогенізації ненасичених сполук.

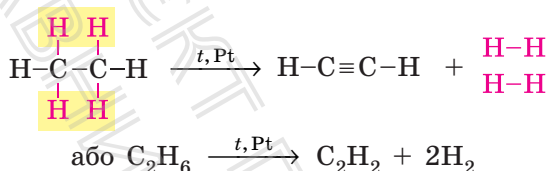
Одержання етену та етину

1. Дегідрування алканів. Процес відщеплення водню називають *дегідрогенізацією*, або *дегідруванням*.

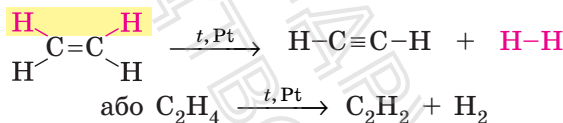
Етен, як і інші алкени, утворюється внаслідок відщеплення водню від насичених вуглеводнів:



Для одержання алкінів необхідно від алкану відщепити дві молекули водню:

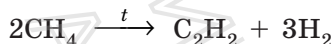


Також для одержання алкінів можна використовувати й алкени. Одержати етин можна дегідруванням етену:

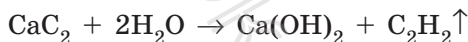


Значний внесок у дослідження реакцій дегідрування вуглеводнів зробив наш співвітчизник М. Д. Зелінський.

2. Термічний розклад — розкладання речовин за нагрівання. Основний промисловий спосіб одержання етину — нагрівання метану до 1500 °C:



3. Карбідний спосіб одержання етину. Етин утворюється внаслідок гідролізу кальцій ацетиленіду CaC_2 (у промисловості його називають кальцій карбідом):



Його переважно використовують для одержання етину під час зварювання металів (ацетиленове зварювання). Етин (ацетилен) одержують безпосередньо пе-



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

Дослідив реакції дегідрогенізації вуглеводнів.

Мал. 12.2. Полум'я ацетиленокисневого пальника (а) та балон для одержання ацетилену з кальцій карбіду CaC_2 перед подачею його в пальник — генератор ацетилену (б)



а



б

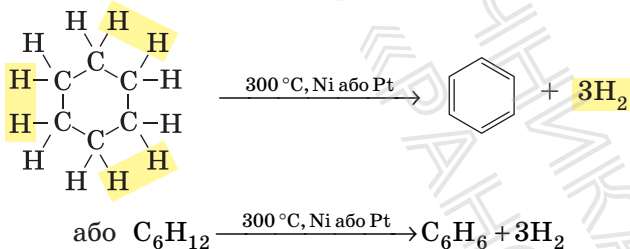
ред спалюванням у пальнику в спеціальних балонах — генераторах ацетилену (мал. 12.2).

В Україні найбільші обсяги етену, пропену та етину виробляють на ТОВ «Карпатнафтохім» (м. Калущ, Івано-Франківська обл.) і використовують переважно для синтезу полімерів.

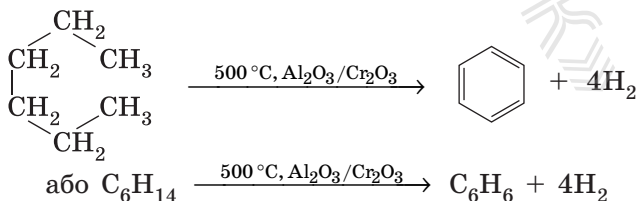
Одержання бензену

1. Дегідрування (ароматизація) вуглеводнів. Більшу частину (40–60 %) бензену у світі одержують із бензинових фракцій нафти. Під час пропускання алканів або циклоалканів над каталізаторами від їхніх молекул відщеплюється водень з утворенням ароматичних сполук.

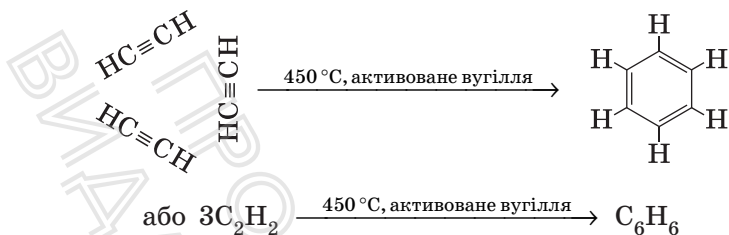
Бензен утворюється внаслідок дегідрування циклогексану:



а також унаслідок дегідроциклізації (дегідрування з одночасним замкненням циклу) гексану:



2. Тримеризація етину. Бензен у промисловості також одержують з етину. Під час пропускання етину над розпеченим активованим вугіллем три молекули етину сполучаються в одну молекулу бензену:

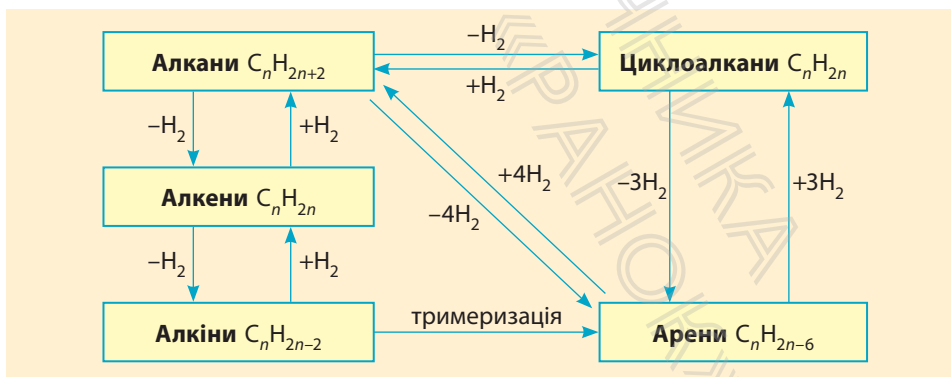


В Україні бензен виробляють на хімічному підприємстві ТОВ «Карпатнафтохім» (м. Калущ, Івано-Франківська обл.). Причому цей бензен не синтетичний, а виділений з кам'яновугільної смоли (побічний продукт коксування вугілля) або одержаний дистиляцією певних фракцій від перегонки нафти. Цей бензен використовують для виробництва аніліну та промислових вибухових речовин.

Взаємозв'язок між вуглеводнями

Маючи сполуку одного гомологічного ряду можна одержати сполуки іншого гомологічного ряду. Так, між вуглеводнями існує взаємозв'язок (генетичний ланцюг), зображений на схемі. Ґрунтуючись на ньому, можна здійснювати різні перетворення.

Взаємозв'язок між вуглеводнями



Ключова ідея

Хімічні властивості сполук одного класу є методом одержання сполук іншого класу.



Завдання для засвоєння матеріалу

174. Запишіть рівняння реакцій для здійснення перетворень за схемами:

- $\text{C}_2\text{H}_4 \rightarrow \text{C}_2\text{H}_6 \rightarrow \text{C}_2\text{H}_4 \rightarrow \text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$;
- $\text{CH}_4 \rightarrow \text{C}_2\text{H}_2 \rightarrow \text{C}_2\text{H}_4 \rightarrow \text{C}_2\text{H}_2 \rightarrow \text{CH}_3\text{CHO}$;
- $\text{CH}_4 \rightarrow \text{C}_2\text{H}_2 \rightarrow \text{C}_6\text{H}_6 \rightarrow \text{C}_6\text{H}_5\text{Cl}$;
- $\text{CaC}_2 \rightarrow \text{C}_2\text{H}_2 \rightarrow \text{C}_6\text{H}_6 \rightarrow \text{C}_6\text{H}_5\text{NO}_2$;
- $\text{C} \rightarrow \text{CH}_4 \rightarrow \text{C}_2\text{H}_2 \rightarrow \text{C}_2\text{H}_6$.

175. Розшифруйте схеми та запишіть рівняння реакцій, за допомогою яких можна здійснити перетворення:

- $\text{C}_2\text{H}_2 \xrightarrow{\text{C}, 450^\circ\text{C}} \dots \xrightarrow{+\text{Cl}_2, \text{AlCl}_3} \dots$
- $\text{CH}_4 \xrightarrow{1500^\circ\text{C}} \dots \xrightarrow{+1 \text{ моль } \text{H}_2, \text{Ni}} \dots \xrightarrow{+\text{Br}_2} \dots$

Комплексні завдання

- Обчисліть об'єм етину (н. у.), необхідного для одержання бензену об'ємом 22,16 мл (густина 0,88 г/см³).
- Обчисліть об'єм водню (н. у.), необхідного для одержання етану кількості речовини 0,2 моль з: а) етену; б) етину.

Завдання для розвитку критичного мислення

- Хіміками було витрачено багато зусиль для синтезу метану з простих речовин. Одержання метану з вуглецю та водню було відкрито лише 1897 року, а за 40 років до того (1856 року) М. Бертло одержав метан пропусканням сірковуглецю (карбон(IV) сульфід) разом із гідроген сульфідом через трубку з розпеченою міддю. Запишіть рівняння реакції одержання метану за методом Бертло.
- Запишіть схему одержання бензену з кальцій карбонату.
- Як ви вважаєте, чому реакцію Зелінського називають тримеризацією?
- Із додаткових джерел дізнайтеся, що називають піролізом і крекінгом. Поясніть значення цих термінів, зважаючи на переклад із латинської та англійської мов відповідно. Чому ці терміни використовують для позначення термічного розкладу?

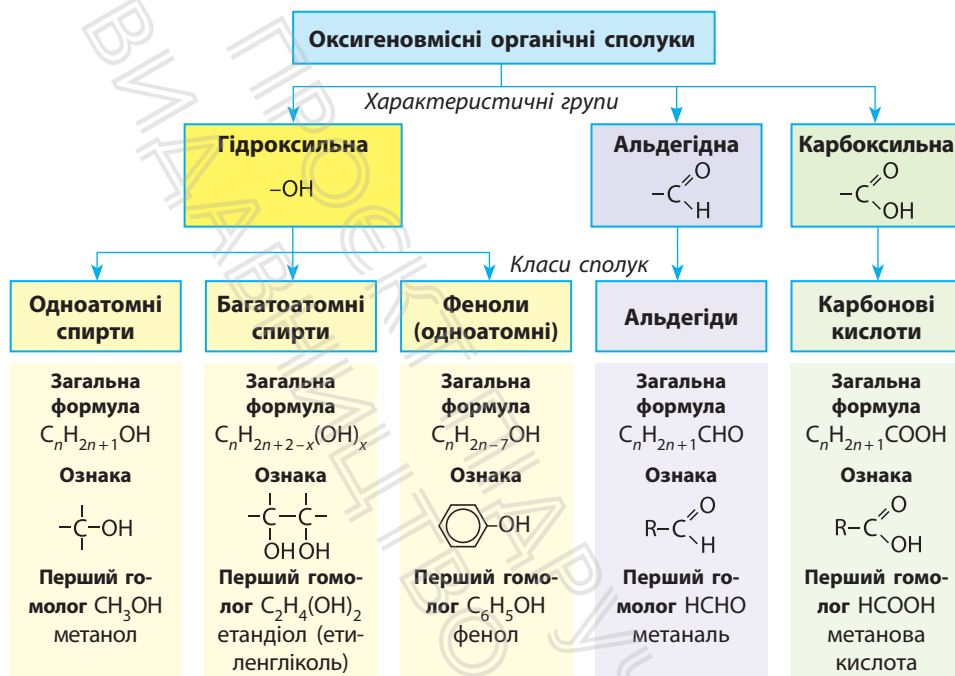
Навчальні проєкти до теми «Вуглеводні»

- Октанове число та якість бензину.
- Цетанове число дизельного палива.
- Ароматичні сполуки навколо нас.
- Смог як хімічне явище.
- Коксування вугілля: продукти та їхнє використання.
- Біогаз.
- Вплив на довкілля вуглеводнів та їхніх похідних.



Тестові завдання за темою «Вуглеводні».

ТЕМА 3. ОКСИГЕНОВМІСНІ ОРГАНІЧНІ СПОЛУКИ



§ 13. Спирти: класифікація, ізомерія та номенклатура

Пригадайте:

- склад молекул і характерні ознаки метанолу, етанолу та гліцеролу (за § 1);
- алгоритм складання назв алканів (за § 5).

Поняття про спирти

Минулого року ви вивчали найпростіші одноатомні спирти — метанол і етанол. А також багатоатомний спирт гліцерол. Але так само як існує величезна кількість вуглеводнів, існує багато різних спиртів. У молекулах усіх спиртів обов'язково наявна гідроксильна група $-\text{OH}$, вона є характерною (функціональною) для цього класу сполук.



Характеристична група — це атом або група атомів, що зумовлює характерні властивості органічних сполук та їх належність до певного класу.



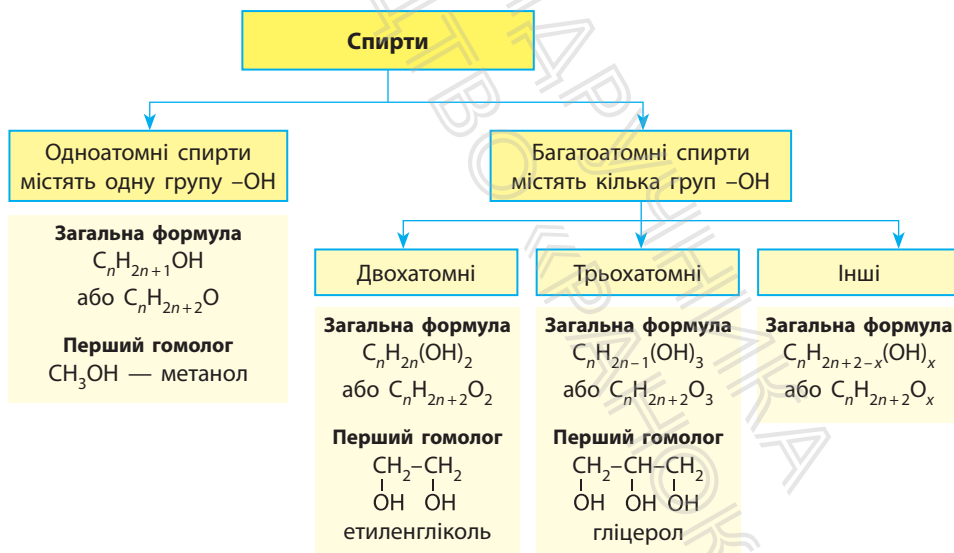
Спирти — органічні сполуки, що містять одну чи декілька гідроксильних груп $-\text{OH}$, сполучених із насиченим атомом Карбону.

Загальну формулу спиртів можна записати по-різному. Якщо не має значення, похідним якого вуглеводню є спирт, тобто з яким вуглеводневим залишком сполучена група $-\text{OH}$, то спирт можна позначити загальною формулою:

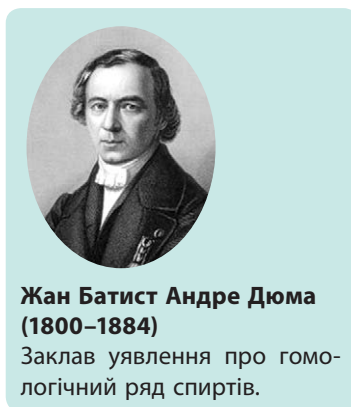


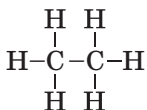
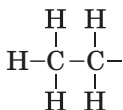
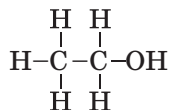
Залишок R може бути утворений будь-яким вуглеводнем (алканом, алкеном, алкіном, а також ареном). У цьому курсі ми вивчатимемо лише насичені спирти, отже, залишки є похідними алканів.

За числом груп $-\text{OH}$ у молекулах з-поміж спиртів виділяють:



Склад насичених одноатомних спиртів ациклічної будови описують загальною формулою $\text{C}_n\text{H}_{2n+1}\text{OH}$ ($n \geq 1$) або $\text{C}_n\text{H}_{2n+2}\text{O}$.



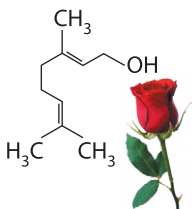
алкан $\text{C}_n\text{H}_{2n+2}$ алкільний залишок $\text{C}_n\text{H}_{2n+1}$ насичений спирт
 $\text{C}_n\text{H}_{2n+1}\text{OH}$, або $\text{C}_n\text{H}_{2n+2}\text{O}$

Уявлення про спирти як про клас органічних сполук уперше сформував видатний французький хімік Ж. Б. Дюма 1835 року. Він також детально дослідив склад і будову природних спиртів камфори й ментолу.

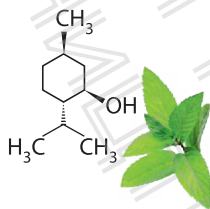


Спирти

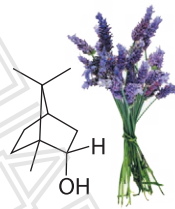
Спирти досить поширені в природі. Деякі з них мають дуже приємний запах і зумовлюють аромат ефірних олій.



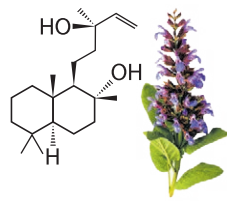
Гераніол
зумовлює запах
троянд



Ментолом
пахне м'ята



Борнеол міститься
в ефірних оліях
лаванди, розмари-
ну та коріандру



Склареол
виділяють із листя
шавлії мускатної

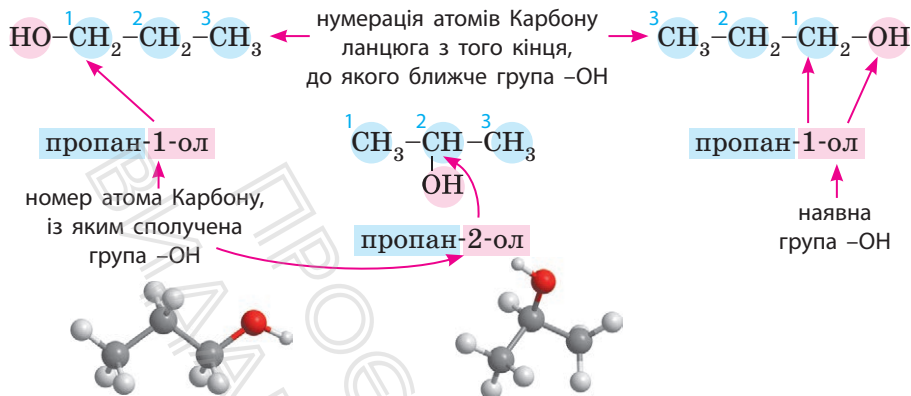
Номенклатура насичених одноатомних спиртів

Назви спиртів складають подібно до назв алканів:

префікс	родонаціальна структура	суфікс
назви замісників за алфавітом	корінь назва головного ланцюга	суфікс + для насичених спиртів -ан-
		позначення характерис- тичної групи -ОН -ол-, та її розміщення

Але існують певні особливості:

- нумерацію головного ланцюга починають із того кінця, до якого ближче характеристична група (навіть якщо в ланцюзі є подвійний або потрійний зв'язок);
- у назвах спиртів наявність групи -ОН позначають суфіксом -ол- та вказують номер атома Карбону, із яким сполучена група -ОН.

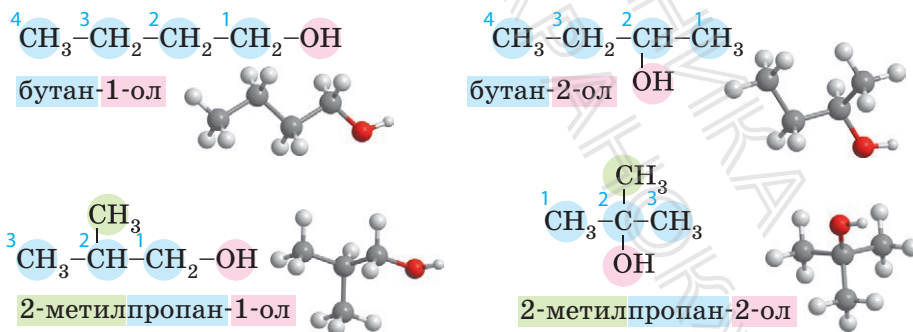


Ізомерія насичених одноатомних спиртів

Як і для алканів, за наявності чотирьох атомів Карбону в молекулах для насичених одноатомних спиртів характерна *ізомерія карбонового ланцюга*. Крім того, унаслідок наявності групи $-OH$ для цих спиртів характерна *ізомерія розміщення характеристичної групи*. Так, для спирту складу C_3H_7OH існують два ізомери: пропан-1-ол та пропан-2-ол. А для спирту складу C_4H_9OH існують уже чотири ізомери з різними головними ланцюгами та розміщенням характеристичної групи:

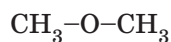
Для спиртів характерна ізомерія:

- карбонового ланцюга;
- розміщення характеристичної групи;
- міжкласова ізомерія з етерами.



Для насичених одноатомних спиртів характерна *міжкласова ізомерія*. Речовини, ізомерні одноатомним насиченим спиртам, належать до класу етерів.

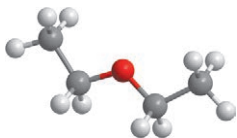
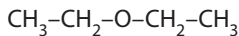
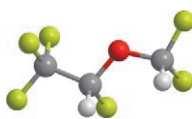
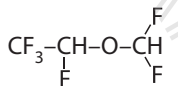
Наприклад:

молекулярна формула C_2H_6O етиловий спирт
(етанол)структурні формули ізомерів,
що належать до різних класів
органічних сполукдиметиловий етер
(метоксиметан)

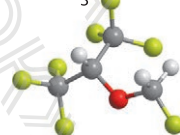
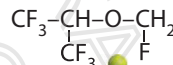
Друга назва спиртів — «алкоголі» — походить від арабського *al-kohol*. Цю назву для спиртів почали застосовувати наприкінці XVI століття, причому лише для винного спирту (етанолу). Згодом назву «алкоголі» почали застосовувати до групи речовин. Цікаво, що давньоєврейською та арабською мовами слово *Kohl* означало порошок (*аль* — це артикль перед іменниками в арабській мові). Парацельс про тонкоподрібнену сурму писав «сурма, подрібнена в алкоголь», а про винний спирт — «роздроблений до найдрібніших частинок винний осад». До наших часів слово «алкоголь» у цьому значенні застосовується у фармації: *Ferrum alcoholisatum* (алкоголізоване залізо) — порошкоподібне залізо.

**Етери для загальної анестезії**

Нітроген(І) оксид N_2O , який також називають звеселяючим газом, був уперше застосований для інгаляційної анестезії (знеболювання, або наркозу) 1799 року й застосовується до сьогодні. Однак він не забезпечує глибокого наркозу. Для глибокої інгаляційної анестезії 1842 року вперше використали діетиловий етер. Видатний український хірург М. І. Пирогов уперше в історії медицини застосував діетиловий етер під час хірургічних операцій у польових умовах, здійснивши близько 10 тисяч операцій. Однак діетиловий етер має певні недоліки: він дуже займистий, а в разі зберігання понад шість місяців стає вибухонебезпечним. Сьогодні для інгаляційного наркозу в медицині використовують галогеновані етери десфлуран та севофлуран.

діетиловий етер
(етоксидетан)

десфлуран



севофлуран

**Ключова ідея**

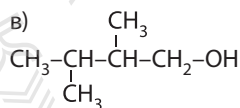
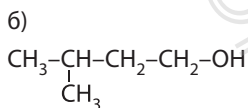
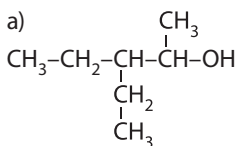
Спирти — похідні вуглеводнів, молекули яких містять характеристичну групу $-\text{OH}$. Вона визначає властивості спиртів, а в назвах позначається суфіксом *-ол-*.

**Контрольні запитання**

- 181.** Яку групу атомів називають характеристичною? Яка характеристична група у спиртів?
- 182.** Наведіть загальну формулу, що відображає хімічну будову насичених одноатомних спиртів.
- 183.** Дайте визначення класу спиртів. Які спирти відносять до одноатомних, а які — до багатоатомних?
- 184.** Які види ізомерії характерні для спиртів? У тексті параграфа знайдіть формули двох спиртів, що є ізомерами.
- 185.** Скільки існує спиртів складу $\text{C}_3\text{H}_8\text{O}$? Складіть їхні структурні формули.

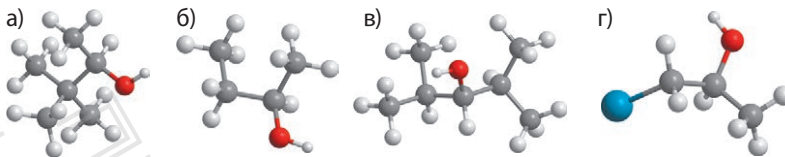
**Завдання для засвоєння матеріалу**

- 186.** Випишіть молекулярні формули, що можуть відображати склад молекул насичених одноатомних спиртів: а) $\text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}$; б) $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$; в) $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}$; г) $\text{C}_2\text{H}_4\text{O}$; д) $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}_2$; е) $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$.
- 187.** Запишіть формули спиртів у такому порядку: метанол, етанол, бутанол, пропанол, пентанол. Поясніть: а) чи є цей запис гомологічним рядом спиртів; б) чи є речовини із цими формулами гомологами.
- 188.** Складіть структурну формулу будь-якого спирту з 10 атомами Гідрогену в молекулі.
- 189.** У яких випадках формули відображають одну й ту саму сполуку?
а) $\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CHOH}-\text{CH}_3$; б) $\text{CH}_3-\text{CHOH}-\text{CH}_2-\text{CH}_3$; в) $\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{OH}$;
г) $\text{HO}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_3$; д) $\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{OH}$; е) $\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{OH}$;
є) $\text{CH}_3-\text{CHOH}-\text{CH}_3$; ж) $\text{C}_2\text{H}_5\text{CHOHC}_3\text{H}_7$; з) $\text{CH}_3-\text{CH}(\text{CH}_3)-\text{CH}_2\text{OH}$.
З-поміж наведених выпишіть окремо формули: а) гомологів; б) ізомерів.
- 190.** Складіть структурні формули спиртів: а) пентан-2-ол; б) 2-метилпентан-1-ол; в) 3-етилпентан-2-ол; г) 3-хлорбутан-2-ол.
- 191.** Назвіть спирти, структурні формули яких наведено:



- 192.** Складіть структурні формули всіх можливих ізомерів спиртів складу:
а) $\text{C}_4\text{H}_{10}\text{O}$; б) $\text{C}_5\text{H}_{12}\text{O}$; в) $\text{C}_4\text{H}_9\text{OBr}$.

193. Складіть скорочені структурні формули речовин, моделі яких зображено (блакитна кулька — атом Брому).



Комплексні завдання

194. Якщо в приміщенні розбилася склянка з етанолом, то як переважно поширюватимуться його випари: уздовж підлоги чи здійматимуться вгору? Відповідь підтвердьте розрахунками.
195. Установіть молекулярну формулу насиченого одноатомного спирту, молярна маса якого дорівнює 88 г/моль.
196. Установіть молекулярну формулу одноатомного спирту, у якому масова частка Карбону становить 52,22 %, а Гідрогену — 13,00 %.
197. Установіть молекулярну формулу спирту, у якому масова частка Карбону становить 60,00 %, а Оксигену — 26,66 %.

Завдання для розвитку критичного мислення

198. Поясніть, чому спирти $\text{CH}_3\text{—CH}_2\text{—OH}$ та $\text{CH}_2\text{=CH—CH}_2\text{—OH}$ належать до:
а) однієї групи спиртів (до якої?); б) до різних груп спиртів (до яких?).

§ 14. Насичені одноатомні спирти: фізичні та хімічні властивості, методи одержання

Пригадайте: водневий зв'язок — це особлива міжмолекулярна взаємодія, що реалізується за рахунок притягання атомів Гідрогену однієї молекули води до атома Оксигену іншої.

Фізичні властивості спиртів

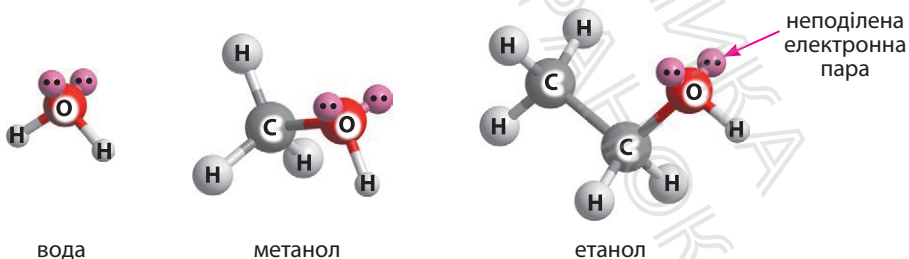
З-поміж спиртів немає газуватих речовин. Перші члени гомологічного ряду насичених одноатомних спиртів — це рідини, а вищі спирти (від C_{15}) — тверді речовини. У гомологічному ряду нерозгалужених спиртів зі збільшенням молекулярної маси підвищуються температури плавлення й кипіння (як і в алканів), а густина спиртів майже не змінюється (табл. 8). Перші три члени гомологічного ряду розчиняються у воді необмежено, а розчинність наступних членів ряду суттєво зменшується. Тверді спирти не мають запаху, тоді як для рідких властиві специфічні запахи. При цьому метанол та етанол за запахом дуже схожі й відрізнити їх майже неможливо.

Таблиця 8. Фізичні властивості насичених одноатомних спиртів

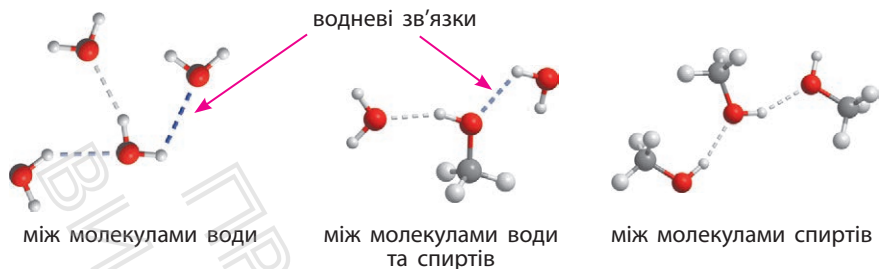
Назва	M , г/моль	Густина, г/мл	$t_{\text{пл.}}$, °C	$t_{\text{кип.}}$, °C	Розчинність у воді
Метанол CH_3OH	32	0,79	-97,5	64,5	Необмежено розчинний
Етанол $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$	46	0,79	-114,5	78,3	Необмежено розчинний
Пропан-1-ол $\text{C}_3\text{H}_7\text{OH}$	60	0,80	-126,2	97,2	Необмежено розчинний
Бутан-1-ол $\text{C}_4\text{H}_9\text{OH}$	74	0,81	-89,5	117,1	Розчинний (7 %)
Пентан-1-ол $\text{C}_5\text{H}_{11}\text{OH}$	88	0,81	-78,9	138,1	Погано розчинний (2 %)
Гексан-1-ол $\text{C}_6\text{H}_{13}\text{OH}$	102	0,81	-46,1	157,5	Практично нерозчинний
Гептан-1-ол $\text{C}_7\text{H}_{15}\text{OH}$	117	0,81	-30,6	176,4	Нерозчинний
Октан-1-ол $\text{C}_8\text{H}_{17}\text{OH}$	130	0,82	-15	195,3	Нерозчинний

Вплив водневого зв'язку на фізичні властивості спиртів

Зверніть увагу, що в ряду насичених одноатомних спиртів, на відміну від насичених і ненасичених вуглеводнів, немає газуватих речовин. Це пояснюється тим, що атоми Оксигену в молекулах спиртів сполучені з атомами Гідрогену і в них є неподілена електронна пара (як у молекул води). Тобто у спиртів та води подібна електронна будова молекул:



Це зумовлює можливість утворення водневого зв'язку між молекулами спиртів. Завдяки водневому зв'язку молекули спиртів, так само як і молекули води, асоційовані: між ними існує додаткова міжмолекулярна взаємодія:



Утворенням водневих зв'язків між молекулами спиртів і молекулами води пояснюється розчинність нижчих спиртів (табл. 8).

Молекули спиртів складаються ніби з двох частин — розчинної у воді (гідрофільної) та нерозчинної (гідрофобної). Гідрофільна частина молекул спиртів — гідроксильна група, у якій існує ковалентний полярний зв'язок між атомами. Гідрофобна частина — вуглеводневий залишок, у якому між атомами переважно ковалентні неполярні зв'язки. Якщо вуглеводневий залишок невеликий, то водневі зв'язки гідроксильної групи з молекулами води спроможні «втримати» молекулу спирту в розчині. Якщо ж молекула спирту має довгий вуглеводневий ланцюг, який «чинить опір» розчиненню, то гідрофільності гідроксильної групи вже не вистачає для розчинення. Тому вищі спирти — нерозчинні у воді.

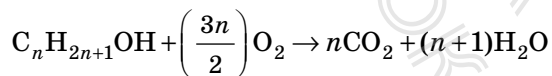
Хімічні властивості насичених одноатомних спиртів

Для спиртів найбільш характерними є реакції за участі групи —OH :

- окиснення до альдегідів або карбонових кислот;
- дегідратація (внутрішньо- або міжмолекулярна);
- гідрогенгалогенування;
- взаємодія з дуже активними металами.

1. Окиснення. Для спиртів, як і для вуглеводнів, характерне повне та часткове окиснення.

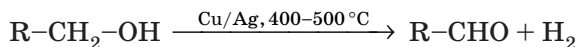
Повне окиснення — горіння — відбувається внаслідок взаємодії з киснем, а продуктами реакції є вуглекислий газ і вода:



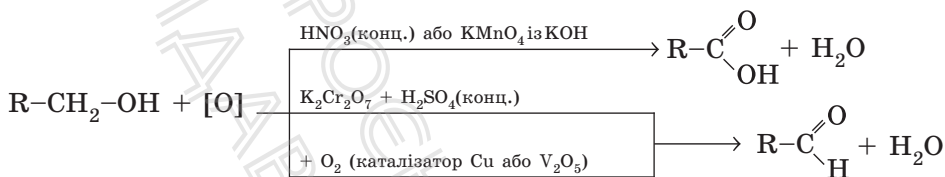
Як і вищі вуглеводні, вищі спирти горять кіптявим полум'ям унаслідок неповного окиснення, під час якого утворюється чадний газ або вуглець (сажа).

Унаслідок *часткового окиснення* спиртів утворюються альдегіди або карбонові кислоти залежно від реагентів і каталізаторів.

Унаслідок пропускання спиртів над розпеченим мідним або мідно-срібним каталізатором спирти втрачають водень та перетворюються на альдегіди:



Спирти також перетворюються на альдегіди або карбонові кислоти внаслідок взаємодії з різними окисниками (калій дихромат, калій перманганат, кисень тощо).



Демонстраційний дослід: окиснення етанолу купрум(II) оксидом

У промисловості під час окиснення спиртів киснем на мідному каталізаторі суміш випарів спирту з киснем пропускають крізь розпечену мідь. Реакція відбувається у дві стадії:

- 1) взаємодія кисню з міддю:
 $2\text{Cu} + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{CuO}$
- 2) окиснення спирту купрум(II) оксидом:
 $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH} + \text{CuO} \rightarrow \text{CH}_3\text{CHO} + \text{Cu} + \text{H}_2\text{O}$

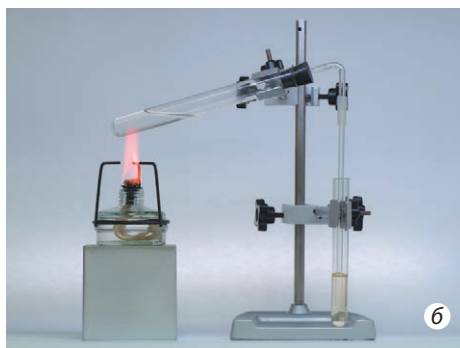
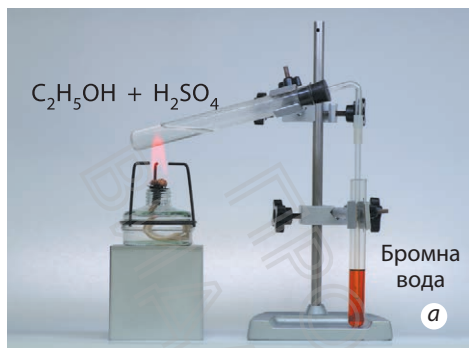
У лабораторії цей процес можна відтворити поетапно. Прожарюємо мідний дріт у полум'ї пальника (а): мідь взаємодіє з киснем. Спостерігаємо, що червона поверхня міді вкривається чорним шаром купрум(II) оксиду. Потім розжарений дріт занурюємо в пробірку з етанолом (б). Спостерігаємо, що поверхня дроту знов стає червоною, і відчуваємо запах оцтового альдегіду.



У біологічній хімії під окисненням розуміють процеси, що призводять до втрати молекулою атомів Гідрогену або приєднання нею атомів Оксигену. Відновлення, навпаки,— це процеси, пов'язані з приєднанням атомів Гідрогену або втратою атомів Оксигену.

Проаналізуйте вивчені вами хімічні властивості органічних сполук. Чи можна такий самий принцип використовувати в органічній хімії?



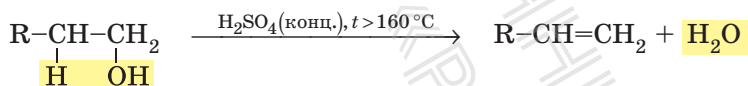


Мал. 14.1. Дегідратація спиртів: нагрівання етанолу із сульфатною кислотою (а). Під час пропускання утвореного газу крізь бромну воду розчин у пробірці знебарвлюється. Це доводить, що одержана речовина є ненасиченою (б)

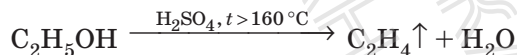
2. Дегідратація. Процес відщеплення води називають *дегідратацією*. За нагрівання спиртів із концентрованою сульфатною кислотою відбувається відщеплення води від спиртів. Але залежно від температури, за якої відбувається реакція, можлива внутрішньомолекулярна або міжмолекулярна дегідратація.

Внутрішньомолекулярна дегідратація. За нагрівання вище за $160\text{ }^{\circ}\text{C}$ атом Гідрогену і група $-\text{OH}$ відщеплюються від однієї молекули спирту, й утворюється алкен (мал. 14.1).

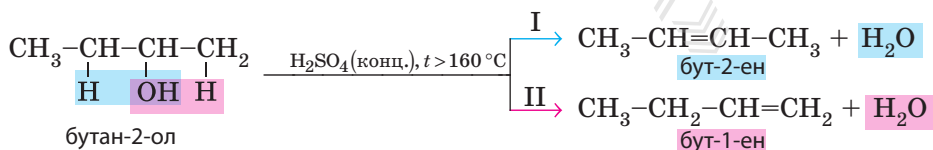
У загальному вигляді схема реакції:



На прикладі етанолу:

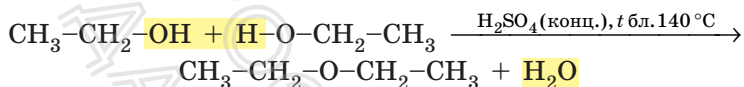


Під час дегідратації спиртів, у яких група $-\text{OH}$ сполучена не з першим (крайнім) атомом, можливі два напрямки реакції:



У таких випадках реакція відбувається переважно за напрямком I: атом Гідрогену відщеплюється від найменш гідрогенізованого атома Карбону (того, з яким сполучене менше атомів Гідрогену).

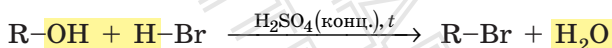
Міжмолекулярна гідратація. Якщо температура близько 140 °С, група –ОН відщеплюється від однієї молекули спирту, а атом Гідрогену — від іншої, унаслідок чого утворюються етери. Наприклад, діетиловий етер, або медичний ефір, утворюється з етанолу. Цю реакцію описують таким хімічним рівнянням:



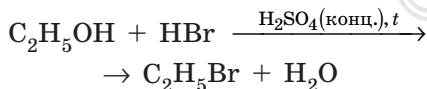
У цьому випадку концентрована сульфатна кислота є не лише каталізатором, але й водовідіймаючим засобом — речовиною, що активно поглинає воду під час хімічних або фізико-хімічних процесів.

3. Взаємодія з гідроген галогенідами. За наявності концентрованої сульфатної кислоти спирти взаємодіють із гідроген галогенідами (HCl, HBr, HI).

У загальному вигляді схема реакції:



Взаємодія етанолу з гідроген бромідом:



У цій реакції сульфатна кислота також є не лише каталізатором, а й сприяє відщепленню води, тобто є водовідіймаючим засобом.

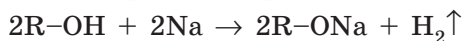
За таких умов реакція відбувається лише зі спиртами, у яких група –ОН сполучена з кінцевим атомом Карбону (такі спирти називають первинними).

4. Взаємодія з лужними металами. За звичайних умов спирти реагують з активними металами, зокрема лужними, з утворенням солей (алканолатів) та водню (реакція заміщення) (мал. 14.2).

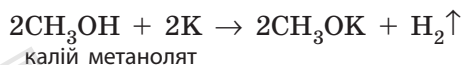


Мал. 14.2. Унаслідок взаємодії спиртів з активними металами виділяється водень

У загальному вигляді рівняння реакції:



На прикладі метанолу:



Ця реакція є прикладом виявлення кислотних властивостей спиртів. Але дисоціація спиртів у водному розчині настільки незначна (менша за дисоціацію води), що кислотами спирти назвати не можна. Індикатори не змінюють забарвлення за наявності спиртів. Спирти не взаємодіють із лугами.

Одержання етанолу

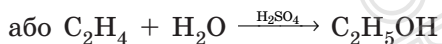
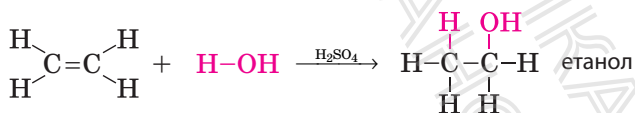
1. Спиртове бродіння глюкози (без доступу повітря). У промисловості сировиною для одержання етанолу є крохмалевмісні сільськогосподарські культури (пшениця, кукурудза тощо). Гідролізом цієї сировини одержують глюкозу, до якої потім додають дріжджі. Дією ферментів, що виділяють дріжджі, молекули глюкози розщеплюються на молекули етанолу та вуглекислого газу:



Цей процес часто використовують у побуті. Вуглекислий газ, що виділяється в процесі бродіння, розпушує дріжджове тісто. Унаслідок бродіння соку ягід чи фруктів утворюється етиловий спирт.

В Україні виробництво спирту відбувається на близько 40 заводах в усіх регіонах України. Загальна їхня потужність становить понад 360 млн л на рік.

2. Гідратація етену. Гідратацію етену ви вже вивчали як хімічну властивість етену:



Зверніть увагу, що і для гідратації, і для дегідратації необхідна сульфатна кислота. Але гідратація відбувається за наявності порівняно розбавленого розчину кислоти, і кислота є лише каталізатором, а дегідратація — за наявності концентрованого розчину, і кислота також є водовідіймаючим засобом.



Біопаливо

Сьогодні у світі дедалі більше етанолу використовують як паливе для автомобілів. Спирт для цього одержують ферментацією зернових й інших сільськогосподарських культур (просо, цукрова тростина, соя, кукурудза тощо). Такий етанол називають біоетанолом, або біопаливом, оскільки його добули не з викопних ресурсів, а з рослинної сировини.



Використання біоетанолу сприяє зменшенню викидів вуглекислого газу в атмосферу: унаслідок згоряння етанолу виділяється вуглекислий газ, що потім засвоюється рослинами, із яких знову одержують етанол. У такий спосіб підтримується колообіг вуглекислого газу без унесення до нього додаткової кількості вуглекислого газу від згоряння викопного палива. У деяких автомобільних двигунах використовують лише етанол. Але частіше його додають до звичайного бензину в різних пропорціях, таку суміш можна використовувати у будь-якому автомобілі. В Україні від 2014 року законодавчо встановлено вміст етанолу в бензині на рівні 7 %. Але на деяких заправках також продають паливе з умістом етанолу 30–40 %. Автомобільне паливе зі значним умістом біоетанолу позначають буквою Е.



Ключова ідея

На фізичні властивості спиртів суттєво впливає водневий зв'язок, що може утворюватися і між молекулами спиртів, і між молекулами спиртів та води. Більшість хімічних властивостей спиртів зумовлені наявністю гідроксильної групи –ОН.



Контрольні запитання

- 199.** Схарактеризуйте фізичні властивості спиртів. Поясніть вплив водневого зв'язку на фізичні властивості спиртів.
- 200.** Як у гомологічному ряду насичених одноатомних спиртів змінюється: а) агрегатний стан за звичайних умов; б) температура кипіння; в) розчинність у воді; г) розчинність у бензені?
- 201.** Поясніть, чому індикатори не змінюють забарвлення у спиртах.
- 202.** Схарактеризуйте хімічні властивості та методи одержання спиртів. Запишіть відповідні рівняння хімічних реакцій на прикладі етанолу.



