

О. В. Григорович

ХІМІЯ

Рівень стандарту

10

Підручник для 10 класу
закладів загальної середньої освіти

КЛАС

Рекомендовано
Міністерством освіти і науки України

Харків
Видавництво «Ранок»
2018

УДК [54:37.016](075.3)
Г83

Рекомендовано Міністерством освіти і науки України
(наказ Міністерства освіти і науки України від 11.10.2018 № 1085)

Видано за рахунок державних коштів. Продаж заборонено

Григорович О. В.
Г83 Хімія (рівень стандарту) : підруч. для 10 класу закл. загал. серед. освіти / О. В. Григорович. — Харків : Вид-во «Ранок», 2018. — 240 с. : іл.

ISBN 978-617-09-4782-6

УДК [54:37.016](075.3)



Інтернет-підтримка

Електронні матеріали
до підручника розміщено на сайті
interactive.ranok.com.ua

ISBN 978-617-09-4782-6

© О. В. Григорович, 2018
© Ю. Г. Кот, К. В. Кот, фотографії, 2018
© ТОВ Видавництво «Ранок», 2018

Любов вища за зло і добро, зло і добро вищі за істину,
істина вища за розум, розум вищий за любов,
але все це — хімія взаємодії природних елементів.

Олексій Погребний-Александров

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;



— посилання на електронний додаток.

Електронний додаток до підручника

На сторінках підручника ви знайдете посилання на сторінку Інтернету **interactive.ranok.com.ua**, де розміщено електронні матеріали до підручника: додаткову інформацію до параграфів, біографії вчених, відео хімічних дослідів та тестові завдання для контролю знань за вивченими темами. Також можна скористатися QR-кодами, які розпізнаються спеціальними безкоштовними програмами, що можна встановити на ваш планшет або смартфон.

§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 добування.

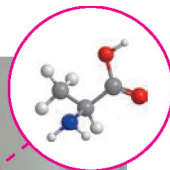
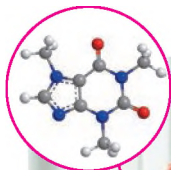
Головне завдання органічної хімії сформулював ще 1853 року Ш. Жерар: добування органічних речовин поза життєдіяльності організмів. Так, сьогодні не можна уявити наше життя без органічних сполук: майже все навколо нас і ми самі складаємося з численних різноманітних речовин (мал. 1.1).

Основні ознаки органічних сполук:

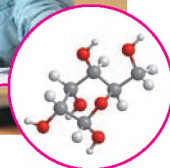
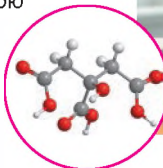
- складаються з атомів Карбону, Гідрогену, часто містять Нітроген, Оксиген (елементи-органогени), хоча можуть містити атоми й інших елементів;
- атоми Карбону в молекулах сполучені між собою в карбонові ланцюги;

Кофеїн — органічна нітрогеновмісна сполука

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



Волосся складається з білків, які утворені із залишків молекул амінокислот



Одяг і папір складаються із целюлози, яка, у свою чергу, складається із залишків молекул глюкози

Мал. 1.1. Органічні сполуки навколо нас

- між атомами в молекулах переважно неполярні або слабополярні 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;
- під час нагрівання вище за 300°C зазвичай розкладаються.

Серед органічних речовин виділяють багато різних груп та класів, тому їх 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 тільки 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 ознайомилися з десятьма першими представниками цього ряду (табл. 1). Назви гомологів метану є основою систематичної номенклатури органічних сполук, тому важливо їх добре 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 тільки якісний і кількісний склад речовин. Для органічних сполук набагато важливіше знати не молекулярні формули, а структурні, оскільки саме будова молекули речовини визначає її властивості.

Під час складання структурних формул алканів спочатку зображують ланцюг з атомів Карбону. Потім дописують атоми Гідрогену так, щоб кожний атом Карбону утворював по чотири хімічні зв'язки (оскільки Карбон в органічних сполуках завжди 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.

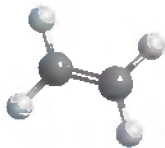
Таблиця 2. Фізичні й хімічні властивості метану та його гомологів

Фізичні властивості	Хімічні властивості
• $\text{CH}_4 - \text{C}_4\text{H}_{10}$ — гази без запаху • $\text{C}_5\text{H}_{12} - \text{C}_{16}\text{H}_{34}$ — рідини зі специфічним запахом • $\text{C}_{17}\text{H}_{36} - \text{C}_\infty$ — 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 завдяки наявності в їхніх молекулах кратних зв'язків (подвійного або потрійного), унаслідок чого вони приєднують молекули інших речовин (насичуються). Основні характеристики та властивості етену й етину наведено в таблиці 3.

Таблиця 3. Характеристики та властивості етену й етину

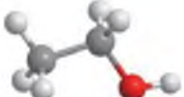
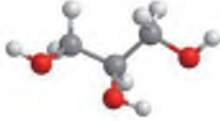
Характеристика	Етен	Етин
Молекулярна формула	C_2H_4	C_2H_2
Структурна формула	$\begin{array}{c} H & & H \\ & \backslash & / \\ & C = C \\ & / & \backslash \\ H & & H \end{array}$	$H-C \equiv C-H$
Скорочена структурна формула	$CH_2=CH_2$	$CH \equiv CH$
Модель молекули		
Фізичні властивості	• Газуваті за звичайних умов • безбарвні • погано розчиняються у воді, але добре розчиняються в органічних розчинниках • не мають 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:	
	$C_2H_4 + H_2 \xrightarrow{t, Ni} C_2H_6$	$C_2H_2 + H_2 \xrightarrow{t, Ni} C_2H_4$ $C_2H_2 + 2H_2 \xrightarrow{t, Ni} C_2H_6$
	• галогенування — приєднання галогенів Cl_2 або Br_2 — відбувається за звичайних умов:	
	$C_2H_4 + Cl_2 \rightarrow C_2H_4Cl_2$	$C_2H_2 + Cl_2 \rightarrow C_2H_2Cl_2$ $C_2H_2 + 2Cl_2 \rightarrow C_2H_2Cl_4$

Етанол, метанол, гліцерол — представники спиртів

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

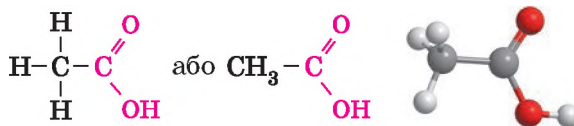
Ця гідроксильна група наявна в молекулах усіх спиртів. У назвах спиртів наявність гідроксильної групи —OH позначають суфіксом *-ол-*. Характеристики деяких спиртів наведено в таблиці 4.

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	$\text{CH}_3\text{—OH}$	$\text{CH}_3\text{—CH}_2\text{—OH}$	$\begin{array}{c} \text{CH}_2\text{—CH—CH}_2 \\ \quad \quad \\ \text{OH} \quad \text{OH} \quad \text{OH} \end{array}$
Модель молекули			
Фізичні властивості	• Безбарвні рідини • леткі • легші за воду • необмежено розчиняються у воді • добре змішуються з органічними речовинами • пекучі на смак • отруйні		• Безбарвна сиропоподібна рідина • нелеткий • важчий за воду • необмежено розчиняється у воді • дуже в'язкий • без запаху • гігроскопічний • солодкий

Етанова кислота — представник карбонових кислот

Етанову кислоту відносять до класу карбонових кислот завдяки наявності у складі її молекули карбоксильної групи —COOH :



Властивості етанової кислоти наведено в таблиці 5.

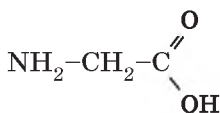
Таблиця 5. Фізичні й хімічні властивості етанової кислоти

Фізичні властивості	Хімічні властивості
• Безбарвна рідина • летка • гігроскопічна • трохи важча 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), змінює забарвлення індикаторів: $\text{CH}_3\text{--COOH} \rightleftharpoons \text{CH}_3\text{--COO}^- + \text{H}^+$ 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: $2\text{CH}_3\text{COOH} + \text{Na}_2\text{CO}_3 \rightarrow 2\text{CH}_3\text{COONa} + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 \uparrow$

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 (протеїногенні амінокислоти) є «будівельним матеріалом» для синтезу білків у живих організмах.

Амінокислоти також застосовують у «вільному» вигляді. Наприклад, амінокислоту гліцин у складі фармацевтичних препаратів використовують як нейромедіатор, що сприяє передачі нервових імпульсів. А суміші різних амінокислот входять до складу коктейлів для спортивного харчування.

Застосування деяких органічних сполук

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

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

Етин використовують в ацетиленових пальниках, а також для добування 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. Завдяки їй 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 перелічених у параграфі сполук.



Завдання для засвоєння матеріалу

5. Складіть 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 повітря, а в якого більша?
8. Складіть рівняння реакції повного згоряння пропану. Який об'єм кисню необхідний для спалювання пропану об'ємом 5,6 л (н.у.)? Який об'єм вуглекислого газу при цьому утвориться?
9. Обчисліть об'єм етину (н. у.), необхідний для знебарвлення бромної води масою 200 г, в якій масова частка броду становить 2 %.

Завдання з 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, що 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 і є «носіями» хімічних властивостей речовин.

Становлення теорії будови органічних сполук

Органічну хімію почали вважати окремим розділом хімії близько 200 років тому. Усередині XIX століття, коли вона тільки починала розвиватися, уже було відомо досить багато органічних сполук, вивчено їхні хімічні й фізичні властивості, встановлено якісний та кількісний склад. У цей період найбільший внесок 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 вимагали пояснень та систематизації і згодом розвинулися в теорію будови органічних сполук.

Деякі передумови становлення теорії будови органічних сполук

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

Основні теоретичні положення та експериментальні результати узагальнив та сформулював у вигляді положень (постулатів) Олександр Михайлович Бутлеров. Ці 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.

Перший постулат. Хімічна будова



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

Згідно з цим постулатом, у молекулі існує чіткий порядок сполучення атомів. Кожній речовині відповідає певна хімічна будова, характерна для абсолютно всіх її молекул. Пригадайте, саме це ви засвоїли ще в 7 класі, коли опановували поняття «молекули».

Хімічну будову речовини відображає структурна формула її молекули. Бутлеров був упевнений, що структурні формули не можуть бути просто умовним зображенням молекул, а мають відображати їхню реальну будову.

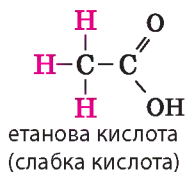
Другий постулат. Реакційна здатність сполук



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 тільки 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.

Ви вже вивчали етанову кислоту і знаєте її хімічні властивості: вона виявляє властивості слабких кислот. Якщо ж три атоми Гідрогену в молекулі етанової кислоти замінити на атоми Флуору, то сила кислоти зростає й вона стає кислотою середньої сили:



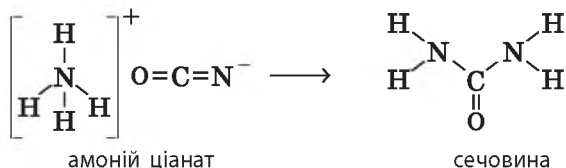
Отже, хімічна будова визначає реакційну здатність та хімічні властивості речовин. Знаючи хімічну будову речовини, можна передбачити та пояснити її хімічні властивості.

Третій постулат. Ізомерія

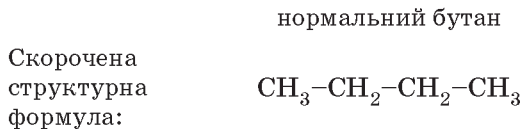


Деякі речовини мають однакову молекулярну формулу (однаковий склад), але різну хімічну будову. Таке явище називають ізомерією, а речовини — ізомерами.

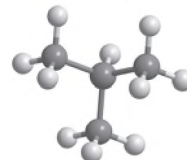
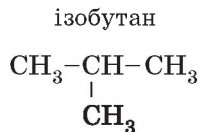
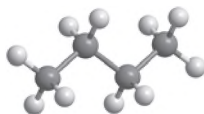
Пригадайте з курсу хімії 9 класу, із чого почався розвиток органічної хімії. Так, це був знаменитий дослід Ф. Велера, коли він з неорганічної речовини амоній ціанату NH_4NCO добув органічну сечовину $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$. У цьому досліді Велер був першим, хто спостерігав явище ізомерії, оскільки 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». Але ж чому Бутлеров відносить цей постулат до своєї теорії будови органічних сполук? Цінність будь-якого закону або теорії полягає в можливості передбачати певні факти. Саме Бутлеров першим висловив твердження, що за хімічною будовою речовини можна передбачити можливість існування в неї ізомерів. Наприклад, ви вже вмієте складати структурну формулу бутану C_4H_{10} . Але із чотирьох атомів Карбону можна скласти не тільки нерозгалужений карбоновий ланцюг, а й розгалужений. Кожному з них відповідає свій вуглеводень:



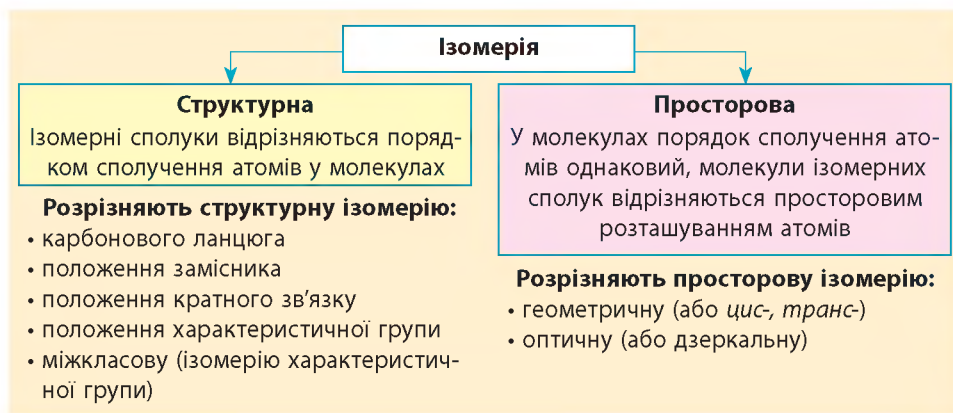
Модель молекули:



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: у реакцію бромовання ізобутан вступає набагато активніше за нормальний бутан.

Під час формування теорії будови органічних сполук Бутлеров передбачив існування ізомерів у бутану, пентану, бутилового спирту тощо. Учені бутлеровської школи хіміків синтезували ці ізомери, чим експериментально підтвердили істинність цієї теорії.

Залежно від характеру відмінностей у молекулах ізомерів розрізняють різні типи ізомерії.



На момент створення теорії будови органічних сполук хімікам було відомо лише про один ізомер бутилового спирту — ізобутанол, який добували з природної сировини, хоча, згідно з теорією, ізомерів має бути чотири. Декілька років Бутлеров відбивався від нападів критиків (Кольбе, Бертло і навіть Менделєєва). І тільки 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.

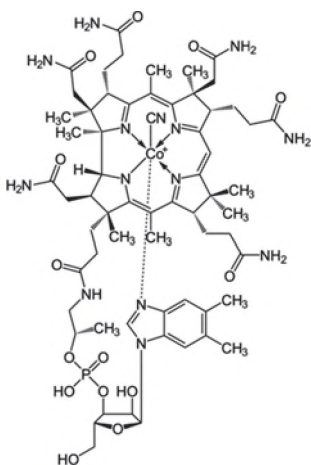


Четвертий постулат. Аналіз і синтез



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 піддають розкладу і встановлюють



Мал. 2.1. Хімічна будова ціанокобаламіну (вітаміну B_{12})

на будова якого найскладніша серед усіх вітамінів (мал. 2.1). Роберт Вудворд разом із групою з близько 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 припускають, якою може бути її будова, розробляють план синтезу і проводять власне експеримент.



Роберт Бернс Вудворд

(1917–1979)

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

її хімічну будову шляхом дослідження продуктів хімічних перетворень. Аналізом, наприклад, було встановлено, що білки складаються із залишків молекул амінокислот, оскільки саме ці кислоти утворюються під час розкладу (гідролізу) білків.

Якщо під час аналізу було припущено певну будову речовини, то довести свої висновки можна зворотним методом — синтезом. **Синтез** (від грец. *synthesis* — з'єднання, зв'язування) — у хімії це метод сполучення молекул певних речовин шляхом хімічних реакцій у нову речовину з необхідною хімічною будовою.

Одним із найяскравіших прикладів доведення хімічної будови сполук є синтез ціанокобаламіну (вітаміну B_{12}), хімічна

будова якого найскладніша серед усіх вітамінів (мал. 2.1). Роберт Вудворд разом із групою з близько 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 припускають, якою може бути її будова, розробляють план синтезу і проводять власне експеримент. Після одержання нової речовини перевіряють її властивості відповідно до прогнозованих та роблять висновок щодо подальшого її використання. У хімічних лабораторіях по всьому світу щороку синтезують близько 100 тисяч 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.



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 кожну руку по крейді, він із легкістю ілюзіоніста починав з обох боків дошки малювати хімічну структуру, і не було випадку, коли б лінії всередині дошки не зійшлися».

Лінгвістична задача

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



Ключова ідея

Теорія будови органічних сполук довела, що властивості органічних сполук зумовлені їхньою хімічною будовою, і виявила перспективи у визначенні будови сполук та добуванні нових речовин із заданими властивостями.



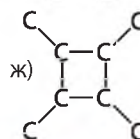
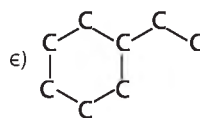
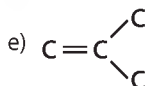
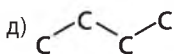
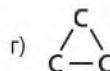
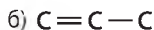
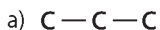
Контрольні запитання

- 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 тільки 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 структурні формули всіх можливих карбонових ланцюгів, що складаються: а) з п'яти атомів Карбону; б) із шести атомів Карбону.

Завдання з розвитку критичного мислення

23. Як ви вважаєте, чому хімічне оточення 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.

Міні-проекти

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

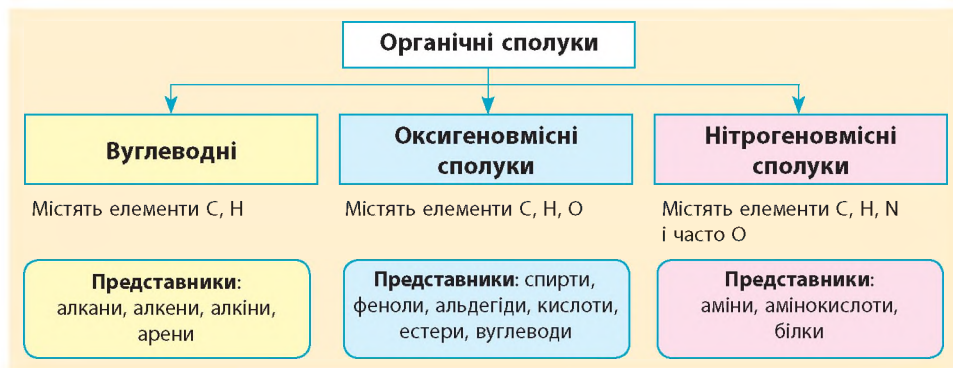
Пригадайте:

- які існують ознаки класифікації неорганічних та органічних сполук;
- ковалентний зв'язок реалізується за рахунок притягання атомів до спільної електронної пари;
- кратність ковалентного зв'язку називають число спільних електронних пар між атомами; за кратністю виділяють одинарний, подвійний та потрійний зв'язки.

Класифікація органічних сполук за елементним складом

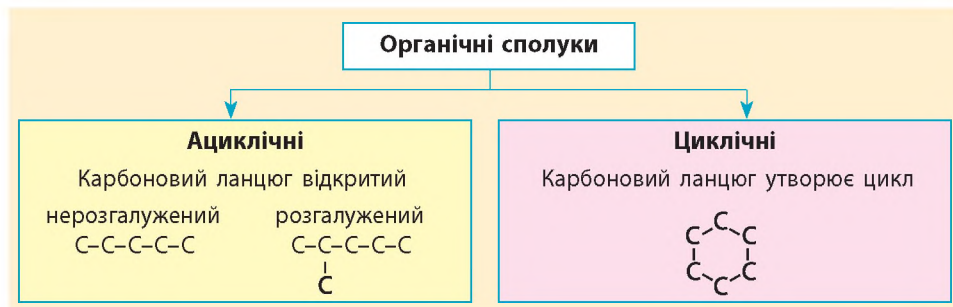
Для вивчення органічних сполук зручно розділити їх на класи за будовою або властивостями. Один із принципів розділення ґрунтується на *елементному складі сполук*.

Ви вже знаєте, що найпростіші органічні сполуки містять тільки 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:



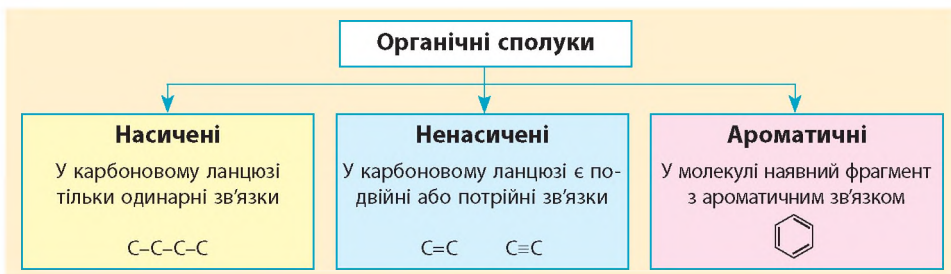
Класифікація органічних сполук за будовою карбонового ланцюга

1858 року шотландський хімік Арчібальд Купер установив, що основою кожної органічної молекули є *карбоновий ланцюг* (карбоновий скелет), що є послідовністю хімічно з'єднаних між собою атомів Карбону. У багатьох реакціях карбоновий ланцюг молекули залишається незмінним. Купер також запропонував позначати рисками хімічні зв'язки між атомами, чим ми зараз користуємося під час складання структурних формул.