Завдання для засвоєння матеріалу

- 203.** Запишіть рівняння таких перетворень:

а) $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH} \rightarrow \text{C}_2\text{H}_4$;	б) $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH} \rightarrow \text{C}_2\text{H}_5\text{ONa}$;	в) $\text{C}_2\text{H}_4 \rightarrow \text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$;
г) $\text{C}_3\text{H}_7\text{OH} \rightarrow \text{C}_3\text{H}_6$;	д) $\text{C}_3\text{H}_7\text{OH} \rightarrow \text{C}_3\text{H}_7\text{ONa}$;	е) $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH} \rightarrow \text{C}_2\text{H}_5\text{Cl}$.

- 204.** Запишіть рівняння реакцій: а) дегідратації пропан-1-олу; б) реакції пропан-1-олу з бромоводнем. За яких умов вони відбуваються?
- 205.** Запишіть рівняння для здійснення перетворень за схемами:
- а) $C_2H_6 \rightarrow C_2H_4 \rightarrow C_2H_5OH \rightarrow C_2H_5Cl$;
б) метан $\rightarrow ? \rightarrow$ етан $\rightarrow$ етен $\rightarrow$ етанол $\rightarrow$ вуглекислий газ;
в) кальцій карбонат $\rightarrow$ кальцій карбід $\rightarrow$ етин $\rightarrow$ етен $\rightarrow$ етанол.

Комплексні завдання

- 206.** Обчисліть об'єм водню (н. у.), що виділиться внаслідок дії металічного калію на метанол масою 24 г.
- 207.** Обчисліть об'єм етену (н. у.), що можна добути з етанолу масою 11,5 г. Яку масу бромної води з масовою часткою броду 2 % можна знебарвити цією кількістю газу?
- 208.** Обчисліть масу солі, що утворюється внаслідок взаємодії натрію з етанолом масою 23 г.
- 209.** Унаслідок взаємодії метанолу з натрієм, узатим у надлишку, виділився водень об'ємом 2,24 л (н. у.). Обчисліть масу спирту, що прореагував.
- 210.** Унаслідок взаємодії натрію з розчином етанолу в бензені масою 200 г виділився водень об'ємом 56 мл (н. у.). Обчисліть масову частку спирту в цьому розчині.
- 211.** Запишіть рівняння реакцій горіння метанолу, етанолу й пропанолу. У скільки разів будуть відрізнятися об'єми газуватих продуктів реакції, утворених унаслідок горіння цих спиртів, узятих кількістю речовини по 1 моль?
- 212.** Обчисліть об'єм гідроген броміду, необхідного для взаємодії з етанолом масою 11,5 г.
- 213.** Обчисліть об'єм кисню, необхідного для згорання: а) 230 г етанолу; б) 5 моль метанолу.
- 214.** Дегідратацією етанолу було добуто 0,448 л етену (н. у.). Обчисліть масу спирту, що прореагував.
- 215.** Унаслідок взаємодії одноатомного спирту масою 3,7 г з натрієм виділився водень об'ємом 560 мл (н. у.). Установіть молекулярну формулу спирту.
- 216.** Для спалювання одноатомного насиченого спирту ациклічної будови кількістю речовини 0,1 моль було витрачено 10,08 л кисню (н. у.). Установіть молекулярну формулу цього спирту.
- 217.** Метанол у промисловості одержують реакцією сполучення карбон(II) оксиду з воднем. Запишіть рівняння цієї реакції. Обчисліть: а) об'єм водню, необхідного для взаємодії з чадним газом об'ємом 500 л; б) масу одержаного метанолу.

Завдання для розвитку критичного мислення

- 218.** Складіть схему перетворень, за якою можна добути етанол із кальцій ацетиленіду. Запишіть відповідні рівняння реакцій.
- 219.** Як ви вважаєте, у який спосіб реалізується водовідіймаюча дія речовин: кальцій оксиду, кальцій хлориду (безводного), сульфатної кис-

лоти (концентрованої), фосфор(V) оксиду? У якому випадку відбувається хімічна взаємодія (яка саме), а в якому — фізико-хімічна (яка саме)? Чи впливає на це можливість утворення молекулами водневого зв'язку?

- 220.** Що ми спостерігатимемо, якщо наллємо невелику порцію метанолу в склянку: а) з водою, б) октаном? Відповідь поясніть.
- 221.** На практиці реакцію спиртів із гідроген галогенідами проводять в умовах якомога меншої кількості води в реакційній суміші. Для цього в колбі змішують концентровану сульфатну кислоту, спирт і галогенід. Запишіть рівняння реакції одержання бромоетену з етанолу, калій броміду та сульфатної кислоти.
- 222.** Використовуючи значення електронегативностей елементів, порівняйте полярність зв'язків C–H і O–H. Молекули яких речовин — спиртів чи вуглеводнів — більш полярні? Як це позначається на фізичних властивостях цих речовин?
- 223.** Спирти практично не проводять електричного струму, тоді як луги, що також містять гідроксильну групу, у розплавленому стані або у водному розчині проводять електричний струм. Чим це можна пояснити?
- 224.** Як ви вважаєте, чим можна пояснити, що спирти виявляють слабкі кислотні властивості?

§ 15. Обчислення за хімічними рівняннями, якщо реагент містить домішки

Пригадайте: формули для обчислення масової частки розчиненої речовини та формули для обчислення кількості речовини.

Обчислення даних про продукт реакції, якщо реагент містить домішки

Цей алгоритм застосовують, якщо за умовою задачі:

- відома масова частка домішок у реагенті;
- домішки не реагують у хімічних реакціях;
- необхідно обчислити масу, або об'єм, або кількість речовини продукту реакції чи одного із чистих реагентів.

Більшість реагентів, що використовують для проведення хімічних реакцій, як і більшість речовин у природі, є не чистими речовинами, а сумішами кількох речовин. В усіх чистих реагентах уміст домішок не більше 1 %, тому для обчислень ними можна нехтувати. Але чисті речовини досить дорогі, тому їх використовують переважно для дослідів у лабораторії, витрачаючи у невеликих кількостях.

У промисловості ціна реагентів істотно впливає на рентабельність виробництва, тому зазвичай використовують не дуже чисті реагенти. Про такі речовини говорять, що вони «технічно чисті», наприклад, технічний кальцій ацетиленід (карбід) або технічний бензен. Уміст домішок у них може бути кілька відсотків, а іноді й значно більше.

За алгоритмом розв'язання такі задачі подібні до задач, у яких реагенти розчинені у воді й відома їхня масова частка в розчині. А розрахункові формули для обчислення масової частки домішок та масової частки розчиненої речовини подібні. Порівняйте!

Для обчислення масової частки розчиненої речовини:

$$w(\text{речовини}) = \frac{m(\text{речовини})}{m(\text{розчину})} = \frac{m(\text{речовини})}{m(\text{речовини}) + m(\text{води})} \quad (1)$$

Для обчислення масової частки домішок або чистого реагенту:

$$w(\text{чист. реагенту}) = \frac{m(\text{чист. реагенту})}{m(\text{техн. реагенту})} = \frac{m(\text{чист. реагенту})}{m(\text{домішок}) + m(\text{чист. реагенту})} \quad (2)$$

$$w(\text{домішок}) = \frac{m(\text{домішок})}{m(\text{техн. реагенту})} = \frac{m(\text{домішок})}{m(\text{домішок}) + m(\text{чист. реагенту})} \quad (3)$$

І, певна річ, сума масових часток чистої речовини та домішок у технічному реагенті має дорівнювати 1 (або 100 %):

$$w(\text{чист. реагенту}) + w(\text{домішок}) = 1 \quad (4)$$

Задача 1. Обчисліть масу хлоробензену, який можна одержати з технічного бензену масою 150 г, у якому масова частка домішок 6,4 %.

Розв'язання:

Спочатку визначаємо масу чистого бензену. За формулою (4) обчислюємо масову частку чистого бензену:

$$w(\text{бензену}) = 1 - w(\text{домішок}) = 1 - 0,064 = 0,936.$$

Перетворюємо формулу (2) та обчислюємо масу чистого бензену:

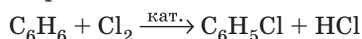
$$m(\text{чистого реагенту}) = w(\text{чистого реагенту}) \cdot m(\text{техн. реагенту})$$

$$m(\text{C}_6\text{H}_6) = m(\text{техн. C}_6\text{H}_6) \cdot w(\text{C}_6\text{H}_6) = 150 \text{ г} \cdot 0,936 = 140,4 \text{ г}.$$

Потім задачу розв'язуємо як звичайну задачу на обчислення за рівняннями хімічних реакцій. Визначаємо кількість речовини бензену:

$$n(\text{C}_6\text{H}_6) = \frac{m(\text{C}_6\text{H}_6)}{M(\text{C}_6\text{H}_6)} = \frac{140,4 \text{ г}}{78 \text{ г/моль}} = 1,8 \text{ моль}.$$

За рівнянням:



відношення кількостей речовини бензену і хлоробензену 1 : 1.

Отже:

$$n(\text{C}_6\text{H}_5\text{Cl}) = n(\text{C}_6\text{H}_6) = 1,8 \text{ моль.}$$

Обчислюємо масу продукту реакції:

$$m(\text{C}_6\text{H}_5\text{Cl}) = n(\text{C}_6\text{H}_5\text{Cl}) \cdot M(\text{C}_6\text{H}_5\text{Cl}) = 1,8 \text{ моль} \cdot 112,5 \text{ г/моль} = 202,5 \text{ г.}$$

Відповідь: маса хлоробензену 202,5 г.

Обчислення масової частки домішок у реагенті

Цей алгоритм застосовують, якщо за умовою задачі:

- необхідно обчислити масову частку домішок або чистої речовини в реагенті;
- відомо, що домішки не реагують, тобто є інертними;
- відома маса, або об'єм, або кількість речовини продукту реакції;
- відома маса реагенту з домішками.

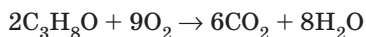
Задача 2. Обчисліть масову частку домішок у технічному пропанолі, якщо внаслідок згоряння його зразка масою 2 г виділився вуглекислий газ об'ємом 1,68 л (н. у.).

Розв'язання:

Такі задачі можна розв'язати, якщо домішки є інертними, тобто в даному випадку домішки не мають горіти. І хоча в умові задачі про це прямо не йдеться, але мається на увазі. В іншому випадку задачу розв'язати неможливо. Якщо домішки є інертними, то вуглекислий газ виділяється лише внаслідок згоряння пропанолу, тому, знаючи об'єм вуглекислого газу, обчислимо масу чистого пропанолу. Кількість речовини вуглекислого газу:

$$n(\text{CO}_2) = \frac{V(\text{CO}_2)}{V_m} = \frac{1,68 \text{ л}}{22,4 \text{ л/моль}} = 0,075 \text{ моль.}$$

За рівнянням реакції горіння пропанолу



визначаємо, що відношення кількості речовини пропанолу та вуглекислого газу:

$$\frac{n(\text{C}_3\text{H}_8\text{O})}{2} = \frac{n(\text{CO}_2)}{6}, \text{ звідки } n(\text{C}_3\text{H}_8\text{O}) = \frac{n(\text{CO}_2)}{3} = \frac{0,075 \text{ моль}}{3} = 0,025 \text{ моль.}$$

Маса чистого пропанолу

$$m(\text{C}_3\text{H}_8\text{O}) = n(\text{C}_3\text{H}_8\text{O}) \cdot M(\text{C}_3\text{H}_8\text{O}) = 0,025 \text{ моль} \cdot 60 \text{ г/моль} = 1,5 \text{ г.}$$

За формулою (2) обчислюємо масову частку пропанолу в технічному реагенті:

$$w(\text{пропанолу}) = \frac{m(\text{пропанолу})}{m(\text{техн. пропанолу})} = \frac{1,5 \text{ г}}{2 \text{ г}} = 0,75, \text{ або } 75 \%.$$

За формулою (4) $w(\text{домішок}) = 100 \% - w(\text{пропанолу}) = 100 \% - 75 \% = 25 \%$.

Відповідь: $w(\text{домішок}) = 25 \%$.

Обчислення маси реагенту, що містить домішки, необхідного для проведення реакції

Цей алгоритм застосовують, якщо за умовою задачі:

- необхідно обчислити масу реагенту, що містить домішки;
- домішки не реагують у хімічних реакціях; тобто є інертними;
- відома маса, або об'єм, або кількість речовини продукту реакції;
- відома масова частка чистого реагенту в суміші.

Цей тип задач частіше трапляється в роботі технологів на великих підприємствах, коли є потреба визначити, у якій кількості необхідно завантажити реагенти в реактор, якщо відомо, скільки готової продукції необхідно отримати.

Задача 3. Деякі спиртові заводи в Україні для виробництва етанолу використовують цукровий очерет. Середній уміст розчинних вуглеводів в очереті становить 15 %. Обчисліть масу такого очерету, що знадобиться для одержання етанолу об'ємом 1150 л (густина 0,8 г/см³). Припустіть, що очерет містить лише глюкозу.

Розв'язання:

Примітка: хоча в одиницях SI об'єм та густина вимірюються в м³ та кг/м³ відповідно, але традиційно в хімічних розрахунках використовують кратні одиниці мл та г/мл.

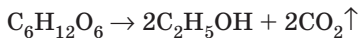
$$V(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) = 1150 \text{ л або } 1,15 \cdot 10^6 \text{ мл}; \rho(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) = 0,8 \text{ г/см}^3, \text{ або } 0,8 \text{ г/мл.}$$

У цій задачі очерет — це технічний реагент, а глюкоза, що в ньому міститься, — чиста речовина. Щоб визначити масу очерету, якого вистачить для одержання 1150 л спирту, насамперед необхідно знати, скільки глюкози він має містити. Обчислимо це, знаючи, що етанол утворюється лише внаслідок бродіння глюкози. Обчислюємо кількість речовини етанолу:

$$m(\text{етанолу}) = V(\text{етанолу}) \cdot \rho(\text{етанолу}) = 1,15 \cdot 10^6 \text{ мл} \cdot 0,8 \text{ г/мл} = 9,2 \cdot 10^5 \text{ г.}$$

$$n(\text{етанолу}) = \frac{m(\text{етанолу})}{M(\text{етанолу})} = \frac{9,2 \cdot 10^5 \text{ г}}{46 \text{ г/моль}} = 20\,000 \text{ моль.}$$

Етанол із глюкози утворюється внаслідок реакції:



Із цього рівняння визначаємо відношення кількостей речовини етанолу та глюкози:

$$\frac{n(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6)}{1} = \frac{n(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH})}{2}.$$

$$n(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6) = \frac{n(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH})}{2} = \frac{20\,000 \text{ моль}}{2} = 10\,000 \text{ моль.}$$

$$\begin{aligned} \text{Маса глюкози: } m(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6) &= n(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6) \cdot M(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6) = \\ &= 10\,000 \text{ моль} \cdot 180 \text{ г/моль} = 1\,800\,000 \text{ або } 1,8 \cdot 10^6 \text{ г.} \end{aligned}$$

За формулою (2) обчислюємо масу очерету:

$$m(\text{очерету}) = \frac{m(\text{глюкози})}{w(\text{глюкози})} = \frac{1,8 \cdot 10^6 \text{ г}}{0,15} = 1,2 \cdot 10^7 \text{ г, або } 12\,000 \text{ кг, або } 12 \text{ т.}$$

Відповідь: маса очерету 12 тонн.



Ключова ідея

Математично масова частка домішок ідентична масовій частці розчиненої речовини в розчині.



Завдання для засвоєння матеріалу

- 225.** Обчисліть об'єм етену, який можна добути з технічного етанолу масою 250 г, що містить 8 % домішок.
- 226.** Природний газ об'ємом 1 м³ (н. у.), що містить 10,4 % домішок азоту (за об'ємом), нагріли до високої температури. Обчисліть максимальний об'єм етину, який можна добути.
- 227.** Унаслідок згоряння в кисні технічного бензену масою 1 г утворився вуглекислий газ масою 2,64 г. Обчисліть масову частку домішок у бензені.
- 228.** Із вуглецю, що містить інертні домішки, масою 1 кг добуто метан об'ємом 1,792 м³ (н. у.). Обчисліть масову частку домішок у вуглецю.
- 229.** Із технічної глюкози масою 1,1 кг добуто етанол об'ємом 0,69 л (густина 0,8 г/см³). Обчисліть масову частку домішок у глюкозі.
- 230.** До технічного кальцій ацетиленіду масою 1,6 г додали воду, узятую в надлишку. Із газом, що утворився внаслідок реакції, прореагував бром масою 7,2 г. Обчисліть масову частку домішок у технічному кальцій ацетиленіді.
- 231.** Обчисліть масу технічного бензену з масовою часткою домішок 6,4 %, необхідного для одержання бромобензену масою 565,2 г.
- 232.** Технічний етанол містить 4 % негорючих домішок. Обчисліть масу зразка такого етанолу, якщо внаслідок його згоряння утворився вуглекислий газ масою 0,9183 г.

Мініпроекти

- 233.** Із додаткових джерел інформації дізнайтеся про підприємства хімічної або харчової промисловості, що є у вашій місцевості: яку продукцію вони випускають, яку сировину використовують. Уявіть, що ви працюєте головним технологом / технологинею на одному із цих підприємств. Змодельуйте ситуацію, за якої в аналітичній лабораторії припустилися помилки у визначенні вмісту корисної речовини в сировині (у більший або в менший бік). Як це може вплинути на прибутки вашого підприємства?

§ 16. Багатоатомні спирти. Гліцерол

Пригадайте:

- застосування гліцеролу (за § 1);
- вплив водневого зв'язку на фізичні властивості спиртів (за § 14).

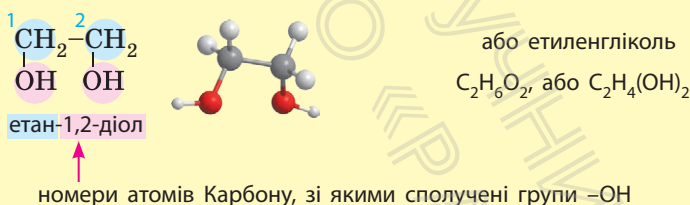
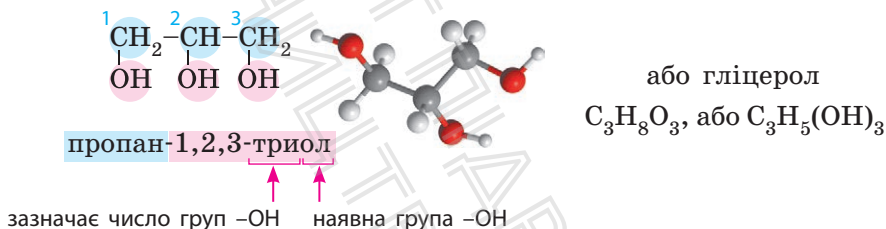
Поняття про багатоатомні спирти



Спирти, молекули яких містять кілька гідроксильних груп -OH , називають багатоатомними.

У назвах таких спиртів перед суфіксом -ол- , яким позначають групу -OH , ще зазначають число цих груп. Двохатомні спирти за традицією також називають гліколями.

Промислово важливими багатоатомними спиртами є гліцерол і етиленгліколь:



Фізичні властивості гліцеролу

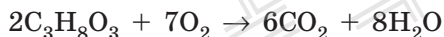
У молекулах багатоатомних спиртів є декілька груп -OH , тому вони утворюють значно більше водневих зв'язків. Унаслідок цього молекули багатоатомних спиртів настільки сильно притягуються одна до одної, що такі спирти зазвичай є або рідинами з дуже високими температурами кипіння, або твердими речовинами. Також унаслідок сильного міжмолекулярного притягання багатоатомні спирти дуже в'язкі.

Гліцерол:

- безбарвна в'язка рідина;
- гігроскопічний;
- необмежено розчиняється у воді;
- $t_{\text{пл.}} = 18,2\text{ }^{\circ}\text{C}$; $t_{\text{кип.}} = 290\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- густина $1,26\text{ г/мл}$;
- солодкуватий;
- не отруйний.

**Хімічні властивості гліцеролу**

1. Повне окиснення. Як і більшість органічних речовин, багатоатомні спирти горять (мал. 16.1). Продуктами реакції є вуглекислий газ та вода:



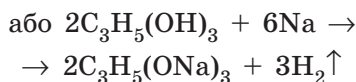
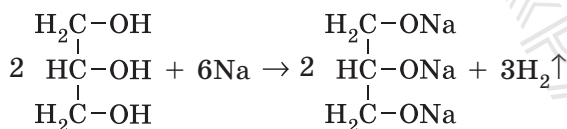
У разі нагрівання вище $300\text{ }^{\circ}\text{C}$ гліцерол спалахує. Здатність гліцеролу горіти використовують для виготовлення прозорих свічок (мал. 16.2).



Мал. 16.1. Гліцерол горить ясним полум'ям

2. Взаємодія з активними металами. Як і одноатомні, багатоатомні спирти виявляють слабкі кислотні властивості.

Гліцерол активно взаємодіє з активними металами, зокрема з натрієм:



Взаємодія гліцеролу з натрієм відбувається дуже бурхливо, із виділенням великої кількості теплоти, унаслідок чого водень, який утворився, може зайнятися.



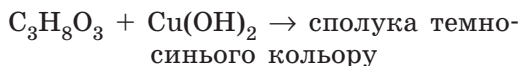
Мал. 16.2. Прозорі свічки, основним складовим компонентом яких є гліцерол

Проявом кислотних властивостей гліцеролу також є його взаємодія з купрум(II) гідроксидом, що використовують для виявлення його в розчині. У разі додавання до свіжоосадженого за надлишку



Мал. 16.3. Свіжоосаджений купрум(II) гідроксид (ліворуч) та після додавання гліцеролу (праворуч)

лугу купрум(II) гідроксиду гліцеролу або його розчину блакитний осад зникає, а розчин набуває темно-синього забарвлення (мал. 16.3) — це *якісна реакція на багатоатомні спирти*:



Аналогічно з купрум(II) гідроксидом взаємодіють і інші багатоатомні спирти, у яких гідроксильні групи сполучені із сусідніми атомами Карбону. Це демонструє, що багатоатомні спирти є сильнішими кислотами, ніж одноатомні, унаслідок більшого числа груп $-\text{OH}$ у молекулах.

В Україні виробництво гліцеролу налагодило ТОВ «Укрхімресурс» (м. Калинівка Вінницької обл.), яке є одним із потужних виробників гліцеролу в Європі та єдиним в Україні. На цьому підприємстві гліцерол одержують як побічний продукт виробництва біодизельного пального.



Ключова ідея

Збільшення числа гідроксильних груп у молекулі спиртів добре ілюструє закон переходу кількісних змін у якісні: принципово властивості не змінюються, але ті, що є, виявляються по-іншому.



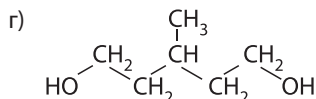
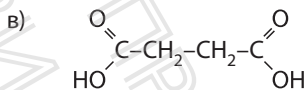
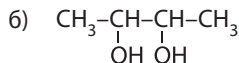
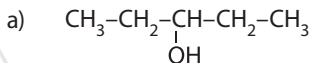
Контрольні запитання

- 234.** Наведіть молекулярну, розгорнуту та скорочену структурні формули гліцеролу.
- 235.** За якою ознакою речовини відносять до багатоатомних спиртів?
- 236.** Схарактеризуйте фізичні властивості гліцеролу. Чим вони відрізняються від властивостей одноатомних спиртів? Чим це зумовлено?
- 237.** Схарактеризуйте хімічні властивості гліцеролу та запишіть відповідні рівняння реакцій.
- 238.** У чому виявляються кислотні властивості спиртів? Порівняйте кислотні властивості одно- та багатоатомних спиртів.
- 239.** Напишіть молекулярні формули етиленгліколю і гліцеролу. Похідними яких вуглеводнів вони є?



Завдання для засвоєння матеріалу

240. З-поміж наведених укажіть формули багатоатомних спиртів.



- 241.** Чим за складом відрізняються багатоатомні спирти від одноатомних? Зобразіть структурну формулу спирту, молекула якого містить три атоми Карбону і два атоми Оксигену.
- 242.** У двох пробірках містяться дві рідини — етанол і гліцерол. Як можна їх розрізнити? Складіть план проведення досліду.

Комплексні завдання

- 243.** Обчисліть об'єм водню (н. у.), що виділиться внаслідок взаємодії натрію з гліцеролом масою 69 г.
- 244.** Обчисліть масову частку домішок у технічному гліцеролі, якщо внаслідок взаємодії його зразка масою 35 г із натрієм виділився водень об'ємом 11,76 л (н. у.).
- 245.** Обчисліть об'єм вуглекислого газу (н. у.), що виділиться внаслідок згоряння гліцеролу масою 78,2 г.
- 246.** Обчисліть відносну молекулярну масу двохатомного спирту, якщо унаслідок взаємодії його зразка масою 3,8 г із натрієм виділився водень об'ємом 1,12 л (н. у.).
- 247.** Обчисліть масову частку Натрію в речовинах, що утворилися внаслідок реакції натрію з метанолом та з гліцеролом. Яка залежність (пряма, зворотна) спостерігається між масовою часткою металічного елемента й атомністю спирту?

Завдання для розвитку критичного мислення

- 248.** Використовуючи матеріал параграфа, проілюструйте прикладами ключову ідею цього параграфа.
- 249.** Використовуючи матеріал параграфа, запишіть рівняння реакції взаємодії етиленгліколю з натрієм.

Мініпроекти

- 250.** У додаткових джерелах знайдіть інформацію про застосування гліцеролу. У чому полягає промислове значення цієї речовини? Дайте розгорнуту відповідь.

§ 17. Фенол

Пригадайте:

- теорію будови органічних сполук (за § 2);
- хімічні властивості бензену (за § 11) та спиртів (за § 14);
- що таке поліфункціональні сполуки (за § 3).

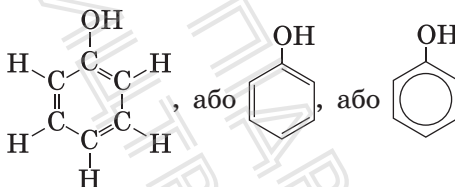
Поняття про феноли



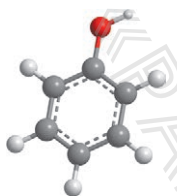
Феноли — це клас ароматичних сполук, у яких група $-\text{OH}$ сполучена безпосередньо з бензеновим кільцем.

Найпростішою сполукою цього класу, у якій із бензеновим кільцем сполучена лише одна група $-\text{OH}$, є фенол:

Структурна формула:



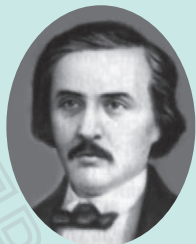
Модель молекули:



Молекулярна формула фенолу $\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$. Історична назва — карболова кислота.

Фенол відкрили у складі кам'яновугільної смоли.

Першим хімічну будову фенолу та метод його синтезу із саліцилової кислоти запропонував французький хімік Ш. Жерар. Проте запропонована ним будова не відповідала дійсності. Згодом будову фенолу довів Ф. Кекуле.



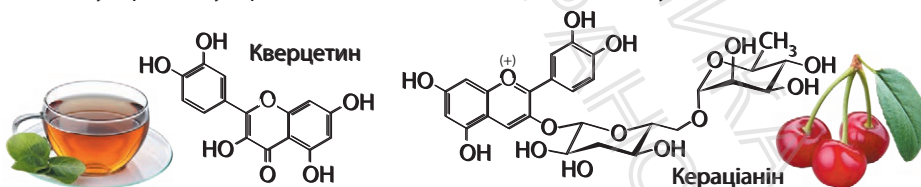
**Шарль Фредерік Жерар
(1816–1856)**

Уперше синтезував фенол
із саліцилової кислоти.

Феноли в природі

Сам фенол дуже отруйний, він є ксенобіотиком і в живій природі не трапляється. Але в природі існує багато речовин складнішої будови, у яких подібно до фенолу гідроксильна група сполучена з бензеновим кільцем. Наприклад, рослинні поліфеноли — флавоноли, антоціани тощо. Це неотруйні речовини, вони є важливими рослинними метаболітами, зумовлюють різноманітне забарвлення рослинних тканин. Кераціанін — різновид антоціанів — зумовлює забарвлення вишні. Антоціани також надають червоного або синьо-фіолетового кольору пелюсткам квітів та плодам, зокрема чорниці, журавлини, малини, ожини, чорної смородини, баклажанів, буряку, винограду тощо.

Кверцетин — досить поширений у природі представник флавонолів. Дуже багато його міститься в чаї, червоній цибулі, часнику, помідорах, горобині, обліпихі тощо. Поліфеноли у значній кількості потрапляють до нашого організму з рослинною їжею і виконують дуже важливу роль потужних антиоксидантів разом із вітамінами С та Е. Вони є незамінними компонентами їжі людини й допомагають нашому організму протидіяти виникненню злоякісних пухлин.



Фенол уперше був виділений із кам'яновугільної смоли 1834 року Ф. Рунге, а в чистому вигляді добутий зі світільного газу О. Лораном, який назвав його фенкіслотою (від грец. *faio* — освітлювати). Після з'ясування складу речовини Ш. Жерар назвав його фенолом, щоб підкреслити його подібність до спиртів.



Фізичні властивості фенолу

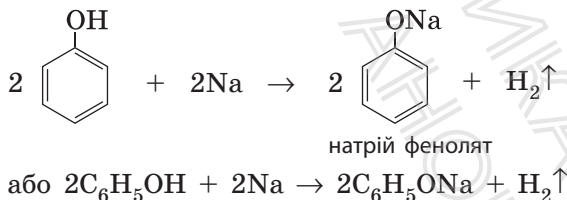
- Свіжодобутий фенол — безбарвна кристалічна речовина;
- під час зберігання набуває рожевого забарвлення внаслідок часткового окиснення;
- $t_{\text{пл.}} = 42\text{ }^{\circ}\text{C}$; $t_{\text{кип.}} = 181,8\text{ }^{\circ}\text{C}$, але за нагрівання близько $90\text{ }^{\circ}\text{C}$ займається;
- легкий, має специфічний стійкий запах (запах гуаші, або так званий «карболовий запах»);
- обмежено розчинний у холодній воді (6,5 г на 100 мл), але необмежено розчиняється в гарячій воді;
- отруйний! У разі потрапляння на шкіру спричиняє хімічні опіки.



Хімічні властивості фенолу

Молекули фенолу містять бензенове кільце (як арені) та гідроксильну групу (як спирти), отже, він має виявляти властивості як аренів, так і спиртів.

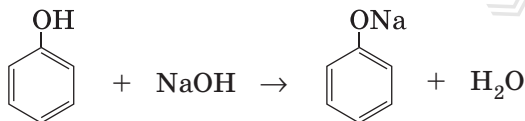
1. Взаємодія з лужними металами. Феноли виявляють кислотні властивості і за звичайних умов взаємодіють з активними металами. Реакція відбувається так само, як і у спиртів: атоми металічних елементів заміщують атоми Гідрогену гідроксильної групи:



Фенол активно взаємодіє:

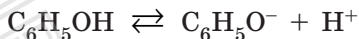
- із лужними металами (як і спирти);
- лугами (на відміну від спиртів);
- бромом (набагато активніше за бензен).

2. Взаємодія з лугами. Феноли є сильнішими кислотами, ніж спирти, і на відміну від них взаємодіють із лугами:

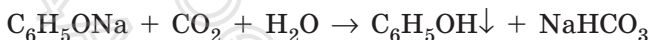




Здатність фенолу взаємодіяти з лугами зумовлена впливом бензенового ядра на зв'язок О–Н у гідроксильній групі. Завдяки цьому впливу зв'язок О–Н більш полярний, ніж у спиртах, і легше розривається. Унаслідок цього фенол, хоч і незначною мірою, але дисоціює у водному розчині:

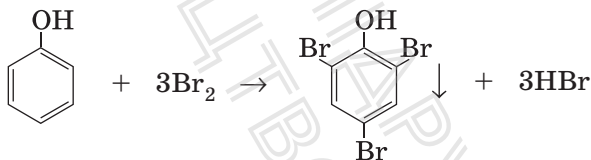


Але кислотні властивості фенолу настільки слабкі, що навіть така слабка кислота, як карбонатна, витісняє фенол із розчину його солей:



Виявлення фенолом кислотних властивостей надихнуло Ф. Рунге назвати фенол карболовою кислотою. Ця назва до наших часів збереглася в медицині.

3. Взаємодія з бромом. Фенол активно взаємодіє з бромом. Унаслідок змішування розчину фенолу з бромною водою за звичайних умов утворюється нерозчинний білий осад 2,4,6-трибромфенолу:



Реакцію з бромом використовують для виявлення фенолу в розчині — це *якісна реакція на фенол* (мал. 17.1).

Ця хімічна властивість фенолу характеризує вплив гідроксильної групи на бензенове кільце. Пригадайте, бензен взаємодіє з бромом за досить жорстких умов. Якщо в молекулі бензену замінити атом Гідрогену на групу –ОН, то реакційна здатність бензенового ядра суттєво зростає: у фенолу хімічна активність набагато вища за бензен. Хімічні реакції заміщення атомів Гідрогену в бензеновому ядрі фенолу відбуваються набагато активніше. Зокрема, фенол бромується за звичайних умов навіть із розчином броду (бромною водою) із заміщенням одразу трьох атомів Гідрогену в бензеновому ядрі.

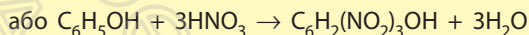
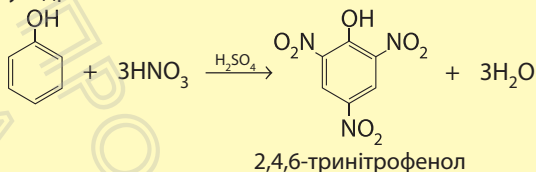


Мал. 17.1. Знебарвлення бромної води: бромна вода (ліворуч) та продукти реакції броду з фенолом (праворуч)



Реакція нітрування

Як і бензен, фенол взаємодіє з нітратною кислотою за наявності сульфатної кислоти. Але, на відміну від бензену, реакція відбувається навіть за звичайних умов або за незначного нагрівання із заміщенням трьох атомів Гідрогену в бензеновому ядрі:



Продукт повного нітрування фенолу — 2,4,6-тринітрофенол — жовта кристалічна речовина, інша її назва — пікринова кислота. Цю кислоту використовували як жовтий барвник для вовни та шовку. Сьогодні пікринову кислоту застосовують у криміналістичній практиці для виявлення деяких наркотичних речовин.

Застосування фенолу

Раніше фенол (карболова кислота) був одним із найважливіших антисептиків і широко використовувався для дезінфекції приміщень, меблів, хірургічних інструментів. Сьогодні фенол рідко застосовують як антисептик, його замінили іншими речовинами. Але значно збільшується роль фенолу в синтетичній промисловості. Світове виробництво фенолу сягає близько 10 млн тонн на рік (за даними на 2021 рік), він посідає 17-те місце за обсягом органічних речовин, що виробляє світова хімічна промисловість.



Майже половина одержаного фенолу йде на виробництво полікарбонатів та епоксидних смол. Завдяки механічним та оптичним властивостям полікарбонатів їх використовують для виготовлення лінз, фар, компакт-дисків, а також прозорих матеріалів для крівлі й фасадів будівель, шумових загороджень доріг тощо.

Значні обсяги фенолу витрачають на виробництво фенолоформальдегідних смол. Ці смоли є в'язучим компонентом деревоволокнистих та деревостружкових плит (ДВП та ДСП). Із пластмас на основі цих смол виготовляють сходи для ескалаторів метро, електролічильники, вимикачі, корпуси деяких приладів, а також фігури для гри в шахи, шашки, доміно тощо.



Фенол є сировиною для виробництва синтетичних волокон — нейлону та капрону.

Фенол також необхідний у виробництві деяких поверхнево-активних речовин (ПАР).

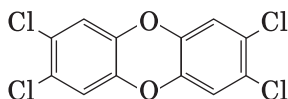
У фармацевтичній промисловості фенол використовують для синтезу різноманітних лікарських препаратів, зокрема аспіріну. Розбавлені розчини фенолу (1–4 %) використовують як антисептичні та знеболювальні засоби в лікуванні деяких захворювань та у стоматології («Орасепт», «Фукоцин»).

Природоохоронні аспекти застосування фенолу

Фенол дуже отруйний, він належить до високонебезпечних речовин (2-й клас небезпеки), гранично допустима концентрація (ГДК) фенолу у воді становить $1 \cdot 10^{-6}$ г/л, а смертельна доза для людини — 1 г. У разі вдихання фенол спричиняє порушення роботи нервової системи, подразнення слизових оболонок, хімічні опіки шкіри. Просочуючись навіть крізь неушкоджену шкіру, фенол уже через кілька хвилин діє на тканини головного мозку і згодом спричиняє параліч дихального центру.

Оскільки фенол використовують на багатьох різних підприємствах, то він може міститися в промислових стічних водах. Тому дуже важливою є проблема охорони природних вод від потрапляння феноловмісних речовин. Для цього необхідно ретельно контролювати та очищувати всі промислові води від фенолу.

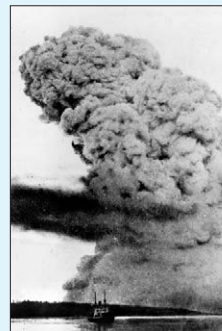
Хоча фенол отруйний сам по собі, але потрапляння його у водойми є причиною ще більшої небезпеки. Перед потраплянням у водопровідну мережу воду з відкритих водоймищ знезаражують хлором. Якщо до водойми потрапив фенол, то із хлором він утворює набагато токсичніші речовини — хлорофеноли та діоксини, токсичність яких у 100–300 разів перевищує токсичність самого фенолу:



2,3,7,8-тетрахлородibenзо-пара-діоксин — найтоксичніший представник діоксинів



6 грудня 1917 року в гавані канадського міста Галіфакс зіткнулися два військові кораблі «Монблан» та «Імо». Судно «Монблан» було навантажене пікриновою кислотою (тринітрофенолом), піроксиліном, тротилом та бенzenом. У результаті зіткнення на «Монблані» почалася пожежа, що спричинила вибух. Вибух був настільки потужним, що порт та значна частина міста були знищені, майже 2000 осіб загинуло в момент вибуху, 9000 було поранено, а 400 втратили зір. Стокілограмовий фрагмент судна «Монблан» було згодом знайдено на відстані 20 км від місця катастрофи. Вибух у Галіфаксі був найпотужнішим вибухом доядерної епохи. Про ці події 2003 року знято фільм «Зруйноване місто» (реж. Б. Пітман).



Хмара вибуху
в Галіфаксі



Ключова ідея

Хімічні властивості фенолу є ілюстрацією справедливості другого постулату теорії будови органічних сполук про взаємний вплив атомів у молекулі.

Лінгвістична задача

- Порівняйте латинські назви елемента «Карбон» та речовини «карболова кислота».
- Як ви вважаєте, про що свідчить інша назва фенолу?



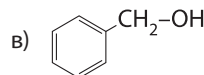
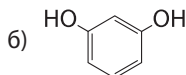
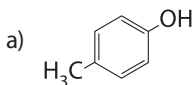
Контрольні запитання

253. Схарактеризуйте фізичні властивості фенолу. Чим вони відрізняються від властивостей спиртів? Чим це зумовлено?
254. Схарактеризуйте хімічні властивості фенолу.
255. У чому виявляються кислотні властивості фенолу? Порівняйте кислотні властивості фенолу та спиртів.
256. Схарактеризуйте взаємний вплив бензенового ядра та гідроксильної групи у фенолі. Як цей вплив позначається на хімічних властивостях фенолу?
257. Опишіть якісну реакцію на фенол.
258. Схарактеризуйте небезпечність потрапляння фенолу в навколишнє середовище.



Завдання для засвоєння матеріалу

259. З-поміж наведених визначте формули сполук, що належать до фенолів.



260. Із переліку речовин — CH_3OH , CH_4 , $\text{C}_3\text{H}_5(\text{OH})_3$, $\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$ — виберіть ті, що взаємодіють: а) із Na ; б) NaOH ; в) Br_2 ; г) розчином Br_2 .
261. Запишіть рівняння реакції, що ілюструють відмінності хімічних властивостей фенолу та: а) етанолу; б) бензену. Відповідь поясніть.

Комплексні завдання

262. До розчину фенолу додали бромну воду, утворився осад масою 49,65 г. Обчисліть масу фенолу, що прореагував.
263. Обчисліть масу розчину натрій гідроксиду з масовою часткою лугу 4%, необхідного для нейтралізації розчину фенолу масою 200 г із масовою часткою 0,705 %.
264. Зразок фенолу масою 47 г змішали з розчином калій гідроксиду масою 953 г. У результаті утворився розчин із дуже лужним середовищем. Обчисліть масу солі в утвореному розчині.
265. Зразок технічного фенолу масою 1 г розчинили в надлишку розчину лугу. Крізь цей розчин пропустили вуглекислий газ до припинення виділення осаду. У результаті утворився осад масою 0,95 г. Обчисліть масову частку домішок у технічному фенолі.
266. Розчин фенолу в пропанолі масою 10 г із масовою часткою фенолу 1,41 % змішали з розчином калій гідроксиду. Крізь утворений розчин пропустили вуглекислий газ. Обчисліть максимальну масу осаду, що може утворитися під час пропускання газу.

Завдання для розвитку критичного мислення

267. Запропонуйте хімічний спосіб розділення суміші етанолу та фенолу.
268. У додаткових джерелах знайдіть інформацію про застосування фенолу та продуктів його переробки.

Мініпроекти

269. Фенол та подібні до нього сполуки, зокрема природні поліфеноли, можна виявити в розчині за допомогою ферум(III) хлориду. Ця реакція є якісною для виявлення сполук, у молекулах яких є гідроксильні групи, сполучені з бензеновим кільцем (так званий «фенольний гідроксил»). Для реакції застосовують дуже розбавлений розчин ферум(III) хлориду світло-жовтого кольору. У разі змішування його з розчином, що містить «фенольний гідроксил», розчин зазвичай набуває темно-синього забарвлення. Перевірте на вміст поліфенолів харчові продукти рослинного та тваринного походження. У додаткових джерелах інформації знайдіть, які саме сполуки з «фенольним гідроксидом» можуть міститися у цих продуктах.

§ 18. Альдегіди

Пригадайте:

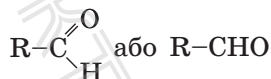
- загальну формулу одноатомних насичених спиртів;
- алгоритм складання назв алканів (за § 4);
- вплив водневого зв'язку на фізичні властивості спиртів.

Поняття про альдегіди



Альдегіди — це похідні вуглеводнів, у молекулах яких міститься характеристична альдегідна група —CHO .

Загальна структурна формула альдегідів:



Для гомологічного ряду **насичених альдегідів** загальна молекулярна формула $\text{C}_n\text{H}_{2n+1}\text{CHO}$ ($n \geq 0$) та $\text{C}_n\text{H}_{2n}\text{O}$ ($n \geq 1$).

Порівняйте загальні формули альдегідів ($\text{C}_n\text{H}_{2n}\text{O}$) та одноатомних спиртів ($\text{C}_n\text{H}_{2n+2}\text{O}$), вони відрізняються на два атоми Гідрогену. Звідси й пішла назва класу сполук, яку 1835 року дав Ю. Лібіх, альдегіди — скорочення від латинських слів *alkohol dehydrogenatus*, тобто дегідрогенізований спирт.

За рахунок того, що в молекулах альдегідів на два атоми Гідрогену менше, ніж у молекулах відповідних спиртів, у них є подвійний зв'язок.

Номенклатура насичених альдегідів

Назви альдегідів складають подібно до назв вуглеводнів та спиртів:

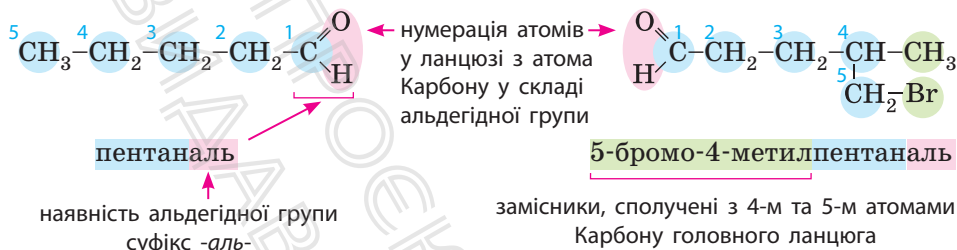
префікс	родоначальна структура		суфікс
назви замісників за алфавітом	корінь назва головного ланцюга	суфікс для насичених альдегідів —ан	позначення характеристичної групи —CHO —аль

Але існують певні особливості:

- за родоначальну структуру в альдегідів обирають таку, що містить альдегідну групу;
- альдегідна група може утворюватися лише кінцевим атомом Карбону, тому її розміщення вказувати не має сенсу;

• альдегідна група є старшою за гідроксильну, тому карбоновий ланцюг нумерують з атома Карбону альдегідної групи, навіть якщо в ланцюзі є група $-\text{OH}$, подвійний чи потрійний зв'язок;

• у назвах альдегідів наявність групи $-\text{CHO}$ позначають суфіксом **-аль-**.