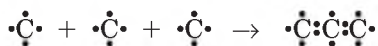


Класифікація органічних сполук за видом зв'язку

Органічні сполуки також класифікують за типом ковалентного зв'язку в карбоновому ланцюзі. Вам уже відомі *насичені* вуглеводні, у яких у карбоновому ланцюзі всі зв'язки одинарні (їх також називають *ординарними*, або *простими*). А сполуки, в яких у карбоновому ланцюзі наявні подвійні $C=C$ або потрійні зв'язки $C\equiv C$, називають *ненасиченими*. Існують також сполуки з ароматичним зв'язком, які називають *ароматичними*. Із представником таких сполук — бенzenом — ви ознайомитеся в 10 класі.



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



Електрони, які на схемі зображені неспареними, утворюють спільні електронні пари з іншими атомами, зокрема з атомами Гідрогену в молекулах вуглеводнів.

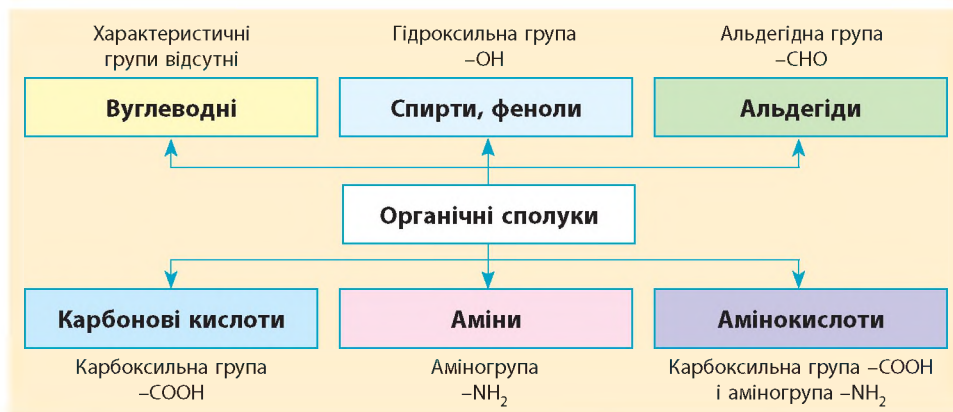
Подвійному та потрійному зв'язкам між атомами Карбону відповідають дві та три спільні електронні пари:



Класифікація органічних сполук за наявністю характеристичних груп

Хімічні властивості органічних речовин визначаються не тільки будовою карбонового ланцюга, а й насамперед тими атомами чи групами атомів, які з ним сполучені. У вуглеводнях карбоновий ланцюг сполучений тільки з атомами Гідрогену. Але існують речовини, в молекулах яких наявні групи атомів, що є характерними для речовин певного класу сполук. Такі групи атомів називають *характеристичними* (*функціональними*). Ви вже вивчали такі речовини в 9 класі: в усіх спиртів наявна характеристична група $-OH$ (гідроксильна), а в карбонових кислот наявна група $-COOH$ (карбоксильна).

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



Багато органічних молекул містять разом декілька характеристичних груп. Такі сполуки називають *поліфункціональними*. Такими сполуками є вуглеводи, амінокислоти, білки, нуклеїнові кислоти тощо.

Певна річ, наведені класифікації не відображають усього розмаїття органічних сполук, але саме такі речовини ви вивчатимете в 10 класі.



Ключова ідея

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



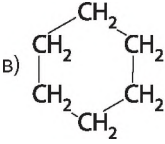
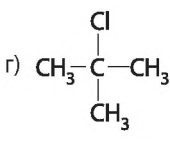
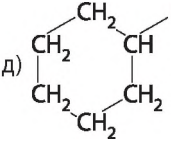
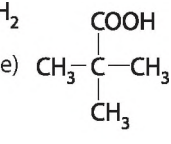
Контрольні запитання

29. За якими ознаками класифікують органічні сполуки?
30. На які групи або класи розділяють органічні сполуки за різними 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. Дано структурні формули трьох вуглеводнів: $\text{CH}_3\text{—CH}_3$, $\text{CH}_2=\text{CH}_2$, $\text{CH}\equiv\text{CH}$. Запропонуйте ознаки для класифікації цих речовин.
34. Визначте, до яких груп органічних сполук за різними ознаками можна віднести: а) етанол $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$; б) етанову кислоту CH_3COOH ; в) етин C_2H_2 ; г) етанамін $\text{C}_2\text{H}_5\text{NH}_2$.
35. Складіть формули спирту, карбонової кислоти та аміну з найменшим можливим числом атомів Карбону.
36. 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 $\text{C}=\text{C}$; б) чотири атоми Карбону та один потрійний зв'язок $\text{C}\equiv\text{C}$; 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 $\text{C}=\text{C}$; д) три атоми Карбону, один з яких у складі альдегідної групи; е) циклічний ланцюг із трьох атомів Карбону та одну аміногрупу —NH_2 .
37. Серед наведених структурних формул сполук укажіть: вуглеводні, циклічні сполуки, спирт, карбонову кислоту, амін.
- а) $\text{CH}_3\text{—CH}_2\text{—CH}_3$ б) $\text{CH}_3\text{—CH}_2\text{—CH}_2\text{—OH}$
- в)  г)  д)  е) 
38. Формула найпростішого аміну — CH_3NH_2 . Складіть розгорнуту структурну формулу аміну, який містить на один атом Карбону більше.

§ 4. Виведення молекулярної формули речовини за масовими частками елементів

Пригадайте:

- відносна молекулярна та молярна маси чисельно дорівнюють одна одній, але відносна молекулярна маса є безрозмірною величиною, а молярну масу вимірюють у г/моль;
- для обчислення кількості речовини необхідно масу речовини розділити на її молярну масу.

Виведення 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 молекулярну масу, а отже, і її хімічну формулу. Для розв'язання таких задач можна використовувати різні алгоритми.

Виведення молекулярної формули речовини за відомою масовою часткою елемента у сполуці

Цей алгоритм найбільш доцільний для 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;
- з яких хімічних елементів складається речовина;
- 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 одиниці¹), M_r — відносна молекулярна маса сполуки.

За цією формулою отримуємо формулу для розрахунку 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.

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. Визначте хімічну формулу сполуки Калію з Оксигеном, у якій масова частка Калію становить 83 %.

Розв'язання:

У формулу (2) підставляємо $A_r(\text{K}) = 39$ та $w(\text{K}) = 0,83$.

Припускаємо, що $N = 1$, та обчислюємо:

$$M_r(\text{речовини}) = \frac{N(\text{K}) \cdot A_r(\text{K})}{w(\text{K})} = \frac{1 \cdot 39}{0,83} = 47.$$

¹ Для полегшення викладу надалі термін «формульна одиниця» згадувати не будемо, а термін «молекула» використовуватимемо й для речовин атомної та йонної будови.

Оскільки ми припустили, що у сполучі один атом Калію, то з маси 47 на атоми Оксигену припадає різниця: $47 - 39 = 8$. Це відповідає половині атома Оксигену, чого бути не може.

Припускаємо, що атомів Калію два, тобто $N = 2$, та обчислюємо:

$$M_r(\text{речовини}) = \frac{N(\text{K}) \cdot A_r(\text{K})}{w(\text{K})} = \frac{2 \cdot 39}{0,83} = 94.$$

Оскільки цього разу ми припустили, що у сполучі два атоми Калію, то від маси 94 віднімаємо масу двох атомів Калію. Отже, на атоми Оксигену припадає різниця $94 - 2 \cdot 39 = 16$. Це відповідає одному атому Оксигену. Отже, хімічна формула K_2O .

Відповідь: формула сполуки — K_2O .

Виведення молекулярної формули речовини за відомою відносною молекулярною масою речовини

Цей алгоритм застосовують, якщо за умовою задачі відомо:

- що речовина не обов'язково є бінарною;
- з яких хімічних елементів складається речовина;
- 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. Визначте молекулярну формулу органічної речовини з молярною масою 60 г/моль, у якій масова частка Карбону становить 40 %, Гідрогену — 6,67 %, інше припадає на 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 $A_r(\text{C}) = 12$.

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

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

Число атомів Оксигену можна визначити за залишковим принципом. Від відносної молекулярної маси речовини віднімаємо відносні атомні маси всіх атомів Карбону та Гідрогену: $60 - 2 \cdot 12 - 4 \cdot 1 = 32$. Ця маса припадає на Оксиген та відповідає двом атомам. Отже, хімічна формула сполуки $\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2$.

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

Виведення молекулярної формули небінарної сполуки за відомими масовими частками

Цей алгоритм є універсальним і підходить для розв'язування будь-яких задач на виведення формул речовин (як органічних, так і неорганічних) за відомими масовими частками.

Цей алгоритм застосовують, якщо за умовою задачі відомо:

- що речовина необов'язково є бінарною;
- з яких хімічних елементів складається речовина;
- масові частки всіх елементів.

Алгоритм ґрунтується на одному з базових принципів хімії — стехіометрії. Ви пам'ятаєте, що і хімічна формула, і коефіцієнти в рівняннях реакцій показують співвідношення атомів чи молекул під час хімічної взаємодії. Можна впевнено стверджувати, що співвідношення індексів у хімічній формулі речовини таке саме, як і співвідношення кількості речовини (у молях) атомів у цій речовині.

Наприклад, для речовини $C_xH_yO_z$ справедливо:

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

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

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

Зверніть увагу! У цю формулу масові частки можна підставляти як у відсотках, так і у частках від одиниці.

Наприклад, для співвідношення кількості речовини Карбону та Гідрогену

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

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

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

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

Розв'язання:

Записуємо умовну формулу речовини $C_xH_yO_z$.

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 співвідношення необхідно дізнатися індекси у формулі. Ураховуючи, що індекси можуть бути тільки цілими числами, то отримане співвідношення необхідно перетворити так, щоб усі числа в ньому були цілими. Для цього розділимо всі числа у співвідношенні на найменше серед них, у нашому випадку на 2,175:

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

Підставляємо обчислені індекси та отримуємо формулу C_2H_6O .

Відповідь: формула сполуки — C_2H_6O .

Задача 4. Визначте формулу вуглеводню, в якому масова частка Карбону становить 80 %.

Розв'язання:

Записуємо умовну формулу речовини, ураховуючи те, що ця сполука є вуглеводнем: C_xH_y . Визначаємо масову частку Гідрогену: $100 \% - 80 \% = 20 \%$. За формулою (5) визначаємо співвідношення індексів:

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

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

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

Підставляючи індекси, отримуємо формулу сполуки CH_3 . Але речовини з такою формулою існувати не може (оскільки валентність Карбону в органічних сполуках IV). За отриманим співвідношенням можна дізнатися індекси, якщо помножити його на ціле число (2, 3, 4 тощо) та вибрати індекси такі, що мають хімічний сенс. Наприклад, співвідношенню 1 : 3 дорівнює співвідношення 2 : 6. А з такими індексами існує речовина C_2H_6 (етан).

Відповідь: формула сполуки C_2H_6 .



Ключова ідея

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



Завдання для засвоєння матеріалу

39. Визначте молекулярну формулу оксиду, в якому масова частка Хрому становить 52 %.
40. Визначте молекулярну формулу оксиду, в якому масова частка Феруму становить 70 %.

41. Визначте молекулярну формулу сполуки Нітрогену з Оксигеном, у якій масова частка Оксигену становить 63,2 %.
42. Визначте молекулярну формулу вуглеводню, в якому масова частка Карбону становить 81,82 %.
43. Визначте молекулярну формулу вуглеводню, що містить 82,76 % атомів Карбону за масою, якщо його молярна маса дорівнює 58 г/моль.
44. Визначте молекулярну формулу вуглеводню з молярною масою 78 г/моль, у якому масова частка Карбону становить 92,3 %.
45. Визначте молекулярну формулу органічної речовини з молярною масою 45 г/моль, у якій масова частка Нітрогену становить 31,11 %, Карбону — 53,33 %, усе інше — Гідроген.
46. Визначте молекулярну формулу органічної речовини з молярною масою 90 г/моль, у якій масова частка Оксигену становить 71,11 %, Карбону — 26,67 %, усе інше — Гідроген.
47. Певна речовина містить Карбон (62,1 %), Гідроген (10,3 %) та Оксиген. Визначте її молекулярну формулу.
48. Певна речовина містить Карбон (77,4 %), Гідроген (5,83 %) та Нітроген. Визначте її молекулярну формулу.
49. Визначте молекулярну формулу спирту, в якому масова частка Карбону становить 64,86 %, а Гідрогену — 13,51 %.
50. У сполуці масою 3,1 г міститься 0,6 г атомів Карбону, 2,4 г атомів Оксигену і Гідроген. Визначте молекулярну формулу речовини.

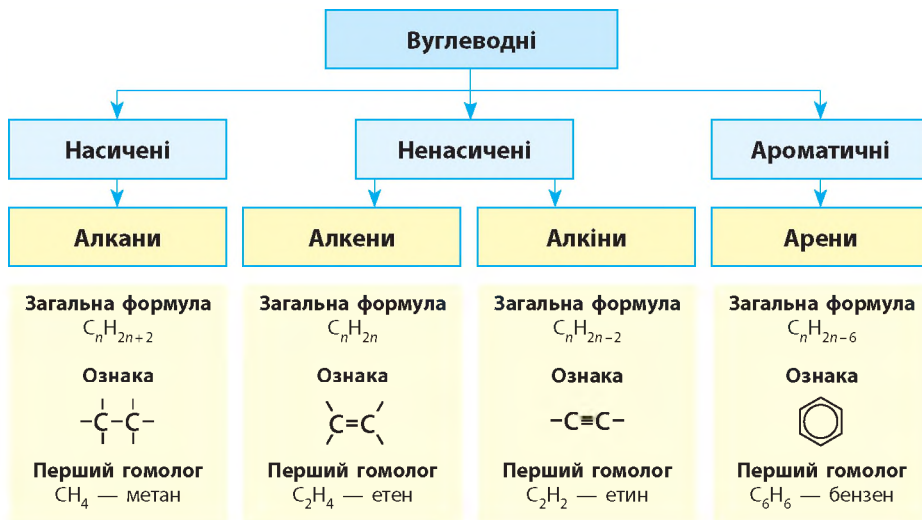
Міні-проекти

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



Перевірте свої знання за темою «Теорія будови органічних сполук», виконавши тестові завдання на сайті.

ТЕМА 2. ВУГЛЕВОДНІ



§ 5. Алкани: ізомерія та номенклатура

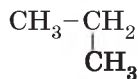
Пригадайте:

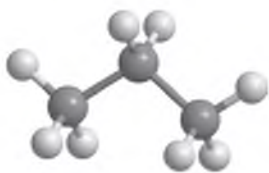
- формули та назви перших десяти членів гомологічного ряду алканів;
- як складають структурні формули (за § 1);
- які речовини називають ізомерами та які існують різновиди ізомерії (за § 2).

Структурна ізомерія алканів

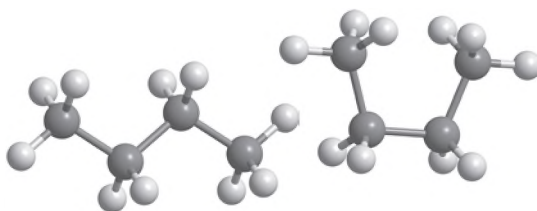
Як ви пам'ятаєте, існування ізомерів серед алканів передбачав ще О. М. Бутлеров. Зі всіх різновидів структурної ізомерії для алканів характерна тільки *ізомерія карбонового ланцюга*. Цей вид ізомерії пов'язаний лише з тим, що атоми Карбону можуть по-різному сполучатися один з одним: утворювати карбонові ланцюги *розгалужені* чи *нерозгалужені* (нормальної будови).

Перші три представники гомологічного ряду алканів — метан, етан, пропан — не мають ізомерів. Хоча іноді пропану приписують дві ізомерні структури:





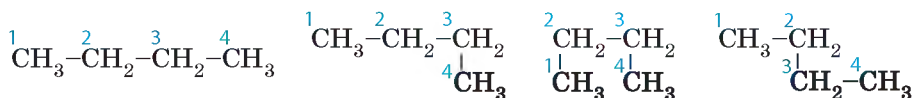
Мал. 5.1. Модель молекули пропану



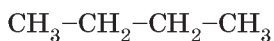
Мал. 5.2. Різні форми молекули бутану

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

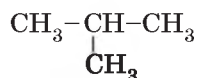
Як ви пам'ятаєте з курсу хімії 9 класу, хімічні зв'язки від атома Карбону в молекулах алканів спрямовані до вершин тетраедра під кутом $109,5^\circ$. Але на папері зв'язки в структурних формулах для зручності зазначають під кутом 180° або 90° . Наприклад, для бутану наведені нижче формули є абсолютно однаковими, оскільки в усіх них порядок сполучення атомів Карбону однаковий (мал. 5.2).



Утім бутан є найпростішим алканом, у якого є ізомер. Так, зі складом C_4H_{10} існують дві речовини з різними структурними формулами:



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.

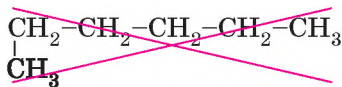
Пам'ятайте, що до одного атома Карбону в ланцюзі може приєднуватися максимум чотири інші атоми.

Наприклад, складемо формули всіх можливих структурних ізомерів алканів з молекулярною формулою C_6H_{14} .

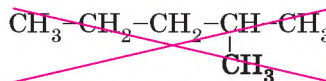
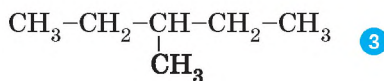
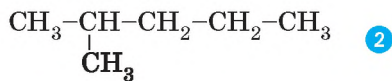
Найпростіше скласти структурну формулу нерозгалуженого алкану:



На наступному етапі з ланцюга прибираємо один атом Карбону і з'єднуємо його з іншими атомами Карбону:

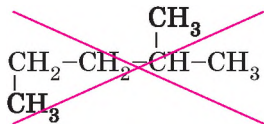


те саме, що формула $\textcircled{1}$

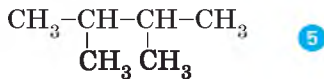
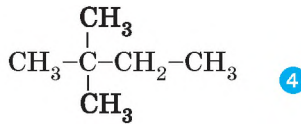


те саме, що формула $\textcircled{2}$

Далі змінюємо положення ще одного атома Карбону й отримуємо ще дві комбінації:



те саме, що формула $\textcircled{2}$



У такий спосіб можна скласти всі можливі комбінації сполучення атомів Карбону. Структурні формули можна записувати в інший спосіб. Наприклад, формули $\textcircled{4}$ і $\textcircled{5}$ можна записати так:



Часто під час складання формул ізомерів виникають труднощі через те, що важко візуально визначити, записали вже таку формулу чи ні.

Для того щоб порівняти дві, на зовнішній вигляд, різні структурні формули, необхідно назвати сполуки, структурні формули яких наведено, і порівняти. 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 «юпак») 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 з атомів Карбону

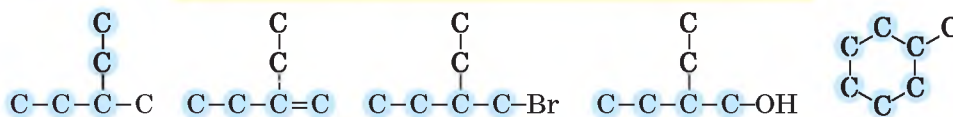
не обов'язково найдовший ланцюг, але який:

- містить фрагмент з кратним зв'язком

- сполучений з максимальним числом замісників

- сполучений з характеристичними групами

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 головного карбонового ланцюга

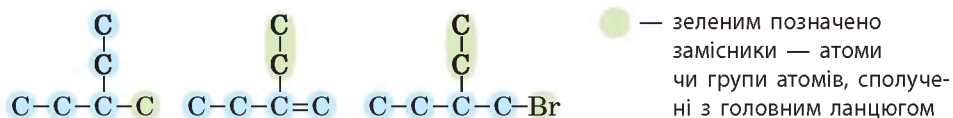
Назва родонаціальної структури утворюється від назви відповідного алкану та суфікса, що позначає ступінь насиченості.

2. Префікс. У більшості сполук з головним ланцюгом сполучені певні атоми чи групи атомів (атоми Гідрогену не враховуються). Ці атоми та групи атомів називають *замісниками*, оскільки, щоб приєднатися до головного ланцюга, вони замінили в ньому атом Гідрогену.