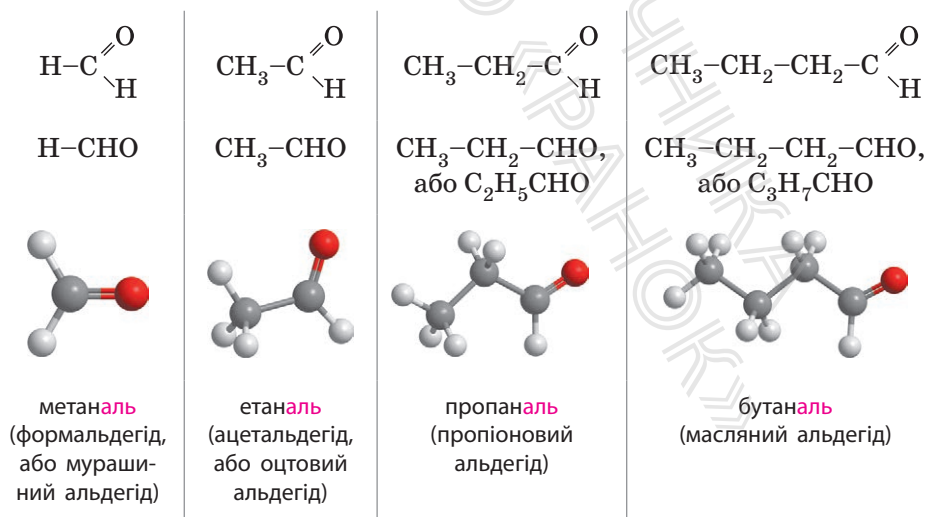


Крім того, багато альдегідів мають традиційні назви.

Гомологічний ряд насичених альдегідів

Якщо застосовувати загальну формулу альдегідів $\text{C}_n\text{H}_{2n+1}\text{CHO}$, то в найпростішого альдегіду n дорівнюватиме 0, тобто альдегідна група сполучається лише з атомом Гідрогену. Отже, перший член гомологічного ряду альдегідів має формулу HCHO .

У наступного члена гомологічного ряду n дорівнюватиме 1, і з альдегідною групою сполучається метильна група $-\text{CH}_3$, і так далі:





За легендою, відома модельєрка Коко Шанель замовила парфумеру Ернесту Бо створити аромат «що має запах Жінки». Месьє Бо полюбляв експериментувати з ароматами й одним із перших почав використовувати альдегіди для створення нових парфумів. 1921 року він презентував «Шанель № 5», що став всесвітньо відомим парфумом. До того ж «Шанель № 5» став головним альдегідним ароматом усіх часів.

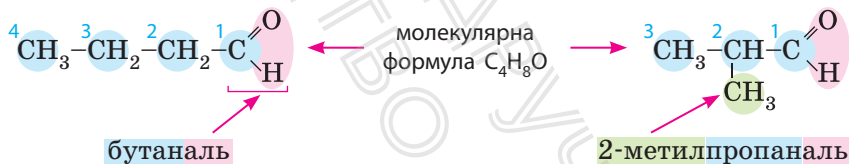


Ізомерія насичених альдегідів

Нумерація атомів Карбону головного ланцюга починається з альдегідної групи. А оскільки вона розміщена лише з краю, то ізомерів із різним розміщенням характеристичної групи в альдегідів не існує (тобто ізомерія розміщення характеристичної групи відсутня).

Для альдегідів характерна *ізомерія карбонового ланцюга*. Положення замісників указують, як в алканів.

Наприклад, для альдегіду:



**Йоганес Юстус фон Лібіх
(1803–1873)**

Зробив вагомий унесок у розвиток хімії, увів у науку термін «альдегіди».

Фізичні властивості альдегідів

Альдегіди — безбарвні речовини з характерним запахом. Перший член гомологічного ряду альдегідів — метаналь — за звичайних умов газуватий. Інші альдегіди — рідини, а вищі альдегіди — тверді речовини. Нижчі альдегіди досить добре розчиняються у воді, зі збільшенням вуглеводневого ланцюга розчинність у воді зменшується (табл. 9).

Таблиця 9. Фізичні властивості альдегідів

Назва	M , г/моль	$t_{\text{пл.}}, ^\circ\text{C}$	$t_{\text{кип.}}, ^\circ\text{C}$	Розчинність у воді
Метаналь	30	-92	-21	Добре розчинний (до 44 %)
Етаналь	44	-123	20,2	Необмежено розчинний
Пропаналь	58	-103,3	50,3	Добре розчинний (до 31 %)
Бутаналь	72	-97,1	74,8	Добре розчинний (до 7,1 %)
Пентаналь	86	-91,5	103,4	Добре розчинний (до 2 %)

Нижчі альдегіди мають різкий запах. Наприклад, запах етаналю подібний до запаху оцтової кислоти. Вищі альдегіди мають приємний запах, завдяки чому їх використовують у парфумерії (мал. 18.1).

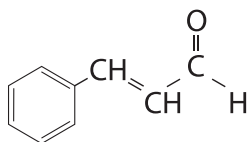
Такі фізичні властивості альдегідів зумовлені можливістю утворення водневого зв'язку:

- атоми Гідрогену в молекулах альдегідів не утворюють водневих зв'язків, тому між молекулами альдегідів водневий зв'язок не утворюється, що зумовлює нижчі температури кипіння та плавлення порівняно з аналогічними спиртами;

- однак за рахунок атомів Оксигену молекули альдегідів утворюють водневі зв'язки з молекулами води, що зумовлює хорошу (хоча й меншу порівняно зі спиртами) розчинність у воді (табл. 9).

Формальдегід

У біологічних та медичних дослідженнях широко використовують мурашиний альдегід — формальдегід. Розчин формальдегіду у воді з масовою часткою 40 % випускають під назвою «Формалін», препарати «Формідрон» та «Формагель» також містять формальдегід. Формальдегід спричиняє денатурацію білків, тому в його присутності гинуть усі бактерії. Завдяки цьому його використовують у різних антисептичних препаратах у медицині та стоматології. У розчині формальдегіду можна тривалий час зберігати рослинні й тваринні тканини та органи.



Мал. 18.1. Корицевий альдегід зумовлює запах кориці





Ключова ідея

Альдегіди — похідні вуглеводнів, молекули яких містять характеристичну групу $-\text{CHO}$. Вона зумовлює властивості альдегідів, а в назвах позначається суфіксом *-аль-*.



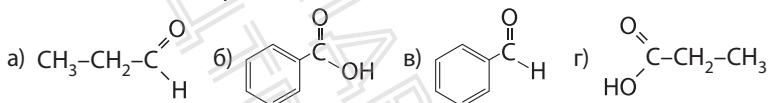
Контрольні запитання

271. Наведіть загальні молекулярну та структурну формули альдегідів. Напишіть структурні формули метаналю, етаналю, пропаналю та бутаналю.
272. Які види ізомерії характерні для альдегідів? Відповідь проілюструйте прикладами.
273. У чому полягає особливість складання назв альдегідів порівняно з алканами та спиртами?
274. Схарактеризуйте фізичні властивості альдегідів. Поясніть, чому в альдегідів температури кипіння нижчі за спирти з таким самим числом атомів Карбону в молекулі.

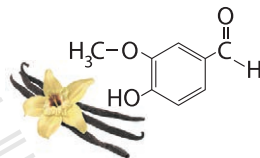


Завдання для засвоєння матеріалу

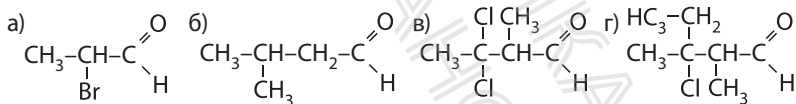
275. Визначте, до яких класів можуть належати речовини складу: $\text{C}_2\text{H}_4\text{O}$, $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$, CH_2O , C_2H_4 , $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}_2$.
276. З-поміж наведених речовин визначте альдегіди.



277. Ванілін виділяють із бобів ванілі плосколистої і часто використовують у кондитерській справі. За структурною формулою ваніліну визначте, до яких відомих вам класів органічних сполук він належить.



278. Складіть усі можливі структурні формули альдегідів складу $\text{C}_4\text{H}_8\text{O}$.
279. Назвіть альдегіди за систематичною номенклатурою.



280. Поясніть, чому етаналь та етанол називають похідними насичених вуглеводнів.

Комплексні завдання

281. Установіть молекулярну формулу альдегіду, молярна маса якого дорівнює 44 г/моль.
282. Установіть молекулярну формулу альдегіду, у якому масові частки:
 - а) Карбону — 40 %, Оксигену — 53,3 %, Гідрогену — 6,66 %;
 - б) Карбону — 54,54 %, Гідрогену — 9,09 %.

283. Установіть молекулярну формулу органічної речовини, якщо густина її випарів за воднем дорівнює 29, а масові частки Карбону — 62,1 %, Оксигену — 27,58 %. Назвіть її за систематичною номенклатурою.

Завдання для розвитку критичного мислення

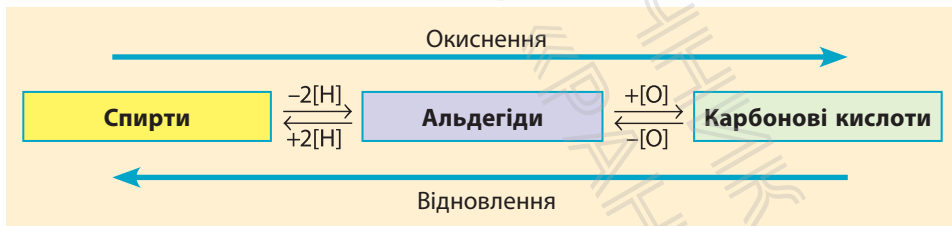
284. Вуглеводневий залишок (гідрофобна частина) в етаналю більший, ніж у метаналю. Як ви вважаєте, чому при цьому етаналь у воді розчиняється краще за метаналь?
285. Порівняйте температури кипіння й плавлення та розчинність у воді спиртів і альдегідів за таблицями 8 (с. 85) та 9 (с. 113). Виявіть закономірності та поясніть їх.
286. Як ви вважаєте, чому альдегідна група може утворюватися лише кінцевим атомом Карбону головного ланцюга і не може розташовуватися всередині головного карбонового ланцюга?
287. Складіть діаграму Венна, у якій визначте, що є спільного та відмінного в будові і властивостях алканів, спиртів та альдегідів.

§ 19. Етаналь: хімічні властивості та методи одержання

Пригадайте: хімічні властивості спиртів (за § 14).

Хімічні властивості етаналю

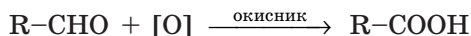
Ю. Лібіх одним із перших почав досліджувати альдегіди й першим синтезував етаналь. Він уважав альдегіди проміжним продуктом процесу окиснення етанолу до етанової кислоти. І його точка зору не позбавлена сенсу. Наведена схема ілюструє проміжне положення альдегідів:



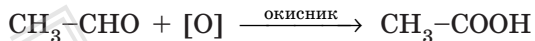
Ця схема також відображає окисно-відновні властивості та методи одержання альдегідів: альдегіди можна одержати зі спиртів (окисненням) та з карбонових кислот (відновленням). Отже, хімічними властивостями альдегідів є окиснення (до карбонових кислот) та відновлення (до спиртів).

1. Окиснення. Дією різних окисників альдегіди легко окиснюються до карбонових кислот. Як і у випадку зі спиртами, у рівняннях реакцій простіше замість формули окисника записувати схематично атом Оксигену.

У загальному вигляді:



Для етаналю:

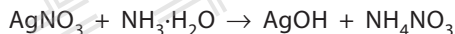


Як окисники застосовують калій перманганат KMnO_4 , аргентум(І) оксид Ag_2O (амоніачний розчин), купрум(ІІ) гідроксид $\text{Cu}(\text{OH})_2$.

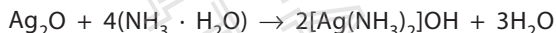


Демонстраційний дослід: окиснення альдегідів амоніачним розчином аргентум(І) оксиду

У колбу з розчином аргентум(І) нітрату доливаємо розчин амоніаку. У ході реакції спочатку випадає жовтуватий осад аргентум(І) оксиду (мал. а):



а потім осад розчиняється в надлишку розчину амоніаку з утворенням комплексної сполуки Аргентуму:



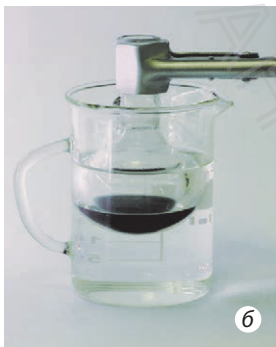
До цього розчину додаємо розчин метаналю (формалін) і обережно нагріваємо на водяній бані або у склянці з гарячою водою (мал. б). Аргентум(І) оксид окиснює альдегід з утворенням кислоти та срібла:



Через деякий час на стінках колби виділене срібло утворює наліт — дзеркало (мал. в). Тому окиснення альдегідів амоніачним розчином аргентум(І) оксиду називають *реакцією срібного дзеркала* і використовують як якісну реакцію для виявлення альдегідів у розчинах.



а



б

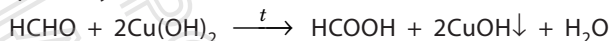


в



Демонстраційний дослід: окиснення альдегідів свіжоодержаним купрум(II) гідроксидом

Альдегіди також можна окиснити купрум(II) гідроксидом. Спочатку одержуємо свіжий осад купрум(II) гідроксиду дією лугу на купрум(II) сульфат (мал. а). Додаємо формалін і підігріваємо на пальнику. Метаналь окиснюється купрум(II) гідроксидом з утворенням метанової кислоти та жовтого осаду купрум(I) гідроксиду (мал. б):



Після утворення купрум(I) гідроксид розкладається з утворенням морквяно-червоного осаду купрум(I) оксиду (мал. в):



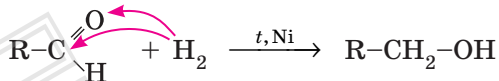
Цю реакцію також використовують для виявлення альдегідів.



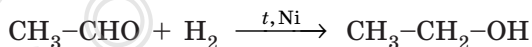
Пригадайте: у 9 класі ви дізналися про отруйність метанолу та п'янку дію етанолу. Така дія спиртів на організм пов'язана саме з реакціями їхнього окиснення в організмі. У разі потрапляння в організм людини спирт із кров'ю надходить у печінку. Печінка ідентифікує його як отруйну речовину і робить те, що вона зазвичай робить з отрутами, — окиснює. Але продукти окиснення спиртів — альдегіди — набагато токсичніші й небезпечніші за спирти. Метаналь — продукт окиснення метанолу — із печінки з кров'ю потрапляє в мозок і руйнує нервову тканину, зокрема вражає зоровий нерв. Унаслідок цього людина починає втрачати зір аж до повної сліпоти. Крім того метаналь уражає дихальні шляхи та репродуктивні органи. Якщо не вжити певних заходів, може настати смерть. Етаналь не настільки небезпечний, але алкогольне отруєння ним також може призвести до тяжких наслідків.



2. Відновлення. Унаслідок пропускання суміші випарів альдегідів із воднем над каталізатором (Ni) відбувається приєднання водню з розірванням подвійного зв'язку, як в алкенів. У результаті реакції утворюються спирти:



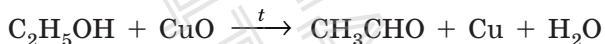
На прикладі етаналю:



Попри все це альдегіди — клас сполук із найрізноманітнішими хімічними властивостями, яких налічується кілька десятків.

Методи одержання етаналю

1. Окиснення спиртів. Із цією реакцією ви вже детально ознайомилися під час вивчення хімічних властивостей спиртів (§ 14). Тут наведемо лише рівняння реакції окиснення етанолу купрум(II) оксидом:



2. Гідратація етину. Цей метод ви також уже вивчали як хімічну властивість етину (§ 10). За наявності солей Меркурію(II) етин приєднує воду й перетворюється на вініловий спирт, який одразу перетворюється на етаналь:



Ця реакція є одним із промислових способів одержання етаналю.



Ключова ідея

Альдегіди — продукти окиснення спиртів та відновлення карбонових кислот.



Контрольні запитання

287. Схарактеризуйте хімічні властивості та методи одержання альдегідів на прикладі етаналю.



Завдання для засвоєння матеріалу

288. Поясніть, як за допомогою одного реактиву можна визначити, у якій із двох пробірок міститься етаналь, а в якій — гліцерол.

- 289.** Запишіть рівняння реакцій для здійснення перетворень за схемами:
 а) етен $\rightarrow$ етанол $\rightarrow$ етаналь $\rightarrow$ етанова кислота;
 б) метанол $\rightarrow$ метаналь $\rightarrow$ метанова кислота.

Комплексні завдання

- 290.** Обчисліть масу пропаналю, що прореагував з амоніачним розчином аргентум(I) оксиду, якщо при цьому утворилося срібло масою 43,2 г.
291. Обчисліть об'єм етену, необхідний для одержання етаналю масою 330 г.
292. Обчисліть масу етанолу, одержаного відновленням етаналю масою 154 г.
293. У реакції срібного дзеркала утворилося срібло масою 1,08 г. Обчисліть масу етаналю, що прореагував.
294. Унаслідок взаємодії етину кількістю речовини 0,5 моль із водою утворився альдегід. Обчисліть масу срібла, що виділиться внаслідок окиснення цієї кількості альдегіду амоніачним розчином аргентум(I) оксиду.
295. Унаслідок окиснення етанолу витрачено купрум(II) оксид масою 12 г. Обчисліть масу утвореного альдегіду.
296. Технічний кальцій ацетиленід (кальцій карбід) містить 20 % домішок. Обчисліть масу етаналю, що можна добути з 0,8 кг такого ацетиленіду.

§ 20. Карбонові кислоти. Ізомерія та номенклатура. Фізичні властивості

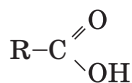
Пригадайте: неорганічні кислоти класифікують: за числом атомів Гідрогену (одно- та багатоосновні), за здатністю до дисоціації (сильні та слабкі).

Поняття про карбонові кислоти, класифікація



Карбонові кислоти — це похідні вуглеводнів, у молекулах яких міститься одна або кілька характеристичних карбоксильних груп $-\text{COOH}$.

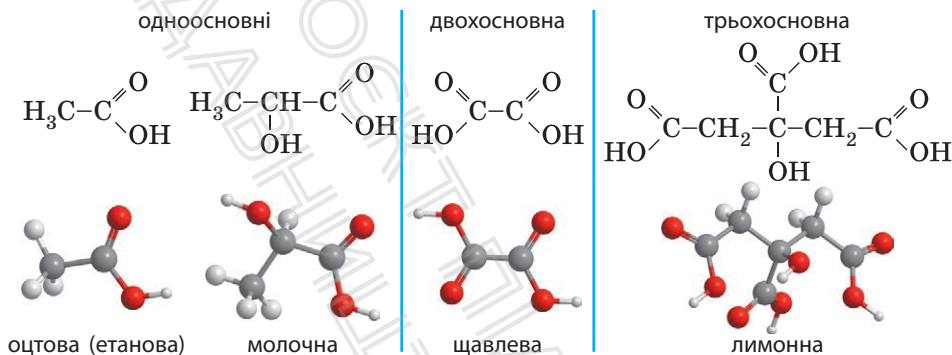
Загальна структурна формула карбонових кислот:



За багатьма ознаками органічні кислоти подібні до неорганічних, але існують певні відмінності. По-перше, кислотні властивості органічних кислот зумовлює саме карбоксильна група, по-друге — на властивості органічних кислот впливає наявність вуглеводневого ланцюга. Отже, і класифікація карбонових кислот дещо різноманітніша.

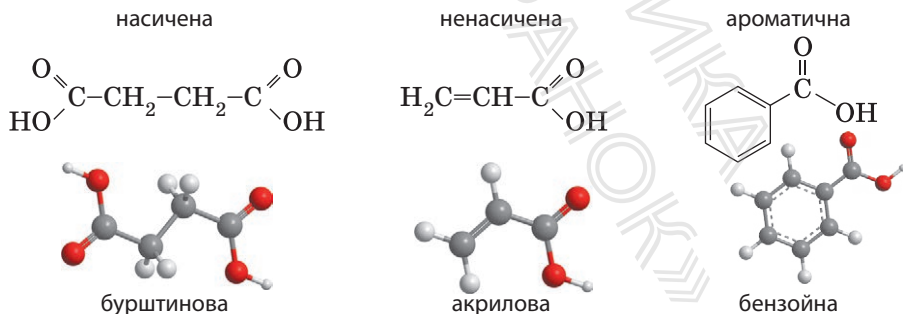
Органічні кислоти класифікують за основністю. У неорганічних кислот основність визначається числом атомів Гідрогену, які можна замістити атомами металічних елементів. В органічних кислот так само. Але в карбонових кислот атомами металічних елементів можна замістити атоми Гідрогену лише у складі карбоксильної групи. Отже, основність визначається числом карбоксильних груп у молекулах.

• *За основністю* виділяють одно-, дво-, трьохосновні кислоти тощо. Наприклад:



• *За силою.* Усі карбонові кислоти є слабкими, за винятком декількох кислот середньої сили. Більшість кислот у водному розчині дисоціює лише на частки відсотка. Найсильніша з-поміж карбонових кислот — трифлуороетанова CF_3-COOH — є кислотою середньої сили.

• *За будовою вуглеводневих залишків.* За цією ознакою карбонові кислоти класифікують так само, як і вуглеводні — на насичені, ненасичені та ароматичні:



Карбонових кислот існує дуже багато, але в цьому курсі ви вивчатимете лише насичені одноосновні карбонові кислоти.

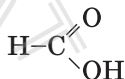
Гомологічний ряд насичених одноосновних карбонових кислот

Загальна формула насичених одноосновних карбонових кислот:



Загальна *емпірична формула* одноосновних карбонових кислот $\text{C}_n\text{H}_{2n}\text{O}_2$ ($n \geq 1$). Порівняйте загальні емпіричні формули кислот ($\text{C}_n\text{H}_{2n}\text{O}_2$) та альдегідів ($\text{C}_n\text{H}_{2n}\text{O}$). Молекули кислот містять на один атом Оксигену більше, ніж відповідні альдегіди, що характеризує їх як продукт окиснення альдегідів.

У найпростішій карбоновій кислоти з карбоксильною групою сполучений лише атом Гідрогену. Отже, перший член гомологічного ряду кислот має формулу HCOOH і структурну формулу:



За систематичною номенклатурою назви карбонових кислот походять від назв алканів із таким самим числом атомів Карбону. Наявність карбоксильної групи вказують закінченням *-ова кислота*. Крім того, багато карбонових кислот мають власні історично сформовані (традиційні) назви. За назвами кислот формуються й назви кислотних залишків, що використовують для називання солей, утворених цими кислотами (табл. 10).

Таблиця 10. Назви карбонових кислот та їхніх солей

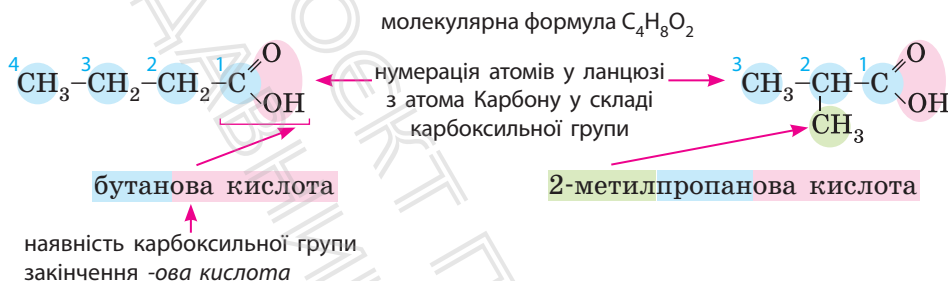
Формула	Назва	Традиційна назва	Назва кислотного залишка
HCOOH	Метан ^{ова}	Мурашина	Метано ^{ат} (форміат)
CH_3COOH	Етан ^{ова}	Оцтова	Етано ^{ат} (ацетат)
$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{COOH}$	Пропан ^{ова}	Пропіонова	Пропано ^{ат} (пропіонат)
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_2\text{COOH}$	Бутан ^{ова}	Масляна	Бутано ^{ат} (бутират)
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_3\text{COOH}$	Пентан ^{ова}	Валеріанова	Пентано ^{ат} (валерат)
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4\text{COOH}$	Гексан ^{ова}	Капронова	Гексано ^{ат} (капронат)
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{14}\text{COOH}$	Гексадекан ^{ова}	Пальмітинова	Пальмі ^{тат}
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{16}\text{COOH}$	Октадекан ^{ова}	Стеаринова	Стеар ^{ат}

Кислоти із числом атомів Карбону більше 12 називають *вищими карбоновими кислотами* (ВКК).

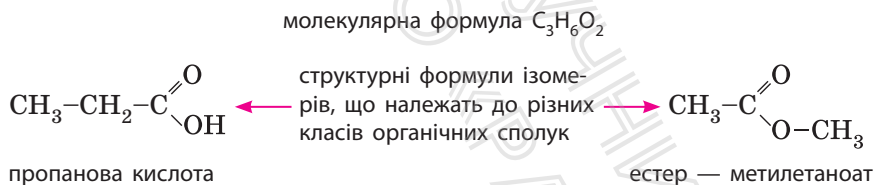
Ізомерія та номенклатура насичених одноосновних карбонових кислот

Як і в альдегідів, карбоксильна група утворюється лише кінцевим атомом Карбону і розташовується лише з краю карбонового ланцюга. Нумерацію атомів Карбону також починають із цієї групи.

Для карбонових кислот характерна *ізомерія карбонового ланцюга*. Наприклад, для карбонової кислоти:



Для карбонових кислот характерна *міжкласова ізомерія*. Складу $C_nH_{2n}O_2$ відповідають два класи сполук із різними характеристичними групами — карбонові кислоти та естери. Отже, естери є міжкласовими ізомерами карбонових кислот:

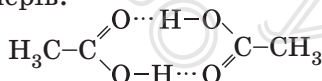


Фізичні властивості насичених одноосновних карбонових кислот

На відміну від альдегідів, уже перший член ряду — метанова кислота — є рідиною з досить високою температурою кипіння. Перші члени ряду — нижчі карбонові кислоти — мають різкий запах: пропіонова має запах поту, запах масляної кислоти відчувається під час підгоряння їжі на сковороді, запах інших рідких кислот також неприємний. Карбонові кислоти із числом атомів Карбону більше 10 — тверді речовини.

Поширеність карбонових кислот у природі

На фізичні властивості карбонових кислот (табл. 11) суттєво впливає можливість утворення водневих зв'язків. Карбоксильна група утворює їх як атомом Оксигену, так і гідроксильною групою. Тому притягання молекул карбонових кислот одна до одної та до молекул води набагато сильніше, ніж у спиртів. Енергія водневих зв'язків у карбонових кислот настільки велика, що вони утворюються навіть у газоподібному стані (під час випарювання), і у випарах кислоти існують у вигляді димерів:



- Назва вуглеводню пропану пішла від назви відповідної кислоти — пропіонової, що складається з двох грецьких слів: *protos* — «перший» та *pion* — «жир». Пропіонова кислота є простішою кислотою, що виявляє властивості жирних кислот.
- Під час прогіркання масла утворюється масляна кислота, яку називали бутановою від грецького слова *butyron* — «масло». Звідси й пішла назва відповідного їй вуглеводню — бутану, а її солей — бутирати.

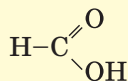
Поширеність карбонових кислот у природі

123

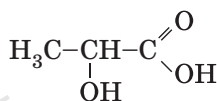
КАРБОНОВІ КИСЛОТИ

Мурашина кислота

міститься у залозах мурах, бджіл, жалких медуз, у кропиві, сосновій хвої.

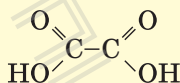


Молочна кислота утворюється в процесі бродіння глюкози та міститься в усіх молочнокислих продуктах, накопичується у м'язах під час навантажень.



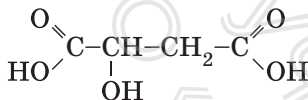
Щавлева кислота

міститься в помідорах, щавлі, карамболі, ревені.



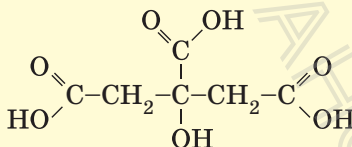
Яблучна кислота

міститься в яблуках, кавунах, горобині, малині, барбарисі, виноградному соку.



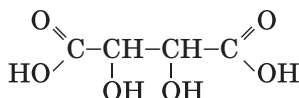
Лимонна кислота

міститься в апельсинах, лимонах й інших цитрусових, у хвої, китайському лимоннику.

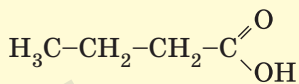


Винна кислота є

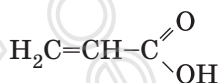
у виноградному соку, вині, зумовлює кислий смак фруктів.



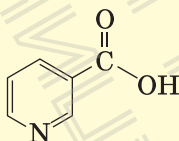
У ПРИРОДІ



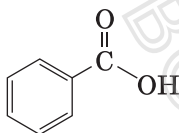
Масляна кислота утворюється під час підгоряння вершкового масла. Важлива для підтримки кишкового гомеостазу.



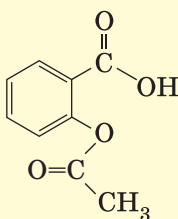
Акрилова кислота утворюється за сильного нагрівання гліцеролу або сильного прожарювання жирів на сковорідці, названа від латинського *acris* — гострий, ідкий.



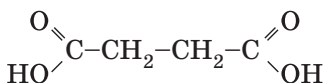
Нікотинова кислота є вітаміном B₃ (застаріла назва PP). Міститься у житньому хлібі, ананасах, манго, буряку, гречаній крупі, квасолі, печинці тощо.



Бензойна кислота виділена з бензойної смоли (росного ладана). Її сіль — натрій бензоат — додають як консервант до багатьох харчових продуктів.



Ацетилсаліцилова кислота у чистому вигляді в природі не трапляється, її добули із саліцилової кислоти кори білої верби. Використовують під назвою «Аспірин» та у складі інших лікарських засобів.



Бурштинова кислота вперше була добута алхіміком Агриколою прожарюванням бурштину. Міститься в багатьох рослинах, стимулює ріст та врожайність рослин.

**Ключова ідея**

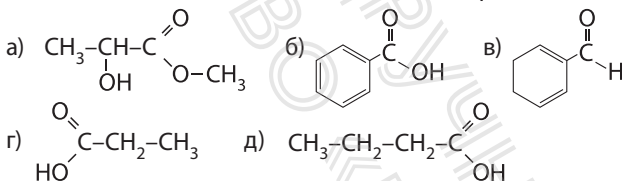
Для карбонових кислот спостерігаються такі самі закономірності у фізичних властивостях, ізомерії та номенклатурі, як для алканів, спиртів і альдегідів. Суттєві відмінності зумовлені карбоксильною групою.

**Контрольні запитання**

- 297.** Які речовини відносять до карбонових кислот? Напишіть загальну структурну та молекулярну формули насичених одноосновних карбонових кислот.
- 298.** Як утворюються назви карбонових кислот за систематичною номенклатурою? Як називають кислоту складу $\text{CH}_3\text{--CH}_2\text{--COOH}$?
- 299.** Схарактеризуйте фізичні властивості насичених одноосновних карбонових кислот. Поясніть, як впливає на них можливість утворення водневого зв'язку.
- 300.** Порівняйте загальні формули альдегідів і карбонових кислот. Що в них спільного, а що відмінного?
- 301.** Схарактеризуйте фізичні властивості та біологічну роль карбонових кислот. Де карбонові кислоти трапляються в природі? Наведіть приклади.

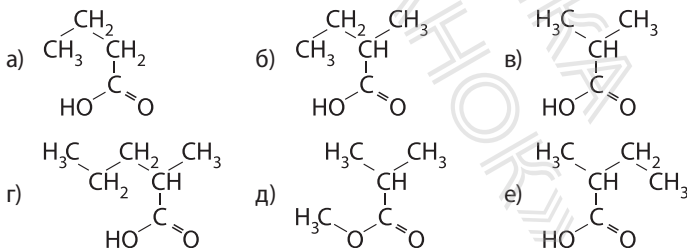
**Завдання для засвоєння матеріалу**

- 302.** Речовини з якими формулами є: а) одноосновними карбоновими кислотами; б) насиченими одноосновними карбоновими кислотами?



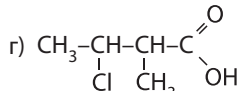
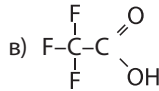
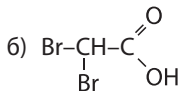
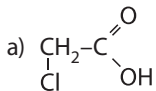
- 303.** Складіть усі можливі структурні формули карбонових кислот складу: а) $\text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}_2$; б) $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_2$.

- 304.** З-поміж наведених визначте формули гомологів та ізомерів.



- 305.** Класифікуйте за всіма ознаками карбонові кислоти, формули яких наведено в підрозділі «Поширеність карбонових кислот у природі».

306. Назвіть кислоти за систематичною номенклатурою.



307. Формули солей утворюються з формул кислот заміною атомів Гідрогену (у випадку з карбоновими кислотами атома Гідрогену карбоксильної групи). Складіть молекулярні формули солей з Натрієм для всіх кислот із таблиці 11, дайте їм традиційні назви та за систематичною номенклатурою.

Комплексні завдання

308. Певна органічна речовина складається з Карбону, Гідрогену та Оксигену. Масова частка Карбону в ній становить 60 %, а Гідрогену — 8 %. Відносна густина випарів цієї речовини за воднем дорівнює 50. Установіть молекулярну формулу цієї речовини.

309. Установіть молекулярну формулу речовини з масовими частками Карбону 40 %, Гідрогену 6,66 %, Оксигену 53,34 %. Відносна густина її випарів за воднем дорівнює 30.

310. Установіть молекулярну формулу насиченої одноосновної кислоти, молярна маса якої дорівнює 130 г/моль.

311. Установіть молекулярну формулу одноосновної карбонової кислоти, у якій масова частка Оксигену становить 43,2 %.

Завдання для розвитку критичного мислення

312. Як ви вважаєте, чому характеристичну групу карбонових кислот називають карбоксильною?

313. Поясніть причину зміни розчинності у воді, температур плавлення й кипіння в гомологічному ряду насичених одноосновних карбонових кислот.

§ 21. Насичені одноосновні карбонові кислоти: хімічні властивості та методи одержання

Пригадайте:

- унаслідок дисоціації кислот у розчині обов'язково з'являються йони Гідрогену;
- хімічні властивості спиртів та альдегідів (за § 14 та 19).

Хімічні властивості карбонових кислот

Хімічні властивості карбонових кислот багато в чому подібні до властивостей неорганічних кислот. Усі органічні кислоти — слабкі, а більшість не розчиняються у воді.

Індикатор	Лакмус	Метилловий оранжевий	Фенол- фталеїн	Універсаль- ний
Колір у кислому середовищі	Червоний	Червоний	Безбарвний	Червоний

Мал. 21.1. Колір індикаторів за наявності кислот

1. Електролітична дисоціація. Розчинні у воді карбонові кислоти дисоціюють з утворенням йонів Гідрогену, через що індикатори змінюють своє забарвлення, як і слабкі неорганічні кислоти (мал. 21.1). Але унаслідок дисоціації від молекули карбонових кислот відщеплюється лише Гідроген карбоксильної групи. Тому основність органічних кислот не збігається із числом атомів Гідрогену, що міститься в її молекулі, а дорівнює числу карбоксильних груп.

Схема дисоціації карбонових кислот:

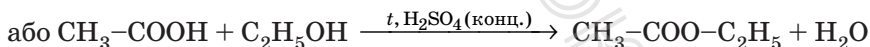
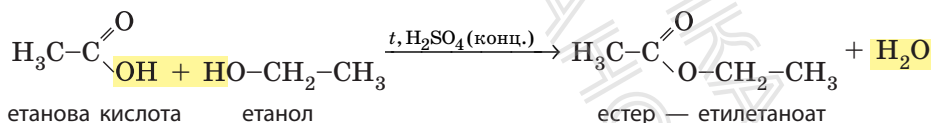
- у загальному вигляді: $\text{RCOOH} \rightleftharpoons \text{RCOO}^- + \text{H}^+$
- для метанової кислоти: $\text{HCOOH} \rightleftharpoons \text{HCOO}^- + \text{H}^+$

Зі збільшенням вуглеводневого залишку сила карбонових кислот зменшується (ступінь дисоціації знижується).

2. Кислотно-основні взаємодії. Для карбонових кислот характерні всі загальні хімічні властивості кислот. Вони реагують:

- з активними металами: $2\text{RCOOH} + \text{Zn} \rightarrow (\text{RCOO})_2\text{Zn} + \text{H}_2\uparrow$
- з основними оксидами: $2\text{RCOOH} + \text{MgO} \rightarrow (\text{RCOO})_2\text{Mg} + \text{H}_2\text{O}$
- з лугами: $\text{RCOOH} + \text{NaOH} \rightarrow \text{RCOONa} + \text{H}_2\text{O}$
- із солями (сильні кислоти витісняють слабші із солей):
 $2\text{RCOOH} + \text{Na}_2\text{CO}_3 \rightarrow 2\text{RCOONa} + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2\uparrow$

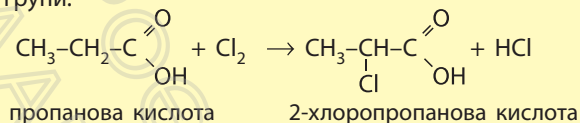
3. Реакція естерифікації. *Естерифікація* — реакція утворення естерів унаслідок кип'ятіння карбонових кислот зі спиртами за наявності концентрованої сульфатної кислоти:



Від карбоксильної групи кислоти відщеплюється група $-\text{OH}$, а від молекули спирту — атом Гідрогену гідроксильної групи. Разом вони утворюють молекулу води, зв'язуванню якої сприяє концентрована сульфатна кислота. У цій реакції вона є і каталізатором, і водовідділяючим засобом.

Наведені властивості є лише частиною можливих реакцій для карбонових кислот. Різноманітні властивості карбонових досліджували багато вчених, зокрема наш співвітчизник С. М. Реформатський.

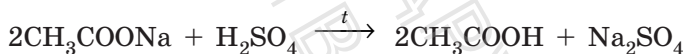
Реакція галогенування. Карбонові кислоти виявляють певні хімічні властивості й за участі вуглеводневого залишку, що споріднює їх з алканами. Вони взаємодіють із хлором та бромом за наявності фосфор(III) хлориду чи бромиду, причому реакція відбувається за атомом Карбону, найближчим до карбоксильної групи:



Одержання етанової кислоти

Хімічні реакції, у ході яких утворюються кислоти, вам уже добре відомі. Пригадаємо їх на прикладі етанової кислоти.

1. Витіснення із солей сильнішими кислотами. Сильні неорганічні кислоти (H_2SO_4 , HCl , HNO_3) витісняють карбонові кислоти з їхніх солей:



Якщо реакційну суміш нагрівати, то етанова кислота, яка більш летка, ніж сульфатна, випаровуватиметься, і її можна зібрати в окрему посудину (мал. 21.2). Цю реакцію часто використовують як лабораторний метод одержання чистої етанової кислоти.



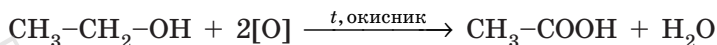
Мал. 21.2. Одержання етанової кислоти в лабораторії



Сергій Миколайович Реформатський (1860–1934)

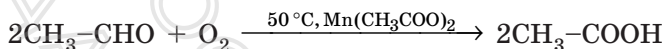
Досліджував властивості та методи одержання похідних карбонових кислот.

2. Окиснення спиртів. Унаслідок кип'ятіння етанолу з окисником (концентрована нітратна кислота або суміш калій перманганату з лугом) спирт окиснюється до карбонової кислоти:

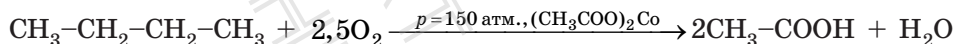


3. Окиснення альдегідів. Альдегіди досить легко окиснюються звичайними лабораторними окисниками (§ 19).

У промисловості етанову кислоту одержують з етаналю, окиснюючи його киснем повітря за наявності манган(II) етаноату:



4. Окиснення алканів. У промисловості етанову кислоту можна також одержувати окисненням *n*-бутану за наявності каталізатора:



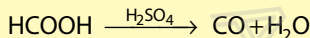
Цей метод є економічно вигідним за умови наявності дешевих нафтопродуктів.



Мурашина кислота

Мурашина (метанова) кислота — найпростіша з карбонових кислот — була вперше виділена із залоз лісових мурах Джоном Реєм 1670 року. Вона міститься також у листках жалкої кропиви. Якщо доторкнутися до листка, можна «обпектися»: гострі ворсинки, що містять мурашину кислоту, встромляються в шкіру, спричиняючи її подразнення. У промисловості мурашину кислоту одержують із карбон(II) оксиду й використовують для фарбування тканин, обробки (дублення) шкір і консервування кормів.

За нагрівання мурашиної кислоти з концентрованою сульфатною кислотою вона розкладається з утворенням чадного газу:



У такий спосіб у лабораторії одержують чадний газ.

У медицині мурашину кислоту у вигляді 1%-го розчину в спирті (мурашиний спирт) застосовують як розтирання для лікування невралгії, міозитів тощо.

ЛАБОРАТОРНИЙ ДОСЛІД № 1

Виявлення органічних кислот у харчових продуктах

Обладнання: штатив із пробірками, піпетки, етикетки харчових продуктів (напої, соуси тощо).

Реактиви: дистильована вода, сода, розчини натрій карбонату (або гідрогенкарбонату), кальцій хлориду, розчин Люголя (розчин йоду та калій йодиду у воді), індикатори (індикаторний папір або розчини універсального індикатора, метилоранжу тощо), зразки харчових продуктів: кислі (молочнокислі продукти, фрукти, овочі, соки), з умістом щавлевої кислоти (томати, щавель, ревінь, карамболь тощо), з умістом аскорбінової кислоти (лимони, апельсини тощо).

! Правила безпеки:

- для проведення дослідів використовуйте невеликі кількості речовин;
- остерігайтеся потрапляння реактивів на шкіру, в очі, на одяг.

Дослід 1. Випробування індикатором

У пробірки налейте по 1–2 мл зразків рідких харчових продуктів. Невеликі шматочки зразків твердих продуктів помістіть у пробірку, обережно подрібніть шпателем або скляною паличкою та додайте по 1–2 мл дистильованої води. Кожний зразок випробуйте індикатором. Зробіть висновок щодо наявності в досліджуваних продуктах кислот.

Дослід 2. Випробування натрій карбонатом

Зразки продуктів (деякі з них мають бути забарвленими) випробуйте солями карбонатної кислоти. Рідкі зразки випробуйте розчином натрій карбонату. Тверді зразки можна випробувати сухою содою, насипавши її на зріз продукту. За появою спінення зробіть висновок щодо наявності кислот у досліджуваних продуктах.

Дослід 3. Виявлення щавлевої кислоти

Для виявлення щавлевої кислоти краще використовувати тверді зразки харчових продуктів. Розріжте овочі так, щоб виступив клітинний сік, на зріз піпеткою нанесіть 1–2 краплі розчину кальцій хлориду. За наявності щавлевої кислоти з'явиться помутніння або невеликі білі кристалики. Випробуйте різні харчові продукти кальцій хлоридом. Зробіть висновки.

Дослід 4. Виявлення аскорбінової кислоти

Для дослідів можна використовувати неінтенсивно забарвлені рідкі й тверді продукти. Рідкі зразки помістіть у пробірки, тверді зразки можна використовувати без пробірки, випробуючи їх на зрізі. До зразка додайте 1–2 краплі розчину Люголя. За наявності аскорбінової

кислоти жовте забарвлення розчину має зникнути. Зробіть висновки щодо наявності аскорбінової кислоти в досліджуваних продуктах.

Дослід 5. Аналіз етикеток харчових продуктів

За чинним законодавством, виробники харчових продуктів зобов'язані вказувати на етикетках їхній хімічний склад. Проаналізуйте зміст етикеток харчових продуктів та зробіть висновки щодо наявності в складі продуктів органічних кислот та їхніх солей.

Ключова ідея



Наявність карбоксильної групи в молекулах карбонових кислот зумовлює їхні кислотні властивості, такі як у неорганічних кислот.

Лінгвістична задача

Латиною *formica* означає «мураха», а грецьке слово *oksos* — «кислота» або «кислий». Поясніть походження традиційних назв метанової та етанової кислот та їхніх солей.



Контрольні запитання

314. Схарактеризуйте хімічні властивості насичених одноосновних карбонових кислот. Порівняйте їх із властивостями неорганічних кислот.
315. Як змінюють забарвлення індикатори за наявності карбонових кислот? Чи пов'язана здатність кислот змінювати кольори індикатора з їхнім кислим смаком?
316. Схарактеризуйте методи одержання етанової кислоти. Які з них застосовують у промисловості, а які — у лабораторії?