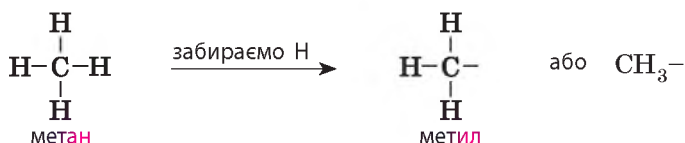


International Union of Pure and Applied Chemistry

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

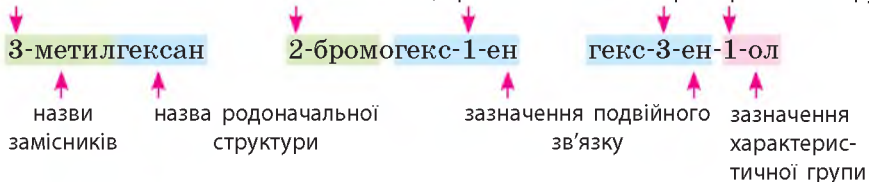


У префіксах перелічують назви замісників. Якщо замісник складається з одного атома, то його називають за назвою хімічного елемента (Хлор, Бром тощо). Назви замісників, утворених з алканів, утворюються від назв відповідних їм алканів заміною суфікса *-ан-* на суфікс *-іл-* (*-ил-*):



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

Локантами зазначають положення 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 $-\text{OH}$. 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	+ зазначення ступеня насиченості суфіксами <i>-ан-</i> , <i>-ен-</i> (<i>-єн-</i>), <i>-ин-</i> (<i>-ін-</i> , <i>-їн-</i>)	позначення старшої характеристичної групи (<i>-ол-</i> , <i>-амін-</i> тощо)



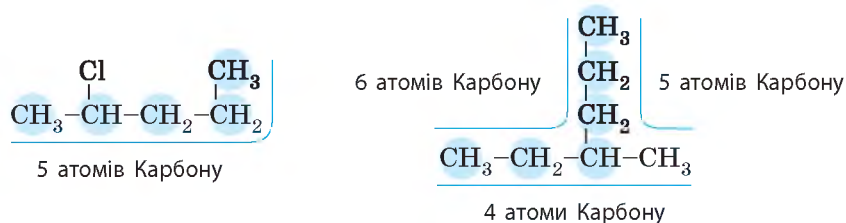
Замісники часто називають *радикалами*. Якщо розірвати ковалентний зв'язок між головним ланцюгом та замісником, то зі спільної електронної пари кожний атом забирає по одному електрону, який стає неспареним. А частинки з неспареними електронами називають радикалами. Але це застаріла практика називати замісники радикалами.

Складання назв алканів за систематичною номенклатурою

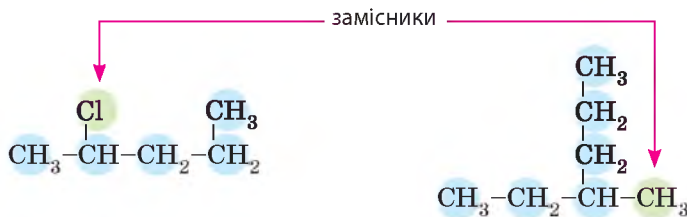
Алгоритм складання назв алканів:

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

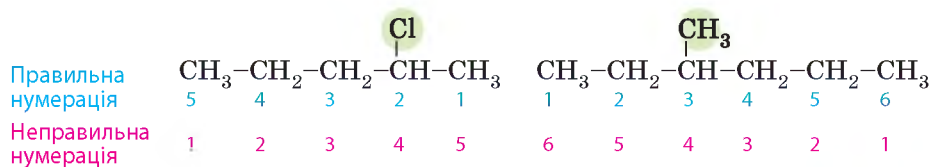
1. Виокремити родоначальну структуру. В алканів — це найдовший карбоновий ланцюг. У другому з наведених прикладів головним є ланцюг із шістьох атомів Карбону:



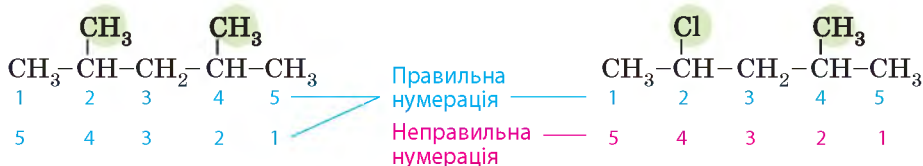
2. Визначаємо замісники:



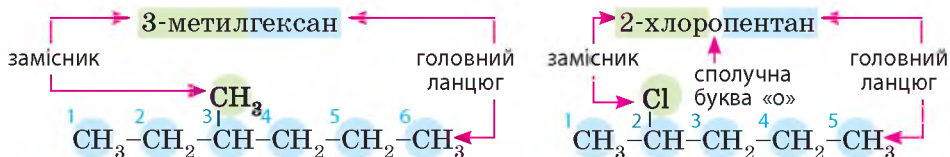
3. Нумеруємо атоми Карбону головного ланцюга. Нумерацію слід починати з того боку, до якого ближче розгалуження або замісник:



Якщо замісники розташовані на однаковій відстані від кінців головного ланцюга, то необхідно звертати увагу на склад замісників: якщо вони однакові, то немає різниці, з якого боку розпочинати нумерацію. А якщо замісники різні, то нумерують з боку найстаршого замісника. Галогени є більш старшими замісниками за вуглеводневі замісники (у більшості випадків старшинство можна визначити за атомною масою).



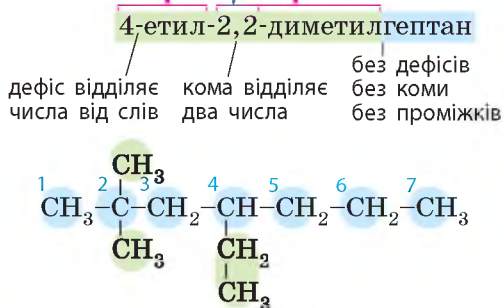
4. Складаємо назву сполуки згідно зі схемою: префікс + родоначальна структура (суфіксу немає, оскільки в алканів відсутні характеристичні групи):



Якщо замісників кілька, то в назві сполуки їх наводять в алфавітному порядку. Якщо є кілька однакових замісників, то їхню назву наводять тільки один раз, а їх число вказують множинними префіксами. Обов'язково цифрами через кому вказують положення (локант) кожного з однакових замісників.

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

Множинні префікси для позначення числа однакових замісників:
ди- — 2
три- — 3
тетра- — 4
пента- — 5
гекса- — 6



різні замісники перелічують за алфавітом

Найпоширеніші замісники (за алфавітом):
• бром Br
• етил C_2H_5
• метил CH_3
• пропіл C_3H_7
• флуор F
• хлор Cl

Зверніть увагу! Під час визначення алфавітного порядку замісників множинні префікси не враховують.

За таким алгоритмом можна скласти назву для будь-якого алкану або похідного 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;

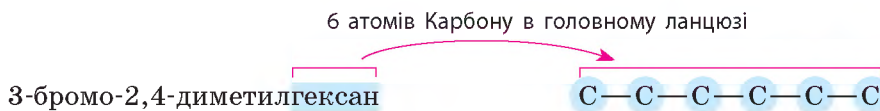
$\text{CH}_3\text{—CH}_2\text{—CH}_2\text{—CH}_2\text{—CH}_3$ — нормальний пентан, або *н*-пентан.

Складання формул органічних сполук за їхньою назвою

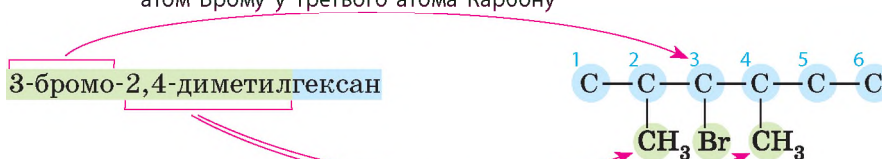
Складання формул за назвою — це зворотна задача. Для цього необхідно уважно проаналізувати назву сполуки та відповідно до неї скласти формулу за таким порядком:

Наприклад, для сполуки 3-бromo-2,4-диметилгексан:

1. Записуємо головний ланцюг (родоначальну структуру) без атомів Гідрогену:

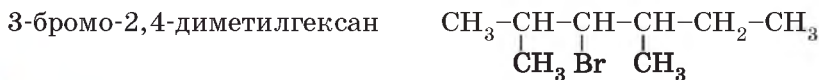


2. У відповідні місця ланцюга дописуємо формули замісників:
атом Брому у третього атома Карбону



дві метильні групи у другого та четвертого атомів Карбону

3. Дописуємо атоми Гідрогену відповідно до валентності Карбону:



Ключова ідея

Для визначення 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, подібних до родоначальної структури, що утворюється заміною 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 на атоми 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 з молекулярною формулою C_4H_{10} ; б) скільки існує ізомерів у *n*-бутану?



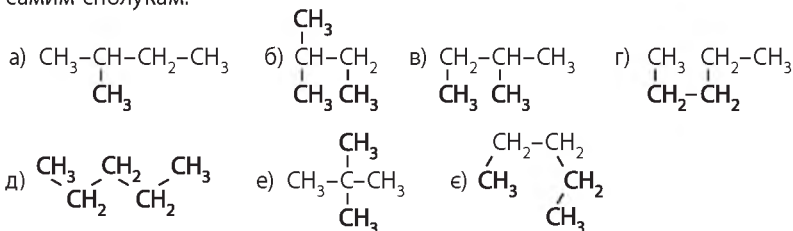
Контрольні запитання

- За якими ознаками класифікують вуглеводні? Уважно розгляньте схему класифікації вуглеводнів на с. 28. Які сполуки виділяють серед вуглеводнів? Які їхні характерні ознаки? Назвіть перших представників цих класів сполук.
- Яка ізомерія характерна для алканів? Наведіть приклади ізомерів серед алканів.
- Який порядок складання назв алканів за систематичною номенклатурою?
- Як називають замісник, утворений: а) з метану; б) етану; в) пропану?

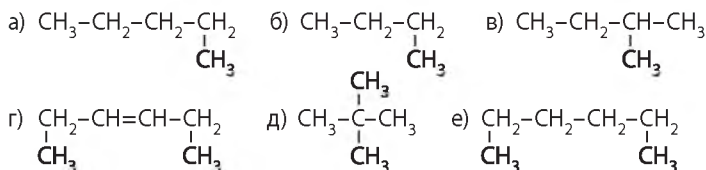


Завдання для засвоєння матеріалу

- Скільки хімічних зв'язків C–C та C–H у молекулах: а) етану; б) 2-метилпропану; в) бутану?
- Серед наведених вуглеводнів визначте, які з них є насиченими: 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 сіма атомами Карбону в молекулі. Назвіть їх.
- Яка молекулярна формула алкану з 14 атомами Карбону?
- Складіть молекулярну формулу алкану, молекули якого містять: а) 18 атомів Карбону; б) 36 атомів Гідрогену.
- Укажіть, які з наведених структурних формул відповідають одним і тим самим сполукам:

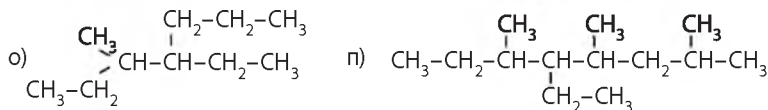
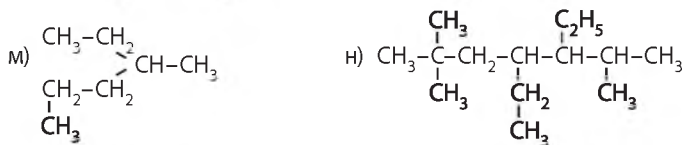
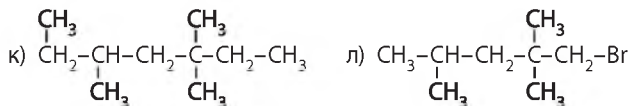
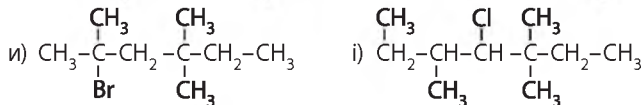
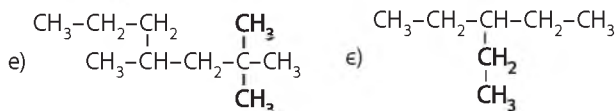
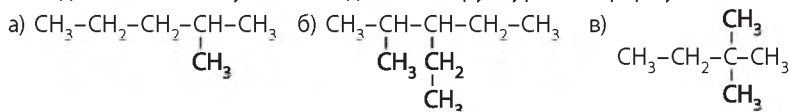


62. Серед наведених структурних формул знайдіть формули ізомерів та гомологів.