Завдання для засвоєння матеріалу

317. Як відрізнити розчин етанової кислоти від: а) розчину етанолу; б) хлоридної кислоти?
318. Запишіть рівняння реакцій для здійснення перетворень за схемами:
 - а) етанол → етаналь → етанова кислота → натрій етаноат;
 - б) пропанол → пропаналь → пропанова кислота;
 - в) етан → етен → етанол → етаналь → етанова кислота;
 - г) етен → етин → етаналь → етанол;
 - д) етан → етен → етанол → етанова кислота → калій етаноат;
 - е) $\text{CH}_4 \rightarrow \text{C}_2\text{H}_2 \rightarrow \text{CH}_3\text{CHO} \rightarrow \text{CH}_3\text{COOH} \rightarrow \text{CH}_3\text{COONa}$;
 - є) $\text{C}_2\text{H}_6 \rightarrow \text{C}_2\text{H}_4 \rightarrow \text{C}_2\text{H}_5\text{OH} \rightarrow \text{CH}_3\text{CHO} \rightarrow \text{CH}_3\text{COOH}$;
 - ж) алкан → алкен → алкін → альдегід → карбонова кислота → сіль.

Комплексні завдання

- 319.** Обчисліть масу солі, що утворюється внаслідок взаємодії етанової кислоти масою 15 г із надлишком вапняку.
- 320.** Яку масу кислоти можна добути окисненням пропан-1-олу масою 7,5 г?
- 321.** Обчисліть об'єми бутану та кисню (н. у.), що необхідні для одержання етанової кислоти масою 30 кг.
- 322.** Унаслідок спалювання зразка одноосновної насиченої карбонової кислоти масою 6,225 мг виділилися вуглекислий газ масою 12,44 мг та вода масою 5,091 мг. Установіть емпіричну та молекулярну формули кислоти. Обчисліть масу розчину калій гідроксиду з масовою часткою 1,2544 %, що необхідна для нейтралізації цієї кислоти масою 0,822 г.
- 323.** Обчисліть масу солі, що можна добути з етанової кислоти та розчину калій гідроксиду масою 80 г із масовою часткою лугу 14 %.
- 324.** Обчисліть масу розчину етанової кислоти з масовою часткою 15 %, необхідного для взаємодії з магнієм масою 55,2 г.
- 325.** Обчисліть масу солі, що утворюється внаслідок взаємодії етанової кислоти масою 42 г із розчином натрій гідроксиду.
- 326.** Установіть молекулярну формулу насиченої одноосновної кислоти, якщо відомо, що на нейтралізацію цієї кислоти масою 12 г витрачено натрій гідроксид масою 8 г.

Завдання для розвитку критичного мислення

- 327.** Запропонуйте схему одержання етанової кислоти з глюкози. Запишіть відповідні рівняння реакцій.
- 328.** Проаналізуйте, за яких умов можливе окиснення альдегідів за параграфом 19, та порівняйте з методами одержання етанової кислоти, наведеними у цьому параграфі. У чому полягають відмінності? Як ви вважаєте, чому не всі реакції, унаслідок яких утворюється етанова кислота, можна застосовувати для її одержання? У чому полягають відмінності між лабораторними та промисловими методами одержання різних сполук?
- 329.** Попередній аналіз певного зразка довів, що в розчині наявні етанол і натрій етаноат. Як за допомогою лише сульфатної кислоти довести наявність цих речовин за запахом продуктів реакції? Запишіть відповідні рівняння реакцій.
- 330.** У двох пробірках містяться сухі зразки натрій стеарату і натрій етаноату. Відрізнити вміст двох пробірок можна двома способами: а) додати в пробірку воду; б) додати розчин амоній карбонату. На яких принципах ґрунтуються ці способи? Запишіть відповідні рівняння реакцій.

Мініпроект

- 331.** Виготовлення свічки з мила.

Ножем настружіть половину шматка господарського мила і покладіть у чисту консервну банку або в непотрібну каструлю. Налийте в банку води стільки, щоб вона з надлишком покривала мильну стружку, і по-

ставте суміш на водяну баню. Уміст банки помішуйте час від часу дерев'яною паличкою, щоб мило скоріше розчинилося у воді. Коли це станеться, зніміть посудину з вогню та дайте охолонути до кімнатної температури. Долийте столовий оцет об'ємом 100 мл (пів склянки). Під дією кислоти з розчину виділиться і спливе на поверхню густа біла маса суміші стеаринової та пальмітинової кислот — стеарин.

Коли банка зовсім охолоне, зберіть стеарин з поверхні ложкою і перекачайте його в чисту посудину. Два-три рази промийте стеарин водою і загорніть у чисту білу бавовняну або паперову серветку, щоб видалити зайву вологу. Коли стеарин висохне, із нього можна виготовити свічку. Для цього товсту кручену нитку слід багаторазово занурювати в трохи підігрітий розплавлений стеарин. Кожного разу дайте стеарину затвердіти на ґноті. Так повторюйте до тих пір, поки на ґноті не наросте свічка достатньої товщини. У такий спосіб у давні часи виготовляли свічки. Можете проекспериментувати і запропонувати власні способи виготовлення свічок, зокрема фігурних та ароматизованих.

§ 22. Естери

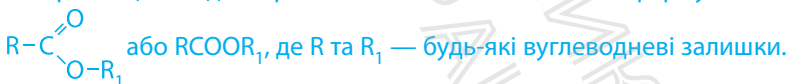
Пригадайте:

- вплив водневого зв'язку на фізичні властивості спиртів, альдегідів та кислот (за § 14, 19, 21);
- назви карбонових кислот та їхніх залишків (за § 20);
- оборотними реакціями називають реакції, які за одних і тих самих умов відбуваються як у прямому, так і у зворотному напрямках.

Поняття про естери



Естери — це похідні карбонових кислот із загальною формулою:



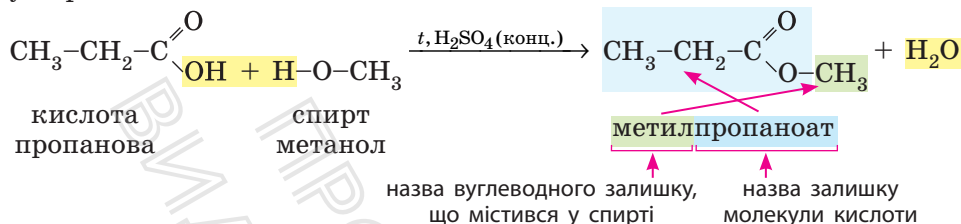
Характеристичну групу естерів $-\text{COOR}$ називають естерною.

Як ви пам'ятаєте з § 20, естери є міжкласовими ізомерами карбонових кислот, отже, загальна молекулярна формула естерів така сама, як у кислот — $\text{C}_n\text{H}_{2n}\text{O}_2$.

Естери: ізомерія та номенклатура

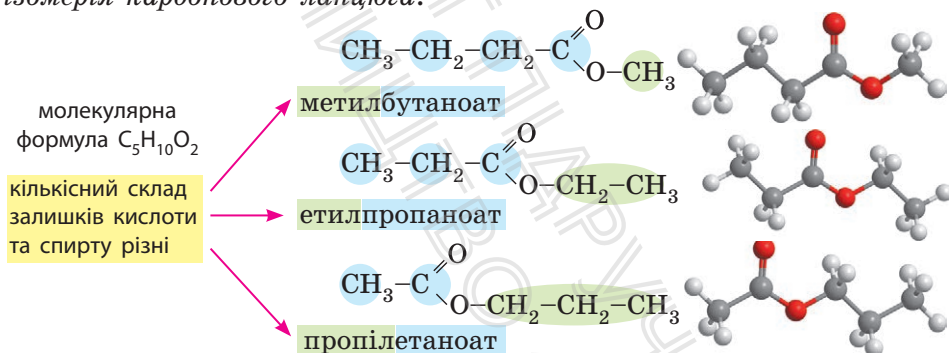
Як ви вже дізналися з попереднього параграфу, естери утворюються унаслідок реакції естерифікації, що відбувається між карбоновими кислотами та спиртами.

Назви естерів походять від назв кислоти та спирту, з яких вони утворені:



У назвах естерів часто використовують традиційні назви кислотних залишків (ацетат, бутират тощо). У нашому випадку метилпропаноат також можна назвати метилпропіонат. Часто використовують застарілі назви, для нашого прикладу — метиловий естер пропанової кислоти.

Окрім міжкласової ізомерії (§ 20) для естерів також характерна ізомерія карбонового ланцюга:

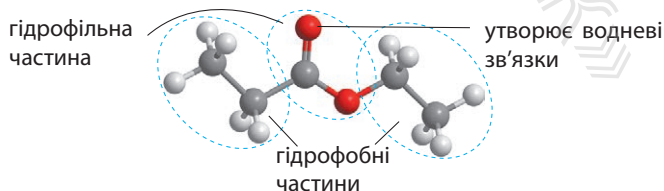


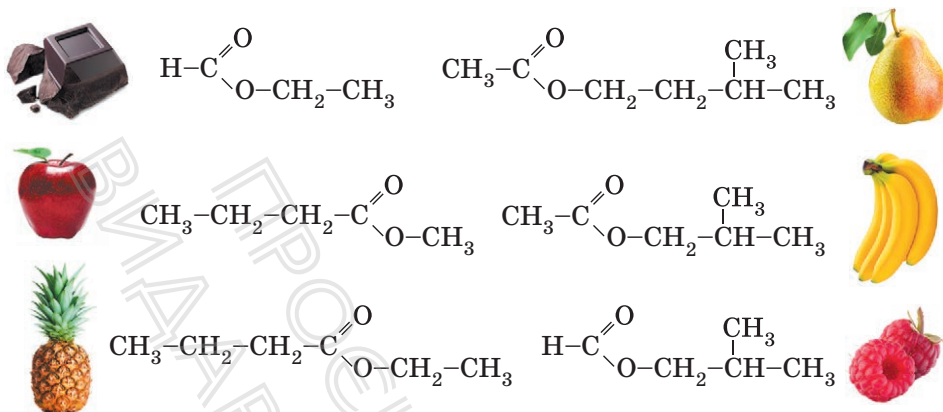
Естери: фізичні властивості та поширеність у природі

Фізичні властивості естерів зумовлені кількома чинниками:

- як і у вуглеводнів, у молекулах естерів переважають гідрофобні частини, унаслідок чого вони набагато гірше розчиняються у воді, ніж кислоти з таким самим складом;

- як і альдегіди, естери можуть утворювати водневі зв'язки за рахунок атома Оксигену в групі $\text{C}=\text{O}$, але ці зв'язки не настільки міцні внаслідок двох вуглеводневих залишків поряд.





Мал. 22.1. Естери надають запаху багатьом природним об'єктам

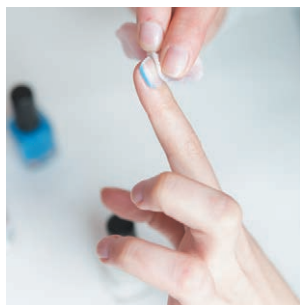
Отже, молекули естерів здебільшого гідрофобні, не утворюють водневих зв'язків між собою і майже не утворюють їх із молекулами води.

Естери, утворені нижчими карбоновими кислотами:

- леткі безбарвні рідини, малорозчинні або практично нерозчинні у воді;

- багато таких естерів мають приємний запах, переважно фруктовий. Аромат багатьох квітів і плодів зумовлений наявністю саме естерів (мал. 22.1). Завдяки цьому естери застосовують у харчовій промисловості для приготування напоїв, цукерок, кондитерських виробів, фруктових есенцій, парфумів тощо;

- добре розчиняють неполярні органічні речовини, зокрема жири, завдяки чому їх застосовують для знежирення та як розчинники для лаків, клеїв і фарб (мал. 22.2).



Мал. 22.2. Рідина для зняття лаку складається переважно з етилетаноату (етилацетату)

Естери, утворені вищими карбоновими кислотами:

- нелеткі, безбарвні, воскоподібні, тверді речовини;
- нерозчинні у воді, жирні на дотик.

Такі естери містяться у складі бджолиного воску.

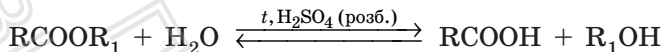
Хімічні властивості естерів

Характерною хімічною властивістю естерів є *гідроліз* — реакція, зворотна до реакції естерифікації. За наявності каталізаторів естери взаємодіють із водою, перетворюючись

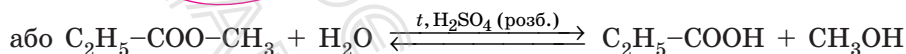
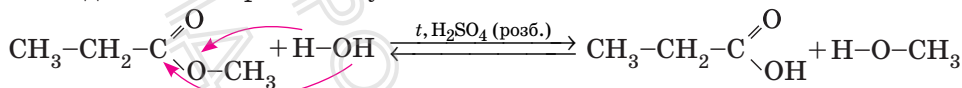
на кислоту і спирт. Залежно від середовища, у якому відбувається реакція (каталізатора), розрізняють два види гідролізу.

1. Кислотний гідроліз. Відбувається під час кип'ятіння естерів за наявності розбавленої сульфатної кислоти:

- у загальному вигляді:



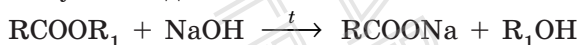
- для метилпропаноату:



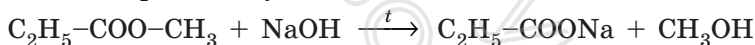
Оскільки сульфатна кислота є також каталізатором зворотної реакції — естерифікації, то реакція кислотного гідролізу є оборотною, отже, неможливо весь естер перетворити на продукти реакції.

2. Лужний гідроліз. Відбувається під час кип'ятіння естерів із розчинами лугів. Оскільки кислоти в лужному середовищі нейтралізуються, то продуктами реакції є сіль карбонової кислоти та спирт:

- у загальному вигляді:



- для метилпропаноату:



Лужний гідроліз необоротний, тому що утворюється не кислота, а її сіль. До того ж, луг не є каталізатором зворотної реакції (естерифікації). Реакцію лужного гідролізу естерів часто називають *омиленням естерів*.



Ключова ідея

Естери — функціональні похідні карбонових кислот із такою самою загальною формулою, як у кислот, але іншою структурною, що зумовлює принципову відмінність у фізичних властивостях.

Лінгвістична задача

- Поясніть суть терміна «гідроліз», зважаючи, що грецькою *hydro* означає «вода», а *lysis* — «розкладання».



Контрольні запитання

332. Які речовини відносять до естерів?

333. Схарактеризуйте особливості складання назв естерів за систематичною номенклатурою.

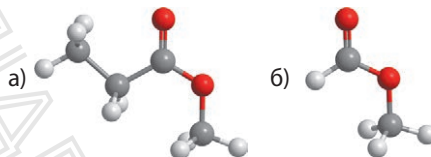
- 334.** Схарактеризуйте фізичні властивості естерів. Порівняйте їх із фізичними властивостями карбонових кислот та опишіть вплив водневого зв'язку.
- 335.** Схарактеризуйте хімічні властивості естерів. Наведіть відповідні рівняння хімічних реакцій.
- 336.** Яка реакція гідролізу естерів є оборотною, а яка — необоротною? Чому?
- 337.** Схарактеризуйте поширеність естерів у природі та їхнє застосування.



Завдання для засвоєння матеріалу

- 338.** Складіть формули таких естерів: а) метилетаноат; б) пропілпропаноат; в) етилпропаноат; г) етилетаноат; д) метилпропаноат; е) метилметаноат; є) етилметаноат.
- 339.** Складіть структурні формули естерів за їхніми традиційними назвами: а) метилацетат; б) етилформіат; в) пропілпропіонат; г) метилбутират; д) етилвалерат.
- 340.** Назвіть естери (за систематичною номенклатурою та традиційні назви): а) $\text{CH}_3\text{COOC}_2\text{H}_5$; б) $\text{C}_2\text{H}_5\text{COOC}_2\text{H}_5$; в) $\text{C}_2\text{H}_5\text{COOCH}_3$; г) $\text{CH}_3\text{COOCH}_3$; д) HCOOCH_3 ; е) HCOOC_2H_5 ; є) $\text{C}_2\text{H}_5\text{COOC}_3\text{H}_7$.
- 341.** Назвіть естери, структурні формули яких наведено на мал. 22.1.

- 342.** Складіть скорочені структурні формули естерів за моделями молекул та назвіть ці естери.



- 343.** Естер, утворений етановою кислотою та бензиловим спиртом $\text{C}_6\text{H}_5\text{—CH}_2\text{—OH}$, використовують для виробництва дешевих дезодорантів. Запишіть рівняння реакції утворення цього естеру.
- 344.** Складіть структурну формулу естеру, утвореного метиловим спиртом і метановою кислотою. Яка речовина іншого класу сполук має таку саму молекулярну формулу?
- 345.** Складіть формули всіх можливих естерів, що можна добути, маючи в наявності метанол, етанол, пропанол, метанову, етанову та пропанову кислоти.
- 346.** Запишіть рівняння реакції лужного гідролізу: а) метилетаноату; б) етилметаноату.
- 347.** Запишіть два рівняння реакцій, унаслідок яких утворюються два різні естери, але з однаковою молекулярною формулою.
- 348.** Запишіть рівняння реакцій для здійснення перетворень за схемами:
- а) $\text{C}_2\text{H}_4 \rightarrow \text{C}_2\text{H}_5\text{OH} \rightarrow \text{CH}_3\text{COOH} \rightarrow \text{CH}_3\text{COOCH}_3 \rightarrow \text{CH}_3\text{COONa}$;
 б) $\text{C}_3\text{H}_6 \rightarrow \text{C}_3\text{H}_7\text{OH} \rightarrow \text{C}_2\text{H}_5\text{COOH} \rightarrow \text{C}_2\text{H}_5\text{COOC}_2\text{H}_5 \rightarrow \text{C}_2\text{H}_5\text{COOK}$;
 в) етин $\rightarrow$ етаналь $\rightarrow$ етанова кислота $\rightarrow$ пропілетаноат;
 г) етан $\rightarrow$ етен $\rightarrow$ етанол $\rightarrow$ етилметаноат;
 д) бутан $\rightarrow$ етанова кислота $\rightarrow$ етилетаноат $\rightarrow$ натрій етаноат;
 е) $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH} \rightarrow \text{CH}_3\text{CHO} \rightarrow \text{CH}_3\text{COOH} \xrightarrow{\text{CH}_3\text{OH}/\text{H}_2\text{SO}_4} \text{А} \xrightarrow{\text{NaOH}} \text{Б}$.

Комплексні завдання

- 349.** Обчисліть масу етилетаноату, що піддали омиленню, якщо в результаті одержали етанол масою 20,7 г.
- 350.** Обчисліть маси кислоти та спирту, необхідних для одержання метилетаноату масою 3,33 г.
- 351.** Обчисліть масу метилетаноату, що можна одержати в реакції естерифікації з етанової кислоти масою 3,6 г.
- 352.** Унаслідок лужного гідролізу пропілетаноату добуто натрій етаноат масою 229,6 г. Обчисліть масу естеру, що прореагував.
- 353.** Метилетаноат масою 240,5 г добули за схемою: метан $\rightarrow$ етин $\rightarrow$ етаналь $\rightarrow$ етанова кислота $\rightarrow$ метилетаноат. Обчисліть об'єм витраченого метану (н. у.).
- 354.** Обчисліть масу етилетаноату, що можна добути зі 100 г оцтової есенції, яка містить 25 % води.

Завдання для розвитку критичного мислення

- 355.** Порівняйте вплив водневих зв'язків на фізичні властивості естерів, карбонових кислот, альдегідів та спиртів.
- 356.** Порівняйте фізичні властивості естерів, карбонових кислот, альдегідів, спиртів та вуглеводнів. Що в них є спільного, а чим вони відрізняються?
- 357.** Які речовини утворюються при кип'ятінні етилметаноату з розчином калій гідроксиду? Чому в цій реакції не утворюється калій метанолят?
- 358.** Проаналізуйте таблицю та дайте відповіді на запитання.

Речовина	Формула	$t_{\text{пл.}}, ^\circ\text{C}$	$t_{\text{кип.}}, ^\circ\text{C}$	Густина, г/мл
Бутан	$\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_2-\text{CH}_3$	-138,4	-0,5	0,5788
Бутан-1-ол	$\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_3-\text{OH}$	-89,5	117,2	0,8098
Діетиловий етер	$\text{C}_2\text{H}_5-\text{O}-\text{C}_2\text{H}_5$	-116,2	34,5	0,7138
Бутанова кислота	$\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_2-\text{COOH}$	-4,5	163,5	0,9577
Етилетаноат	$\text{CH}_3-\text{COO}-\text{C}_2\text{H}_5$	-84	77	0,902

- Як ви вважаєте, чому в таблиці для порівняння наведено: а) саме такі речовини; б) речовини саме цих класів сполук?
- На прикладі наведених сполук схарактеризуйте відмінності в густині речовин.
- Як впливає наявність подвійного зв'язку $\text{C}=\text{O}$ на температури плавлення та кипіння речовин?
- Яка основна причина відмінності температур плавлення етилетаноату та бутану?
- Які дві пари ізомерів наведено в таблиці?
- Як відрізнятиметься температура кипіння речовин ($^\circ\text{C}$), якщо в молекулі бутану один атом Гідрогену кінцевого атома Карбону замінити на гідроксильну групу?
- Для кожної пари речовин (із наведених у таблиці) поясніть причини відмінності в температурах кипіння.

§ 23. Жири

Пригадайте: із курсу біології роль жирів та ліпідів у живих організмах, зокрема в організмі людини.

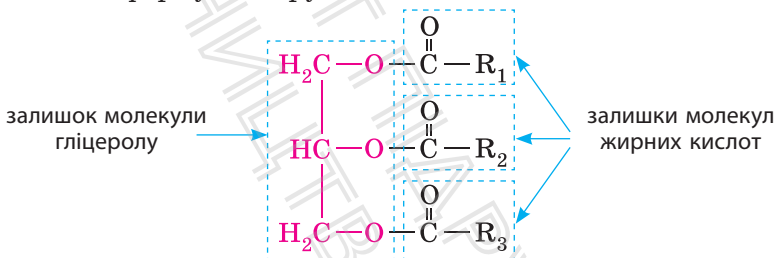
Жири як естери

У 9 класі ви вже вивчали жири. Минулого року про жири ми говорили, що це сполуки, молекули яких складаються із залишків молекул багатоатомного спирту гліцеролу та вищих карбонових кислот. Тепер ви вже знаєте, що сполуки, утворені спиртом та кислотою, — це естери, а карбонові кислоти, що трапляються у складі жирів, називають *жирними*, отже



Жири — це естери гліцеролу і жирних кислот.

Загальна формула жиру:



де R_1 , R_2 , R_3 — вуглеводневі залишки у складі жирних кислот; залежно від жиру вони можуть бути однаковими, а можуть бути й різними.

Жирними є одноосновні нерозгалужені карбонові кислоти із числом атомів Карбону в молекулах від 4 до 24.

З-поміж жирних кислот у природних жирах найчастіше трапляються:

• **насичені кислоти:**

стеаринова: $C_{17}H_{35}COOH$, або $CH_3-(CH_2)_{16}-COOH$



пальмітинова: $C_{15}H_{31}COOH$, або $CH_3-(CH_2)_{14}-COOH$



• **ненасичені кислоти:**

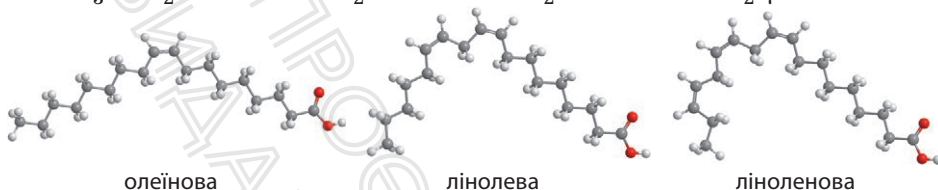
олеїнова: $C_{17}H_{33}COOH$, або $CH_3-(CH_2)_7-CH=CH-(CH_2)_7-COOH$

лінолева: $C_{17}H_{31}COOH$, або

$CH_3-(CH_2)_4-CH=CH-CH_2-CH=CH-(CH_2)_7-COOH$

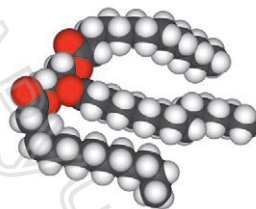
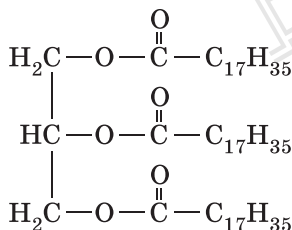
ліноленова: $C_{17}H_{29}COOH$, або

$CH_3-CH_2-CH=CH-CH_2-CH=CH-CH_2-CH=CH-(CH_2)_7-COOH$



Скорочено формулу жиру можна записати так: $C_3H_5O_3(RCO)_3$.

Наприклад, гліцерол тристеарат — це жир, молекули якого складаються із залишку молекули гліцеролу і трьох залишків молекул стеаринової кислоти $C_{17}H_{35}COOH$. У стеаринової кислоти вуглеводневий залишок — це група атомів $C_{17}H_{35}$. Отже, у формулі гліцерол тристеарату $R_1 = R_2 = R_3 = C_{17}H_{35}$:



Для розрахунків і полегшення складання рівнянь реакцій можна скласти молекулярну формулу жиру, але в ній бажано окремо виділяти формулу залишку гліцеролу й залишків молекул жирних кислот. Наведений тристеарат матиме формулу $C_3H_5O_3(C_{17}H_{35}CO)_3$, або $C_{57}H_{110}O_6$.

Склад жирів установили французькі вчені М. Шеврель і М. Бертло. 1811 року М. Шеврель визначив, що за нагрівання жиру з водним розчином лугу утворюються гліцерол і карбонові кислоти. А 1854 року М. Бертло здійснив зворотну реакцію і синтезував жир нагріванням гліцеролу з карбоновими кислотами.

Фізичні властивості та класифікація жирів

Жири — безбарвні в'язкі рідини або тверді речовини, легші за воду (їхня густина 0,9–0,95 г/см³), нерозчинні у воді, але розчинні в багатьох органічних розчинниках.

Тверді жири:

- містять переважно залишки молекул насичених кислот;
- мають тваринне походження (виняток — кокосове та какао масло).

Рідкі жири:

- містять переважно залишки молекул ненасичених кислот;
- мають рослинне походження (виняток — риб'ячий жир).



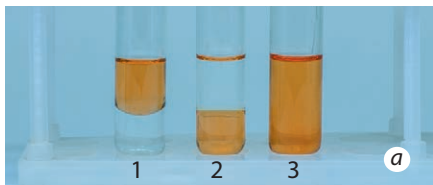
Мал. 23.1. Природні жири: а — какао масло; б — баранячий жир; в — лляна олія; з — риб'ячий жир

Агрегатний стан жирів за звичайних умов залежить від їхнього складу (мал. 23.1). Чим більше залишків молекул насичених кислот у молекулі жиру, тим вища його температура плавлення. Жири, що за звичайних умов *тверді*, містять переважно залишки молекул насичених кислот (стеаринової чи пальмітинової): 45–70 % від усіх залишків залежно від походження жиру. До твердих жирів часто застосовують слово «масло», наприклад, «вершкове масло». Тверді



Демонстраційний дослід: розчинність жирів у воді та органічних розчинниках

У три пробірки наливаємо по 2–3 мл таких речовин: у першу — води, у другу — етанолу, у третю — бензину (можна замінити гексаном, етилацетатом та толуеном). У кожну пробірку додаємо по 2–3 мл соняшникової олії. У перших двох пробірках рідини розшаровуються (мал. а). Струшуємо пробірки. Пробірка із сумішшю олії та води стає каламутною внаслідок утворення емульсії, але із часом емульсія розшаровується, і ми спостерігаємо два окремі шари: води та олії (мал. б). У другій пробірці також спостерігаємо два шари, але верхній має виразне забарвлення за рахунок часткового розчинення олії. У третій навіть без струшування спостерігаємо однорідну суміш (мал. а та б) унаслідок того, що органічні розчинники добре розчиняють жири.



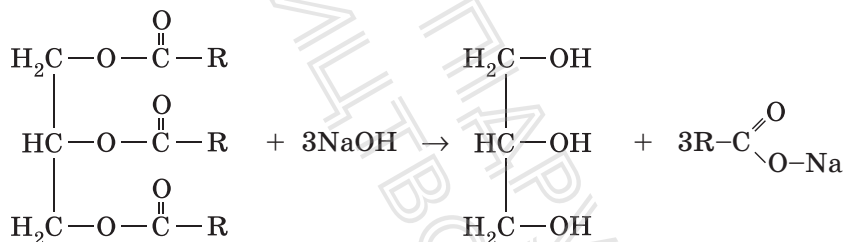
жири — це жири тваринного походження (яловичий, баранячий, свинячий тощо), за винятком кокосового та какао масла.

У молекулах *рідких жирів* містяться переважно залишки молекул ненасичених кислот (олеїнової, лінолевої та ліноленової): 65–85 % залежно від походження. До рідких жирів частіше застосовують слово «олія». Рідкі жири — це жири рослинного походження (лляна, соняшникова, оливкова олії тощо), за винятком рыб'ячого жиру.

Хімічні властивості жирів

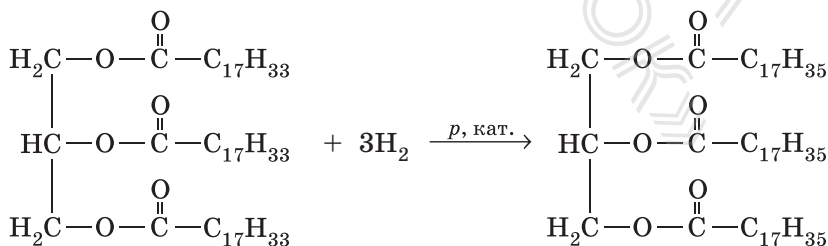
З одного боку, жири є естерами, отже, для них мають бути характерними хімічні властивості естерів. З іншого боку, деякі жири містять залишки молекул ненасичених карбонових кислот, що зумовлює здатність жирів виявляти хімічні властивості ненасичених сполук.

1. Лужний гідроліз (омилення). Як і естери, жири під час кип'ятіння з лугами піддаються гідролізу, у результаті якого утворюються спирт (гліцерол) та солі жирних кислот:



У складі більшості жирів містяться залишки молекул жирних кислот із числом атомів Карбону більше 12, а солі таких кислот є милом. Саме тому гідроліз жирів, а також і естерів, у лужному середовищі називають *омиленням*. Цю властивість жирів використовують для виробництва мила.

2. Гідрогенізація (гідрування). Якщо у складі жиру містяться залишки молекул ненасичених кислот, то, як і для всіх ненасичених сполук, для них характерні реакції приєднання, зокрема приєднання водню (гідрогенізація, або гідрування жирів):





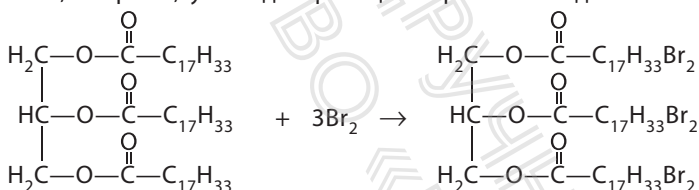
Мал. 23.2. Гідруванням олії — рідкого жиру (а) — одержують тверді комбіновані жири та маргарини (б)

Оскільки залишки молекул ненасичених кислот трапляються більше в рідких рослинних жирах, то внаслідок гідрування з рідкого жиру одержують твердий. Цей процес використовують для одержання комбінованих жирів і маргаринів з рідкої олії (мал. 23.2), а отримані жири називають гідрогенізованими. Наявність залишків молекул ненасичених кислот в оліях і маслах за тривалого зберігання спричиняє їх прогіркнення: ненасичені сполуки окиснюються киснем повітря, утворюють щільну плівку і надають специфічного гіркого присмаку.

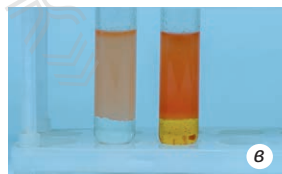


Демонстраційний дослід: доведення ненасиченого характеру рідких жирів

Для ненасичених сполук характерні реакції приєднання. Жири, як і інші ненасичені сполуки, приєднують не лише водень, але й галогени, що можна спостерігати, зокрема, унаслідок реакції з бромною водою:



У першу пробірку наливаємо рослинну олію (мал. а, ліворуч), а в другу — розтоплений свинячий смалець (мал. а, праворуч). До обох пробірок додаємо по 1 мл бромної води (розчин броду у воді). Бромна вода збирається унизу пробірки окремим шаром червоно-бурого кольору (мал. б). Обидві пробірки ретельно струшуємо й залишаємо на кілька хвилин. Через певний час уміст пробірок розшаровується, і добре видно, що в пробірці з олією забарвлення бромом майже зникло, а в пробірці зі смальцем майже не змінилося (мал. в).





Гідрогенізація в харчовій індустрії

У харчовій промисловості застосовують каталітичне гідрування для перетворення рідких рослинних олій на маргарин. Вивчіть етикетки маргарину, і ви побачите, що там зазначено «містять частково гідрогенізовані рослинні олії». Такі продукти виготовляють тому, що гідрогенізовані рослинні жири мають більш тривалий термін зберігання та значно дешевші, ніж жири з натурального молока.

Amount/Serving	%Daily Value*
Total Fat 14g	22%
Saturated Fat 4g	20%
Trans Fat 3.5g	20%
Cholesterol 60mg	8%
Sodium 200mg	
Vitamin A 0%	Vitamin C

Потенційною проблемою використання каталітичного гідрування для одержання гідрогенізованих жирів є те, що каталізatori, які при цьому використовують, спричиняють ізомеризацію деяких подвійних зв'язків жирних кислот (деякі з них не поглинають водень і все одно лишаються). У більшості натуральних жирів подвійні зв'язки жирних кислот мають конфігурацію *цис*-. Каталізatori, використовувані для гідрування, перетворюють деякі з них на неприродну *транс*-конфігурацію. Вплив на здоров'я *транс*-жирних кислот остаточно не визначений, але експерименти свідчать, що вони підвищують рівень холестерину в крові, тобто збільшують ризик розвитку захворювань серцево-судинної системи.

Біологічне значення жирів

Кількість жиру в організмі залежить від режиму харчування та способу життя. Якщо з вуглеводами і жирами в організм надходить більше енергії, ніж витрачається організмом, надлишкові жири відкладаються в м'яких тканинах. У разі недостатнього харчування організм одержує енергію, окиснюючи жири, накопичені раніше. Частка жирів становить у середньому 10–20 % від загальної маси тіла людини. Надлишкове вживання жирів може спричинити надмірну масу тіла. Для підлітків рекомендують уживати на добу близько 100–110 г жирів (для юнаків) та 70–80 г (для дівчат).

Функції жирів:

- харчова;
- запасна;
- джерело вітамінів А, Е та D;
- структурна;
- захисна.

Жири — цінне джерело поліненасичених жирних кислот (із двома чи трьома кратними зв'язками в молекулах). Наш організм не синтезує такі кислоти (наприклад, лінолеву, ліноленову тощо), і тому ненасичені жири обов'язково мають бути в нашому раціоні. Поліненасичених жирних кислот багато в рослинних оліях, горіхах, рибі та яйцях.

Насичені жири синтезуються в клітинах нашого організму з інших речовин їжі, наприклад із вуглеводів. Саме тому насичені жири

в нашому раціоні мають бути в помірній кількості. Надлишок насичених жирів сприяє розвитку хвороб серцево-судинної системи.

Оптимальним є добовий раціон, що містить 20–30 % рослинних жирів та 70–80 % тваринних, причому 40 г з яких рекомендують уживати в натуральному вигляді (переважно вершкове масло), а інші — у складі страв.

Жири дуже енергоємні речовини, у процесі розщеплення жирів організмом виділяється набагато більше енергії, ніж від розщеплення білків чи вуглеводів такої самої маси. Під час окиснення 1 г жиру виділяється 39 кДж (9,3 ккал) енергії.

Жири розчиняють деякі вітаміни: А, D, Е тощо. Тому, вживаючи в їжу жири, ми отримуємо необхідні нам вітаміни. Але зверніть увагу, що за термічної обробки жирів значна кількість вітамінів руйнується.



Ключова ідея

Властивості жирів яскраво ілюструють залежність властивостей речовин від їхньої будови. Хоча за зовнішніми ознаками, поширеністю та біологічним значенням жири значно відрізняються від низькомолекулярних естерів, утім за хімічними й фізичними властивостями виявляють такі самі закономірності, що й усі естери.



Контрольні запитання

359. Які речовини відносять до жирів? Які спільні властивості в естерів та жирів, а в чому полягають відмінності?
360. У чому полягає хімічна різниця між поняттями «олія» та «жир»?
361. Що таке жирні кислоти? Які жирні кислоти вам відомі? Як впливає склад молекул жирів на їхні фізичні властивості?
362. Поясніть, із якою метою здійснюють гідрування жирів у промислових масштабах.
363. Наведіть приклади різних галузей застосування жирів.
364. Які особливі властивості жирів дозволяють їм виконувати ті функції в організмах, що описані в параграфі?
365. Запишіть рівняння реакції омилення гліцерол тристеарату розчином натрій гідроксиду. Назвіть продукти реакції.



Завдання для засвоєння матеріалу

366. Складіть структурні формули жирів, у складі яких містяться по три залишки молекул кислот: а) пальмітинової; б) масляної; в) стеаринової; г) олеїнової.
367. Складіть структурну формулу трилінолеату — жиру, утвореного лінолевою кислотою. Запишіть рівняння його повного гідрування.

- 368.** Коли дієтологи говорять про жири, то часто використовують терміни «омега-9», «омега-6» чи «омега-3 ненасичені жири». Які жири та які особливості будови їхніх молекул позначають цими термінами? Для відповіді на запитання в структурних формулах ненасичених жирних кислот пронумеруйте атоми Карбону в ланцюзі.
- 369.** Складіть дві можливі формули жирів, молекули яких містять по 57 атомів Карбону та два подвійні зв'язки.

Комплексні завдання

- 370.** Обчисліть масову частку Карбону в тристеараті.
- 371.** Обчисліть масу гліцеролу, що утворюється внаслідок омилення триолеїнового жиру масою 335,92 г.
- 372.** Обчисліть масу натрій стеарату, що утворюється внаслідок лужного гідролізу гліцерол тристеарату масою 1780 г.
- 373.** Обчисліть масу тристеаринового жиру, що необхідно піддати омиленню для одержання калій стеарату масою 772,8 кг.
- 374.** Обчисліть об'єм водню (н. у.), необхідного для гідрування жиру масою 8,7516 кг, у молекулах якого містяться по одному залишку молекул пальмітинової і по два залишки молекул олеїнової кислот.
- 375.** Ферменти нашого організму розщеплюють ланцюг стеаринової кислоти на фрагменти по два атоми Карбону і перетворюють їх на молекули оцтової кислоти. Складіть схему цього процесу. Обчисліть масу оцтової кислоти, що виробляється нашим організмом із 0,1 г тристеаринового жиру.
- 376.** Суміш триолеату і тристеарату, у якій кількість речовини обох жирів однакова, гідролізували за наявності лугу. Цю суміш продуктів реакції піддали зворотній реакції естерифікації. Зобразіть структурні формули жирів, що при цьому могли утворитися. Визначте, які з них мають однакову молекулярну масу.
- 377.** Жир масою 88,6 г, молекула якого має залишки молекул і олеїнової, і стеаринової кислот, унаслідок бромовання збільшує свою масу на 32 г. Визначте, скільки залишків стеаринової кислоти в молекулі жиру. Обчисліть, який об'єм водню (н. у.) витратиться на реакцію з тією самою кількістю жиру.
- 378.** Жир, у молекулах якого містяться залишки молекул лише однієї жирної кислоти, масою 40,3 г піддали омиленню. Унаслідок реакції витратився натрій гідроксид масою 6 г. Визначте, залишки якої кислоти містилися у складі жиру.

Завдання для розвитку критичного мислення

- 379.** У який спосіб можна стабілізувати емульсію олії у воді? Наведіть приклади таких емульсій із власного досвіду.

Мініпроекти

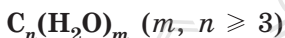
380. Які жири і в якій кількості є корисними для людини? Вживання в їжу яких жирів треба обмежити? Запропонуйте дієту з раціональним уживанням жирів, у якій зазначте добову норму вживання відповідних продуктів.

381. Дослідіть наявність жирів у різних доступних вам продуктах. Якщо на аркуш паперу покласти шматочок вершкового масла й розтерти його, залишиться характерна жирна пляма, яка не висихає. Так само можна перевірити, чи є жири в інших харчових продуктах, зокрема волоському горісі й насінні. Для цього слід розчавити ядро горіха або насіння без шкірки на аркуші паперу. Складіть самостійно перелік продуктів, що ви можете перевірити на вміст жирів, та проведіть дослідження.

§ 24. Вуглеводи: поняття, класифікація та поширеність у природі

Поняття про вуглеводи та їх класифікація

Термін «вуглеводи» походить від слів «вуглець» і «вода». Його запропонував 1844 року хімік К. Г. Шмідт, ґрунтуючись на даних про елементний склад перших відомих представників цього класу сполук. Було встановлено, що вуглеводи складаються з Карбону, Оксигену та Гідрогену, причому ввідношення атомів Гідрогену й Оксигену в них таке саме, як у воді. Такий склад описали загальною формулою вуглеводів:



До того ж, за нагрівання або дією водовідіймаючих засобів вуглеводи розкладаються на вуглець та воду, що також підтверджувало таку формулу й назву.

Подальші дослідження хімічної будови вуглеводів виявили, що існують вуглеводи, які не відповідають цій формулі, але за будовою є вуглеводами. Отже, термін «вуглеводи» та їхня загальна формула є застарілими, але історично збереглися.



Вуглеводами є органічні речовини, що за будовою є полігідроксильними сполуками і їхні молекули або молекули продуктів їх гідролізу містять групу

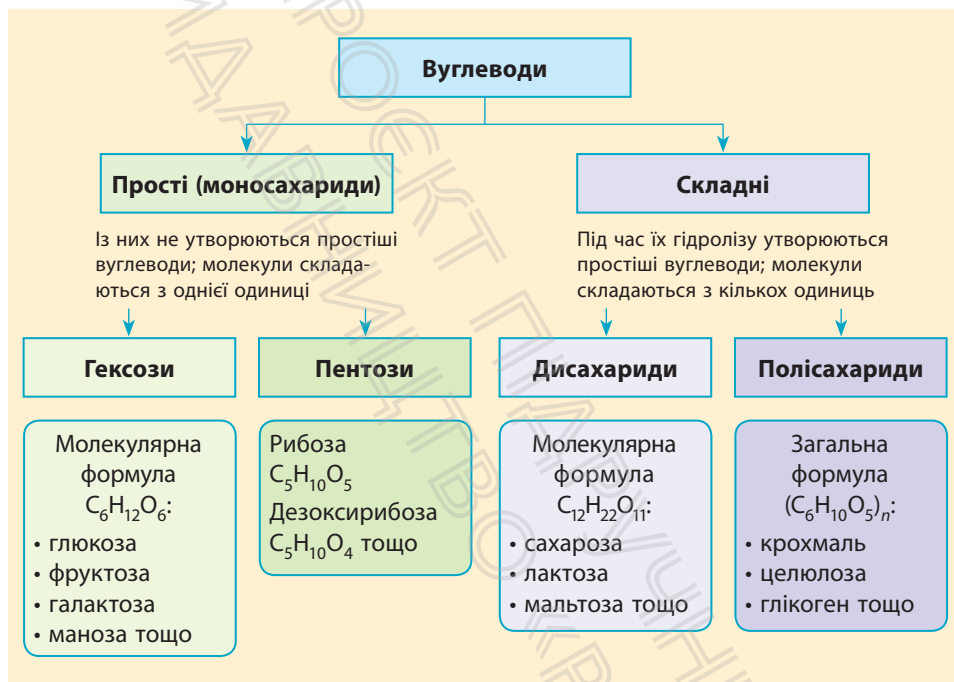


Молекули вуглеводів складаються з певних «одиниць» (мономерів). За числом таких одиниць вуглеводи поділяють на *прості* (моносахариди) та *складні* (полісахариди).

Молекули простих вуглеводів складаються з однієї одиниці, їх не можна розкласти на простіші вуглеводи.

Складні вуглеводи гідролізуються на прості, і їхні молекули складаються з кількох одиниць:

- із двох одиниць — дисахариди;
- від двох до десяти одиниць — олігосахариди;
- більше десяти одиниць — полісахариди.



Вуглеводи в природі

Вуглеводи — найпоширеніші органічні сполуки в живій природі. Вони становлять близько 80 % сухої маси рослин і 2–3 % сухої маси тварин. Єдине джерело вуглеводів у природі — це рослини, саме вони синтезують вуглеводи в процесі фотосинтезу. У такий спосіб рослини запасують енергію Сонця у вигляді енергії хімічних зв'язків у сполуках.