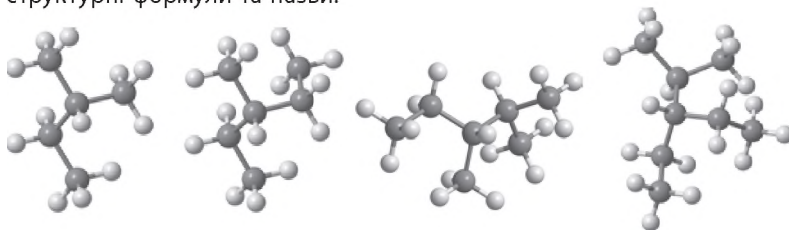
63. Складіть назви всіх речовин, структурні формули яких наведено в цьому параграфі.

64. Складіть назви сполук за наведеними 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 моделями молекул алканів складіть їхні скорочені структурні формули та назви.



67. Із наведених сполук выпишіть окремо: а) ізомери гексану; б) гомологи гексану.
2-метилпентан, 2-метилбутан, 2,2-диметилбутан, 3-метилпентан, бутан, 2-хлоропропан.
68. Серед наведених хлоропохідних етану визначте ті, що можуть існувати у вигляді 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 та назви всіх можливих ізомерів.

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 з розвитку критичного мислення

70. Запропонуйте алгоритм для 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?

Міні-проект

73. Диметилмеркурій — органічна сполука, в якій два метильні залишки сполучаються з атомом Меркурію. Ця речовина становить значну екологічну загрозу для живих організмів, особливо мешканців водойм. Знайдіть інформацію, як ця сполука впливає на живі істоти. В яких місцевостях поширена ця сполука? Чи є загроза для вашої місцевості?

§ 6. Алкани: фізичні й хімічні властивості

Пригадайте:

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

Фізичні властивості алканів

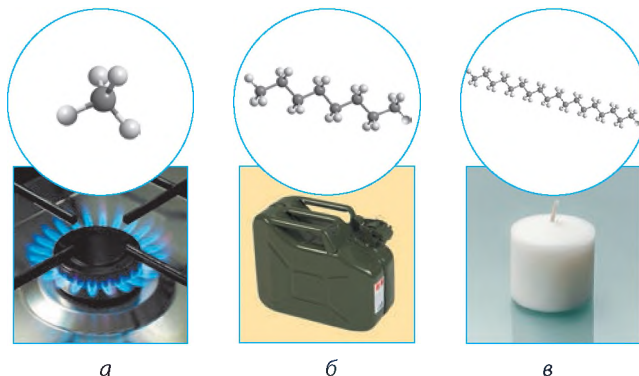
Оскільки речовини гомологічного ряду метану мають подібну будову й відрізняються тільки довжиною карбонового ланцюга, то їхні фізичні властивості також подібні.

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).

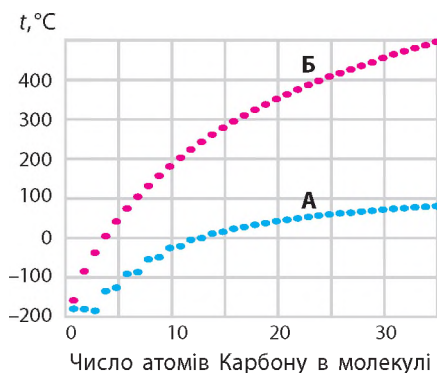
Газуваті та рідкі алкани — безбарвні речовини, а тверді алкани — білого кольору (парафін). Рідкі алкани мають специфічні вуглеводневі або квіткові запахи.

Усі алкани — неполярні сполуки, тому вони майже нерозчинні у воді, а тверді — жирні на дотик: алкани належать до аліфатичних

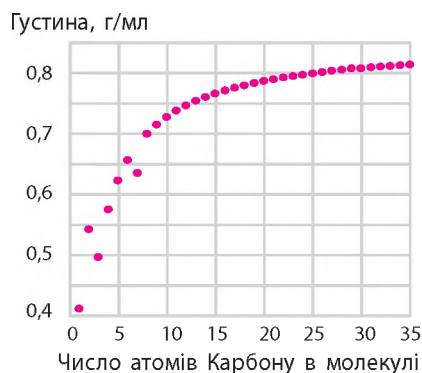


Мал. 6.1. Залежність фізичних властивостей алканів

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

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

Хімічні властивості алканів

Алкани є хімічно неактивними 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 вступають у реакції заміщення та розкладання.



Демонстраційний дослід: відношення насичених вуглеводнів до лугів, кислот

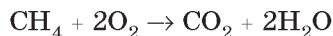
Розчини кислот та лугів, особливо концентровані, — хімічно агресивні речовини. У пробірці з розчинами натрій гідроксиду та сульфатної кислоти помістимо шматок парафіну й струсимо. Жодних видимих змін не відбувається, оскільки хімічна реакція відсутня. Алкани не взаємодіють із розчинами кислот та лугів.

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

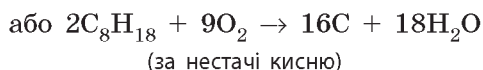
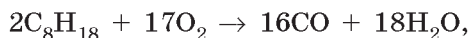


1. Горіння. У 9 класі ви вже вивчали реакцію горіння метану та його гомологів.

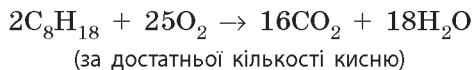
Нижчі¹ алкани займаються легко (іноді з вибухом) і згоряють блідо-синім полум'ям з утворенням вуглекислого газу та води:



Вищі алкани на повітрі згоряють кіптявим полум'ям, оскільки відбувається неповне окиснення та виділяється не тільки вуглекислий газ, а й чадний газ і вуглець (сажа):



Утім за умови достатньої кількості кисню можливе повне згоряння:



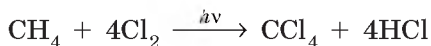
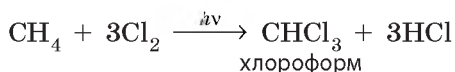
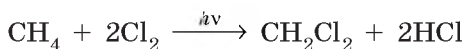
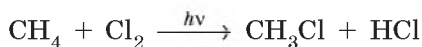
Вищі алкани настільки важко займаються, що, наприклад, парафін сам по собі підпалити дуже складно. Тому з парафіну виготовляють свічки, у середину яких вставляють ґніт. Завдяки горінню ґнота парафін легше плавиться й випаровується, а отже, легше займається. На холоді вищі алкани майже не випаровуються,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

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

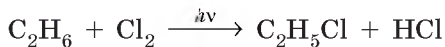
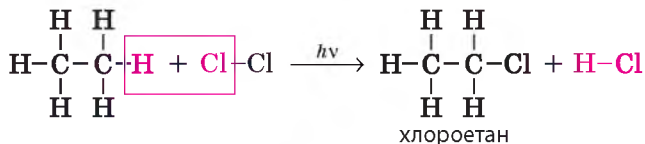
на сильному морозі не спалахує, навіть якщо в посудину кинути запалений сірник. Щоб запалити газ, його необхідно заздалегідь підігріти.

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

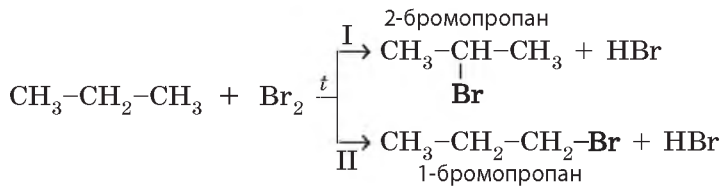
Метан з галогенами може реагувати з утворенням різних речовин залежно від співвідношення кількостей метану та галогену:



Подібно до метану з галогенами взаємодіють й інші алкани:



Під час бромовання пропану можуть утворитися два ізомерні продукти:

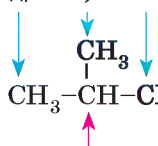


В органічній хімії майже завжди реакції відбуваються в кількох паралельних напрямках. У результаті утворюється суміш різних продуктів реакцій.

Однак часто один із напрямків є переважним, отже, й у суміші продуктів реакції переважає одна речовина. У випадку бромовання пропану переважним є напрямок I з утворенням 2-бромпропану. А за напрямком II реакція майже не відбувається, тому 1-бромпропану в реакційній суміші значно менше за 2-бромпропан.

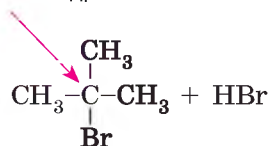
У реакціях галогенування алканів можна виявити закономірність: чим менше атомів Гідрогену сполучено з певним атомом Карбону, тим легше ці атоми Гідрогену замінити на інший, зокрема атом галогену. Наприклад, під час галогенування 2-метилпропану:

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



Із цим атомом Карбону спо-
лучений один атом Гідрогену,
його легше замінити

Під час галогенування переважно заміню-
ються атоми Гідрогену, сполучені з най-
менш гідрогенізованим атомом Карбону



2-бromo-2-метилпропан

Хлороформ

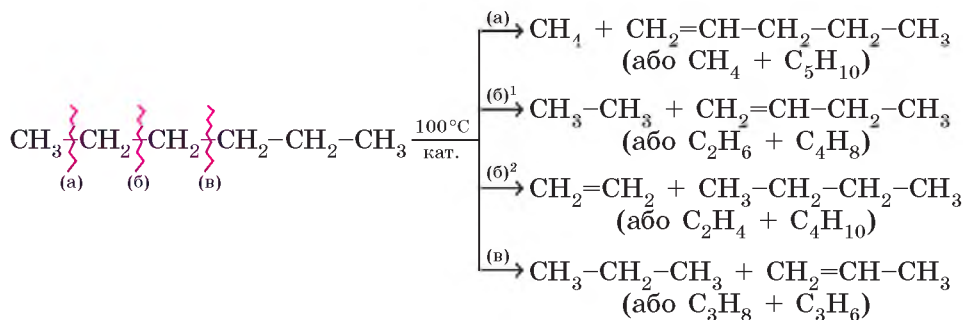
У переважній більшості міст України перед подачею води у водопровідну мережу її знезаражують — обробляють хлором або хлоровмісними реагентами. Але під час вирішення однієї проблеми часто виникають інші. У разі надмірної кількості хлору він реагує з природними органічними домішками, що є у воді, зокрема гуміновими кислотами. Одним із продуктів реакції є хлороформ, який виявляє канцерогенну дію. Наявність хлороформу у воді становить загрозу здоров'ю людини, оскільки він спричиняє виникнення онкологічних захворювань.