У живих організмах найважливішими функціями вуглеводів є:

- енергетична (глюкоза, фруктоза, сахароза, лактоза, крохмаль, глікоген тощо);

- будівельна (целобіоза, целюлоза, хітин тощо).

ВУГЛЕВОДИ В ПРИРОДІ

Глюкоза — найпоширеніший моносахарид, трапляється в рослинах і тваринах як у вільному вигляді, так і у складі сполук з іншими органічними речовинами — глікозидів. Утворення глікозидів підвищує розчинність у воді малорозчинних сполук.

Лактоза (від латин. *lac* — молоко), або молочний цукор, — дисахарид, що міститься в молоці та молочних продуктах. Є важливим компонентом харчування ссавців.

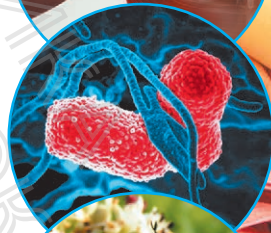
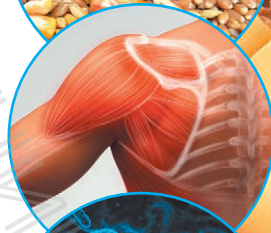
Лактоза не гігроскопічна, тобто не поглинає вологу. Через це її додають у таблетки як наповнювач, оскільки у вологому середовищі багато лікарських речовин розкладатимуться. З неї синтезують лактулозу — препарат для лікування розладів кишківника.

Мальтоза (від латин. *maltum* — солод), або солодовий цукор — дисахарид, що міститься в пророслому зерні (солоді) ячменю, жита та інших зернових, у томатах, пилку й нектарі рослин. Утворюється в живій природі внаслідок гідролізу крохмалю та глікогену.

Глікоген — головний резервний полісахарид вищих тварин, міститься в цитоплазмі клітин майже всіх тканин, найбільший уміст у м'язах та печінці (до 8 % від маси гепатоцитів). Іноді глікоген називають тваринним крохмалем. Він швидко піддається гідролізу й поповнює запас глюкози в крові.

Мурамін (від латин. *murus* — стінка) — полісахарид, що надає механічної міцності стінкам клітин бактерій. Він допомагає бактеріям вижити в суворих умовах існування.

Хітин — нітрогеновмісний полісахарид, міститься в оболонці клітин нижчих рослин та грибів, надає механічної міцності оболонкам безхребетних (комах та ракоподібних). Завдяки хітину стінки клітин грибів такі міцні, що не руйнуються під час пережовування, через що майже не перетравлюються.





Пектини (від грец. *pektos* — той, що згорнувся або замерз) — полісахариди, що утворюють волокна в плодах та овочах. Містяться в усіх вищих рослинах, особливо багато їх у фруктах і деяких водних рослинах. У воді не розчиняються, але є гелеутворювачами. Цю властивість використовують для приготування желе, мармеладу, пастили, зефіру, морозива, фруктової начинки цукерок тощо.



Капсульні полісахариди — речовини, які виділяють деякі бактерії, гриби та водорості. Існує величезна кількість їхніх різновидів. Ці полісахариди зазвичай утворюють в'язкий слизовий шар, який організми використовують для захисту або для прикріплення до поверхонь.



Капсульні полісахариди перетворюють на корисні продукти, зокрема ксантанову та гуарову камедь, декстран тощо. Більшість із них виявляють незвичні в'язкопружні властивості: у звичайному стані вони в'язкі, але стають значно рідкішими за найменшого руху. Це використовують для легкого збовтнування лосьйонів, засобів для очищення шкіри тощо.



Ксантанову та інші види камеді застосовують у харчовій промисловості як загущувачі та гелеутворювачі. У цьому ви можете переконатися за змістом етикеток соусів, морозива, десертів, хлібобулочних виробів, напоїв тощо.



Агар-агар (від малайського *agar* — желе) — суміш полісахаридів, яку виділяють із червоних та бурих морських водоростей. Розчиняється у воді лише за нагрівання до 85–95 °С, а після охолодження утворює міцний гель. Агар-агар використовують у харчовій промисловості для виробництва мармеладу, жувальних цукерок, суфле, джемів, конфітурів, соусів тощо.



Каррагінан — група сульфатних полісахаридів лінійної будови, які виділяють із червоних морських водоростей. Розчин каррагінану використовують у виробництві м'ясних виробів із метою утримання вологи для здешевлення готової продукції. Також використовують у виробництві молочних коктейлів, морозива, кондитерських виробів.

**Ключова ідея**

Вуглеводи — найпоширеніші в природі сполуки, що виконують енергетичну та структурні функції. Широко використовуються людиною.

**Контрольні запитання**

- 382.** Які речовини називають вуглеводами?
383. Схарактеризуйте класифікацію вуглеводів. На чому ґрунтується розділення вуглеводів на різні класифікаційні групи?
384. Схарактеризуйте поширеність вуглеводів у природі, їхню біологічну роль та застосування.

**Завдання для засвоєння матеріалу**

- 385.** Запишіть молекулярні формули відомих вам вуглеводів, схарактеризуйте їхні фізичні й хімічні властивості.
386. Із наведених формул виберіть ті, що можуть належати вуглеводам:
 C_3H_8O , $C_5H_{10}O_5$, $C_{12}H_{26}$, $C_{12}H_{22}O_{11}$, $C_6H_{12}O$.

Завдання для розвитку критичного мислення

- 387.** Порівняйте склад молекул пентоз та гексоз. Поясніть походження назв цих груп вуглеводів.
388. Як ви вважаєте, чому вуглеводи можуть виконувати і енергетичну, і структурну функції?

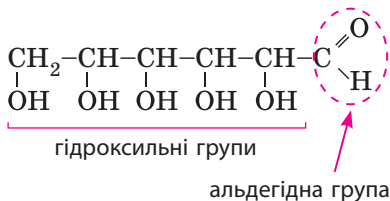
§ 25. Глюкоза

Пригадайте: хімічні властивості багатоатомних спиртів та альдегідів (за § 16 та 18).

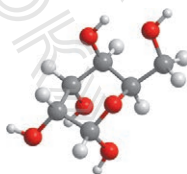
Формула глюкози

Глюкоза є моносахаридом. Її молекулярна формула $C_6H_{12}O_6$.

відкрита форма молекули глюкози



модель молекули
(циклічна форма)



У відкритій формі існує менше 1 % молекул глюкози у водному розчині. У кристалах глюкоза існує лише в циклічній формі.

Зі структурної формули відкритої форми видно, що глюкоза є біфункціональною сполукою: у її молекулі наявні характеристичні групи двох класів сполук — альдегідів та багатоатомних спиртів. Отже, глюкоза є *альдегідоспиртом*.

Фізичні властивості глюкози

- Безбарвна кристалічна речовина;
- без запаху;
- густина 1,54 г/см³;
- $t_{\text{пл.}} = 146^\circ\text{C}$, у разі нагрівання вище за цю температуру починає розкладатися, не доходячи до кипіння;
- добре розчиняється у воді: у 100 г води за 0°C розчиняється 32 г глюкози, а за 25°C — 82 г, погано розчиняється в органічних розчинниках;
- солодка на смак.



Хімічні властивості глюкози

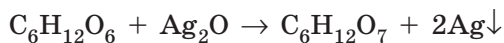
Оскільки молекули глюкози містять альдегідну та кілька гідроксильних груп, то вона має виявляти хімічні властивості і альдегідів, і багатоатомних спиртів.

1. Якісна реакція на багатоатомні спирти. Як ви пам'ятаєте, для виявлення багатоатомних спиртів у розчинах використовують реакцію зі свіжодобутим купрум(II) гідроксидом. Оскільки глюкоза є багатоатомним спиртом, то за її наявності в розчині так само зникає блакитний осад купрум(II) гідроксиду і розчин набуває темно-синього забарвлення:

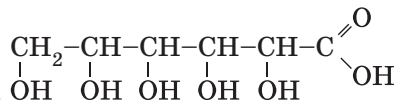


Оскільки за цією реакцією виявляють розчинні багатоатомні спирти, то відрізнити багатоатомний спирт від моно- та дисахаридів неможливо.

2. Окиснення. Як і для альдегідів, для глюкози характерні реакції окиснення. Можна використовувати різні окисники. У разі використання амоніачного розчину аргентум(I) оксиду виділяється срібло (*реакція срібного дзеркала*):

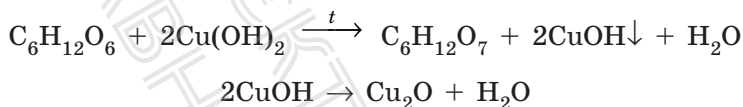


Продукт реакції — глюконова кислота — у молекулах містить карбоксильну групу:

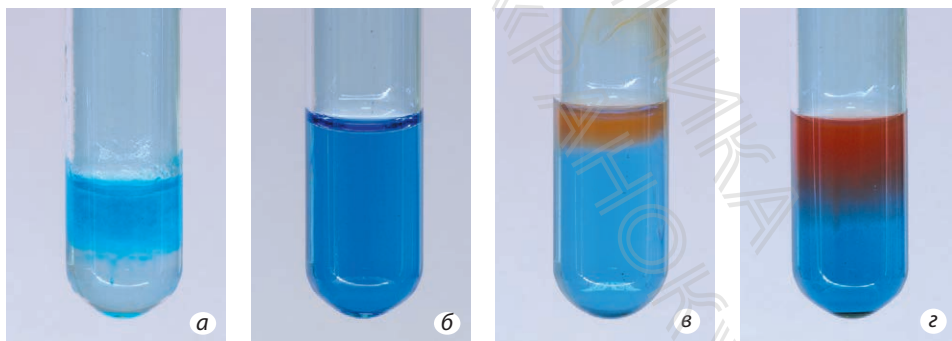


Глюконову кислоту використовують для приготування поширеного фармацевтичного препарату «Глюконат кальцію», який застосовують для поповнення Кальцію в організмі в разі його нестачі.

Альдегідна група глюкози також окиснюється внаслідок реакції з купрум(II) гідроксидом, у результаті чого утворюється морквяно-червоний осад купрум(I) оксиду:



Хоча рівняння цієї реакції таке саме, як і для альдегідів, але спостереження трохи різняться. Після додавання розчину глюкози до осаду свіжодобутого купрум(II) гідроксиду спочатку ми спостерігаємо зникнення осаду та зміну забарвлення розчину на темно-синє (мал. 25.1, а, б) — у цій реакції глюкоза виявляє властивість багатоатомного спирту. У разі нагрівання спостерігаємо виділення червоного осаду купрум(I) оксиду внаслідок окиснення глюкози (мал. 25.1, в, г). Завдяки цій особливості можна відрізнити глюкозу від багатоатомних спиртів та фруктози й сахарози, оскільки ці речовини не окиснюються.



Мал. 25.1. Якісна реакція на глюкозу: а — свіжоосаджений купрум(II) гідроксид; б — за наявності глюкози осад зникає, утворюється синьо-фіолетовий розчин; в — виділення жовтого осаду купрум(II) гідроксиду; г — морквяно-червоний осад купрум(I) оксиду

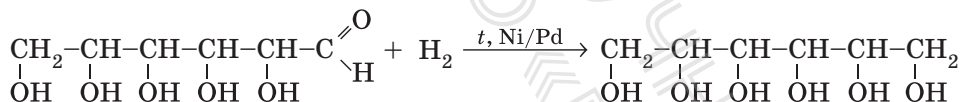


Демонстраційний дослід: окиснення глюкози амоніачним розчином аргентум(I) оксиду

До амоніачного розчину аргентум(I) оксиду додаємо розчин глюкози й обережно нагріваємо на водяній бані або у склянці з гарячою водою (мал. а). Через деякий час на стінках колби срібло утворює наліт — дзеркало (мал. б). Тобто відбувається реакція срібного дзеркала, як і з альдегідами.



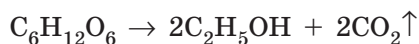
3. Відновлення. Для глюкози характерна також реакція відновлення. Водень за наявності каталізаторів (нікель, паладій) відновлює альдегідну групу до гідроксильної:



Продукт реакції — шестиатомний спирт сорбіт — дуже цінна речовина, із якої в промисловості одержують аскорбінову кислоту. Також сорбіт використовують як підсолоджувач. Хоча його солодкість на третину менша, ніж солодкість сахарози, але він майже не засвоюється організмом, тому його можна вживати людям із цукровим діабетом. Утім є одне «але»: у дозах понад 50 г він виявляє проносну дію.

4. Бродіння. Бродіння — це біохімічний процес, що відбувається під дією ферментів, які виділяють живі організми. Залежно від організмів розрізняють:

- **спиртове бродіння:** одноклітинні гриби дріжджі живляться вуглеводами, зокрема глюкозою, а продуктами їхнього травлення є етанол та вуглекислий газ:

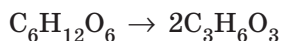




Мал. 25.2. Молочнокисле бродіння з давніх-давен використовують для виготовлення молочнокислих продуктів

Цей процес відбувається під час бродіння ягід та фруктів, його використовують для виготовлення вина. А ефект виділення вуглекислого газу використовують для приготування пухкого здобного тіста;

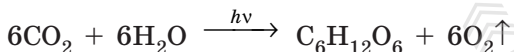
• **молочнокисле бродіння** відбувається під час перероблення вуглеводів молочнокислими бактеріями. Продуктом цього процесу є молочна кислота:



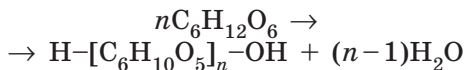
Ця реакція відбувається під час скисання молока і є основою виготовлення різноманітних молочнокислих продуктів — кисляку, йогуртів, сиру, сметани тощо (мал. 25.2). Молочнокисле бродіння відбувається також під час квашення силосу, капусти та інших овочів, що запобігає розвитку гнильних бактерій і сприяє тривалому зберіганню продуктів. Цей процес відбувається також у ротовій порожнині, але це спричиняє карієс зубів.

Глюкоза в природі

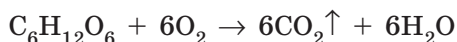
Глюкоза — один з основних продуктів обміну речовин у живих організмах. Вона утворюється в зелених частинах рослин у процесі фотосинтезу, що відбувається з поглинанням сонячного світла:



У рослинах глюкоза перетворюється на складні вуглеводи — крохмаль і целюлозу:



У тваринних організмах відбувається зворотний процес: тварини вдихають кисень, із їжею отримують глюкозу (та інші складні вуглеводи), а в організмі відбувається повне окиснення глюкози. Продукт реакції — вуглекислий газ — ми видихаємо:



Володимир Олександрович Беліцер (1906–1988)

Уперше у світі дослідив процес окисного фосфорилування глюкози в результаті дихання.

Отже, фактично тварини живуть за рахунок енергії Сонця, а засвоювати її допомагають рослини, які акумулюють цю енергію у вигляді глюкози.

Першим у світі процеси окиснення глюкози під час клітинного дихання дослідив наш співвітчизник В. О. Беліцер.

Процес фотосинтезу досить поширений у природі: щорічно рослини синтезують близько 130 млрд тонн глюкози. Отже, проблеми її штучного синтезу не існує. Але звичайними методами органічної хімії синтезувати глюкозу та інші вуглеводи також можливо. Уперше глюкозу з метанолу синтезував Еміль Фішер.



**Еміль Герман Фішер
(1852–1919)**

Розробив спосіб синтезу вуглеводів у лабораторії.

ЛАБОРАТОРНИЙ ДОСЛІД № 2

Окиснення глюкози свіжоодержаним купрум(II) гідроксидом

Обладнання: штатив із пробірками, пробіркотримач, пальник.

Реактиви: розчини глюкози, купрум(II) сульфату, натрій гідроксиду.

Правила безпеки:

- для виконання дослідів використовуйте невеликі кількості реактивів;
- остерігайтеся потрапляння реактивів на шкіру, в очі, на одяг; у разі потрапляння їдкої речовини змийте її великою кількістю води та протріть ушкоджене місце розведеним розчином боратної кислоти;
- не торкайтеся руками гарячих предметів.

1. Добудьте купрум(II) гідроксид: у пробірку налийте розчин луку об'ємом 1–2 мл та додайте декілька крапель розчину купрум(II) сульфату.

2. До осаду, що утворився, додавайте краплинами розчин глюкози до розчинення осаду купрум(II) гідроксиду. Перемішайте суміш. Що відбувається? У який колір забарвлюється розчин? Які висновки про будову молекули глюкози можна зробити за результатами дослідів?

3. Пробірку з цією сумішшю нагрійте на пальнику. Що відбувається? Які висновки про будову молекули глюкози можна зробити за результатами дослідів?



Ключова ідея

Вуглеводи, зокрема глюкоза, є матеріальними носіями енергії, вони забезпечують перенесення енергії Сонця від рослин до тварин.



Контрольні запитання

- 389.** До якої групи вуглеводів — моно-, ди- чи полісахаридів — відносять глюкозу? Чому?
- 390.** Схарактеризуйте фізичні властивості глюкози.
- 391.** Запишіть молекулярну та структурну формули глюкози. Характеристичні групи яких класів сполук наявні в молекулах глюкози?
- 392.** У результаті якого процесу в природі утворюється глюкоза?
- 393.** Схарактеризуйте поширеність і застосування глюкози. На яких властивостях воно ґрунтується?
- 394.** Схарактеризуйте хімічні властивості глюкози. Відповідь проілюструйте відповідними рівняннями реакцій.



Завдання для засвоєння матеріалу

- 395.** У двох пробірках містяться розчини: а) глюкози та гліцеролу; б) глюкози та фруктози. Як можна відрізнити вміст пробірок?
- 396.** Запишіть рівняння реакцій для здійснення перетворень за схемою: метан → вуглекислий газ → глюкоза → етанол → вуглекислий газ.

Комплексні завдання

- 397.** Обчисліть масу глюкози, яку необхідно піддати бродінню, для одержання етанолу масою 55,2 г.
- 398.** Обчисліть об'єм вуглекислого газу (н. у.), що виділяється внаслідок спиртового бродіння глюкози масою 540 г.
- 399.** Обчисліть масу кальцій карбонату, що утвориться внаслідок поглинання вапняною водою газу, який виділиться в процесі спиртового бродіння глюкози масою 18 г.
- 400.** Обчисліть масу глюкози, яку піддали бродінню, якщо при цьому добуто етанол об'ємом 287,5 мл (густина етанолу 0,8 г/мл).
- 401.** Суміш глюкози та фруктози масою 18 г обробили амоніачним розчином аргентум(І) оксиду. При цьому утворився осад масою 8,64 г. Обчисліть масову частку глюкози в суміші.
- 402.** Газ, отриманий спиртовим бродінням глюкози масою 90 г, був повністю поглинутий розчином із надлишковою кількістю натрій гідроксиду. Обчисліть масу солі, що утворилася в розчині.
- 403.** У процесі фотосинтезу рослини поглинули вуглекислий газ об'ємом 44,8 л. Обчисліть масу утвореної глюкози.
- 404.** Обчисліть об'єм розчину спирту у воді з масовою часткою спирту 40 % (густина розчину 0,72 г/мл), що можна добути з глюкози масою 1 кг.

- 405.** Суміш глюкози з інертними домішками масою 7,5 г піддали спиртовому бродінню. Утворений вуглекислий газ пропустили крізь вапняну воду, унаслідок чого утворився осад масою 3,5 г. Обчисліть масову частку глюкози в початковій суміші.

§ 26. Складні вуглеводи: сахароза, крохмаль, целюлоза

Пригадайте: фотосинтез, утворення сахарози, крохмалю й целюлози в природі.

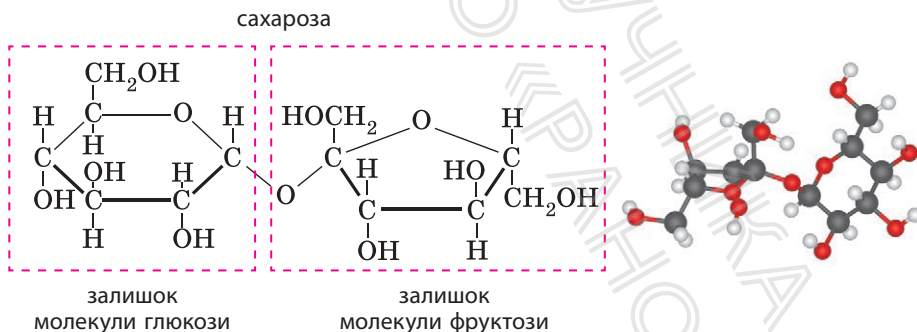
Сахароза

У 9 класі ви вже вивчали деякі складні вуглеводи. Тому в цьому параграфі ми зосередимо увагу на їхніх хімічних властивостях.

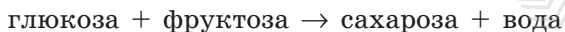
Сахароза — досить поширений дисахарид у природі. Молекулярна формула сахарози $C_{12}H_{22}O_{11}$. У природі трапляється в нектарі квітів, а найбільший її вміст у цукровому буряку, цукровій тростині та клені.

Сахароза — безбарвна кристалічна речовина без запаху, густина $1,59 \text{ г/см}^3$, температура плавлення 186°C . Так само, як і глюкоза, за нагрівання розкладається. Сахароза солодка на смак і в півтора рази солодша за глюкозу. Дуже добре розчиняється у воді: в 100 г води за 0°C розчиняється 179 г сахарози, а за 100°C — 487 г .

Сахароза є дисахаридом, оскільки молекула сахарози складається з двох одиниць — залишків молекул двох моносахаридів: глюкози та фруктози, сполучених між собою:



У природі сахароза утворюється в рослинах сполученням залишків молекул глюкози та фруктози:

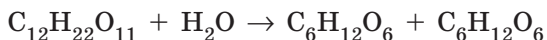


Оскільки сахароза є складним вуглеводом, то внаслідок її гідролізу утворюються прості вуглеводи. Під час гідролізу сахарози в кислому середовищі або під дією ферментів зв'язок між залишками молекул



Мал. 26.1. Мед — продукт переробки сахарози бджолами — складається з однакових кількостей глюкози і фруктози

руйнується, й утворюються глюкоза й фруктоза:



сахароза + вода → глюкоза + фруктоза

Таке перетворення відбувається в організмах бджіл: збираючи нектар із квіток, вони споживають сахарозу, яка потім гідролізується. Тому мед — це суміш однакових кількостей глюкози і фруктози, зазвичай із домішками інших речовин (мал. 26.1).

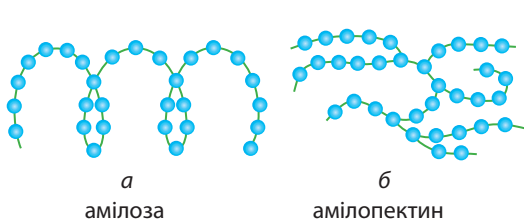
Крохмаль та целюлоза

Найважливішими природними полісахаридами є *крохмаль* і *целюлоза*. Обидві речовини є полімерами з однаковою хімічною формулою: $[\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5]_n$ і утворені одним моносахаридом — глюкозою. Відрізняються вони будовою молекул (мал. 26.2 і 26.3).

Характеристики крохмалю та целюлози наведено в таблиці 12.

Таблиця 12. Порівняння характеристик крохмалю та целюлози

Характеристика	Крохмаль	Целюлоза
Середня молярна маса (г/моль)	Від кількох сотень тисяч до кількох мільйонів	Кілька мільйонів
Будова макромолекули	Лінійні молекули амілози (20 %), розгалужені молекули амілопектину (80 %)	Тільки лінійні молекули, розташовуються впорядковано й щільно одна до одної, утворюючи лінійні волокна



Мал. 26.2. Крохмаль складається з двох типів молекул: *а* — нерозгалужених (амілоза) і *б* — розгалужених (амілопектин) (сині кульки — залишки молекул глюкози)



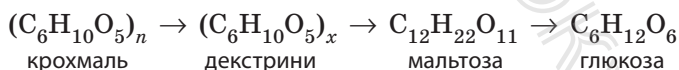
Мал. 26.3. Молекули целюлози мають лінійну будову

Закінчення таблиці

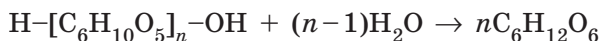
Характеристика	Крохмаль	Целюлоза
Фізичні властивості	Аморфний білий порошок з характерним хрускотом, густина $1,5 \text{ г/см}^3$. Амілоза незначною мірою розчиняється у воді й утворює колоїдний розчин. Амілопектин у воді не розчиняється, а лише набухає	Біла волокниста речовина, нерозчинна у воді й інших розчинниках. Густина від $1,27$ до $1,61 \text{ г/см}^3$. Температури плавлення й кипіння немає, оскільки за нагрівання розкладається
Біологічне значення	Енергетичний запас рослин. Зазвичай накопичується в плодах, насінні, бульбах	Структурний вуглевод рослин, міститься в стінках клітин, надаючи їм міцності
Значення для людини	Є основним енергетичним компонентом їжі. Гідролізом та подальшою обробкою крохмалю одержують патоку, глюкозу, етанол. Додають у різні харчові продукти як загуснувач (ковбаси, майонези, кетчупи, соки, кондитерські вироби тощо)	Деревина використовується як будівельний матеріал. Чистою целюлозою є вата. Целюлозу використовують для виготовлення паперу, натуральних (бавовна) та штучних (віскозний та ацетатний шовк, штучне хутро) волокон, вибухівки, пластмас

Гідроліз крохмалю та целюлози

За тривалого нагрівання з розчином кислоти або під дією ферментів крохмаль гідролізується, унаслідок чого утворюється глюкоза. Гідроліз крохмалю відбувається поетапно. Спочатку молекули крохмалю розкладаються на менші молекули олігосахаридів — декстрини — із числом залишків молекул глюкози від 10 до 30. Олігосахариди гідролізуються до дисахариду мальтози, яка вже гідролізується до глюкози:



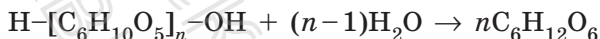
Сумарно рівняння реакції повного гідролізу крохмалю можна записати так:



Ця реакція відбувається під час перетравлення харчових продуктів, що містять крохмаль. Процес починається в ротовій порожнині й закінчується в кишківнику, де відбувається всмоктування утвореної глюкози в кров.

Гідроліз крохмалю використовують у промисловості для виготовлення патоки та одержання харчового етилового спирту. Під час виготовлення патоки гідроліз не доводять до кінця: основним компонентом патоки є глюкоза, але залишаються домішки декстринів та мальтози.

Целюлоза взаємодіє з водою, її гідроліз відбувається за значно жорсткіших умов порівняно з крохмалем — за тривалого кип'ятіння з кислотою. Певна річ, продуктом гідролізу також є глюкоза, але проміжні продукти гідролізу целюлози не мають особливого значення, тому їх не вказують:



Гідроліз целюлози використовують для одержання глюкози, спиртовим бродінням якої одержують спирт для технічних цілей, зокрема як домішку до бензину.



Ключова ідея

Складні вуглеводи — це природні оліго- або полімери, мономерами яких є залишки молекул моносахаридів. Найпоширеніші з них: крохмаль і целюлоза є полімерами, утвореними глюкозою; сахароза є дисахаридом, утвореним глюкозою та фруктозою.



Контрольні запитання

- 406.** За якою ознакою сахарозу, крохмаль та целюлозу відносять до ди- чи полісахаридів?
- 407.** Назвіть та схарактеризуйте проміжні продукти гідролізу крохмалю.
- 408.** Схарактеризуйте фізичні властивості, біологічне значення, поширеність у природі та застосування сахарози, крохмалю і целюлози.



Завдання для засвоєння матеріалу

- 409.** Яка хімічна властивість є спільною для сахарози, крохмалю і целюлози?
- 410.** Запишіть рівняння реакцій для здійснення перетворень за схемами:
 - а)** целюлоза $\rightarrow$ CO_2 $\rightarrow$ глюкоза $\rightarrow$ етанол $\rightarrow$ бромоетан;
 - б)** CO_2 $\rightarrow$ глюкоза $\rightarrow$ крохмаль $\rightarrow$ глюкоза $\rightarrow$ $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$;
 - в)** целюлоза $\rightarrow$ глюкоза $\rightarrow$ CO_2 $\rightarrow$ глюкоза $\rightarrow$ крохмаль.
 - г)** крохмаль $\rightarrow$ глюкоза $\rightarrow$ етанол $\rightarrow$ CO_2 .
- 411.** Варену картоплю іноді використовують як клей. Поясніть, на чому ґрунтується таке її застосування.

- 412.** Запропонуйте схему одержання оцтової кислоти з деревини. Запишіть відповідні рівняння реакцій.
- 413.** Речовина **A** білого кольору без смаку, набухає у воді й розчиняється в ній за нагрівання, забарвлюється за наявності йоду в темно-синій колір. Унаслідок гідролізу речовини **A** утворюється речовина **Б**, яка під дією ферментів перетворюється на безбарвну рідину **В**, що змішується з водою в будь-яких відношеннях. Про які речовини йдеться?

Комплексні завдання

- 414.** Обчисліть масу глюкози, яку можна добути гідролізом картопляного крохмалю, виділеного з картоплі масою 100 кг. У розрахунках візьміть до уваги, що в бульбах картоплі міститься 15 % крохмалю, а одна молекула крохмалю в середньому складається з 12 000 залишків молекул глюкози.

Завдання для розвитку критичного мислення

- 415.** Як ви вважаєте, із якої картоплі можна виділити більше крохмалю: зі щойно зібраної чи з тієї, що всю зиму перебувала в овочесховищі?
- 416.** Чи можна сахарозу назвати гомологом глюкози? Чому?

Мініпроекти

- 417.** Складіть план дослідження, результатом якого має бути порівняння солодкості різних вуглеводів та підсолоджувачів. Проведіть дослідження та надайте порівняльну характеристику доступних вам вуглеводів та підсолоджувачів.
- 418.** Дослідіть процес утворення крохмалю в зелених листках рослин. Використовуйте рослини із широкими, не надто товстими й твердими листками. Листок зривати не треба, дослід проводьте безпосередньо на рослині. Звечора частину листка обережно закрийте з двох боків, загорнувши в алюмінієву фольгу, як показано на малюнку. Наступного дня, після того як листок був протягом декількох годин на світлі, зріжте його, зніміть фольгу й занурте на 2–3 години у спирт (20–30 мл), поки зелене забарвлення листа не зникне повністю. Вийміть лист зі спирту, протріть його йодною настоянкою. Поясніть спостереження.
- 419.** Виготовлення крохмалю. Приготувати крохмаль можна самостійно вдома. Для цього очищену картоплину натріть на дрібній тертці, отриману масу розмішайте у воді. Потім профільтруйте її через марлю й відіжміть. Залишок маси в марлі знову перемішайте з водою і ще раз профільтруйте. Дайте рідині відстоятися. Крохмаль осяде на дно



посудини. Злийте рідину, а до осілого крохмалю знову додайте воду та розмішайте. Повторіть ці дії кілька разів, поки крохмаль не стане зовсім чистим і білим. Профільтруйте й просушіть добутий крохмаль.

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 1

Розв'язування експериментальних задач

Обладнання: штатив із пробірками, пробіркотримач, пальник, піпетки, шпатель, ложечка для спалювання.

Реактиви: магній оксид (або карбонат), магній, сахароза, розчини крохмалю, глюкози, йоду, купрум(II) сульфату, натрій гідроксиду, натрій етаноату, натрій карбонату, етилового спирту, гліцеролу, етанової кислоти.

Варіант I

Задача 1. У двох пробірках містяться розчини крохмалю й глюкози. За допомогою одного реактиву визначте вміст кожної пробірки.

Задача 2. У двох пробірках містяться розчини етанолу й гліцеролу. За допомогою якісної реакції визначте вміст кожної пробірки.

Задача 3. Використовуючи етанову кислоту, одержіть магній етаноат двома способами. Запишіть відповідні молекулярні та йонно-молекулярні рівняння реакцій.

Задача 4 (додаткове завдання підвищеної складності). У трьох пробірках містяться розчини етанолу, етанової кислоти та натрій етаноату. Використовуючи лише один реактив, визначте вміст кожної пробірки. Обґрунтуйте свій вибір.

Варіант II

Задача 1. Доведіть за допомогою хімічних реакцій, що в молекулах сахарози містяться атоми Карбону.

Задача 2. У двох пробірках містяться розчини етанолу й етанової кислоти. За допомогою хімічних реакцій визначте вміст кожної пробірки.

Задача 3. Використовуючи етанову кислоту, одержіть натрій етаноат двома способами. Запишіть відповідні молекулярні та йонно-молекулярні рівняння реакцій.

Задача 4 (додаткове завдання підвищеної складності). У трьох пробірках містяться розчини етанової кислоти, гліцеролу й крохмалю. За допомогою якісних реакцій визначте вміст кожної пробірки.

Зробіть висновок до практичної роботи. Для формулювання висновку використовуйте відповіді на такі запитання:

1. Які реакції називають якісними? На спостереженні яких ознак ґрунтується виявлення тих чи інших речовин у розчині?
2. За допомогою яких якісних реакцій можна виявити гліцерол, глюкозу, крохмаль?
3. Що спільного в будові молекул гліцеролу і глюкози?
4. Чому більшість органічних сполук під час прожарювання чорніє?

Навчальні проєкти до теми

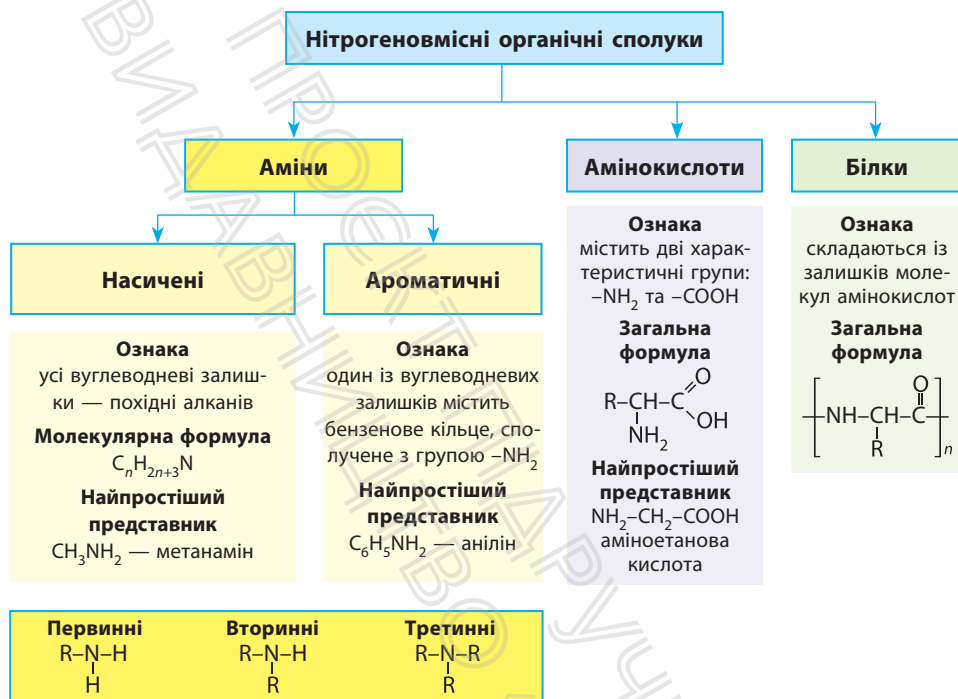
«Оксигеновмісні органічні сполуки»

11. Екологічна безпечність застосування і одержання фенолу.
12. Виявлення фенолу в екстракті зеленого чаю або гуаші.
13. Вуглеводи в харчових продуктах: виявлення і біологічне значення.
14. Натуральні волокна рослинного походження: їхні властивості, дія на організм людини, застосування.
15. Штучні волокна: їхнє застосування в побуті та промисловості.
16. Етери та естери в косметичі.
17. Біодизельне пальне.



Тестові завдання за темою «Оксигеновмісні органічні сполуки».

ТЕМА 4. НІТРОГЕНОВМІСНІ ОРГАНІЧНІ СПОЛУКИ



Молекулярна формула всіх насичених амінів однакова — $C_nH_{2n+3}N$. Уперше існування амінів відкрив 1839 року видатний французький хімік Ш. Вюрц, а наступного року А. Гофман розробив методи їхнього синтезу.

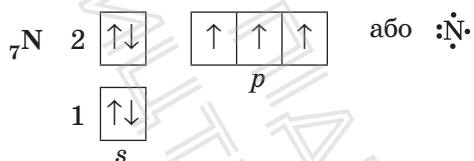


Шарль Адольф Вюрц (1817–1884)

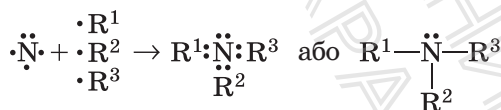
Уперше виявив аміни.

Будова аміногрупи

Пригадайте з 8 класу будову електронної оболонки атома Нітрогену та хімічні зв'язки, які він утворює. В атомі Нітрогену на зовнішньому енергетичному рівні п'ять електронів: одна електронна пара та три неспарені електрони:



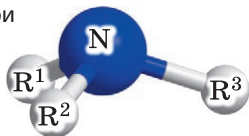
У молекулах амінів ці три неспарені електрони утворюють три спільні електронні пари (три полярні ковалентні зв'язки) з електронами атомів Гідрогену або атомів Карбону вуглеводневих замісників, а одна електронна пара лишається неподіленою:



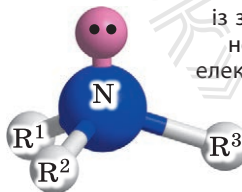
Кут між хімічними зв'язками N-R дорівнює приблизно 108° :

Просторова будова молекул амінів

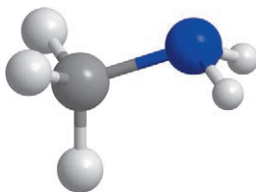
без зазначення
неподіленої
електронної пари



із зазначенням
неподіленої
електронної пари



Наприклад, молекула найпростішого аміну має вигляд:



Отже, в атома Нітрогену є неподілена електронна пара. Наявність цієї електронної пари зумовлює можливість утворення водневого зв'язку, а також основні властивості амінів.

Номенклатура насичених амінів

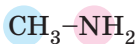
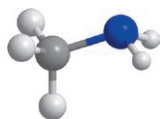
Утворення назв амінів ґрунтується на тих самих принципах, що і для інших класів сполук, з урахуванням певних особливостей:

- як назву родоначальної структури обирають назву алкану, що відповідає головному ланцюгу;
- наявність характеристичної групи позначають у назві суфіксом *-амін-*.

Отже, схематична назва амінів:

префікс	родоначальна структура	суфікс
назви замісників за алфавітом	назва головного ланцюга	ступінь насиченості + позначають суфіксами <i>-ан-</i> , <i>-ен-</i> (<i>-єн-</i>), <i>-ин-</i> (<i>-ін-</i>)
		<i>-амін-</i> характеристична група

Первинні аміни:



метанамін

↑
назва головного ланцюга

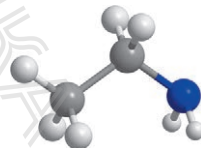
(або метиламін)¹



етанамін

↑
наявність характеристичної групи

(або етиламін)



У навчальній та науковій літературі для амінів частіше використовують застарілу номенклатуру, за якої вуглеводневі залишки,

¹ Тут і далі в дужках наведено назви амінів за застарілою номенклатурою.

сполучені з атомом Нітрогену, називають як замісники (метил, етил тощо).

Якщо у вуглеводневому заміснику більше двох атомів Карбону, то в назві необхідно зазначати номер атома Карбону, із яким сполучена аміногрупа:



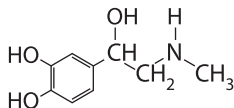
Для амінів характерні такі самі типи ізомерії, які ви вивчили на прикладі вуглеводнів тощо.

Біологічно важливі аміни

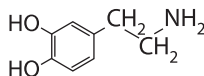
Багато біологічно та медично важливих речовин є амінами.

Адреналін — гормон наднирників, який організм виділяє в кров у разі відчуття небезпеки. Він збільшує тиск крові, посилює серцебиття. Ці ефекти готують організм до бою або бігу.

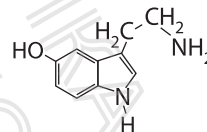
Дофамін і серотонін є важливими нейромедіаторами мозку тварин, зокрема людини. Дофамін бере участь у регулюванні та контролі руху, процесів оцінювання, мотивації та пізнання. Порушення концентрації дофаміну пов'язане із психічними розладами, зокрема з хворобою Паркінсона. Серотонін дуже важливий для підтримки стабільності психічних процесів. Зниження концентрації серотоніну підвищує чутливість до болю: навіть найслабше подразнення викликає сильний біль. Дофамін та серотонін називають гормонами щастя, оскільки вони викликають відчуття задоволення.



адреналін



дофамін, або допамін



серотонін



Ключова ідея

Будова амінів пов'язана з особливостями утворення хімічних зв'язків атомом Нітрогену.



**Контрольні запитання**

420. Які речовини називають амінами? Наведіть приклади.
 421. Яка група атомів є характеристичною для амінів? Схарактеризуйте її електронну будову.
 422. За якими ознаками класифікують аміни?
 423. Які особливості складання назв амінів?
 424. Які типи ізомерії характерні для амінів? Відповідь проілюструйте прикладами.

**Завдання для засвоєння матеріалу**

425. З-поміж наведених укажіть формули амінів:
 а) $\text{CH}_3\text{--CH}_2\text{--CH}_2\text{--NH}_2$; б) $\text{CH}_3\text{--CH}_2\text{--NH--CH}_3$; в) $\text{CH}_3\text{--CH}_2\text{--OH}$; г) $(\text{CH}_3)_3\text{N}$.
 426. Із наведених формул випишіть окремо первинні, вторинні та третинні аміни. Назвіть їх.
 а) $\text{C}_2\text{H}_5\text{NH}_2$; б) $\text{C}_3\text{H}_7\text{NHCH}_3$; в) $\text{C}_3\text{H}_7\text{NH}_2$; г) $\text{CH}_3\text{--CH}(\text{CH}_3)\text{--CH}_2\text{--NH}_2$;
 д) $\text{CH}_3\text{--CH}(\text{CH}_3)\text{--NH}_2$; е) $\text{CH}_3\text{--CH}(\text{CH}_3)\text{--CH}_2\text{--NH}_2$;
 є) $\text{CH}_3\text{--CH}(\text{NH}_2)\text{--CH}_2\text{--CH}_3$.
 427. Складіть структурні формули сполук: а) 2,3-диметилбутан-2-амін;
 б) 2-хлоропропан-1-амін; в) 2-хлоропропан-2-амін; г) пропан-2-амін;
 д) 3-метилгексан-2-амін; е) гептан-4-амін.
 428. Назвіть сполуки за систематичною номенклатурою.
 а)
$$\begin{array}{c} \text{CH}_2\text{--CH--CH}_2\text{--CH}_3 \\ | \quad | \\ \text{CH}_3\text{--CH}_2 \quad \text{NH}_2 \end{array}$$
 б)
$$\begin{array}{c} \text{H}_3\text{C--CH--CH--CH}_2\text{--CH}_3 \\ | \quad | \\ \text{CH}_3 \quad \text{NH}_2 \end{array}$$

 в)
$$\begin{array}{c} \text{CH}_2\text{--CH}_2\text{--CH}_2\text{--CH}_2 \\ | \quad \quad | \\ \text{CH}_3 \quad \quad \text{NH}_2 \end{array}$$
 г)
$$\begin{array}{c} \text{CH}_2\text{--CH--CH}_2\text{--CH}_2 \\ | \quad | \quad | \\ \text{CH}_3\text{--CH}_2 \quad \text{NH}_2 \quad \text{CH}_3 \end{array}$$

 д)
$$\begin{array}{c} \text{CH}_2\text{--CH--CH--CH}_3 \\ | \quad | \quad | \\ \text{CH}_3\text{--CH}_2 \quad \text{NH}_2 \quad \text{CH}_3 \end{array}$$
 е)
$$\begin{array}{c} \text{CH}_3\text{--CH--CH--CH--CH}_2 \\ | \quad | \quad | \quad | \\ \text{CH}_3\text{--CH}_2 \quad \text{NH}_2 \quad \text{CH}_3 \quad \text{CH}_3 \end{array}$$

 429. Складіть структурні формули всіх можливих первинних амінів складу:
 а) $\text{C}_3\text{H}_9\text{N}$; б) $\text{C}_4\text{H}_{11}\text{N}$; в) $\text{C}_5\text{H}_{13}\text{N}$.

Комплексні завдання

430. Обчисліть об'єм (н. у.), що займає: а) метанамін кількістю речовини 0,4 моль; б) суміш метанаміну кількістю речовини 1,2 моль та кисню кількістю речовини 2,3 моль.
 431. Установіть молекулярну формулу аміну, у якому масова частка Карбону становить 38,7 %, а Нітрогену — 45,1 %. Складіть його структурну формулу.
 432. Установіть число атомів Карбону в молекулі аміну, у якому масова частка Нітрогену становить 15,05 %.

§ 28. Властивості насичених амінів

Пригадайте: із точки зору теорії електролітичної дисоціації, основами є речовини, у розчинах яких наявні аніони лише одного виду — гідроксид-іони OH^- .

Фізичні властивості насичених амінів

Аміни — леткі безбарвні речовини, добре розчинні у воді. Зі збільшенням молярної маси підвищуються температури кипіння та плавлення, знижується розчинність у воді. Як і амоніак, газуваті та рідкі аміни мають неприємний запах, отруйні. Тверді аміни запаху не мають.

Фізичні властивості амінів зумовлені наявністю в їхніх молекулах аміногрупи. Атоми Гідрогену однієї молекули та Нітрогену аміногрупи сусідньої молекули утворюють водневі зв'язки, але значно слабші, ніж водневі зв'язки гідроксильної групи $-\text{OH}$ (мал. 28.1). Тому міжмолекулярне притягання між молекулами амінів значно слабше, ніж між молекулами відповідних спиртів. Це зумовлює нижчі температури кипіння та плавлення амінів порівняно з відповідними спиртами (табл. 13). Наприклад, у метанолу температура кипіння $63\text{ }^\circ\text{C}$, а в метанаміну — $-6\text{ }^\circ\text{C}$.

Наявність аміногрупи також зумовлює кращу розчинність амінів у воді порівняно з алканами.

Таблиця 13. Фізичні властивості деяких амінів

Назва	$t_{\text{пл.}},\text{ }^\circ\text{C}$	$t_{\text{кип.}},\text{ }^\circ\text{C}$	Густина, г/мл	Розчинність у воді
Метанамін	-94	-6	0,0014 (н. у.)	Добре розчинний (52 %)
Етанамін	-80,6	16,6	0,68	Необмежено розчинний
Пропан-1-амін	-83	48	0,71	Необмежено розчинний
Бутан-1-амін	-50,5	77,8	0,74	Добре розчинний ($\approx 50\%$)
Пентан-1-амін	-55	104	0,76	Добре розчинний ($>50\%$)

Аміни є вогнебезпечними речовинами, як і багато інших органічних сполук. Так, метанамін за наявності іскри спалахує навіть за температури $8\text{ }^\circ\text{C}$.



Мал. 28.1. Водневі зв'язки між молекулами амінів (ліворуч) та між молекулами амінів та води (праворуч)

Хімічні властивості насичених амінів

Хімічні властивості амінів насамперед зумовлені наявністю в їхніх молекулах характеристичної групи. Причому властивості амінів багато в чому подібні до властивостей амоніаку, який виявляє властивості слабкої основи.

Подібні властивості характерні й для амінів. Хімічні властивості первинних, вторинних та третинних амінів певним чином подібні, але в кожного ряду є свої особливості. Хімічні властивості амінів ми розглянемо на прикладі первинних амінів.

1. Взаємодія з водою. Багато амінів досить добре розчинні у воді, у лужному середовищі їхніх розчинів індикатори змінюють своє забарвлення:

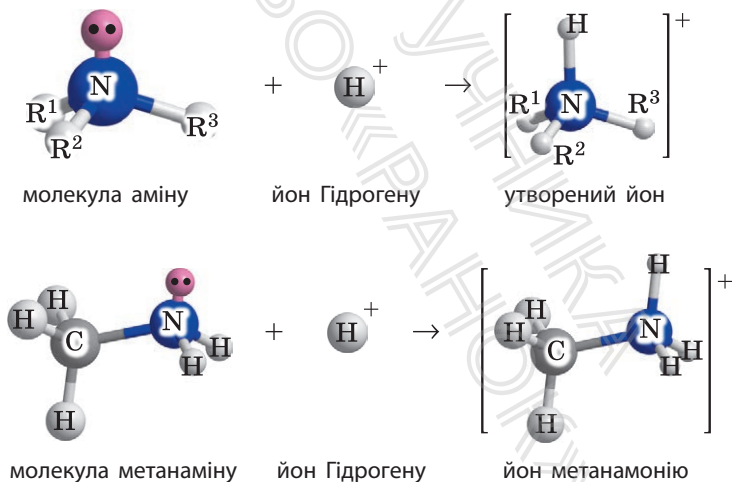
- у загальному вигляді:



- на прикладі метанаміну:



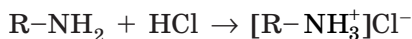
Така взаємодія зумовлена будовою аміногрупи, що описано в попередньому параграфі. Завдяки неподіленій електронній парі атом Нітрогену утворює ще один ковалентний зв'язок з атомом Гідрогену, утворюючи йон:



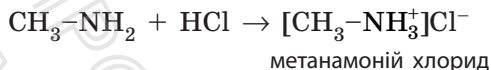
Отже, аміни також є основами, лише органічними. Із молекулами води взаємодіє невелика частка молекул амінів, тому аміни є слабкими електролітами.

2. Взаємодія з кислотами. Як слабкі основи, аміни добре взаємодіють із сильними кислотами з утворенням солей:

у загальному вигляді:



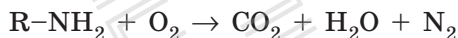
для метанаміну:



Назви солей амінів за номенклатурою утворюються заміною суфікса *-амін-* на суфікс *-амоній-*.

3. Горіння. Як і більшість органічних речовин, аміни горять на повітрі з утворенням вуглекислого газу та води. Особливістю горіння амінів є те, що одним із продуктів реакції є азот, а не оксиди Нітрогену:

• у загальному вигляді:



• для метанаміну:



У більшості випадків запах риби та морепродуктів зумовлений наявністю в них органічних амінів: метиламіну, диметиламіну, діетиламіну та триетиламіну тощо. Аміни — дуже леткі сполуки, тому запах риби легко поширюється в повітрі, що не подобається багатьом людям. На допомогу придуть знання з хімії. Оскільки аміни виявляють основні властивості, то з кислотами вони утворюють солі.

А солі — нелеткі сполуки. Щоб позбавити посуд запаху риби, можна протерти його розчином оцту або долькою лимону. Саме через це в багатьох кулінарних традиціях рибу обов'язково готують або подають до столу з лимоном чи поливають лимонним соком.



Ключова ідея

Подібність властивостей амоніаку та амінів є підтвердженням другого постулату теорії будови органічних сполук.

**Контрольні запитання**

- 433.** Схарактеризуйте фізичні властивості амінів. Опишіть, як впливає на них можливість утворення водневого зв'язку.
- 434.** Якими речовинами є аміни з точки зору теорії електролітичної дисоціації?
- 435.** Напишіть рівняння реакцій, що характеризують хімічні властивості амінів.

**Завдання для засвоєння матеріалу**

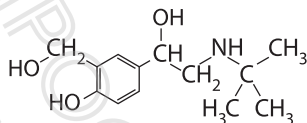
- 436.** Використовуючи дані, наведені в параграфі, визначте, у якому агрегатному стані перебувають за кімнатної температури (18 °C): а) метанамін; б) етанамін; в) пропанамін. Відповідь поясніть.
- 437.** Запишіть рівняння реакцій з водою та хлоридною кислотою: а) етанаміну; б) пропан-1-аміну. Назвіть продукти реакції.
- 438.** Використовуючи загальну молекулярну формулу насичених амінів, запишіть у загальному вигляді рівняння: а) дисоціації; б) реакції з кислотами; в) реакції горіння.
- 439.** Запишіть рівняння реакції горіння: а) етанаміну; б) пропанаміну; в) триетиламіну; г) етилдиметиламіну.
- 440.** Запишіть рівняння реакцій для здійснення перетворень за схемою:
 $\text{CH}_4 \rightarrow \text{CH}_3\text{Cl} \rightarrow \text{CH}_3\text{NH}_2 \rightarrow \text{CH}_3\text{NH}_3\text{Cl} \rightarrow \text{CH}_3\text{NH}_2$.

Комплексні завдання

- 441.** Обчисліть масу диметиламіну, що взаємодіє з хлороводнем об'ємом 3,36 л (н. у.).
- 442.** Обчисліть масу метанаміну та етанаміну, що реагують із хлороводнем об'ємом 33,6 л (н. у.).
- 443.** Крізь хлоридну кислоту масою 300 г із масовою часткою кислоти 1,825 % пропустили метанамін. Обчисліть масу утвореної солі в розчині.
- 444.** Унаслідок згоряння насиченого первинного аміну кількістю речовини 10 моль утворилося 20 моль вуглекислого газу. Установіть молекулярну формулу аміну.
- 445.** Обчисліть масу етанаміну, що згорів, якщо внаслідок реакції утворилося 112 л (н. у.) газуватих продуктів реакції.
- 446.** Установіть молекулярну формулу органічної речовини, якщо внаслідок згоряння її зразка масою 4,5 г утворилися вуглекислий газ масою 8,8 г, вода масою 6,3 г та азот масою 1,4 г. Відносна густина випарів речовини за повітрям становить 1,55.

Завдання для розвитку критичного мислення

- 447.** Альбутерол — дуже важлива речовина для людей з бронхіальною астмою. Її використовують для профілактики захворювання та усування нападів. За структурною формулою альбутеролу визначте, до яких відомих вам класів органічних сполук він належить.



- 448.** Вуглеводневий залишок в етанаміні більший, ніж у метанаміні. Проте етанамін у воді розчиняється краще за метанамін. Поясніть цей факт.
- 449.** Порівняйте фізичні властивості амінів (табл. 13, с. 171) та спиртів (табл. 8, с. 85) із властивостями алканів (табл. 2, с. 6). Визначте, які з них зумовлені наявністю характеристичних груп у молекулах, та на які впливає довжина карбонового ланцюга.
- 450.** Унаслідок горіння вуглеводнів та кисневмісних органічних сполук утворюються лише оксиди, а внаслідок горіння амінів — ще й азот. Пригадайте, за яких умов відбувається реакція азоту з киснем, та характеристики хімічного зв'язку між атомами Нітрогену в молекулі азоту. Зважаючи на це, поясніть, чому одним із продуктів горіння амінів є азот, а не оксиди Нітрогену.
- 451.** У трьох пробірках містяться розчини метанаміну, етанової кислоти та глюкози. Як можна розрізнити вміст пробірок, використовуючи один реактив?
- 452.** Амоніак у лабораторії одержують взаємодією солей амонію з лугами, зокрема з кальцій гідроксидом. Як ви вважаєте, чи можна в подібний спосіб одержувати аміни?
- 453.** Як ви вважаєте, чи можна кислотно-основні взаємодії амінів використовувати для їхнього очищення? Якщо так, то в який спосіб?
- 454.** Для амінів природного походження скласти назву солі, як описано в тексті параграфа, часто доволі складно. На світліні зображений медичний препарат, що містить сіль піридоксину — аміну природного походження, більш відомого як вітамін B₆. Як ви вважаєте, сіль якої кислоти зазначають у назві препарату та чому її називають саме так?



Мініпроєкти

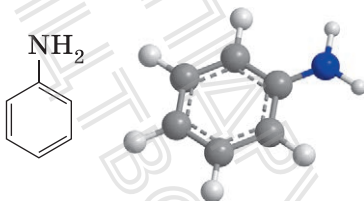
455. Із додаткових джерел інформації дізнайтеся про способи кількісного опису основних властивостей сполук. На прикладі амінів поясніть зміни в їхніх основних властивостях.

§ 29. Анілін — представник ароматичних амінів

Пригадайте: хімічні властивості фенолу та взаємний вплив атомів у його молекулах (за § 17).

Структурна формула та будова молекули аніліну

Анілін — найважливіший серед ароматичних амінів. Його молекулярна формула $C_6H_5NH_2$. У молекулах аніліну бензенове кільце сполучене з аміногрупою:



З огляду на будову, анілін також можна назвати феніламіном (феніл — назва замісника C_6H_5), або амінобенzenом, але ці назви зазвичай не використовують.

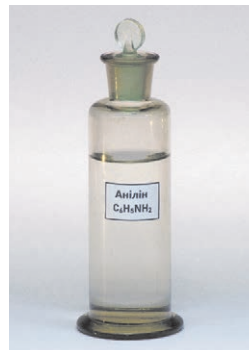


Август Вільгельм фон Гофман (1818–1892)
Розробив метод одержання амінів.

Назва «анілін» уперше була застосована Ю. Фріцше, який одержав його нагріванням природного барвника індиго з лугом, і походить від назви однієї з рослин, що містить індиго — *Indigofera anil*.

Фізичні властивості аніліну

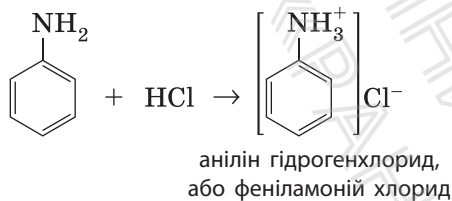
- Безбарвна оліїста рідина з характерним запахом;
- на повітрі швидко окиснюється й набуває червоно-бурого забарвлення;
- обмежено розчинний у воді (3,6 г на 100 мл), добре розчиняється в органічних розчинниках;
- густина 1,022 г/мл;
- $t_{\text{пл.}} = -6,3\text{ }^{\circ}\text{C}$, $t_{\text{кип.}} = 184,1\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- отруйний, у разі потрапляння на шкіру спричиняє хімічні опіки.



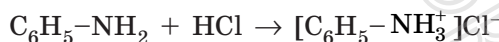
Хімічні властивості аніліну

Як і у випадку з фенолом, анілін виявляє хімічні властивості, характерні як для ароматичних вуглеводнів (бензену), так і для амінів.

1. Взаємодія з хлоридною кислотою. Як і всі аміни, анілін виявляє основні властивості й реагує з кислотами:



або

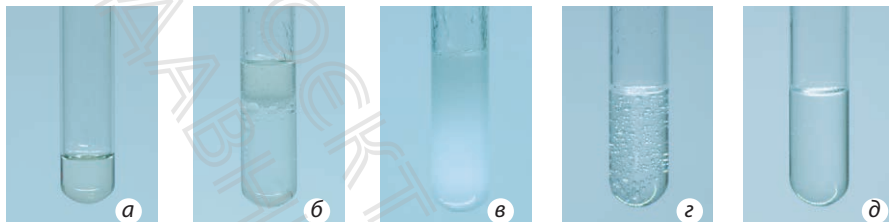


На відміну від аніліну, його сіль (анілін гідрогенхлорид) у воді розчиняється набагато краще й окиснюється повітрям значно важче. Тому в лабораторіях анілін часто зберігають у вигляді солі.

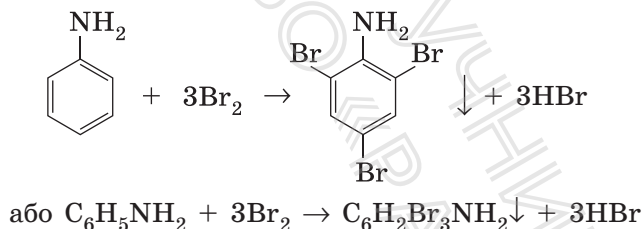


Демонстраційний дослід: взаємодія аніліну з хлоридною кислотою

У пробірку наливаємо 0,5–1 мл аніліну (мал. а). До аніліну додаємо близько 5 мл води. Оскільки анілін обмежено розчиняється у воді, то утворюються два окремі шари (мал. б). Ретельно перемішуємо. Анілін утворює емульсію з водою (мал. в). Додаємо хлоридну кислоту (мал. г). Краплі аніліну потроху зменшуються і згодом зникають, спостерігаємо утворення однорідного розчину анілін гідрогенхлориду (мал. д).



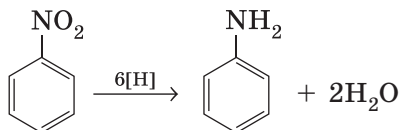
2. Взаємодія з бромом. Ви вже знаєте, що на відміну від бензену фенол активно взаємодіє з бромом унаслідок впливу гідроксильної групи на бензенове кільце. Так само анілін за звичайних умов активно взаємодіє з бромом — заміщуються три атоми Гідрогену в бензеновому ядрі:



Унаслідок реакції утворюється білий осад 2,4,6-триброманіліну.

Одержання та застосування аніліну

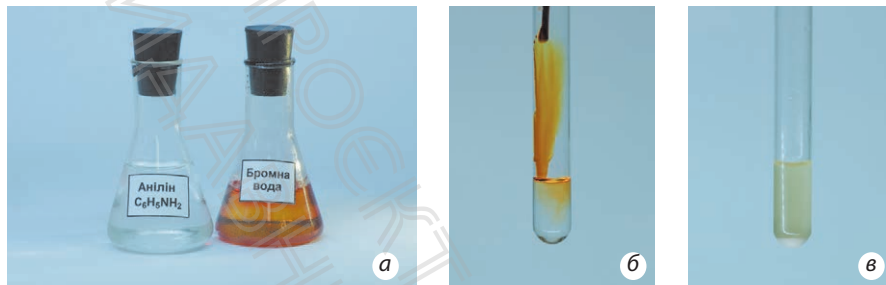
Анілін — дуже важливий реагент для хімічної промисловості, тому метод його одержання має бути простим і дешевим. Основний спосіб одержання аніліну — відновлення нітробензену:



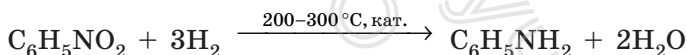


Демонстраційний дослід: взаємодія аніліну з бромом

Для реакції використовуємо не чисті речовини, а їхні розчини (мал. а): розбавлений водний розчин аніліну та розчин бромової води (бромну воду). У пробірку наливаємо 2–3 мл розчину аніліну та тоненькою цівкою доливаємо бромну воду (мал. б). Реакція відбувається майже миттєво й утворюється практично нерозчинна у воді речовина (мал. в).



Нітробензен для цього синтезують нітруванням бензену. Для його відновлення можна використовувати різні відновники. У лабораторній практиці використовують амоній сульфід, цинк або залізо за наявності хлоридної кислоти. У промисловості нітробензен відновлюють воднем за високої температури за наявності каталізаторів:



Першим відновлення нітробензену 1842 року здійснив видатний хімік М. М. Зінін, за що здобув всесвітню славу. У ті часи анілін у великих обсягах був вкрай необхідний для одержання різноманітних штучних барвників, виробництво яких на той час було дуже затребуваним, але дорогим. Завдяки відкриттю М. Зініна 1856 року Вільям Перкін організував промислове виробництво фіолетового барвника мовеїну. Із часом було налагоджено виробництво дешевих анілінових барвників із яскравим і різноманітним забарвленням, придатних для фарбування тканин. Це дозволило відмовитися від такої дефіцитної і дорогої природної сировини, як барвники індиго, кошєніль, королівський пурпур.

Сьогодні великі обсяги аніліну також витрачають на виробництво поліуретанів, штучних каучуків та гербіцидів.

**Ключова ідея**

Хімічні властивості аніліну є ілюстрацією справедливості другого постулату теорії будови органічних сполук про взаємний вплив атомів у молекулі.

**Контрольні запитання**

- 455.** Запишіть молекулярну, розгорнуту та скорочену структурні формули аніліну.
- 456.** Схарактеризуйте фізичні властивості аніліну. Що відбуватиметься, якщо в склянку з водою налити стільки ж аніліну?
- 457.** Схарактеризуйте хімічні властивості аніліну. Що є спільного та в чому полягають відмінності у хімічних властивостях аніліну з бенzenом та амінами? Наведіть відповідні рівняння реакцій.

**Завдання для засвоєння матеріалу**

- 458.** За якою ознакою метанамін та анілін належать до: а) однієї групи амінів (якої); б) до різних груп амінів (яких)?
- 459.** Запишіть рівняння реакції феноламонію хлориду з лугом.
- 460.** Запишіть рівняння для здійснення перетворень за схемами:
- а) $\text{C}_6\text{H}_6 \rightarrow \text{C}_6\text{H}_5\text{NO}_2 \rightarrow \text{C}_6\text{H}_5\text{NH}_2 \rightarrow \text{C}_6\text{H}_5\text{NH}_3\text{Cl} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_5\text{NH}_2$;
- б) $\text{C}_6\text{H}_{14} \xrightarrow{t, \text{Pt}} \text{A} \xrightarrow{\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4} \text{Б} \xrightarrow{\text{H}_2} \text{В} \xrightarrow{\text{HCl}} \text{Г} \xrightarrow{\text{NaOH}} \text{Д}.$

Комплексні завдання

- 461.** Обчисліть масу аніліну, який можна добути з нітробензену масою 36,9 г.
- 462.** Обчисліть масу триброманіліну, що можна добути з аніліну масою 32,55 г.
- 463.** Технічний анілін масою 5 г змішали з хлоридною кислотою. У результаті утворився розчин масою 50 г із масовою часткою солі 12,95 %. Обчисліть масову частку домішок в аніліні.
- 464.** Обчисліть масу технічного нітробензену, що містить 18 % домішок, необхідного для одержання аніліну масою 18,6 кг.

Завдання для розвитку критичного мислення

- 465.** Запишіть рівняння реакцій, за якими можна добути анілін із метану.
- 466.** Уважно прочитайте, як проводять демонстрацію взаємодії аніліну з хлоридною кислотою. Хлоридна кислота і так містить значну кількість води, оскільки є водним розчином гідроген хлориду. Як ви вважаєте, для чого перед додаванням хлоридної кислоти додають значну кількість води?
- 467.** Із додаткових джерел інформації дізнайтеся історію відкриття аніліну та встановлення його хімічної будови.

§ 30. Амінокислоти

Пригадайте:

- що вам відомо з курсу біології про будову та біологічну роль амінокислот і білків;
- склад і властивості насичених одноосновних карбонових кислот.

Поняття про амінокислоти



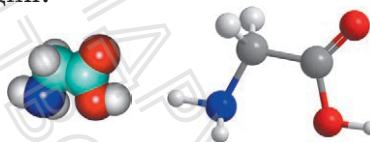
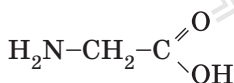
Амінокислоти — це похідні карбонових кислот, у вуглеводневому залишку яких один чи кілька атомів Гідрогену заміщено на аміногрупу.

Отже, амінокислоти — це біфункціональні сполуки. Вони містять дві характеристичні групи — карбоксильну й аміногрупу, тому їхні властивості зумовлені цими двома групами.

Загальна формула амінокислот $\text{NH}_2\text{—R—COOH}$.

Вуглеводневий залишок може бути будь-яким: насиченим, ненасиченим, ароматичним тощо. Для амінокислот, що є похідними насичених одноосновних карбонових кислот, загальна формула — $\text{NH}_2\text{—C}_n\text{H}_{2n}\text{—COOH}$.

Найпростіша амінокислота — аміноетанова, її також називають амінооцтова кислота, або гліцин:



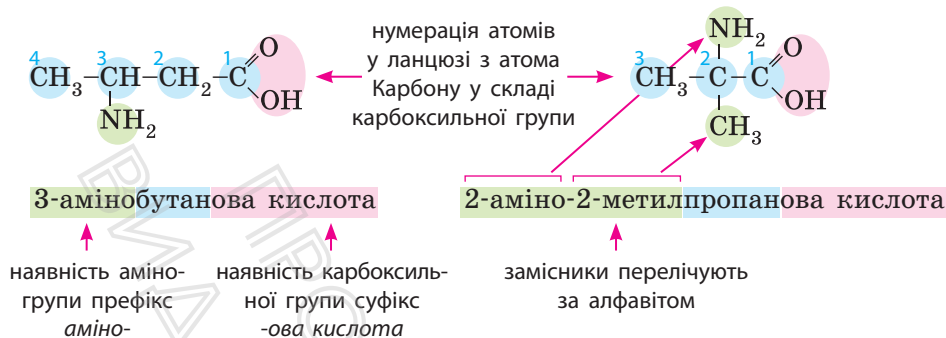
Номенклатура амінокислот

Принцип утворення назв амінокислот такий самий, як і для карбонових кислот:

префікс	родонаціальна структура		суфікс
назви замісників за алфавітом	назва головного ланцюга	ступінь насиченості + позначають суфіксами -ан-, -ен-, -ін-	-ова кислота характеристична група

Але існують певні особливості, зумовлені наявністю двох характеристичних груп. Із них карбоксильна група є старшою, тому:

- за родонаціальну структуру обирають ланцюг, що містить карбоксильну групу;
- нумерацію атомів головного ланцюга починають з атома Карбону у складі карбоксильної групи;
- наявність аміногрупи позначають у назві префіксом *аміно-*, тобто її називають, як звичайний замісник.

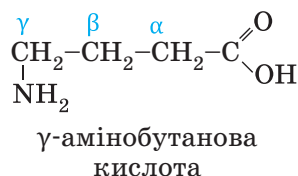
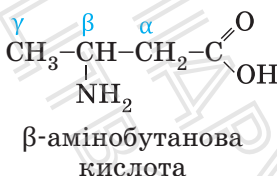
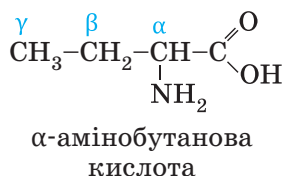


Атоми Карбону головного ланцюга можна позначати не цифрами, а буквами грецького алфавіту, причому нумерацію слід починати від атома Карбону, найближчого до карбоксильної групи:

нумерація атомів Карбону головного ланцюга буквами грецького алфавіту

атом Карбону карбоксильної групи входить до родоначальної структури

нумерація головного ланцюга починається з атома Карбону, найближчого до карбоксильної групи



У природі переважають α -амінокислоти, лише ці амінокислоти утворюють білки, тобто є протеїногенними.

Фізичні властивості амінокислот

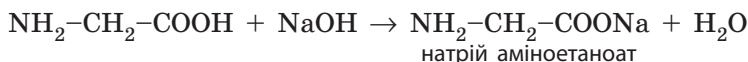
Амінокислоти — тверді безбарвні кристалічні речовини, зазвичай добре розчинні у воді й погано — в органічних розчинниках. Розчинність амінокислот у воді пояснюється можливістю утворення водневих зв'язків карбоксильною групою (як у карбонових кислот) та аміногрупою (як у амінів), через що часто їх молекули існують у вигляді біполярних йонів. Деякі амінокислоти солодкі на смак.

Водні розчини більшості амінокислот мають нейтральне середовище.

Хімічні властивості амінокислот

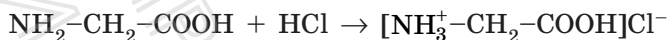
Для амінокислот характерні хімічні властивості карбонових кислот і амінів завдяки наявності в їхніх молекулах двох характеристичних груп. Карбоксильна група зумовлює кислотні, а аміногрупа — основні властивості амінокислот. Отже, амінокислоти є органічними амфотерними сполуками.

1. **Взаємодія з лугами** відбувається за участі карбоксильної групи:



Назва солі утворюється аналогічно назвам солей карбонових кислот. Якщо кислота аміноетанова, то її сіль називають аміноетаноат.

2. **Взаємодія з кислотами** відбувається за участі аміногрупи:



Назва цієї солі утворюється подібно до назв амінів: аміноетанова кислота гідрохлорид.

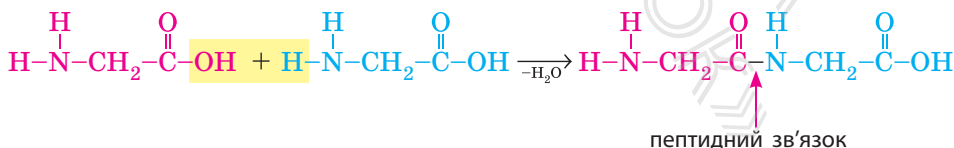
Іноді амінокислота сама є і кислотою, і основою одночасно, у цьому випадку йон Гідрогену з карбоксильної групи приєднується до аміногрупи:



Таку сіль називають внутрішньою, вона існує у вигляді біполярних йонів, хоча за складом вона не відрізняється від початкової кислоти. Взагалі кислотно-основні взаємодії амінокислот можна записати такою схемою, що повною мірою відображає амфотерність амінокислот:

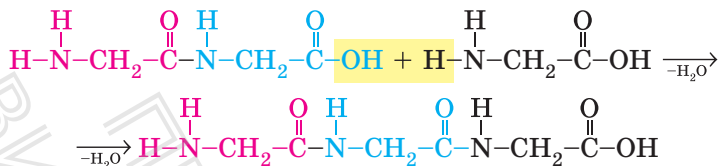


3. **Утворення поліпептидів.** Ди-, три- та поліпептиди утворюються в реакції поліконденсації. За певних умов група -COOH однієї молекули може реагувати з групою -NH_2 іншої молекули, при цьому відщеплюється молекула води й утворюється продукт, у якому залишки амінокислот сполучені так званим *пептидним зв'язком*:



Продукт цієї реакції називають дипептидом, наприклад дипептид аміноетанової кислоти. Як і амінокислоти, він також містить дві

різні функціональні групи ($-\text{NH}_2$ і $-\text{COOH}$), а отже, може реагувати ще з однією молекулою амінокислоти, утворюючи трипептид:



Процес подовження пептидного ланцюга може відбуватися багаторазово, у результаті чого утворюються речовини з великою молекулярною масою — поліпептиди. Це єдиний процес синтезу білків з амінокислот у рибосомах, у дослідження яких вагомий внесок зробила Ада Йонат.

Біологічне значення амінокислот

Амінокислоти — це цеглинки, із яких побудовані білки, а отже, вони є основою життя на нашій планеті. Уперше про амінокислотний склад білків висловив припущення український учений І. Я. Горбачевський.

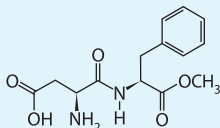
Амінокислоти одержують гідролізом білків або синтезують із відповідних карбонових кислот. Їх використовують як поживні речовини в медицині та як харчові добавки до продуктів і сільськогосподарських кормів, для приготування коктейлів для спортивного харчування.



Ада Йонат
(народилася 1939 р.)
Досліджувала будову білкових молекул.



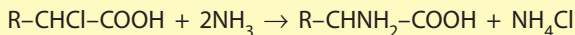
Аспартам — речовина, яку рекомендують для вживання людям із цукровим діабетом та з надмірною вагою. Він у 160–200 разів солодший за цукор, при цьому його калорійність незначна. Він не має гірко-металічного присмаку, характерного для сахарину. Аспартам є дипептидом, утвореним аспарагіновою кислотою та фенілаланіном, він добре засвоюється організмом людини. Він не призводить до утворення карієсу зубів, а його засвоєння не залежить від вироблення організмом інсуліну.



Іван Якович Горбачевський
(1854–1942)
Установив, що білки мають амінокислотну природу.



Одержання амінокислот. Амінокислоти одержують подібно до амінів: із хлоропохідних карбонових кислот нагріванням їх з амоніаком



Ключова ідея

Амінокислоти є природними амфотерними сполуками завдяки наявності характеристичних груп із протилежними властивостями (кислотними та основними).



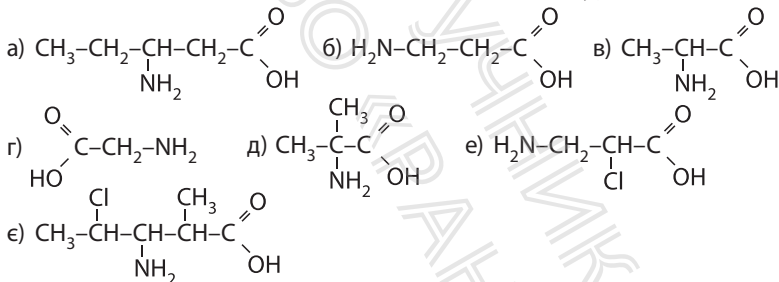
Контрольні запитання

467. Які сполуки є амінокислотами?
468. Чому водні розчини одноосновних амінокислот не змінюють забарвлення індикаторів?
469. Які особливості складання назв амінокислот порівняно з карбоновими кислотами?
470. Схарактеризуйте фізичні властивості та поширеність амінокислот.
471. Схарактеризуйте хімічні властивості амінокислот. Наведіть відповідні рівняння реакцій на прикладі аміноетанової кислоти.
472. Який зв'язок називають пептидним?



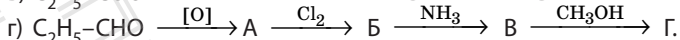
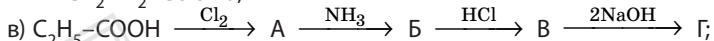
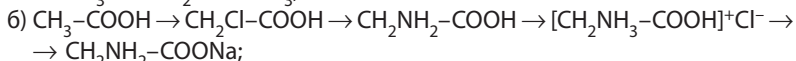
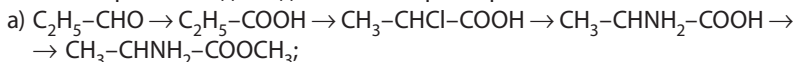
Завдання для засвоєння матеріалу

473. Назвіть амінокислоти за систематичною номенклатурою.

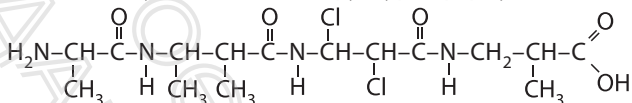


474. Складіть формулу: а) 2-амінопропанової кислоти; б) гідрохлорид 2-амінопропіонової кислоти; в) натрій 2-амінопропаноату; г) 2-аміно-2-хлорпропанової кислоти; д) дипептид 2-амінопропанової кислоти.
475. Складіть усі можливі структурні формули амінокислот зі складом: а) $C_4H_9NO_2$; б) $C_3H_6NO_2Cl$. Назвіть їх.
476. Запишіть рівняння реакції аміноетанової та амінопропанової кислот із калій гідроксидом, хлоридною кислотою, метанолом.
477. Із якими з речовин — калій гідроксид, хлор, вода, хлоридна кислота — взаємодіятиме: а) аміноетанова кислота; б) α -амінопропанова кислота?

478. Запишіть рівняння для здійснення перетворень за схемами:



479. Визначте амінокислоти, що утворюються внаслідок гідролізу наведеного пептиду, складіть їхні структурні формули та назвіть їх.



Комплексні завдання

480. Обчисліть масу аміноетанової кислоти, що можна добути з етанової кислоти масою 24 г.

481. Аміноетанову кислоту можна добути пропусканням амоніаку крізь розчин хлоретанової кислоти. Обчисліть мінімальний об'єм амоніаку (н. у.) для реакції з хлоретановою кислотою, узятою в розчині масою 200 г із масовою часткою 25 %.

482. До розчину аміноетанової кислоти масою 50 г із масовою часткою кислоти 6 % додали розчин натрій гідроксиду масою 47 г із надлишковою кількістю лугу. Обчисліть масову частку солі в одержаному розчині.

483. Установіть молекулярну формулу сполуки, якщо в ній масова частка Карбону становить 32,00 %, Нітрогену — 18,7 %, Оксигену — 42,7 %.

484. У певній амінокислоті масова частка Карбону становить 40,4 %, Гідрогену — 7,9 %, Нітрогену — 15,7 %. Установіть молекулярну формулу цієї амінокислоти. Запропонуйте, які структурні формули можуть відповідати такому складу амінокислоти.

485. Унаслідок згоряння органічної речовини масою 1,03 г утворилися вуглекислий газ масою 1,76 г, вода масою 0,81 г та азот об'ємом 112 мл (н. у.). Установіть молекулярну формулу речовини. До якого класу сполук вона може належати? Запропонуйте її структурну формулу.

486. Обчисліть число амінокислотних залишків у поліпептиді, утвореному аміноетановою кислотою, якщо його молярна маса 1329 г/моль.

Завдання для розвитку критичного мислення

487. Чи є коректними такі назви сполук: α-аміноетанова кислота, амінобутанова кислота?

§ 31. Білки

Пригадайте: із курсу біології просторову будову молекул білків.

Білки — похідні амінокислот



Білки — природні високомолекулярні сполуки, молекули яких складаються із залишків молекул α -амінокислот, сполучених один з одним пептидними зв'язками.

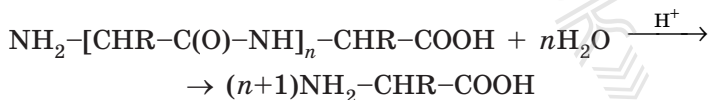
Білки є полімерами, мономерами яких є амінокислоти. Зазвичай білки містять 100 і більше залишків молекул амінокислот. Більшість білків людського організму містять кілька сотень амінокислотних залишків. Отже, молекулярна маса білків становить від декількох тисяч до декількох мільйонів.

За складом білки поділяють на *протеїни* — прості білки, що складаються із залишків молекул амінокислот, і *протеїди* — складні білки, що складаються із залишків молекул амінокислот і різних небілкових речовин, зокрема йонів металічних елементів.

Хімічні властивості білків

1. Денатурація білків. Під дією різних чинників білки можуть розкладатися, втрачаючи свою специфічну просторову будову. Руйнування просторової структури білка зі збереженням його первинної структури називають *денатурацією*. Вона відбувається за нагрівання, зміни кислотності середовища, дії випромінювання або розчинів солей важких металічних елементів та органічних розчинників. Прикладами денатурації є згортання яєчних білків під час варіння яєць або уцілювання білків молока в процесі скисання.

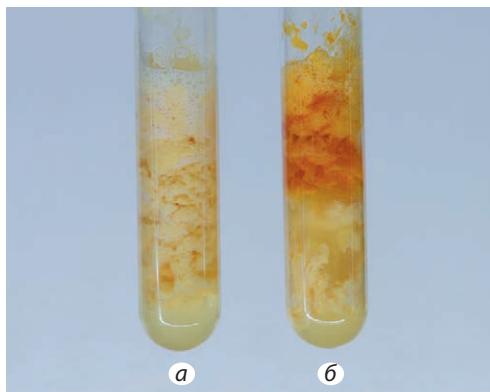
2. Гідроліз білків. Інша хімічна властивість білків — здатність до гідролізу в кислому або лужному середовищі. Унаслідок гідролізу розриваються пептидні зв'язки і відбувається розщеплення поліпептидного ланцюга. Повний гідроліз до окремих амінокислот відбувається за тривалого нагрівання білків з концентрованою хлоридною кислотою:



Після потрапляння білкових речовин у шлунок під дією хлоридної кислоти і ферменту пепсину відбувається їх гідроліз. Організм людини засвоює білкові речовини лише у вигляді суміші амінокислот.



Мал. 31.1. У пробірці знизу — осад купрум(II) гідроксиду, що не прореагував, у верхній частині сполука Купруму з поліпептидним ланцюгом



Мал. 31.2. Колір білка в ксантопротеїновій реакції після додавання нітратної кислоти (а) та після додавання розчину амоніаку (б)

3. Кольорові реакції білків. Для виявлення білків або окремих амінокислот у їхньому складі використовують спеціальні якісні реакції, які називають *кольоровими реакціями білків*.

Так, у разі дії на слаболужний розчин білка розчину купрум(II) сульфату розчин набуває фіолетово-синього забарвлення, що зумовлене зв'язуванням йонів Купруму Cu^{2+} поліпептидним ланцюгом білків (мал. 31.1). Цю реакцію називають *біуретовою*, вона є універсальною для всіх білків, оскільки нею можна виявити наявність пептидних зв'язків.

За допомогою *ксантопротеїнової* реакції можна виявити ароматичні амінокислоти у складі білків, наприклад тирозин, триптофан, фенілаланін тощо. Для проведення цієї реакції на білок або його розчин діють концентрованою нітратною кислотою. За наявності залишків ароматичних амінокислот білок забарвлюється у жовтий колір (мал. 31.2, а). Після додавання в реакційну суміш розчину амоніаку колір білка поглиблюється і стає жовтогарячим (мал. 31.2, б).

Біологічне значення білків

Білки у живих організмах виконують найрізноманітніші функції, що ви вивчали на уроках біології. Згадаймо найважливіші з них.

Усі без винятку хімічні реакції в організмі відбуваються за наявності спеціальних каталізаторів — *ферментів* (або *ензимів*), що являють собою білкові молекули. Вони прискорюють реакції в мільйони разів, причому кожну реакцію каталізує певний фермент.

Деякі білки виконують *транспортну функцію* — переносять молекули або йони в місця синтезу або накопичення речовин. Наприклад, білок гемоглобін у складі еритроцитів переносить кисень до тканин і вуглекислий газ від них, а білок міоглобін запасає кисень у м'язах.

Білки — це *будівельний матеріал* клітин, із них побудовані тканини організму.

Білки-рецептори *сприймають і передають сигнали*, що надходять від сусідніх клітин або з навколишнього середовища. Наприклад, дію світла на сітківку ока сприймає білок родопсин.

Білки життєво необхідні будь-якому організму і тому є найважливішою складовою частиною харчових продуктів. У процесі травлення вони гідролізуються до амінокислот, що є сировиною для синтезу інших білків, необхідних організму.

ЛАБОРАТОРНІ ДОСЛІДИ № 3 ТА 4

Кольорові реакції білків

Обладнання: штатив із пробірками, пальник, пробіркотримач.

Реактиви: яєчний білок, луг, купрум(II) сульфат, нітратна кислота, амоніак.

! Правила безпеки:

- для виконання дослідів використовуйте невеликі кількості реактивів;
- остерігайтеся потрапляння реактивів на шкіру, в очі, на одяг; у разі потрапляння їдкої речовини змийте її великою кількістю води;
- не торкайтеся руками гарячих предметів.

Лабораторний дослід 3. Біуретова реакція

У пробірку налийте розчин білка об'ємом 1–2 мл і додайте декілька крапель розчину луку.

У пробірку прилийте трохи розчину купрум(II) сульфату. Як змінюється забарвлення? Про що це свідчить?

Лабораторний дослід 4. Ксантопротеїнова реакція

У пробірку налийте розчин білка об'ємом 2–3 мл і додайте 3–5 крапель нітратної кислоти. Що відбувається?

Уміст пробірки нагрійте в полум'ї пальника. Що відбувається?

У пробірку додайте 2–3 мл розчину амоніаку. Що відбувається?

Зробіть висновок. Про що свідчать ваші спостереження?



Ключова ідея

Білки — природні полімери, мономерами яких є амінокислоти. Із протеїногенних амінокислот побудовані безліч різних молекул білків, які в живих організмах виконують різноманітні функції.



Контрольні запитання

488. Які сполуки є білками?
489. За яким параметром білки відносять до полімерів?
490. За яких умов відбувається денатурація та гідроліз білків?
491. Схарактеризуйте біологічну роль білків.
492. Чим відрізняється елементний склад білків від елементного складу вуглеводів та жирів?
493. Які реакції називають кольоровими та для чого їх застосовують?



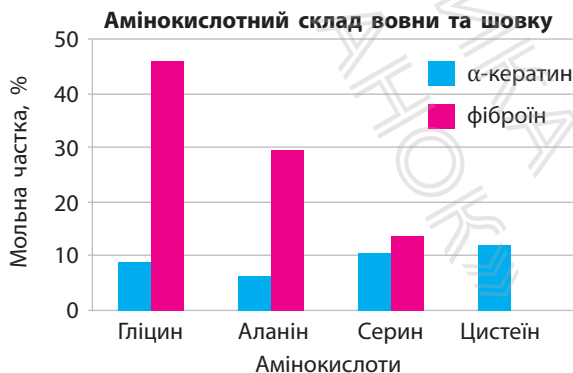
Завдання для засвоєння матеріалу

Комплексні завдання

494. Унаслідок гідролізу трипептиду масою 46,2 г з натрій гідроксидом утворилася сіль лише однієї насиченої амінокислоти масою 66,6 г. Визначте цю амінокислоту.
495. Визначте, якою може бути відносна молекулярна маса білка, в якому масова частка Сульфору становить 0,4 %. Під час обчислень візьміть до уваги, що в молекулі білка щонайменше два залишки молекул амінокислот, у яких по одному атому Сульфору в молекулі.

Завдання для розвитку критичного мислення

496. У першій пробірці міститься розчин білка, а в другій — гліцеролу. За допомогою яких реакцій можна розрізнити вміст обох пробірок?
497. Як ви вважаєте, чи можна на тривалий час замінити білкову їжу на їжу, що складається лише з жирів та вуглеводів? Які зміни відбуватимуться в організмі людини за такої дієти?
498. Проаналізуйте наведену діаграму та дайте відповіді на запитання.



— Яку характеристику двох білків порівнюють на цій діаграмі?

- На діаграмі порівнюють два білки: α -кератин у вовні та фіброїн павутинного шовку. Яким кольором позначено дані про білок, що міститься у вовні?
- Залишків якої амінокислоти найбільше міститься в павутинному фіброїні?
- Яка мольна частка аланіну в α -кератині та фіброїні?
- Визначте мольну частку всіх інших амінокислот, не позначених на діаграмі, для обох білків.
- Павутинний фіброїн набагато міцніший матеріал за α -кератин у вовні. Якби ви були технологом текстильної компанії і перед вами постала задача виготовити якомога міцнішу тканину, то які амінокислоти ви б використали для створення поліпептидного волокна?

Мініпроєкти

499. У кабінеті хімії разом з учителем виконайте експериментальний проєкт. Під час роботи дотримуйтеся правил безпеки.

Дослід 1. Обережно розбийте сире яйце так, щоб не ушкодити жовток. Відокремте невелику частину білка і помістіть її у дві пробірки. Якщо пробірку з білком нагріти на вогні, то слизувата маса стане білою й твердою, як це відбувається під час готування яєчні. Відбувається денатурація білка. На металевому дроті спалить невеликий шматочок цього білка й понюхайте його. Утворюється характерний запах, що нагадує запах паленого волосся, за яким завжди можна впізнати білок.