З іншого боку, відмовитися від хлорування води також не можна: до початку хлорування води багато людей загинуло від епідемій холери та дизентерії. Тому актуальним завданням є розроблення дешевих і безпечних способів знезараження води.

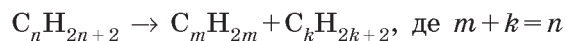


Хімія навколо нас

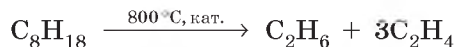
Крекінг проводять зазвичай за температури 500°C за наявності спеціальних каталізаторів (суміш алюмосилікатів з оксидами металічних елементів). Під час крекінгу карбоновий ланцюг може розірватися в будь-якому місці, тому в продуктах реакції міститься суміш багатьох сполук. Але загальне правило: з насичених вуглеводнів утворюється суміш легших насичених і ненасичених вуглеводнів (мал. 6.5). Наприклад, під час крекінгу гексану можливі такі реакції:



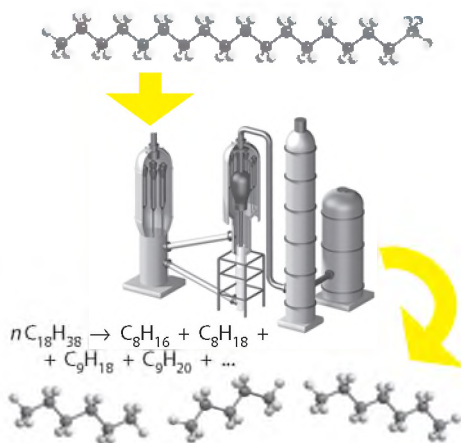
У загальному вигляді рівняння крекінгу алканів можна описати так:



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



У суміші залишаються тільки найпростіші вуглеводні, переважно ненасичені. Основоположником сучасних методів переробки нафти є видатний хімік В. М. Іпат'єв.



Мал. 6.5. Під час крекінгу відбувається розривання карбонових ланцюгів вуглеводнів



Володимир Миколайович Іпат'єв (1867–1952)

Засновник сучасних методів переробки нафти



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 розривом карбонового ланцюга.

Лінгвістична задача

Часто під час спілкування ми використовуємо скорочені або сленгові вирази, і часто вони мовленнєво неправильні. Зокрема, часто неправильно використовують вираз «реакція відбувається за температури». Такий вираз можна використовувати тільки, якщо йдеться про конкретне значення температури. Без кількісного значення температури цей вираз не має сенсу, оскільки стану «без температури» не існує. Температура характеризує наскільки нагріте (або охолоджене) тіло. Проаналізуйте лексичну й змістовну правильність таких виразів: а) «крекінг відбувається за температури»; б) «реакцію проводять за температури 100 °C»; в) «взаємодія не потребує нагрівання»; 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 розриваються під час: а) галогенування; б) крекінгу?
77. Яке згоряння (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, то що ми спостерігатимемо? Відповідь поясніть.
80. Складіть реакції горіння гексану з виділенням: а) вуглекислого газу; б) чадного газу; в) вуглецю.
81. Складіть рівняння реакцій взаємодії етану кількістю речовини 1 моль із хлором кількістю: а) 1 моль; б) 2 моль; в) 3 моль.
82. Складіть рівняння реакцій бромовання: а) етану; б) бутану; в) 2-метилбутану; г) 2,2-диметилбутану. Назвіть продукти реакцій.
83. Під час промислового хлорування пропану отримують суміш ізомерних дихлоропропанів. Складіть їхні формули.
84. Укажіть число структурних ізомерів сполуки із загальною формулою C_4H_9Cl .
85. Складіть рівняння реакцій: а) ізомеризації бутану; б) крекінгу бутану з утворенням сполук з однаковою довжиною карбонового ланцюга.

86. Складіть усі можливі рівняння реакцій крекінгу гептану, за аналогією крекінгу 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. Який це газ?

Комплексні завдання

88. Обчисліть об'єм хлорометану, що утвориться під час взаємодії метану об'ємом 11,2 л (н. у.) із хлором.
89. Під час крекінгу газуватого октану об'ємом 1 л утворилися два продукти реакції об'ємом по 1 л. Відносні густини за воднем обох продуктів реакції приблизно однакові. Складіть рівняння цієї реакції.
90. Під час крекінгу 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. Складіть рівняння цієї реакції.
91. Обчисліть масу моногалогенопохідної речовини, що утвориться під час взаємодії пропану об'ємом 5,6 л (н. у.) з бромом.

Завдання з 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 займається, поки частина його не розплавиться, а гас перед запаленням потрібно підігріти або розпилити 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 тільки воду?
98. Як ви вважаєте, чи існує залежність ступеня згоряння алканів (повне або часткове) від доступу кисню та довжини карбонового ланцюга? Чи може метан під час горіння утворювати кіптяве полум'я? Чи може октан горіти безбарвним (синім) полум'ям? Відповідь поясніть.
99. Молекули алканів не поглинають видиме світло, внаслідок чого вони безбарвні. Але тверді алкани, зокрема парафін, вазелін тощо, білі. Як можна пояснити цей факт?

Міні-проект

100. У кабінеті хімії разом з учителем виконайте експериментальний проєкт. Під час роботи дотримуйтеся правил безпеки. Увага! Дослід проводите тільки у витяжній шафі.

За певних умов алкани можуть горіти (окиснюватися) без полум'я. На керамічну плитку налейте трохи парафіну з палаючої свічки й одразу, поки він не застиг, насипте на нього гіркою порошок хром(III) оксиду так, щоб парафін просочив оксид тільки знизу, а верхній шар лишився сухим. Піднесіть до вершини гірки палаючий сірник, і почнеться рясне виділення диму. Ґрунтуючись на своїх спостереженнях, поясніть склад диму. Поясніть, чому утворюється дим із таким складом.

§ 7. Виведення молекулярної формули речовини за загальною формулою гомологічного ряду та густиною або відносною густиною

Пригадайте:

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

Виведення молекулярної формули речовин за загальною формулою гомологічного ряду

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

Цей алгоритм застосовують, якщо з умови задачі відомо:

- до якого 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 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. Визначте формулу алкану з молярною масою 72 г/моль.

Розв'язання:

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

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

Підставляємо значення молярної маси в рівняння:

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

Отже, невідома сполука містить у молекулах по 5 атомів Карбону. Підставляємо число 5 у загальну формулу алканів і отримуємо молекулярну формулу C_5H_{12} .

Відповідь: формула сполуки C_5H_{12} .

Виведення молекулярної формули речовин за відносною густиною

Цей алгоритм застосовують:

- для газуватих або летких сполук;
- якщо з умови задачі відомо, до якого 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 визначення молярної маси речовини виводимо за відносною густиною. Відносна густина газу є часткою від ділення молярних мас невідомого (В) та відомого (А) 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. Визначте формулу алкіну, відносна густина якого за гелієм становить 13,5.

Розв'язання:

Спочатку обчислюємо молярну масу алкіну за формулою (2). Оскільки відома відносна густина за гелієм, то для розрахунку використовуємо молярну масу гелію $M(\text{He}) = 4 \text{ г/моль}$:

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

Далі використовуємо формулу для молярної маси алкінів і визначаємо сполуку:

$$M(\text{C}_n\text{H}_{2n-2}) = 14n - 2; 14n - 2 = 54; n = 4.$$

Отже, невідома сполука містить у молекулах по 4 атоми Карбону. Підставляємо число 4 в загальну формулу алкінів і отримуємо молекулярну формулу C_4H_6 .

Відповідь: формула сполуки C_4H_6 .

Частіше трапляються комбіновані задачі, в яких є дані про відносну густина, 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 співвідношення числа атомів різних елементів у сполуці. На відміну від молекулярної формули, що відображає реальний склад молекули.

У більшості неорганічних сполук емпірична та молекулярна формули співпадають, але серед органічних сполук частіше трапляється навпаки. Наприклад, молекула етану містить два атоми Карбону та шість атомів Гідрогену: молекулярна формула етану — C_2H_6 . Але в молекулі етану на один атом Карбону припадає три атоми Гідрогену: емпірична формула етану — CH_3 . І таких випадків досить багато:

Емпірична формула:	Молекулярна формула:
HO	H_2O_2 — гідроген пероксид
CH_3	C_2H_6 — етан
CH_2	C_2H_4 , C_3H_6 та інші алкени
CH	C_6H_6 — бензен
CH_2O	метаналь CH_2O , етанова $\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2$ та молочна $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_3$ кислоти, глюкоза $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ тощо

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

Задача 3. Визначте молекулярну формулу вуглеводню, в 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 співвідношення індексів:

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

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

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

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

Отримуємо формулу C_4H_9 , але речовини з такою формулою не існує, отже, в цьому випадку емпірична та молекулярна формули не співпадають.

За формулою (2) обчислюємо молярну масу вуглеводню за відносною густиною. Для розрахунку використовуємо середню молярну масу 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 нами. Отже, індекси в емпіричній формулі слід помножити на 2. Отримуємо молекулярну формулу C_8H_{18} .

Відповідь: формула сполуки — C_8H_{18} .

Виведення молекулярної формули речовин за густиною

Цей алгоритм застосовують:

- для газуватих або летких сполук;
- якщо відомо, до якого 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 виведення молекулярної формули можна використовувати й звичайну густина. Знаючи густина, можна також обчислити молярну масу речовини. Густина обчислюють, знаючи масу та об’єм речовини:

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

Якщо в нас є речовина кількістю 1 моль, то маса речовини такої кількості 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 в шкільному курсі ми маємо справу з об'ємами газів, вимірними за нормальних умов. У цьому разі ми можемо використовувати значення молярного об'єму, що дорівнює 22,4 л/моль. Із наведеної формули (4) видно, що густина залежить від об'єму, а отже, й від умов вимірювання. У задачах, що ми тут обговорюємо, густина випарів має бути такою, якби вона була виміряна за нормальних умов.

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

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

Задача 4. Установіть молекулярну формулу вуглеводню, в 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 співвідношення 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 в співвідношенні на 7,14: $x : y = 7,14 : 14,3 = 1 : 2$.

Отримуємо емпіричну формулу 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 в 5 разів менше за обчислену нами. Отже, індекси в емпіричній формулі слід помножити на 5. Отримуємо молекулярну формулу C_5H_{10} .

Відповідь: формула сполуки — C_5H_{10} .



Ключова ідея

Знаючи загальну формулу класу сполук, можна вивести молекулярну формулу речовини за молярною масою. Якщо загальна формула невідома, використовують інші дані, з яких можна дізнатися про співвідношення числа атомів у молекулах.