Дослід 2. Уміст другої пробірки обережно змішайте з водою, при цьому білок частково розчиняється. Енергійно струсіть уміст пробірки і спостерігайте утворення тягучої в'язкої маси — у разі механічного впливу білок також піддається денатурації. До тієї ж пробірки додайте розчин солі важкого металічного елемента, наприклад мідного купоросу, і спостерігайте денатурацію під дією йонів металічних елементів.

Дослід 3. Дослідіть на вміст білка інші об'єкти: пташине перо, кисло-молочний сир, горіх або нут. Для цього внесіть у полум'я невеличкі зразки та визначте запах.

Навчальні проєкти до теми

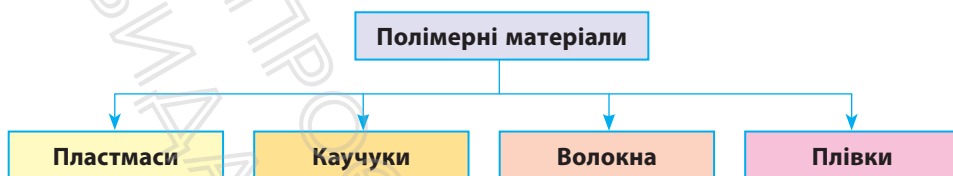
«Нітрогеновмісні органічні сполуки»

18. Натуральні волокна тваринного походження: їхні властивості, дія на організм людини, застосування.
19. Анілін – основа для виробництва барвників.
20. Синтез білків.
21. Збалансоване харчування – запорука здорового життя.
22. Виведення плям органічного походження.



Тестові завдання за темою «Нітрогеновмісні органічні сполуки».

ТЕМА 5. СИНТЕТИЧНІ ВИСОКОМОЛЕКУЛЯРНІ РЕЧОВИНИ І ПОЛІМЕРНІ МАТЕРІАЛИ НА ЇХ ОСНОВІ



§ 32. Високомолекулярні сполуки

Пригадайте:

- для ненасичених вуглеводнів більш характерні хімічні реакції приєднання;
- що таке поліфункціональні сполуки (за § 3).

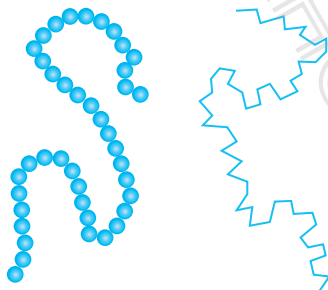
Поняття про високомолекулярні сполуки та полімери

Із курсу хімії та біології 9 класу вам уже відомі природні полімери, або біополімери, зокрема полісахариди, білки та нуклеїнові кислоти. Їхньою особливістю є те, що їхні молекули складаються з великого числа структурних ланок. А завдяки досягненням хімії створено багато синтетичних (штучних) полімерів.

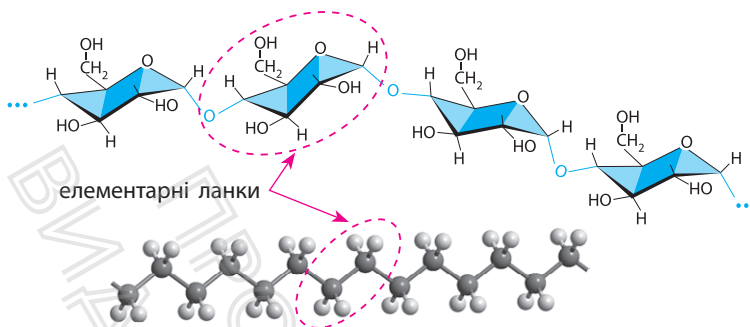


Полімери — це речовини, що складаються з великого числа структурних ланок, сполучених у довгі молекули хімічними зв'язками.

Число структурних ланок у складі молекул полімерів може сягати декількох мільйонів, тому ці молекули дуже великі, їх іще називають *макромолекулами* (мал. 32.1).

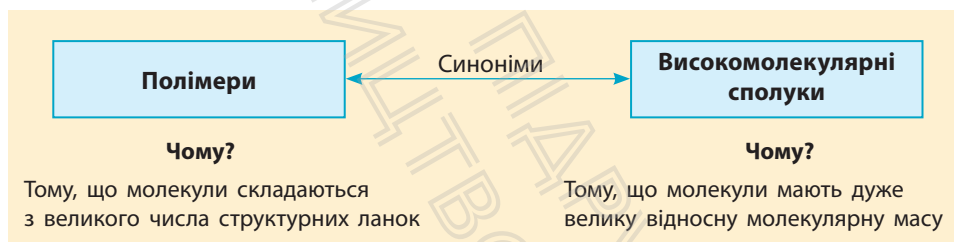


Мал. 32.1. Умовне зображення макромолекул полімерів



Мал. 32.2. Фрагменти макромолекул крохмалю (угорі) і поліетилену (унизу) та їхні елементарні ланки

Відносна молекулярна маса полімерів також дуже велика і може сягати десятків мільйонів, тому полімери також називають *високомолекулярними сполуками*.



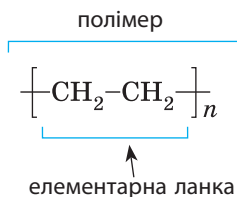
Структурні ланки, із яких складаються молекули полімерів,— це групи атомів, що є характерними для кожного полімеру, їх називають елементарними ланками (мал. 32.2).



Елементарна ланка — це структурний фрагмент, що багаторазово повторюється в макромолекулі полімеру.

У відомих вам крохмалі та целюлозі елементарними ланками є залишки молекул глюкози, а в поліетилені, який ви вивчали минулого року,— це група атомів $\text{CH}_2\text{—CH}_2$.

Хімічні формули полімерів записують, зазначаючи у квадратних дужках формулу елементарної ланки.



На кінцях молекули полімеру перебувають фрагменти молекул розчинника або ініціатора реакції полімеризації. Ці атоми майже не впливають на властивості полімеру, тому у формулах полімерів не зазначають, чим закінчується карбоновий ланцюг.

Властивості полімерів

Для полімерів характерні особливі властивості, що відрізняють їх від низькомолекулярних речовин.

1. Механічні властивості. Для полімерів характерні:

- еластичність або гнучкість;
- незначна крихкість склоподібних полімерів (наприклад, орг-скло);
- здатність молекул орієнтуватися вздовж напрямку механічного навантаження, що використовують для виготовлення волокон та плівок.

2. Здатність розчинятися. Полімери розчиняються набагато гірше за їх низькомолекулярні аналоги. Розчинність полімерів залежить насамперед від полярності їхніх молекул: полярні (гідрофільні) полімери краще розчиняються у воді чи полярних органічних розчинниках, а неполярні (гідрофобні) — у неполярних органічних розчинниках. Також на розчинність впливає розмір та будова молекул полімерів.

Будова макромолекул

Особливі властивості полімерів зумовлені не лише великими розмірами, а й особливостями будови макромолекул. Розрізняють три основні різновиди будови макромолекул: *лінійна*, *розгалужена* та *сітчаста*. Будова макромолекул зумовлює фізичні та експлуатаційні властивості полімерів (табл. 14).

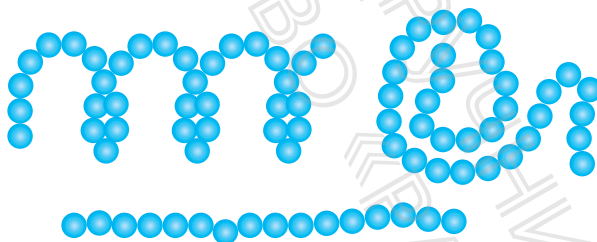
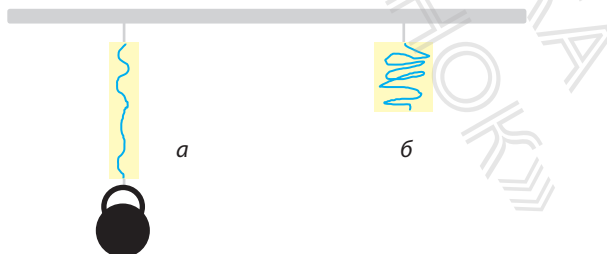
Лінійна будова. У таких макромолекулах елементарні ланки сполучені послідовно, без розгалужень. Такі макромолекули можуть набувати різної форми: витягуватися в довгі молекули, скручуватися у спіраль або клубок (мал. 32.3).

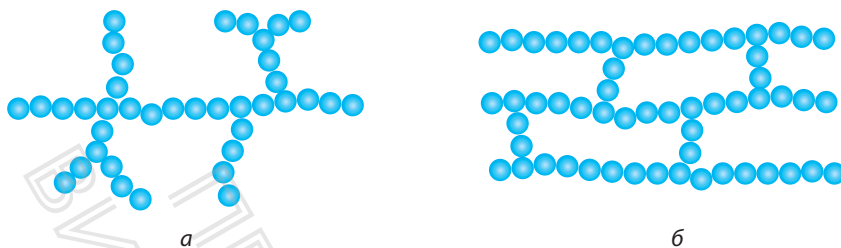
Вони можуть оборотно (без руйнування хімічних зв'язків) змінювати свою форму, тобто виявляти *гнучкість*. Це зумовлює еластичні властивості полімерів: під час деформації полімеру скручені макромолекули розпрямляються (мал. 32.4, а), а після зняття навантаження — знову скручуються (мал. 32.4, б).

Таблиця 14. Характеристики полімерів різної будови

	Будова макромолекул		
	лінійна	розгалужена	сітчаста
Властивості	• Еластичні; • гнучкі; • під час вичавлювання можуть утворювати волокна чи плівки; • термопластичні; • розчинні*	• Нееластичні; • гнучкі: чим більший ступінь розгалуженості, тим менша гнучкість; • термопластичні; • розчиняються погано*	• Пружні, легше руйнуються; • не плавляться; • термореактивні; • не розчиняються*; • у розчинниках набухають*
Приклади синтетичних речовин	Поліетилен низького тиску, натуральний каучук тощо	Поліпропілен, поліетилен високого тиску	Вулканізований каучук, фенолоформальдегідні смоли, гума
Приклади біополімерів	Амілоза, целюлоза, білки, нуклеїнові кислоти	Амілопектин, глікоген	Вовна

* У воді чи органічних розчинниках залежно від полярності полімеру.

**Мал. 32.3.** Лінійні макромолекули утворюють різні просторові форми**Мал. 32.4.** За умови дії навантаження на еластичні полімери їхні макромолекули розпрямляються (а) та оборотно скручуються після його зняття (б)



Мал. 32.5. Макромолекули полімерів розгалуженої (а) та сітчастої (б) будови

Розгалужена будова. У макромолекулах розгалуженої форми у деяких місцях трапляються розгалуження ланцюгів за рахунок сполучення однієї ланки з кількома іншими (мал. 32.5, а).

Сітчаста (просторова, або тривимірна) будова. Усі структурні ланки об'єднуються у велику просторову міцну сітку (мал. 32.5, б). Будова таких полімерів певною мірою нагадує будову речовин з атомними кристалічними ґратками.

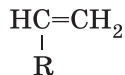
Реакції полімеризації та поліконденсації

Полімери утворюються в реакціях полімеризації або поліконденсації.



Полімеризація — процес синтезу високомолекулярної сполуки шляхом багаторазового приєднання молекул низькомолекулярної речовини до активного центру.

Реакція полімеризації більш характерна для ненасичених сполук переважно з подвійним зв'язком. У загальному вигляді формулу таких сполук можна записати:

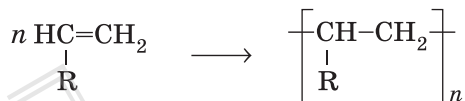


Групою R у цих молекулах можуть бути будь-які вуглеводневі залишки, атоми чи групи атомів, зокрема характеристичні групи. Ці речовини, із яких утворюються полімери, називають мономерами.



Мономер — низькомолекулярна речовина, із якої шляхом полімеризації або поліконденсації утворюється полімер.

Унаслідок реакції полімеризації утворюються дуже великі молекули полімерів. У загальному вигляді рівняння реакції полімеризації записують так:



Назви полімерів, що утворюються, походять від назв мономерів із додаванням префікса *поли-*. Наприклад, з етилену (етену) унаслідок полімеризації утворюється поліетилен, з пропілену (пропену) — поліпропілен тощо.

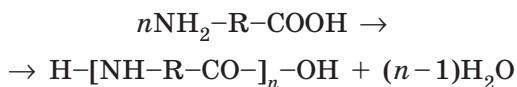
Революція в синтезі полімерів відбулася після відкриття К. Циглером та Дж. Наттою каталізаторів для реакції полімеризації на основі сполук Титану та Алюмінію, за що 1963 року вони були нагороджені Нобелівською премією.

Подібно до полімеризації відбувається процес поліконденсації, але є одна відмінність: унаслідок поліконденсації, окрім полімеру, утворюється ще певна низькомолекулярна речовина (вода, амоніак, спирт тощо):



Поліконденсація — процес синтезу полімерів із поліфункціональних сполук, що супроводжується утворенням побічних низькомолекулярних речовин.

Мономерами для поліконденсації можуть бути речовини, молекули яких містять не менше двох характеристичних груп. Це може бути одна сполука з двома характеристичними групами різної природи (амінокислоти, альдегідоспирти тощо). Наприклад, з амінокислот утворюються поліаміди (поліпептиди):



Зокрема, саме за цією схемою із 6-аміногексанової кислоти синтезують капрон, а з протейногенних амінокислот у рибосомах відбувається синтез білків.



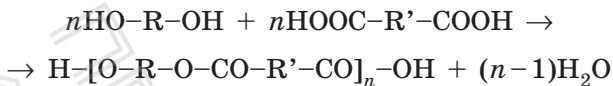
Джуліо Натта (1903–1979)



Карл Вальдемар Циглер (1898–1973)

Досліджували методи добування полімерів.

У реакції поліконденсації можуть брати участь також дві речовини, кожна з яких містить характеристичні групи, що взаємодіють одна з одною. Наприклад, із двохатомних спиртів та двохосновних карбонових кислот синтезують поліестери:



Сьогодні за реакціями полімеризації та поліконденсації на хімічних підприємствах синтезують багато полімерів, із яких, своєю чергою, виготовляють різноманітні полімерні матеріали для потреб суспільства.

В Україні станом на 2021 рік єдиним підприємством, що синтезує поліетилен та полівінілхлорид, є ТОВ «Карпатнафтохім» (м. Калуш, Івано-Франківська обл.), інші полімери імпортуються.



Ключова ідея

Полімери — речовини, що є прикладом для підтвердження закону діалектики про перехід кількісних змін у якісні.

Лінгвістичні завдання

- Грецькою *poly* означає «багато», *monos* — «один», *macros* — «довгий» або «великий», *meros* — «частина». Поясніть значення термінів «полімер», «мономер», «макромолекула».



Контрольні запитання

- Дайте визначення поняттям «полімер», «високомолекулярна сполука», «мономер», «елементарна ланка», «ступінь полімеризації», «макромолекула».
- Що називають термопластичністю? Які полімери називають термопластичними, а які — термореактивними? Чим вони відрізняються? Наведіть приклади.
- Схарактеризуйте відмінності механічних властивостей та здатності розчинятися для високо- та низькомолекулярних речовин.
- Схарактеризуйте різну будову макромолекул. Як будова макромолекул позначається на властивостях полімерів?
- Чим відрізняються реакції полімеризації та поліконденсації? Які полімери одержують за першою реакцією, а які — за другою?



Завдання для засвоєння матеріалу

- 505.** Поясніть, що спільного та відмінного у поняттях «мономер» та «елементарна ланка».
- 506.** Поясніть, як пов'язана будова макромолекул полімерів із їхніми властивостями. Проілюструйте прикладами.
- 507.** Утворення крохмалю в рослинах із глюкози є реакцією полімеризації чи поліконденсації?

Комплексні завдання

- 508.** Формулу поліпропілену можна записати так: $\text{H}-[\text{CH}_2-\text{CH}(\text{CH}_3)]_n-\text{H}$. Визначте молярну масу поліпропілену, якщо кожна молекула містить по 150 структурних ланок.
- 509.** Формулу полістиролу можна записати так: $\text{H}-[\text{CH}_2-\text{CH}(\text{C}_6\text{H}_5)]_n-\text{H}$. Визначте число структурних ланок у його молекулах n , якщо його молярна маса дорівнює 12 482 г/моль.
- 510.** Формулу капрону, що є продуктом поліконденсації певної амінокислоти, можна записати так: $\text{H}-[\text{NH}-(\text{CH}_2)_x-\text{CO}]_n-\text{OH}$. Визначте число атомів Карбону в одній молекулі цієї амінокислоти, якщо молярна маса капрону дорівнює 6368 г/моль, а кожна його молекула містить по 50 структурних ланок.

Завдання для розвитку критичного мислення

- 511.** Як ви вважаєте, у яких випадках ми спостерігаємо еластичність білків як полімерів лінійної форми? Відповідь проілюструйте прикладами.
- 512.** Що є спільного та відмінного в будові сітчастих полімерів і речовин з атомними кристалічними ґратками?
- 513.** Як ви вважаєте, чому розчинні полімери не утворюють істинних розчинів?
- 514.** Поясніть справедливість ключової ідеї параграфа.

§ 33. Полімерні матеріали. Пластмаси

Поняття про пластмаси

Пластмасами, або *пластиками*, називають матеріали на основі полімерів. Окрім полімерів, вони містять тонкоподрібнені або коротковолокнисті наповнювачі, пігменти та інші сипкі компоненти. Різні наповнювачі надають пластмасам певних унікальних властивостей. На основі одного полімеру виготовляють багато різноманітних пластмас, що мають різні властивості залежно від числа та масової частки наповнювачів.



Мал. 33.1. Гумка для стирання (а) та ручка (б) зроблені з різних матеріалів, виготовлених на основі одного полімеру — каучуку



Мал. 33.2. Целофанова обгортка (а) та ацетатний шовк (б) виготовлені на основі одного полімеру — целюлози

Зазвичай наповнювачами є:

- барвники — для надання кольору, оскільки всі полімери безбарвні;
- пластифікатори — для надання різних механічних властивостей (гнучкості, еластичності, твердості тощо);
- армувальні компоненти — для підвищення міцності;
- тепло- та світлостабілізатори — для зменшення чутливості до теплоти та світла відповідно, оскільки перепади температури та яскраве сонячне світло можуть спричинити руйнування виробів із деяких полімерів.

Наприклад, гумка для стирання та ручка-перо (мал. 33.1) виготовлені з різних матеріалів — гуми та ебоніту відповідно. Але обидва ці матеріали виготовлені на основі одного полімеру — каучуку. Або целофан та ацетатний шовк (мал. 33.2) — це різні матеріали на основі целюлози.

Першу штучну пластмасу було отримано 1855 року англійським металургом Олександром Парксом на основі целюлози, обробленої нітратною кислотою. Він назвав новий матеріал паркезіном, який пізніше почав називатися целулоїд.

Найпоширеніші полімери та полімерні матеріали

Людина здавна використовує природні полімерні матеріали: шкіру, хутро, вовну, бавовну та шовк — для виготовлення одягу; цемент, вапно та глину — для будівництва. Широке використання синтетичних полімерів почалося у XX столітті.

Сьогодні людство використовує багато різноманітних полімерних матеріалів у різних сферах діяльності: у техніці, промисловості,

побути тощо. На пластмасових виробках обов'язково має бути зазначено, із яких полімерів вони виготовлені, оскільки в кожного полімеру є певні межі застосування, наприклад «не нагрівати», «не використовувати для зберігання харчових продуктів». Полімер, із якого виготовлено виріб, позначають трикутником із відповідним числом усередині, іноді під трикутником указують англomовну аббревіатуру полімеру (мал. 33.3).



Мал. 33.3. Позначення полімеру на пластмасових виробках

Сьогодні використовують близько 70 різних полімерів, на основі яких виготовляють сотні різноманітних матеріалів. Найпоширеніші полімери та сфери їх застосування наведено в таблиці 15.

Таблиця 15. Найпоширеніші полімери, їхнє позначення й формули та сфери застосування

Назва полімеру	Позначення	Формула	Застосування
Поліетилентерефталат		$\left[\text{O}-\text{C}(=\text{O})-\text{C}_6\text{H}_4-\text{C}(=\text{O})-\text{O}-\text{CH}_2-\text{CH}_2 \right]_n$	Виготовлення тари для напоїв: мінеральної води, фруктових соків тощо, блістерної упаковки, поліестерного волокна
Поліетилен високої густини (поліетилен низького тиску)		$\left[\text{CH}_2-\text{CH}_2 \right]_n$	Виготовлення пляшок, фляг, напівжорсткої упаковки. Вважається безпечним для зберігання харчових продуктів
Полівінілхлорид		$\left[\begin{array}{c} \text{CH}-\text{CH}_2 \\ \\ \text{Cl} \end{array} \right]_n$	Виготовлення труб, садових меблів, покриття для підлоги, віконних профілів, жалюзі, ізоляційної стрічки, тари для мийних засобів. Непридатний для харчових продуктів
Поліетилен низької густини (поліетилен високого тиску)		$\left[\text{CH}_2-\text{CH}_2 \right]_n$	Виготовлення брезенту, пакетів для сміття, плівки та гнучкої упаковки. Вважається безпечним для зберігання харчових продуктів

Назва полімеру	Позначення	Формула	Застосування
Поліпропілен		$\left[\begin{array}{c} \text{CH}-\text{CH}_2 \\ \\ \text{CH}_3 \end{array} \right]_n$	Виготовлення обладнання та бамперів для автомобілів, іграшок, труб для водопроводів, упаковки для харчових продуктів. Уважається безпечним для зберігання харчових продуктів
Полістирол, пінополістирол		$\left[\begin{array}{c} \text{CH}-\text{CH}_2 \\ \\ \text{C}_6\text{H}_5 \end{array} \right]_n$	Виготовлення плит для теплоізоляції будівель, піноматеріалів, харчової упаковки, столових приборів і чашок, іграшок, ручок тощо. Небезпечний у разі горіння

Крім наведених у таблиці 15, існує ще багато полімерів. Так, політетрафлуороетилен (тефлон, або фторопласт, PTFE) використовують як покриття для виробів, що зазнають дії високих температур та тертя, зокрема побутового посуду, водонепроникних тканин, імплантів для кардіохірургії. Із полівінілацетату (PVA) виготовляють клей ПВА, водоемульсійні та акрилові фарби. Із поліуретану виготовляють декоративні покриття, клеї, підшви для взуття, напівжорсткі елементи автомобільних салонів. А поліметилметакрилат (плексиглас, оргскло, PMMA) використовують для виготовлення прозорих деталей літаків, інтер'єрів, торгового обладнання, приладів, штучних кришталіків для імплантації в око.

Проблема охорони довкілля від забруднення полімерними речовинами

Більшість полімерів, що використовують для виробництва полімерного упакування, є біоінертними (поліетилен, поліпропілен тощо) і не розкладаються в природних умовах протягом тривалого часу. Унаслідок біоінертності пластмасові вироби суттєво не впливають на здоров'я людини та стан живої природи, але використання їх у великих кількостях спричиняє їхнє накопичення на сміттєзвалищах і у водоймах. Оскільки вони не гниють, то велика кількість пластмасових виробів займає під сміття нові площі, що згодом може перетворити нашу планету на одне велике сміттєзвалище (мал. 33.4, а).

Скупчення відходів із пластмас утворюють у Світовому океані під впливом течій так звані сміттєві плями. Сьогодні відомо п'ять таких великих скупчень сміття у Тихому, Атлантичному й Індійському океа-

нах. Ці плями складаються переважно з пластикових відходів густонаселених прибережних зон континентів. Пластикове сміття небезпечне ще й тим, що морські тварини можуть не розгледіти прозорі предмети, що плавають у воді, заковтнути їх і загинути (мал. 33.4, б).

Усе це вимагає невідкладних заходів для збереження навколишнього середовища згідно з концепцією сталого розвитку. Спалювати пластикові відходи не можна, оскільки під час горіння виділяються токсичні речовини. Тому впроваджують нові технології для їхньої переробки. Уже кілька років у багатьох містах України та всього світу працює програма зі збирання пластикових пляшок окремо від іншого сміття (мал. 33.5). Їх переробляють на нові пляшки та інші вироби.

Сьогодні дуже важливим є створення нових пластикових матеріалів, які швидко (протягом одного-двох років) розкладаються в природних умовах. Такі матеріали називають біорозкладними пластиками. У ряді країн (Японія, США, деякі країни Євросоюзу тощо) уже сьогодні значну частину пакувальних матеріалів виготовляють із таких екологічно безпечних матеріалів (мал. 33.6). В Україні сьогодні поступово замінюють тонкі поліетиленові пакети (так звані пакети-«майки») на біорозкладні пакети, виготовлені з кукурудзяного крохмалю.

У процесі розкладання в природних умовах макромолекули біорозкладних пластиків спочатку розкладаються на фрагменти з меншою молекулярною масою — олігомери, які потім переробляються бактеріями. Кінцевими продуктами розпаду є вуглекислий газ і вода.



Мал. 33.4. Пластикові відходи на сміттєзвалищах (а) та в океані (б)



Мал. 33.5. Контейнер для збирання пластикових пляшок



Мал. 33.6. У такий спосіб позначають, що пакет виготовлено з біорозкладного пластику

Біорозкладні полімери використовують також у медицині, наприклад шовний матеріал для хірургії на основі водорозчинних полімерів. Перспективним є використання біорозкладних полімерів як імплантів, які можуть поступово замінюватися в організмі кістковою, хрящовою або іншою живою тканиною.



Ключова ідея

Пластмаси — дешеві та цінні матеріали завдяки властивостям, що перевершують властивості природних матеріалів. Але завдяки ксенобіотичності вони становлять загрозу для навколишнього середовища.



Контрольні запитання

- 515.** Які матеріали називають пластмасами?
- 516.** Які речовини використовують для створення пластмас?
- 517.** Наведіть приклади полімерів, пластмас на їхній основі та виробів, що з них виготовляють.
- 518.** У який спосіб маркують вироби з пластмас?
- 519.** У чому полягає природоохоронний аспект застосування пластмасових виробів людством?



Завдання для засвоєння матеріалу

- 520.** Для полімерів, наведених у таблиці 15, складіть формули мономерів.
- 521.** Для чого необхідне маркування пластмасових виробів?
- 522.** Як ви вважаєте, що мають на увазі, коли про безпечність полімерів пишуть «Уважається безпечним для...»? Чому в цьому випадку не пишуть більш конкретно про безпечність чи небезпечність матеріалів?

Мініпроекти

- 523.** Розробіть план експериментів для дослідження того, як швидко розкладаються звичайні та біорозкладні пластмаси. Якщо вчитель схвалить ваш план, виконайте свої експерименти, використовуючи різні споживчі товари.
- 524.** Виготовлення покриття з полімерної плівки.
У кабінеті хімії разом з учителем виконайте експериментальний проєкт. Під час роботи дотримуйтеся правил безпеки.
Полімерними плівками часто покривають таблиці чи малюнки для запобігання забрудненню та пошкодженню паперової поверхні. Для створення полімерної плівки на папір наносять розбавлені розчини полімерів. Для приготування таких розчинів 1–2 г подрібненого полімеру (оргскло, полістирол) розчиняють у 50 мл придатного органічного розчинника (можна використати рідину для зняття лаку або бензин). Розчин наносять кілька разів після повного висихання попереднього шару. Покриття виготовляють на відкритому повітрі або у витяжній шафі, щоб уникнути отруєння леткими розчинниками.

525. Сьогодні в Україні багато родин відмовляються від одноразових поліетиленових пакетів, які пропонують у продуктових магазинах, на користь багаторазових торбинок або обгортки із паперу. Улаштуйте флешмоб разом зі своїми однокласниками «Місяць без поліетиленових пакетів» та оцініть фінансову вигоду й екологічну доцільність такого заходу.

§ 34. Каучуки

Відкриття та види каучуків

З-поміж полімерів окремо виділяють групу речовин, які називають еластомерами, або каучуками.



Еластомери (каучуки) — це природні або синтетичні високомолекулярні сполуки, що відрізняються від інших полімерів високою еластичністю, водонепроникністю.

Молекули каучуків зазвичай скручені в клубки. Під час розтягування молекули витягуються, а після зняття зовнішнього навантаження — скручуються. Цим пояснюється еластичність каучуків (мал. 32.4, с. 195).

Натуральний каучук був уперше описаний французьким астрономом та мандрівником Шарлем Марі де ла Кондоміном 1751 року. У мандрівці Південною Америкою він побачив як індіанці збирають молочний сік з дерев (гевея бразильська) і на вогнищі перетворюють його на еластичний матеріал — натуральний каучук (мал. 34.1).

Молочний сік бразильської гевеї та інших каучуконосних рослин (кок-сагізу, крим-сагізу або кульбаби осінньої тощо), який ще називають *латексом*, містить у складі полімер ізопрену. За нагрівання або іншої обробки цей полімер вивільнюється й утворює натуральний каучук.



Мал. 34.1. Збирання молочного соку (латексу) з гевеї

Із розвитком автомобільної промисловості потреба в каучуку, із якого виготовляли шини, стрімко зростала. Виробництво натурального каучуку не могло задовольнити всі потреби, і постало завдання добути каучук синтетичний. Уперше синтетичний бутадієновий каучук було одержано полімеризацією бутадієну.

Більша частина натурального та синтетичного каучуків витрачається на виробництво автомобільних, авіаційних та велосипедних шин. Латекс і натуральний каучук використовують у виробництві медичних засобів (еластичний бинт, хірургічні рукавички, катетери тощо), а також гумок для стирання, повітряних кульок, деяких видів взуття, презервативів, сосок (пустушок) тощо.

Залежно від будови макромолекул, умов проведення полімеризації та мономерів розрізняють декілька видів каучуків (табл. 16).

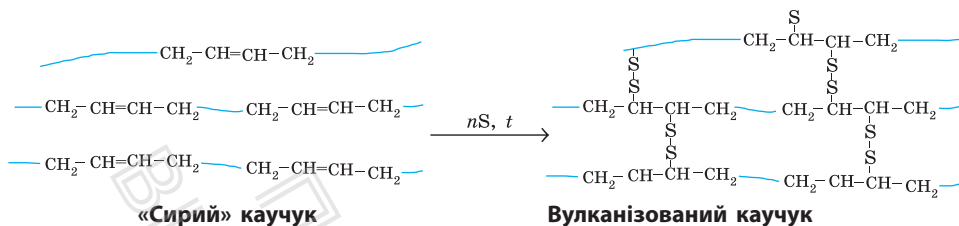
Таблиця 16. Найважливіші види каучуків

Назва	Мономер	Особливі властивості, застосування
Бутадієновий	Бута-1,3-дієн*	Водо- та газонепроникний, відносно низька пластичність, міцність, морозостійкість. Виготовляють ізоляційні покриття, взуття, побутові гумові вироби
Дивініловий	Бута-1,3-дієн*	За еластичністю подібний до натурального каучуку, за зносостійкістю перевершує його, але поступається за електроізоляційними властивостями. Застосовують переважно у виробництві шин
Ізопреновий	Ізопрен (2-метилбута-1,3-дієн)	За властивостями подібний до натурального каучуку. Виготовляють шини, шланги, ізоляцію для електричних кабелів тощо
Хлоропреновий	Хлоропрен (2-хлоробута-1,3-дієн)	Стійкий до дії високих і низьких температур, бензинів та мастил. Виробництво кабелів, шлангів, трубопроводів для транспортування бензину й нафти

* Хоча мономер однаковий, але каучуки відрізняються просторовою будовою.

Матеріали на основі каучуків. Вулканізація. Гума

Натуральний каучук та його синтетичні аналоги мають певні недоліки. Вироби з них недостатньо міцні, їхня еластичність проявляється у невеликому інтервалі температур: за низької температури взимку вони стають надто твердими та розтріскуються, а за високої температури влітку — розм'якшуються та перетворюються на липку масу.



Мал. 34.2. Під час вулканізації сіркою макромолекули каучуку «зшиваються» у тривимірну сітку

Для усунення недоліків каучуки піддають процесу вулканізації. *Вулканізація* — технологічний процес хімічної взаємодії каучуків із певним вулканізуючим агентом, частіше сіркою, а також пероксидами та оксидами металічних елементів тощо. Під час вулканізації відбувається «зшивання» молекул каучуку в єдину просторову тривимірну сітку, завдяки чому каучук стає міцнішим та еластичнішим, зменшується його розчинність (мал. 34.2).

Під час вулканізації до каучуків додають також наповнювачі, стабілізатори, пластифікатори тощо. Автомобільні шини мають чорний колір саме внаслідок додавання до каучуку сажі. У такий спосіб досягають світлостабільності цього матеріалу: сонячне світло поглинається сажею, а не каучуком, молекули якого руйнуються під дією сильного освітлення.

Вулканізацією каучуку одержують різні види *гуми*:

- м'яку гуму (містить 1–3 % сірки);
- напівтверду гуму (містить 10–15 % сірки);
- тверду гуму, або ебоніт (містить 30–50 % сірки).

М'яка та напівтверда гуми — еластичні матеріали. На відміну від них ебоніт (від грец. *ebenos* — чорне дерево) не виявляє еластичності. Він досить твердий і піддається механічній обробці. Сьогодні ебоніт зазвичай використовують лише як заміник дорогих матеріалів (чорного дерева, рогу тощо) для виготовлення перових ручок, гребінців, рукояток ножів, мундштуків духових музичних інструментів, прикрас тощо (мал. 34.3).



Мал. 34.3. Вироби з ебоніту



Мал. 34.4. Накладання латочки з каучуку на пробійну автомобільної камери для вулканізації

Процес вулканізації також використовують для ремонту автомобільних шин. Сирий каучук дуже еластичний та липне до предметів. Латочку з нього накладають на прокол у камері та піддають вулканізації, після чого пробійна затягується і зникає (мал. 34.4).

Процес вулканізації 1839 року винайшов та запатентував американський винахідник Чарльз Гуд'їр і назвав його на честь давньоримського бога вогню — Вулкана.



- Слово каучук походить від індіанського «кау» — дерево, «учу» — текти, плакати. Тобто каучук дослівно означає «сльози дерева».
- 1882 року американський хімік Ч. Макінтош під час дослідів із натуральним каучуком необережно пролив на халат його розчин у бензині. Через деякий час він помітив, що бризки води стікають по халату, а не просочують його. Халат став водонепроникним. Через рік Макінтош організував виробництво дощових плащів, які назвали його ім'ям — «макінтоші».



Ключова ідея

Додавання невеликих домішок певних речовин до полімерів може суттєво змінювати їхні фізико-хімічні властивості.



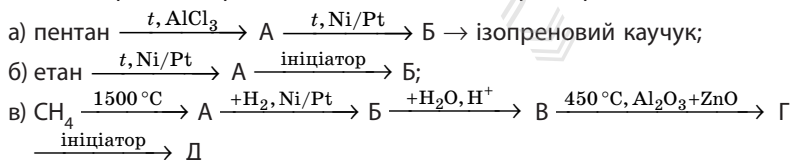
Контрольні запитання

525. Що таке еластомери?
526. Які матеріали називають каучуками?
527. Поясніть, чому для каучуків характерна еластичність.
528. Чим відрізняється натуральний каучук від синтетичного? Які існують види синтетичних каучуків? Чим вони відрізняються?
529. Що таке вулканізація? Які матеріали одержують вулканізацією каучуків? Чим відрізняються ці матеріали?



Завдання для засвоєння матеріалу

530. Запишіть рівняння реакцій для здійснення перетворень за схемами:



§ 35. Природні та хімічні волокна

Пригадайте: які реакції називають поліконденсацією.

Класифікація волокон

Із давніх-давен людина широко використовує природні волокнисті матеріали для виготовлення одягу та різних виробів домашнього вжитку. Деякі із цих матеріалів мають рослинне походження і складаються із целюлози (льон, бавовна), інші мають тваринне походження і складаються з білків (вовна, шовк).

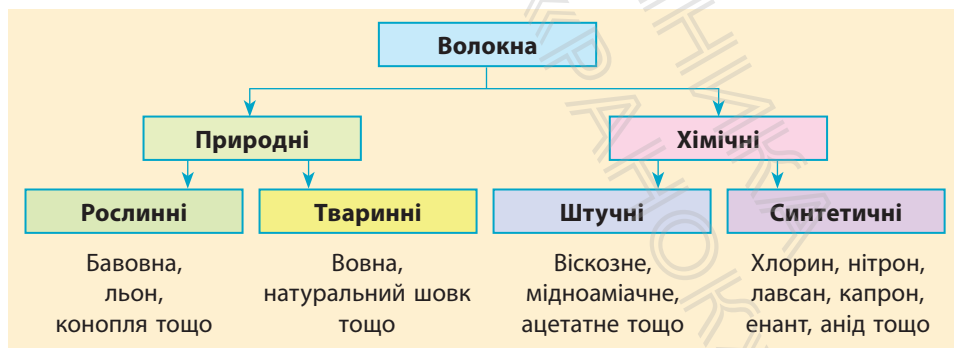
Зі збільшенням потреби населення в тканинах і розвитком промисловості постала проблема нестачі волокнистих матеріалів. Виникла необхідність отримання волокон хімічним способом.

Це можливо здійснити двома шляхами: із природних або синтетичних полімерів.

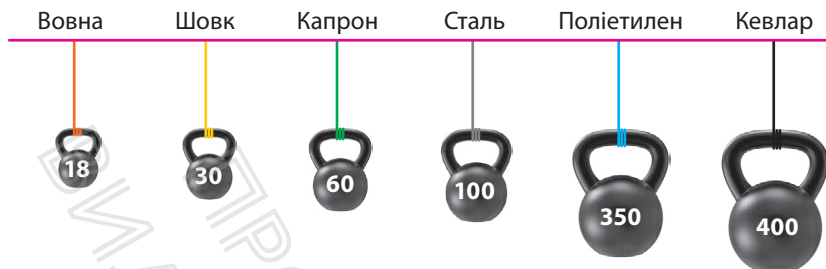
Оскільки волокна характеризуються впорядкованим, орієнтованим уздовж осі волокна розташуванням лінійних макромолекул, то можна взяти природний полімер неупорядкованої структури і шляхом певної обробки перебудувати в ньому розташування макромолекул, а саме укласти їх в одному напрямку. Волокна, утворені в такий спосіб, називають *штучними*.

Інший шлях — отримати полімер синтетичним способом, а потім здійснити в ньому потрібну укладку молекул. Такі волокна називають *синтетичними*.

Класифікація волокон



Багато хімічних волокон виявляють властивості кращі за природні, зокрема хімічні волокна міцніші (мал. 35.1, с. 210), еластичніші, стійкіші до умов середовища тощо.



Мал. 35.1. Порівняння максимального навантаження (кг), що витримують різні волокна з площею перерізу 1 мм²

Синтетичні волокна

Синтетичні волокна виготовляють із синтетичних полімерів, які одержують у ході реакцій поліконденсації.

1. Найлон (нейлон, анід). Полімер синтезують з адипінової кислоти $\text{HOOC}-(\text{CH}_2)_4-\text{COOH}$ та гексаметилендіаміну $\text{H}_2\text{N}-(\text{CH}_2)_6-\text{NH}_2$.

Особливості волокна: низький коефіцієнт тертя, не руйнується розбавленими розчинами кислот та лугів, але швидко руйнується на повітрі за температури вище 100 °С та під час ультрафіолетового опромінювання.

Найлон застосовують для створення плівок або тонкого покриття для поверхонь, що труться, для зменшення тертя, зокрема підшипників, зубних протезів; виготовляють струни для музичних інструментів, нитки, сумки, рукавички тощо (мал. 35.2).

2. Капрон. Мономер — 6-аміногексанова кислота.

Особливості волокна: міцність, еластичність (краща за шовк), стійкість до тертя та багаторазової деформації (згинання), не погли-



Мал. 35.2. Вироби з найлону: струни для гітари, зубні протези, кабельні стяжки, торбинки



Мал. 35.3. Вироби з капрону: канат, тюль, господарська сумка

нає вологи, не злежується, не гниє. Але капрон малостійкий до дії кислот, має порівняно невелику теплостійкість (плавиться за 215 °С).

Із капрону виготовляють канати, риболовні сітки та ліску, кордну тканину для армування авто- та авіашин, одяг, зубчасті колеса для механізмів, парашути (мал. 35.3).

3. Хлорин. Мономер — хлороетен. За рахунок додаткового хлорування формула полімеру $(-\text{CHCl}-\text{CHCl}-)_n$.

Особливості волокна: висока стійкість до дії кислот та лугів, не окиснюється (навіть царською водою), не горить, зносостійке, покриття з нього має водовідштовхувальні властивості. Але в хлорину низька еластичність, а одяг з нього недостатньо гігієнічний.

Хлорин застосовують переважно для технічних цілей: виготовляють фільтрувальні тканини для промислових хімічних реакторів, прокладні матеріали.

4. Нітрон (поліакрилонітрил). Мономер — акрилонітрил $\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CN}$.

Особливості волокна: за зовнішнім виглядом подібне до вовни, добре зберігає теплоту, міцне, світлостійке.



Мал. 35.4. Вироби з нітрону: костюмна тканина, штучне хутро, плед



Мал. 35.5. Вироби з лайкри: спортивний одяг, костюм людини-павука

Нітрон застосовують для виготовлення костюмів, светрів, спортивного одягу, штучного хутра, ковдр, оббивних матеріалів, брезенту, порт'єрних тканин (мал. 35.4, с. 211).

5. Лавсан. Мономери — терефталева кислота $\text{HOOC-C}_6\text{H}_4\text{-COOH}$ та етиленгліколь.

Особливості волокна: міцність, стійкість до дії високих температур, світла та хімічних реагентів, тканини з нього не мнуться.

Із лавсану виготовляють переважно легкий одяг — плаття та сорочки, а в суміші з вовною виготовляють тканини для пальт та костюмів.

6. Лайкра (еластан, спандекс). Поліуретанове волокно.

Особливості волокна: тканини з лайкри дуже еластичні та обтягують тіло, вони легкі й тонкі, майже не мнуться та не деформуються. Але лайкра руйнується під впливом хлорованої води та під дією ультрафіолетового опромінення. Купальний костюм із лайкри після басейну з хлорованою водою стає в деяких місцях прозорим та витягується.

Використовують для пошиття трикотажних виробів, що обтягують тіло, — легінсів, спортивного одягу тощо. Лайкру додають до інших тканин для збільшення їхньої еластичності (мал. 35.5). Одяг із лайкри дуже ефектний, тому його часто обирають співаки для своїх шоу.

7. Кевлар. Мономери — бензендіамін $\text{NH}_2\text{-C}_6\text{H}_4\text{-NH}_2$ та терефталева кислота $\text{HOOC-C}_6\text{H}_4\text{-COOH}$.

Особливості волокна: висока міцність, стійкість до зношування та точкових ударів.

Застосовують для виготовлення армувальних тканин для автомобільних шин та деяких деталей автомобілів, мідних та волокон-



Мал. 35.6. Вироби з кевлару: армувальне покриття деталей автомобіля, кевларовий захист в оптичних кабелях, кевларовий шолом

но-оптичних кабелів, захисних вставок для спортивних рукавичок (мотоспорт, сноубординг), засобів індивідуального захисту (бронешоломи, бронежилети) (мал. 35.6).

- Натуральний шовк тчуть із шовкових ниток, які розмотують із коконів шовковичних гусениць. Оскільки шовкові нитки мають тваринне походження, то вони містять білок. Штучний шовк одержують із деревини, як папір. Тому в разі спалювання штучний шовк пахне горілим папером, а справжній шовк — як палений білок.
- Із капрону можна виготовити настільки тонку нитку, що вона завдовжки 9 км матиме масу лише 1 г.



Ключова ідея

Хімічні волокна за багатьма параметрами перевершують природні аналоги і дозволяють вирішувати різноманітні проблеми.



Контрольні запитання

- 531.** Схарактеризуйте класифікацію волокон. На яких ознаках вона ґрунтується?
- 532.** Поясніть, чим відрізняються штучні та синтетичні волокна. Наведіть приклади штучних та синтетичних волокон.
- 533.** Перелічіть синтетичні волокна та галузі їхнього застосування.



Завдання для засвоєння матеріалу

- 534.** До якої групи полімерів відносять капронове волокно за різними класифікаційними ознаками?

- 535.** У чому переваги хімічних волокон перед натуральними?
- 536.** Чи можливо замінити натуральні волокна хімічними в усіх галузях застосування волокон?
- 537.** Що є спільного та відмінного між найлоном та поліетиленом?

Мініпроекти

- 538.** Дослідження волокон різного походження.

Дослід 1. Вовну одержують із волосяного покриву овець, кіз та інших тварин. Отже, вона містить білок. Якщо шерстяну нитку підпалити, то пошириться запах паленого білка. Бавовну одержують із рослин, і якщо її підпалити, то відчуєте зовсім інший запах — запах паленого паперу. Випробуйте яку-небудь тканину. Зробити це дуже просто — потрібно висмикнути з неї кілька ниток і спалити. За запахом легко визначити тканину: вовна чи бавовна.

Дослід 2. У кабінеті хімії разом з учителем виконайте експериментальний проєкт. Під час роботи дотримуйтеся правил безпеки. Розрізнити вовняне та бавовняне волокна можна й іншим способом. Помістіть у пробірку з розчином натрій гідроксиду шматок вовняної тканини й обережно нагрійте розчин. За певний час волокна вовни зруйнуються. В аналогічному досліді з бавовняною тканиною такого не відбудеться, оскільки білки, на відміну від полісахаридів, гідролізуються за наявності лугів.

Навчальні проєкти до теми

«Синтетичні високомолекулярні сполуки»

- 23.** Синтетичні волокна: їхнє значення, застосування в побуті та промисловості.
- 24.** Рециклінг як єдиний цивілізований спосіб утилізації твердих побутових відходів.
- 25.** Переробка побутових відходів в Україні та розвинених країнах світу.
- 26.** Перспективи одержання та застосування полімерів із наперед заданими властивостями.
- 27.** Дослідження маркування виробів із полімерних матеріалів і пластмас.
- 28.** Виготовлення виробів із пластикових пляшок.



Тестові завдання за темою «Синтетичні високомолекулярні речовини і полімерні матеріали на їх основі».

ТЕМА 6. БАГАТОМАНІТНІСТЬ ТА ЗВ'ЯЗКИ МІЖ КЛАСАМИ ОРГАНІЧНИХ РЕЧОВИН

§ 36. Взаємозв'язок між органічними речовинами

Пригадайте: взаємозв'язок між вуглеводнями (за § 12).

Багатоманітність органічних сполук

Протягом цього навчального року ви вивчали сполуки різних класів органічних речовин. Ще на початку ми зазначили, що органічних сполук існує значно більше за неорганічні й вони набагато різноманітніші. І ви вже могли у цьому переконатися.

Причинами багатоманітності органічних сполук є:

- **утворення атомами Карбону гомоланцюгів** — ланцюгів з атомів одного хімічного елемента. Карбон — унікальний хімічний елемент, що може утворювати енергетично стабільні гомоланцюги. Існують також інші елементи, для яких характерні гомоланцюги, але не настільки стабільні й довгі, як у Карбону;

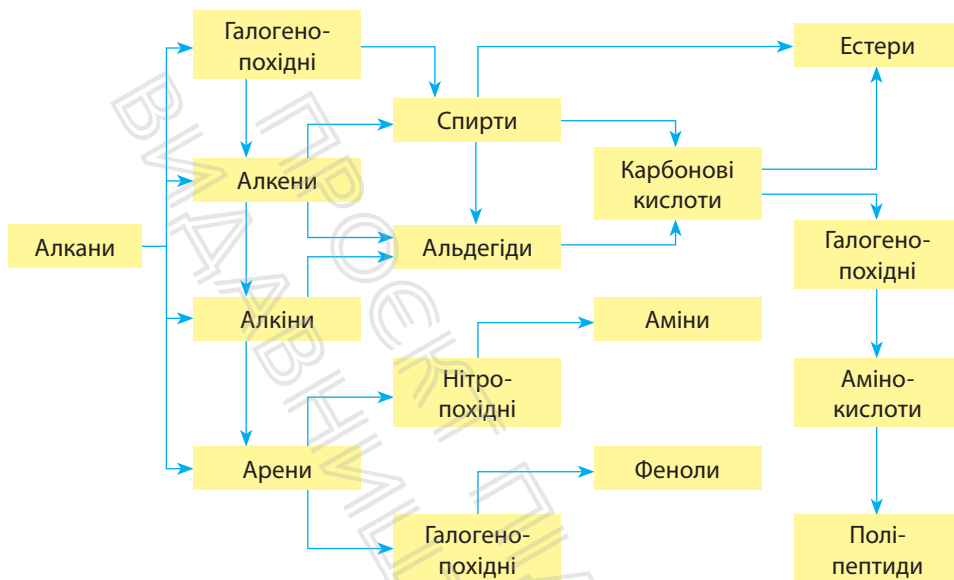
- **існування сполук із простими та кратними зв'язками.** Можливість утворення подвійного чи потрійного зв'язку в молекулах збільшує число можливих органічних речовин та урізноманітнює класи сполук;

- **існування ізомерів.** Чим більше атомів (однакових чи різних) міститься в молекулі, тим більше існує можливих комбінацій їхнього сполучення. Так, не всі ізомери можуть існувати тривалий час, і не всі вони матимуть цінність для людини. Але ізомерія — досить суттєвий чинник, що сприяє урізноманітненню й збільшенню числа органічних сполук;

- **існування сполук із різними характеристичними групами.** Характеристичні групи можуть утворювати атоми майже будь-яких хімічних елементів, навіть металічних, що зумовлює існування величезного числа класів органічних сполук, значно більшого, ніж вивчають у школі;

- **хімічні реакції в живих організмах.** На перший погляд здається, що в живих організмах сполук не так уже й багато (білки, вуглеводи тощо). Але це не так. Наприклад, лише білків існує велика кількість різновидів: майже 20 амінокислот можуть утворювати поліпептидні ланцюги різної довжини, із різним амінокислотним складом, різною їхньою послідовністю. Це також стосується інших органічних сполук у живих організмах.

різноманітні, але для вивчених вами класів сполук схему їхніх взаємозв'язків можна зобразити так:



Грунтуючись на знаннях про взаємозв'язки між різними класами сполук, про їхні властивості та методи одержання, можна спланувати й здійснити майже будь-які перетворення. Цим користуються хіміки-органіки для синтезу нових, ще невідомих сполук. Наприклад, ураховуючи наведену схему можна виявити такі *генетичні зв'язки* між класами органічних сполук:

А Алкан → галогеноалкан → спирт → альдегід → карбонова кислота → естер.

Б Алкан → алкін → алкен → спирт → альдегід → карбонова кислота → галогенопохідна карбонової кислоти → амінокислота → естер → амінокислота → поліпептид.

В Проста речовина → карбід → алкін → альдегід → спирт → естер.

Американське хімічне товариство (American Chemical Society, ACS) починаючи від 1907 року видає реферативний журнал «Хімічні реферати» (Chemical Abstracts), де зібрано реферати всіх наукових публікацій світу. Це товариство також має підрозділ «Хімічна реферативна служба» (Chemical Abstracts Service, CAS), що веде облік усіх відомих хімічних сполук. За даними цієї служби, 1990 року було відомо близько 8 млн органічних сполук, 1999 року їхня кількість збільшилася до 12 млн, а 2014 року — до 87 млн. На початок 2023 року у цій службі зареєстровано близько 204 мільйонів речовин, сполук, сплавів, мінералів, сумішей, полімерів і солей, більшість із яких — органічні сполуки.



**Ключова ідея**

У природі може існувати безліч органічних речовин, між якими існують складні взаємозв'язки, що характеризують властивості та методи одержання класів органічних сполук.

**Контрольні запитання**

539. Наведіть причини багатоманітності органічних сполук.

540. Схарактеризуйте взаємозв'язок між органічними та неорганічними речовинами, між класами органічних сполук.

**Завдання для засвоєння матеріалу**

541. Запишіть рівняння реакцій для ілюстрації схеми взаємозв'язку органічних та неорганічних сполук, наведеної у параграфі.

542. Складіть схеми генетичних зв'язків **А**, **Б** і **В** (с. 217) на прикладі конкретних сполук та запишіть рівняння реакцій для їх здійснення.

Завдання для розвитку критичного мислення

543. Проаналізуйте, як можна зіставити причини багатоманітності органічних сполук, перелічених у цьому параграфі, із такими: а) існування гомологів; б) різний характер карбонових ланцюгів: нерозгалужені, розгалужені та циклічні; в) різноманітність елементів, що містяться у складі органічних сполук (N, O, P, S тощо).

§ 37. Біологічно активні речовини

Пригадайте: із курсу біології, які речовини називають ферментами, гормонами, вітамінами; їхня різноманітність та значення.

Поняття про біологічно активні речовини

Біологічно активні речовини (БАР) — хімічні речовини, що виявляють високу фізіологічну активність за малих концентрацій.

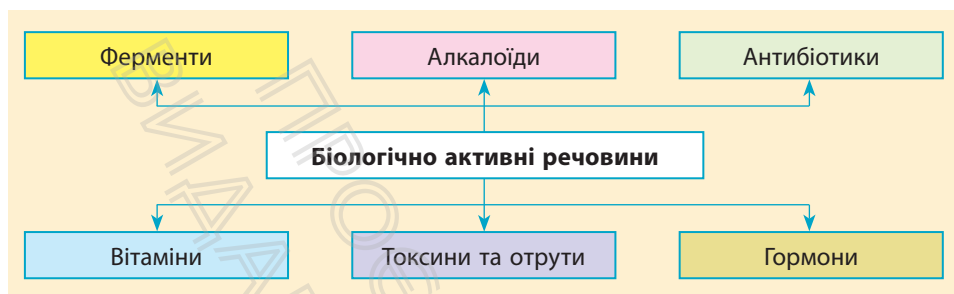
Свою фізіологічну активність речовини можуть виявляти до певної групи рослин чи тварин (але зазвичай мають на увазі людину) або до певних груп клітин (тканин). Фізіологічну активність речовин можна використовувати для лікування або підтримання нормальної життєдіяльності організму.



Дороти Кроуфорт-Ходжкін (1910–1994)

Досліджувала хімічну будову біологічно активних речовин.

З-поміж біологічно активних речовин виділяють кілька груп. Ця класифікація не має чіткого хімічного підґрунтя, вона спирається більше на фізіологічну дію та походження речовин.



Дослідження хімічної будови біологічно активних речовин — досить складна експериментальна задача, до розв’язання якої доклали зусиль багато вчених. Серед них видатна вчена, лауреатка Нобелівської премії Дороті Ходжкін.

Ферменти

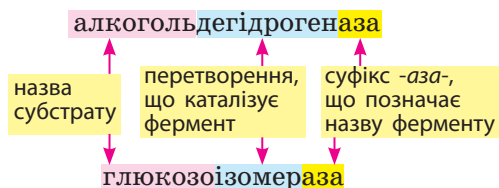
Ферменти, або *ензими*, — біологічні каталізатори, вони каталізують усі хімічні процеси, що відбуваються в живих організмах. Терміни «фермент» та «ензим» — синоніми, перший почали застосовувати в німецькомовних наукових статтях, а другий — у франко- та англомовній літературі.

Для ферментів характерна висока специфічність: для кожної хімічної реакції існує свій фермент. Унаслідок цього склалася традиція в називанні ферментів: у назві позначають субстрат (речовину або клас речовин, перетворення якої каталізує фермент), хімічне перетворення та додають суфікс *-аза*.



**Олександр Якович
Данилевський (1838–1923)**

Основні праці присвячені дослідженню ферментів, хімії білків і питанням травлення.

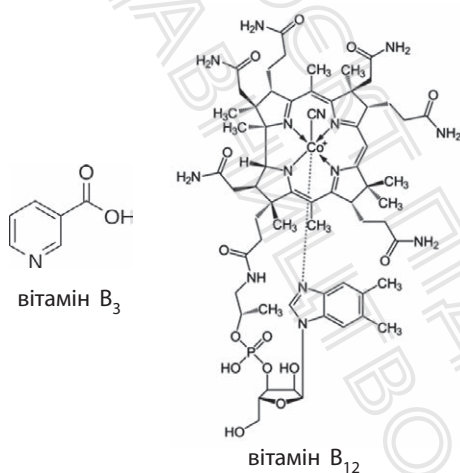


— фермент, що каталізує окиснення (дегідрогенізацію) спиртів (алкоголів)

— фермент, що каталізує ізомеризацію глюкози

Вітаміни

Вітаміни — низькомолекулярні органічні сполуки різноманітної хімічної природи. У вітамінів відсутні певні спільні ознаки в хімічній будові. Наприклад, найпростіший за хімічною будовою вітамін B_3 (нікотинава кислота) та найскладніший — вітамін B_{12} (ціанокобаламін):



Ці речовини об'єднує те, що вони необхідні для будь-якого організму (зокрема, організму людини). Наш організм не здатний синтезувати певні речовини, необхідні для нормального функціонування ферментів. Ці речовини ми називаємо вітамінами і маємо обов'язково вживати їх із їжею. Надлишок або нестача вітамінів у їжі спричиняє розвиток захворювань.



Ключова ідея

Багато органічних сполук виявляють певну фізіологічну дію. Без деяких біологічно активних речовин не можлива життєдіяльність організму, інші використовують у різних галузях: медицина, харчова промисловість тощо.



Надія Максимівна Гула
(народилася 1939)

Досліджує властивості біологічно активних речовин: вітамінів, гормонів тощо.



Олександр Володимирович Палладін
(1885–1972)

Досліджував біохімію вітамінів та травлення.

Лінгвістична задача

- Латиною *fermentum* означає «закваска». Таке саме значення має грецьке слово *зυμη*, а грецьке *εν-* означає «у чомусь». Чому, на вашу думку, терміни «ферменти» та «ензими» — назви біологічних каталізаторів — є синонімами?
- Грецької мовою *ορμαο* означає «збуджую». Як ви вважаєте, чому саме від цього слова походить термін «гормони»?



Контрольні запитання

- 544.** Які речовини називають біологічно активними? Наведіть приклади.
- 545.** Що таке ферменти, вітаміни, гормони, алкалоїди?
- 546.** Наведіть приклади представників кожної групи біологічно активних речовин, їх поширеність, біологічну роль або застосування.



Завдання для засвоєння матеріалу

- 547.** Запишіть рівняння реакції, що відбувається з етанолом та метанолом за наявності ферменту алкогольдегідрогенази.
- 548.** На сторінках підручника в рубриці «Хімія навколо нас» знайдіть ті факти, де йдеться про біологічно активні речовини.

Завдання для розвитку критичного мислення

- 549.** Прочитайте епіграф до підручника. Грунтуючись на знаннях про властивості органічних сполук, вивчених протягом навчального року, доведіть або спростуйте думку автора.
- 550.** Прочитайте вислів до завдання 92. Обговоріть питання, чи є існування ферментів доведенням вислову М. Д. Зелінського.
- 551.** За інформацією цього параграфа та § 23 обґрунтуйте необхідність вживання харчових продуктів, що містять вітаміни А, D та Е.
- 552.** За інформацією цього параграфа обґрунтуйте необхідність вживання в їжу йодованої кухонної солі, а також наслідки йододефіциту, особливо в дитячому віці.

§ 38. Роль органічної хімії у розв'язанні проблем людства

Створення нових матеріалів

Створення нових матеріалів — актуальне завдання сьогодення. У сучасних технологіях часто використовують великий тиск, температуру й агресивну дію хімічних речовин. Матеріали з новими, покращеними властивостями мають замінити застарілі, недостатньо стійкі й міцні. Нових матеріалів вимагають і високотехнологічні галузі: космічна й атомна техніка, електроніка. Для практичних потреб необхідні такі матеріали, як полімери, барвники, волокна.

Із розвитком медицини виникла потреба в заміні частини органів та тканин в організмах. Матеріали, які можна використовувати для виготовлення різноманітних імплантів, створюють у хімічних лабораторіях (мал. 38.1).



Мал. 38.1. Сучасні біоматеріали використовують для виготовлення штучних суглобів (а) та багатофункціональних протезів кінцівок (б)



Мал. 38.2. Використання композитних матеріалів: вуглецеву тканину (вуглеволокно) (а) використовують для армування деталей спортивних велосипедів та автомобілів (б), склопластиком (склотканиною) армують акрилові ванни (в) тощо

Особливе місце серед нових матеріалів посідають *композити* — матеріали, що складаються із пластмасової основи (матриці) і наповнювача. За багатьма властивостями — міцністю, в'язкістю тощо — композити набагато перевищують традиційні матеріали, завдяки чому потреби суспільства в них невпинно збільшуються (мал. 38.2). На створення композитів витрачають дедалі більше зусиль і ресурсів, а головними споживачами композитів сьогодні є автомобільна й космічна галузі.



**Йоган Фрідріх Вільгельм
Адольф фон Байер
(1835-1917)**

Уперше здійснив штучний синтез барвника індиго.

Синтетичні барвники

Природні барвники — це органічні сполуки, які виробляють живі організми і які забарвлюють тваринні й рослинні клітини і тканини. Переважно це сполуки жовтих, коричневих, чорних і червоних кольорів, серед них дуже мало синіх і фіолетових, а зелені майже не трапляються. Хлорофіл — один із небагатьох природних зелених барвників, до того ж нестійкий.

До другої половини XIX століття доступними були лише природні барвники. Уперше штучно барвник було отримано 1883 року — у лабораторії був синтезований індиго Адольфом Байером. Сучасна промисловість виробляє тисячі синтетичних барвників різноманітного складу будь-якого кольору й відтінку. Їх застосовують для фарбування волокон і різних текстильних матеріалів, шкіри, хутра, паперу, деревини тощо (мал. 38.3). Розчинні в органічних розчинниках синтетичні барвники використовують для забарвлення бензинів, парафіну,



Мал. 38.3. Різноманітні барвники використовують у виробництві тканин, пластмас, лаків і фарб, а харчові барвники — у харчовій промисловості



Борис Маркович Красовицький (1916–2008)

Зробив вагомий внесок у створення та промислове виробництво в Україні штучних барвників.



Андрій Іванович Кіпріанов (1896–1972)

Зробив вагомий внесок у пошук та створення нових штучних барвників.

спиртів, восків, олій, пластмас, гум. Останнім часом багато зусиль витрачається на розробку барвників, які можна використовувати для виготовлення рідкокристалічних дисплеїв, в електронній техніці.

Створенню нових барвників присвячено багато досліджень по всьому світі. В Україні цей напрямок розробляється у багатьох наукових школах, зокрема в Інституті органічної хімії (м. Київ), Київському національному університеті імені Тараса Шевченка, Фізико-хімічному інституті імені О. В. Богатського (м. Одеса), Інституті монокристалів (м. Харків), Харківському національному університеті імені В. Н. Каразіна. Зі створенням та промисловим виробництвом пов'язано багато імен наших співвітчизників: Б. М. Красовицького, А. І. Кіпріанова тощо.

Сировинна проблема

Людство добуває дедалі більше природних копалин для виготовлення нових речовин і матеріалів. За останні п'ять років корисних копалин було добуто більше, ніж за всю історію людства. Уже сьогодні багато країн відчувають брак окремих видів сировинних ресурсів. В Україні, наприклад, не вистачає нафти й природного газу.

Для розв'язання сировинної проблеми останніми десятиліттями активно розвивається новий напрямок хімії — «Зелена хімія» (Green Chemistry), метою якого є розвиток замкнених технологій, безпечних для навколишнього середовища. У світі також прийнята й реалізується *концепція сталого розвитку* (мал. 38.4). Вона передбачає такі принципи природокористування, які дозволять «передати» нашу планету нащадкам невиснаженою та забезпечити їхній розвиток, а не примусити їх розв'язувати численні екологічні проблеми.



Мал. 38.4. Концепція сталого розвитку є результатом балансу трьох основних складових: економічної, соціальної та екологічної

Хіміки пропонують методи комплексного та раціонального використання сировини, її комплексної переробки, ліквідації відходів, багато з яких завдають шкоди навколишньому середовищу і здоров'ю людини.

Енергетична проблема

Забезпеченість енергією є найважливішою умовою соціально-економічного розвитку будь-якої країни — її промисловості, транспорту, сільського господарства, сфер культури, побуту. Особливо багато енергії споживає хімічна промисловість. Хімічні виробництва (разом із нафтохімічними) є найбільш енергоємними галузями індустрії.



Мал. 38.5. Використання альтернативних джерел енергії та енергоощадних технологій дозволяє розв'язати глобальну енергетичну проблему

Випускаючи приблизно 7 % промислової продукції, вони споживають близько 13–20 % енергії, що витрачається всією промисловістю.

Джерелами енергії є переважно традиційні природні ресурси — вугілля, нафта, природний газ, торф, сланці. У різних країнах енергетичну проблему вирішують по-різному, і чималий внесок у її розв’язання робить саме органічна хімія.

Насамперед розвивається напрямок одержання біопалива — палива, придатного для використання в автомобілях, але виготовленого не з вичерпних копалин, а з рослинної сировини. Крім цього, створення нових матеріалів дасть змогу активно розвивати напрямки альтернативної енергетики. Це, зокрема, речовини для активного поглинання, перетворення та акумулювання сонячної енергії.



Ключова ідея

Потужним поштовхом розвитку органічної хімії є необхідність застосування нових речовин та технологій для розв’язання актуальних проблем людства.

Контрольні запитання

553. Схарактеризуйте роль органічної хімії у розв’язуванні сировинної, енергетичної, продовольчої проблем, створенні нових матеріалів.

Мініпроєкти

554. Назвіть продукти хімічних виробництв, які використовують у повсякденному житті.

555. Наведіть приклади несприятливого впливу хімічних речовин, технологій на навколишнє середовище або людину.

556. Опишіть, яким було б ваше життя, якби в ньому не було продуктів хімічного виробництва.

557. Схарактеризуйте роль органічної хімії у створенні нових матеріалів, розв’язанні енергетичної та сировинної проблем.

Навчальні проєкти до теми

«Багатоманітність та зв’язки між класами органічних сполук»

29. Найважливіші хімічні виробництва органічної хімії в Україні.

30. Доцільність і шкідливість біологічно активних добавок.

Алфавітний покажчик

А

Алкани 39, 40
Алкени 59
Алкіни 59
Альдегіди 10
Аміни 165
Амінокислоти 9, 181
Аналіз 15
Анілін 176
Ароматичні сполуки 67

Б

Бензен 67
Бензенове кільце 67
Білки 187
Біологічно активні
речовини 218
Бродіння
спиртове 155
молочнокисле 156

В

Вітаміни 221
Волокна синтетичні 209,
210
Вуглеводи 148
Вуглеводні 5, 28
Вулканізація 207

Г

Галогенування 42
Гідратація 64

Гідрогенгалогенування 63
Гідроліз 136
Гідрогенізація
(гідрування) 73
Глюкоза 152
Головний ланцюг 31
Гума 207

Д

Дегідратація 88
Дегідрогенізація
(дегідрування) 73
Денатурація білків 187

Е

Еластомери 205
Елементарна ланка 193
Емпірична формула 50
Естери 134
Естерифікація 128

Ж

Жири 140
Жирні кислоти 140

З

Замісник 31

І

Ізомерія 14
Ізомеризація 44

К

Карбоновий ланцюг 19
Каучуки 205
Кислоти карбонові 119
Класифікація
 органічних сполук 18
Кольорові реакції
 білків 188
Композитні матеріали 224
Концепція сталого
 розвитку 226
Крохмаль 160

Л

Локант 32

М

Мономер 196

О

Оксигеновмісні
 сполуки 5
Органічна хімія 4

Н

Нітрогеновмісні сполуки 5

П

Пептидний зв'язок 183

Пластмаси 199
Полімери 92
Поліконденсація 97
Полімеризація 197

Р

Родоначальна структура 31

С

Сахароза 159
Синтез 16
Систематична
 номенклатура 31
Спирти 79

Т

Термічний розклад 44
Термопластичність 194

Ф

Феноли 103
Ферменти 219

Х

Характеристична (функціо-
 нальна) група 20, 78

Ц

Целюлоза 160

Словник термінів

Алкани — насичені вуглеводні із загальною формулою C_nH_{2n+2} .

Алкени — ненасичені нециклічні вуглеводні, у молекулах яких є один подвійний зв'язок між атомами Карбону.

Алкіни — ненасичені нециклічні вуглеводні, у молекулах яких є один потрійний зв'язок між атомами Карбону.

Аміни — це похідні амоніаку, у молекулах якого один чи більше атомів Гідрогену заміщено на вуглеводневий залишок.

Амінокислоти — похідні карбонових кислот, у вуглеводневому залишку яких один чи кілька атомів Гідрогену заміщено на аміногрупу.

Альдегіди — похідні вуглеводнів, у молекулах яких міститься характеристична альдегідна група $-CHO$.

Аналіз (від грец. *analysis* — розкладання, розбирання) — у хімії це метод, за якого речовину досліджують для встановлення її хімічної будови, зокрема досліджуючи продукти її хімічних перетворень.

Бензенове кільце — цикл із шести атомів Карбону з особливим типом зв'язку між ними (ароматичним зв'язком).

Білки — природні високомолекулярні сполуки, молекули яких складаються із залишків молекул амінокислот, які сполучені один з одним пептидними зв'язками.

Біологічно активні речовини (БАР) — хімічні речовини, що виявляють високу фізіологічну активність за малих концентрацій.

Бродіння — біохімічний процес, що відбувається під дією ферментів, які виділяють живі організми.

Вуглеводи — органічні речовини, що за будовою є полігідроксильними сполуками і їхні молекули або молекули продуктів їх гідролізу містять групу $>C=O$.

Вуглеводні — органічні речовини, що містять лише атоми Карбону і Гідрогену.

Вуглеводні насичені — вуглеводні, у молекулах яких усі хімічні зв'язки одинарні.

Вуглеводні ненасичені — вуглеводні, у молекулах яких існують кратні зв'язки.

Гідратация — процес приєднання молекул води.

Гідрогенгалогенування — процес приєднання молекул галогеноводнів (HF , HCl , HBr , HI).

Гомологи — сполуки одного класу, що мають подібну будову, але відрізняються за складом на одну або кілька груп CH_2 .

Гомологічна різниця — група атомів CH_2 .

Гомологічний ряд — сукупність гомологів.

Дегідратация — процес відщеплення молекул води.

Дегідрогенізація, або дегідрування, — процес відщеплення молекул водню.

Дисахариди — вуглеводи, молекули яких складаються із двох залишків молекул моносахаридів.

Еластомери (каучуки) — природні або синтетичні високомолекулярні сполуки, що відрізняються від інших полімерів високою еластичністю, водонепроникністю.

Елементарна ланка — група атомів, що багаторазово повторюється в макромолекулі полімеру.

Естери — це похідні карбонових кислот із загальною формулою: $R-C(=O)O-R_1$ або $RCOOR_1$, де R та R_1 — будь-які вуглеводневі залишки.

Жири — це естери гліцеролу та жирних кислот.

Каталізатор — речовина, що бере участь у реакції і змінює її швидкість, але сама в реакції не витрачається.

Кислоти карбонові — похідні вуглеводнів, у молекулах яких міститься одна або кілька характеристичних карбоксильних груп $-COOH$.

Кислоти карбонові вищі — карбонові кислоти, молекули яких містять більше 12 атомів Карбону.

Мономер — низькомолекулярна речовина, із якої шляхом полімеризації або поліконденсації утворюється полімер.

Моносахариди — найпростіші вуглеводи, молекули яких складаються лише з однієї структурної ланки.

Органічна хімія — розділ хімії, що вивчає сполуки Карбону, їхні властивості та методи одержання.

Полімери — речовини, що складаються з великого числа структурних ланок, сполучених у довгі молекули хімічними зв'язками.

Поліконденсація — процес синтезу полімерів із поліфункціональних сполук, що супроводжується утворенням побічних низькомолекулярних речовин.

Полімеризація — процес синтезу високомолекулярної сполуки шляхом багаторазового приєднання молекул низькомолекулярної речовини до активного центру.

Полісахариди — вуглеводи, молекули яких складаються з великої кількості залишків молекул моносахаридів.

Синтез (від грец. *synthesis* — з'єднання, зв'язування) — у хімії це метод одержання певних речовин із необхідною хімічною будовою унаслідок хімічних реакцій.

Спирти — органічні сполуки, що містять одну чи кілька гідроксильних груп $-OH$, сполучених із насиченим атомом Карбону.

Спирти багатоатомні — спирти з кількома гідроксильними групами.

Спирти одноатомні — спирти з однією гідроксильною групою.

Термопластичність — властивість тіла змінювати свою форму за нагрівання і зберігати її після охолодження.

Характеристична група — атом або група атомів, що зумовлює характерні властивості органічних сполук та їхню належність до певного класу.

Феноли — клас ароматичних сполук, у яких група $-OH$ сполучена безпосередньо з бензеновим кільцем.

Додаток 1

Розрахункові формули, що використовують у хімії

Кількість речовини $n = \frac{N}{N_A}$ або $n = \frac{m}{M}$ або $n = \frac{V}{V_m}$

Масова частка елемента в сполуці $w(\text{елемента}) = \frac{N \cdot A_r(\text{елемента})}{M_r(\text{речовини})}$

або $w(\text{елемента}) = \frac{N(\text{елемента}) \cdot M(\text{елемента})}{M(\text{речовини})}$

Масова частка речовини в розчині $w(\text{речовини}) = \frac{m(\text{речовини})}{m(\text{розчину})}$

або $w(\text{речовини}) = \frac{m(\text{речовини})}{m(\text{води}) + m(\text{речовини})}$

Масова частка домішок або чистого реагенту в суміші:

$w(\text{чистого реагенту}) = \frac{m(\text{чистого реагенту})}{m(\text{техн. реагенту})} = \frac{m(\text{чистого реагенту})}{m(\text{домішок}) + m(\text{чистого реагенту})}$

$m(\text{домішок}) = \frac{m(\text{домішок})}{m(\text{техн. реагенту})} = \frac{m(\text{домішок})}{m(\text{домішок}) + m(\text{чистого реагенту})}$

$w(\text{чистого реагенту}) + w(\text{домішок}) = 1$

Густина $\rho = \frac{m}{V}$ та $\rho = \frac{M}{V_m}$

Відносна густина газу $D_A(B) = \frac{\rho(B)}{\rho(A)} = \frac{M(B)}{M(A)}$

Відношення індексів в емпіричній формулі речовини

Для речовини $C_xH_yO_z$ справедливо

$x:y:z = n(C):n(H):n(O)$ або $x:y:z = \frac{w(C)}{M(C)} : \frac{w(H)}{M(H)} : \frac{w(O)}{M(O)}$

Обчислення молярної маси речовини за загальною формулою гомологічного ряду:

Алкани $M(C_nH_{2n+2}) = 14n + 2$	Алкени $M(C_nH_{2n}) = 14n$	Алкини $M(C_nH_{2n-2}) = 14n - 2$
Арени $M(C_nH_{2n-6}) = 14n - 6$	Одноатомні спирти $M(C_nH_{2n+1}OH) = 14n + 18$	Альдегіди $M(C_nH_{2n}O) = 14n + 16$
Карбонові кислоти та естери $M(C_nH_{2n}O_2) = 14n + 32$	Багатоатомні спирти $M(C_nH_{2n+2}O_x) = 14n + 16x + 2$	Аміни $M(C_nH_{2n+3}N) = 14n + 17$

Відповіді на розрахункові задачі

- § 1. 7. 0,552; 1,03; 0,966; 0,897; 1,59. 8. 28 л; 16,8 л. 9. 0,56 л.
- § 4. 39. Cr_2O_3 . 40. Fe_2O_3 . 41. N_2O_3 . 42. C_3H_8 . 43. C_4H_{10} . 44. C_6H_6 .
45. $\text{C}_2\text{H}_7\text{N}$. 46. $\text{C}_2\text{H}_2\text{O}_4$. 47. $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}$. 48. $\text{C}_6\text{H}_7\text{N}$. 49. $\text{C}_4\text{H}_{10}\text{O}$.
50. H_2CO_3 .
- § 5. 69. C_2Cl_6 .
- § 6. 84. Чотири. 87. Метан CH_4 . 88. 11,2 л. 89. $\text{C}_8\text{H}_{18} = \text{C}_4\text{H}_{10} + \text{C}_4\text{H}_8$.
90. $\text{C}_6\text{H}_{14} = 2\text{C}_2\text{H}_4 + \text{C}_2\text{H}_6$. 91. 30,75 г.
- § 7. 102. а) C_3H_8 ; б) C_5H_{10} ; в) C_4H_6 ; г) C_7H_8 ; д) $\text{C}_4\text{H}_{10}\text{O}$. 103. C_8H_{16} .
104. C_8H_{10} . 105. CH_4 . 106. C_2H_6 . 107. А — $\text{C}_4\text{H}_9\text{Cl}$, Б —
 $\text{C}_8\text{H}_{16}\text{Cl}_2$ (один із можливих варіантів). 108. C_4H_8 . 109. C_2H_6 .
110. C_3H_8 . 111. Три. 112. C_5H_8 . 113. $\text{C}_{12}\text{H}_{24}$.
- § 8. 115. Три. 116. C_2H_2 . 117. C_6H_{12} . 118. C_5H_{12} . 119. C_4H_6 .
120. C_3H_8 . 121. C_2H_4 . 122. C_6H_{14} . 123. $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}$. 124. C_5H_{12} .
125. C_8H_{18} .
- § 9. 135. 1,5. 136. а) C_6H_{12} ; б) C_5H_8 ; в) C_3H_6 . 137. C_8H_{16} .
- § 10. 148. 39,25 г. 149. 1080 л. 150. а) 5,6 л; б) 11,2 л. 151. 91 г.
152. 74,25 г. 153. 7,52 г. 154. 80 %. 155. C_4H_8 . 156. 1,12 л.
- § 11. 166. 2,69 та 39. 167. 22,5 г. 168. 147 г. 169. $28,4 \cdot 10^6$ л.
- § 12. 176. 16,8 л. 177. а) 4,48 л; б) 8,96 л.
- § 13. 195. $\text{C}_5\text{H}_{11}\text{OH}$. 196. $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$. 197. $\text{C}_3\text{H}_7\text{OH}$.
- § 14. 206. 8,4 л. 207. 5,6 л та 2 кг. 208. 34 г. 209. 6,4 г. 210. 0,115 %.
212. 5,6 л. 213. а) 336 л; б) 168 л. 214. 0,92 г. 215. $\text{C}_4\text{H}_9\text{OH}$.
216. $\text{C}_3\text{H}_7\text{OH}$. 217. 1000 л та 714 г.
- § 15. 225. 112 л. 226. 448 л. 227. 78 %. 228. 4 %. 229. 1,8 %.
230. 10 %. 231. 300 г. 232. 0,5000 г.
- § 16. 243. 25,2 л. 244. 8 %. 245. 51,12 л. 246. 76. 247. 42,6 %
та 43,7 %. 250. $\text{C}_5\text{H}_{11}\text{OH}$.
- § 17. 263. 14,1 г. 264. 15 г. 265. 58 г. 266. 5 %. 267. 0,141 г.
- § 18. 281. CH_3CHO . 282. а) HCHO ; б) CH_3CHO . 283. $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}$.

- § 19. 290. 11,6 л. 291. 168 л. 292. 161 г. 293. 0,44 г. 294. 108 г.
295. 6,6 г. 296. 440 г.
- § 20. 308. $C_5H_8O_2$. 309. $C_2H_4O_2$. 310. $C_6H_{13}COOH$. 311. C_2H_5COOH .
- § 21. 319. 19,75 г. 320. 9,25 г. 321. 5600 л та 14 000 л. 322. $C_4H_8O_2$,
 C_3H_7COOH , 41,7 г. 323. 19,6 г. 324. 1840 г. 325. 57,4 г.
326. CH_3COOH .
- § 22. 349. 39,6 г. 350. 2,7 г та 1,44 г. 351. 4,44 г. 352. 285,6 г.
353. 145,6 л. 354. 110 г.
- § 23. 370. 76,85 %. 371. 34,96 г. 372. 3672 г. 373. 712 кг.
374. 456,96 л. 375. 0,182 г. 377. Один залишок, 4,48 л.
378. Пальмітинова.
- § 25. 397. 108 г. 398. 431,4 л. 399. 20 г. 400. 450 г. 401. 40 %.
402. 106. 403. 180 г. 404. 1,775 л. 405. 42 %.
- § 26. 414. 15,7 кг.
- § 27. 430. а) 8,96 л; б) 78,4 л. 431. CH_5N . 432. 6.
- § 28. 441. 6,75 г. 442. 46,5 г та 67,5 г. 443. 10,125 г. 444. C_2H_7N .
445. 90 г. 446. C_2H_7N .
- § 29. 461. 27,9 г. 462. 115,5 г. 463. 7 %. 464. 30 кг.
- § 30. 480. 30 г. 481. 23,7 л. 482. 40 %. 483. $C_2H_5NO_2$. 484. $C_3H_7NO_2$.
485. $C_4H_9NO_2$. 486. 23.
- § 31. 494. Амінопропанова. 495. 16 000, або 24 000, або 32 000
тощо.
- § 32. 508. 6302 г/моль. 509. 120. 510. 6.

Зміст

Повторення найважливіших питань курсу хімії 9 класу

- § 1. Повторення початкових понять про органічні речовини 4
Органічна хімія та органічні речовини. Метан та його гомологи — насичені вуглеводні. Етен та етин — ненасичені вуглеводні. Етанол, метанол, гліцерол — представники спиртів. Етанова кислота — представник карбонових кислот. Аміноетанова кислота. Застосування деяких органічних сполук

Тема 1. Теорія будови органічних сполук

- § 2. Теорія будови органічних сполук 12
Становлення теорії будови органічних сполук. Перший постулат. Хімічна будова. Другий постулат. Реакційна здатність сполук. Третій постулат. Ізомерія. Четвертий постулат. Аналіз і синтез.
- § 3. Класифікація органічних сполук 18
Класифікація органічних сполук за елементним складом. Класифікація органічних сполук за будовою карбонового ланцюга. Класифікація органічних сполук за видом зв'язку. Класифікація органічних сполук за наявністю характеристичних груп.
- § 4. Установлення молекулярної формули речовини за масовими частками елементів 22
Установлення молекулярної формули речовини за відомою масовою часткою елементів у сполуці. Установлення молекулярної формули речовини за відомою відносною молекулярною масою речовини. Установлення молекулярної формули небінарної сполуки за відомими масовими частками.

Тема 2. Вуглеводні

- § 5. Алкани: ізомерія та номенклатура 28
Структурна ізомерія алканів. Систематична номенклатура. Складання назв алканів за систематичною номенклатурою. Складання формул органічних сполук за їхньою назвою.
- § 6. Алкани: фізичні й хімічні властивості 39
Фізичні властивості алканів. Хімічні властивості алканів.
- § 7. Установлення молекулярної формули речовини 48
Установлення молекулярної формули речовин за загальною формулою гомологічного ряду. Установлення молекулярної формули речовин за відносною густиною. Установлення молекулярної формули речовин за густиною.
- § 8. Установлення молекулярної формули речовини 54
Установлення молекулярної формули за даними про продукти згоряння речовин. Установлення молекулярної формули за даними про реагенти та продукти реакції.
- § 9. Алкени й алкіни: гомологічні ряди, ізомерія, номенклатура 58
Поняття про алкени та алкіни. Гомологічні ряди алкенів і алкінів. Ненасичені вуглеводні: ізомерія та номенклатура.

§ 10. Етен та етин: хімічні властивості.....	63
Хімічні властивості етену та етину.	
§ 11. Бензен — найпростіший ароматичний вуглеводень.....	67
Поняття про ароматичні вуглеводні. Формула бензену. Фізичні властивості бензену. Хімічні властивості бензену. Застосування бензену.	
§ 12. Методи одержання вуглеводнів. Взаємозв'язок між вуглеводнями....	73
Одержання алканів. Одержання етену та етину. Одержання бензену. Взаємозв'язок між вуглеводнями.	
Тема 3. Оксигеновмісні органічні сполуки	
§ 13. Спирти: класифікація, ізомерія та номенклатура	78
Поняття про спирти. Номенклатура насичених одноатомних спиртів. Ізомерія насичених одноатомних спиртів.	
§ 14. Насичені одноатомні спирти: фізичні та хімічні властивості, методи одержання	84
Фізичні властивості спиртів. Вплив водневого зв'язку на фізичні властивості спиртів. Хімічні властивості насичених одноатомних спиртів. Одержання етанолу	
§ 15. Обчислення за хімічними рівняннями, якщо реагент містить домішки	93
Обчислення даних про продукт реакції, якщо реагент містить домішки. Обчислення масової частки домішок у реагенті. Обчислення маси реагенту, що містить домішки, необхідного для проведення реакції.	
§ 16. Багатоатомні спирти. Гліцерол	98
Поняття про багатоатомні спирти. Фізичні властивості гліцеролу. Хімічні властивості гліцеролу.	
§ 17. Фенол	102
Поняття про феноли. Фізичні властивості фенолу. Хімічні властивості фенолу. Застосування фенолу. Природоохоронні аспекти застосування фенолу.	
§ 18. Альдегіди.....	110
Поняття про альдегіди. Номенклатура насичених альдегідів. Гомологічний ряд насичених альдегідів. Ізомерія насичених альдегідів. Фізичні властивості альдегідів.	
§ 19. Етаналь: хімічні властивості та методи одержання.....	115
Хімічні властивості етаналу. Методи одержання етаналу.	
§ 20. Карбонові кислоти. Ізомерія та номенклатура. Фізичні властивості	119
Поняття про карбонові кислоти, класифікація. Гомологічний ряд насичених одноосновних карбонових кислот. Ізомерія та номенклатура насичених одноосновних карбонових кислот. Фізичні властивості насичених одноосновних карбонових кислот. Поширеність карбонових кислот у природі.	
§ 21. Насичені одноосновні карбонові кислоти: хімічні властивості та методи одержання	127
Хімічні властивості карбонових кислот. Одержання етанової кислоти	

Лабораторний дослід № 1. Виявлення органічних кислот у харчових продуктах.....	131
§ 22. Естери	134
Поняття про естери. Естери: ізомерія та номенклатура. Естери: фізичні властивості та поширеність у природі. Хімічні властивості естерів	
§ 23. Жири	140
Жири як естери. Фізичні властивості та класифікація жирів. Хімічні властивості жирів. Біологічне значення жирів.	
§ 24. Вуглеводи: поняття, класифікація та поширеність у природі	148
Поняття про вуглеводи та їхня класифікація. Вуглеводи в природі	
§ 25. Глюкоза	152
Формула глюкози. Фізичні властивості глюкози. Хімічні властивості глюкози. Глюкоза в природі	
Лабораторний дослід № 2. Окиснення глюкози свіжоодержаним купрум(II) гідроксидом	157
§ 26. Складні вуглеводи: сахароза, крохмаль, целюлоза	159
Сахароза. Крохмаль і целюлоза. Гідроліз крохмалю та целюлози	
Практична робота № 1. Розв'язування експериментальних задач.....	163
Тема 4. Нітрогеновмісні органічні сполуки	
§ 27. Аміни	166
Поняття про аміни. Будова аміногрупи. Номенклатура насичених амінів	
§ 28. Властивості насичених амінів	171
Фізичні властивості насичених амінів. Хімічні властивості насичених амінів	
§ 29. Анілін — представник ароматичних амінів.....	176
Структурна формула та будова молекули аніліну. Фізичні властивості аніліну. Хімічні властивості аніліну. Одержання та застосування аніліну	
§ 30. Амінокислоти	181
Поняття про амінокислоти. Номенклатура амінокислот. Фізичні властивості амінокислот. Хімічні властивості амінокислот. Біологічне значення амінокислот	
§ 31. Білки.....	187
Білки — похідні амінокислот. Хімічні властивості білків. Біологічне значення білків	
Лабораторні дослід № 3 та 4. Кольорові реакції білків	189
Тема 5. Синтетичні високомолекулярні речовини і полімерні матеріали на їхній основі	
§ 32. Високомолекулярні сполуки	192
Поняття про високомолекулярні сполуки та полімери. Властивості полімерів. Будова макромолекул. Реакції полімеризації та поліконденсації	

§ 33. Полімерні матеріали. Пластмаси	199
Поняття про пластмаси. Найпоширеніші полімери та полімерні матеріали. Проблема охорони довкілля від забруднення полімерними речовинами	
§ 34. Каучуки	205
Відкриття та види каучуків. Матеріали на основі каучуків. Вулканізація. Гума	
§ 35. Природні та хімічні волокна	209
Класифікація волокон. Синтетичні волокна	

Тема 6. Багатоманітність та зв'язки між класами органічних речовин

§ 36. Взаємозв'язок між органічними речовинами	215
Багатоманітність органічних сполук. Взаємозв'язок між органічними та неорганічними сполуками. Взаємозв'язок між класами органічних сполук	
§ 37. Біологічно активні речовини	218
Поняття про біологічно активні речовини. Ферменти. Вітаміни.	
§ 38. Роль органічної хімії у розв'язанні проблем людства	222
Створення нових матеріалів. Синтетичні барвники. Сировинна проблема. Енергетична проблема	
Алфавітний покажчик	227
Словник термінів	229
Додаток 1	231
Відповіді на розрахункові задачі	232

ОСОБЛИВОСТІ ПІДРУЧНИКА:

- поєднання традиційного викладання із сучасним компетентнісним підходом
- подання нового матеріалу ґрунтується на встановленні закономірностей
- авторська система завдань, диференційованих за когнітивною складністю
- велика кількість компетентнісно орієнтованих завдань
- алгоритми виконання всіх лабораторних дослідів і практичних робіт
- науковість і доступність
- зв'язок із життям, цікавий додатковий матеріал
- українознавчий матеріал

ЕЛЕКТРОННИЙ ІНТЕРАКТИВНИЙ ДОДАТОК ДОЗВОЛИТЬ:

- здійснити онлайн-тестування за кожною темою

ВИДАВНИЦТВО
РАНОК