**Завдання для засвоєння матеріалу**

- 101.** Виведіть формулу для обчислення молярної маси алкенів, алкінів, аренів та спиртів.
- 102.** Визначте молекулярні формули для 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.** Визначте молекулярну формулу алкену, відносна густина якого за вуглекислим газом дорівнює 2,55.
- 104.** Визначте молекулярну формулу арену, відносна густина якого за метаном дорівнює 6,625.
- 105.** Визначте молекулярну формулу вуглеводню, масова частка Карбону в якому становить 0,75, а відносна густина його випарів за повітрям дорівнює 0,552.
- 106.** Визначте 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 **А** та **Б** приблизно однаковий. Речовина **А** містить: Карбон — 51,89 %, Гідроген — 9,73 %, Хлор — 38,38 %. Відносна густина випарів речовини **Б** за повітрям приблизно у два рази більша, ніж у речовини **А**. Визначте речовини **А** та **Б**. Чи має ця задача однозначну відповідь?
- 108.** Визначте молекулярну формулу вуглеводню, масова частка Карбону в якому становить 85,7 %, а відносна густина його випарів за повітрям дорівнює 1,93.
- 109.** Визначте молекулярну формулу речовини, в якій масова частка Карбону становить 80 %, Гідрогену — 20 %, а відносна густина за воднем дорівнює 15.
- 110.** Визначте 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.** Визначте молекулярну формулу вуглеводню, в якому масова частка Карбону становить 88,2 %, а густина його випарів за нормальних умов дорівнює 3,036 г/л.
- 113.** Визначте молекулярну формулу вуглеводню, в якому масова частка Карбону становить 88,09 %, а густина його випарів за нормальних умов дорівнює 7,5 г/л.

§ 8. Виведення 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.

Виведення молекулярної формули за даними про продукти згоряння речовин

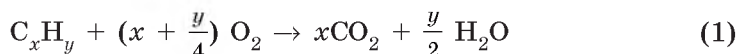
Виведення молекулярної формули органічної сполуки — це один з перших етапів у дослідженні їх хімічної будови. Одним із способів, що почали використовувати хіміки для цього, стало дослідження продуктів згоряння або інших продуктів характерних реакцій — елементний аналіз. У цьому параграфі ми розглянемо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

Цей алгоритм застосовують, якщо з умови задачі відомо:

- масу, або об'єм, або кількість речовини продуктів згоряння;
- загальну формулу 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 співвідношення кількостей речовини реагентів та продуктів реакції. Знаючи ці співвідношення, можна визначити склад речовини.

У загальному вигляді рівняння реакції горіння вуглеводнів можна записати так:



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

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

Розв'язання:

Під час розв'язування задач завжди зручніше мати справу з кількістю речовини, а не з масою або об'ємом. Тому першим кроком, як і для інших типів задач, буде розрахунок кількості речовини:

$$n(CO_2) = \frac{m(CO_2)}{M(CO_2)} = \frac{13,2 \text{ г}}{44 \text{ г/моль}} = 0,3 \text{ моль.}$$

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

Записуємо умовну формулу вуглеводню C_xH_y . Співвідношення індексів дорівнює співвідношенню кількості 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 містилося атомів Гідрогену у два рази більше за кількість речовини води: $n(\text{H}) = 2 \cdot n(\text{H}_2\text{O}) = 2 \cdot 0,15 \text{ моль} = 0,3 \text{ моль}$.

Співвідношення індексів: $x : y = 0,3 : 0,3 = 1 : 1$.

Отримуємо емпіричну формулу сполуки CH .

Для визначення молекулярної формули скористаємося відомою відносною густиною. 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 б 13 г/моль ($12 + 1$), що в шість разів менше за обчислену нами. Отже, помножимо індекси на 6 і отримуємо молекулярну формулу C_6H_6 .

Відповідь: формула сполуки — 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 $11,5$. Визначте молекулярну формулу цієї речовини.

Розв'язання:

У цій задачі йдеться не про вуглеводень, а про якусь органічну речовину, яка може містити не тільки атоми C і H , а ще й атоми інших елементів. Оскільки в продуктах згоряння тільки вуглекислий газ та 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. А якщо ні, то різниця у масах припадає на атоми інших елементів, у даному випадку, можливо, на 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: $1,38 \text{ г} - 0,9 \text{ г} = 0,48 \text{ г}$.

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

Визначити молекулярну формулу можна у два способи.

Спосіб I

Для сполуки із загальною формулою $\text{C}_x\text{H}_y\text{O}_z$ співвідношення 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 $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$, їй відповідає 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 співпадають, отже, визначена емпірична формула є 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 обчисленими вище 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 — $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$.

Виведення 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;
- у яких співвідношеннях відбувається реакція, тобто відомі стехіометричні коефіцієнти в рівнянні реакції.

Стехіометрія може допомогти визначити формулу невідомої речовини за результатами аналізу мас (або об'єму чи кількості речовини) реагентів та продуктів реакції для будь-якої хімічної взаємодії. Цей підхід ґрунтується на відомому співвідношенні кількості речовини в рівнянні реакції.

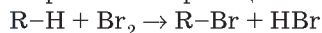
Задача 3. Під час бромовання невідомого газуватого вуглеводню об'ємом 89,6 мл (н. у.) добуто монобромпохідну масою 0,38 г. Визначте вуглеводень.

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:



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 обчислюємо молярну масу продукту реакції:

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

звідки визначаємо, що молярна маса R дорівнює:

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

Із такою молярною масою може бути тільки один вуглеводневий залишок — CH_3 , тоді невідомий вуглеводень — метан. Якщо молярна маса вуглеводневого залишку була б значно більшою і не було б інших відомостей про вуглеводень (загальна формула чи співвідношення атомів), то таку задачу розв'язати було б неможливо.

Відповідь: формула сполуки CH_4 .



Ключова ідея

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



Завдання для засвоєння матеріалу

- 114.** Складіть у загальному вигляді рівняння реакцій горіння: а) алканів; б) алкенів; в) алкінів.
- 115.** Укажіть число атомів Карбону, що містяться у складі однієї молекули алкану, на спалювання 3 л якого витрачається кисень об'ємом 15 л.
- 116.** Для повного згорання невідомого вуглеводню об'ємом 0,4 л витратили кисень об'ємом 1 л. Після закінчення реакції і приведення об'ємів газів до початкових умов об'єм газуватих продуктів становив 0,8 л. Визначте молекулярну формулу вуглеводню.

117. Визначте молекулярну формулу вуглеводню, під час згоряння якого отримали вуглекислий газ масою 6,6 г та воду масою 2,7 г. Відносна густина його випарів за воднем становить 42.
118. Під час 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. Визначте молекулярну формулу вуглеводню, якщо під час спалювання його кількістю речовини 0,1 моль утворюється вода масою 5,4 г і вуглекислий газ об'ємом 8,96 л (н. у.).
120. Під час спалювання вуглеводню масою 4,4 г отримали вуглекислий газ масою 13,2 г і воду масою 7,2 г. Відносна густина випарів цього вуглеводню за повітрям 1,517. Визначте молекулярну формулу вуглеводню.
121. Під час 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. Визначте молекулярну формулу і вкажіть на особливості будови молекул речовин цього класу.
122. Під час згоряння вуглеводню кількістю речовини 0,1 моль отримали вуглекислий газ об'ємом 13,44 л (н. у.) та воду масою 12,6 г. Визначте молекулярну формулу вуглеводню.
123. Під час згоряння органічної речовини масою 2,175 г утворилися вуглекислий газ та вода масою 4,95 г та 2,025 г відповідно. Відносна густина випарів речовини за повітрям дорівнює 2. Визначте молекулярну формулу речовини.
124. Під час хлорування вуглеводню масою 1,44 г добуто дихлоропохідну речовину масою 2,82 г. Визначте вуглеводень.
125. Під час хлорування алкану масою 0,114 г добуто дихлоропохідну речовину масою 0,183 г. Визначте 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 суфіксу *-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_nH_{2n})		Алкіни (C_nH_{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
C_4H_8	бутен	C_4H_6	бутин
C_5H_{10}	пентен	C_5H_8	пентин
C_6H_{12}	гексен	C_6H_{10}	гексин

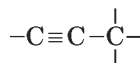
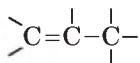
Структурні формули алкенів та алкінів складають так само, як і алканів, але під час складання карбонового ланцюга слід зазначити подвійний (потрійний) зв'язок, а також урахувати його під час додавання атомів Гідрогену.

Розгляньмо складання структурних формул на прикладі пропену та пропіну.

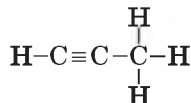
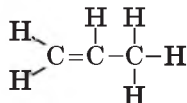
1. Зображуємо карбоновий ланцюг: для обох сполук він складається з трьох атомів Карбону. Позначаємо кратні зв'язки (між будь-якими атомами Карбону, якщо не вказано його положення):



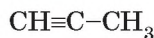
2. Від кожного атома Карбону зображуємо риси хімічних зв'язків так, щоб у кожного атома їх було по чотири:



3. Допишуємо атоми Гідрогену:



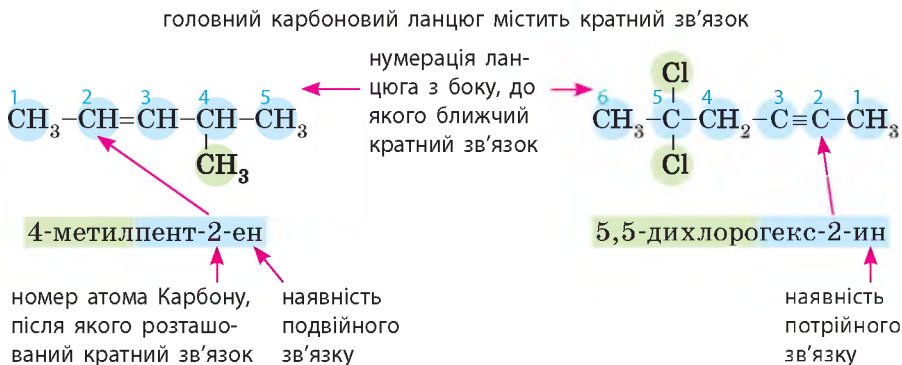
Скорочені структурні формули та моделі молекул, відповідно, виглядатимуть так:

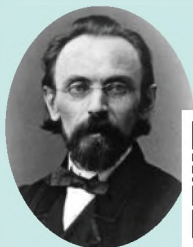


Ненасичені вуглеводні: ізомерія та номенклатура

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:





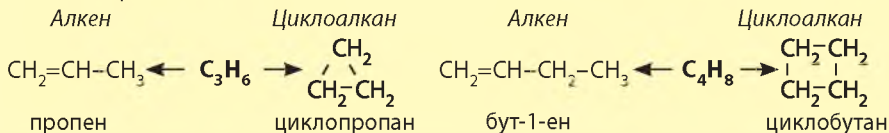
Ріхард Август Карл Еміль Ерленмейер (1825–1909)

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

Ненасичені сполуки дуже поширені в природі. Морква та гарбуз мають жовтий колір завдяки наявності каротиноїдів — речовин, з 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 — міжкласова ізомерія. Цей різновид ізомерії характерний тим, що два ізомери належать до різних класів органічних сполук. Для алкенів характерна міжкласова ізомерія з циклоалканами, тобто з формулою 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 в назві його положення.



Контрольні запитання

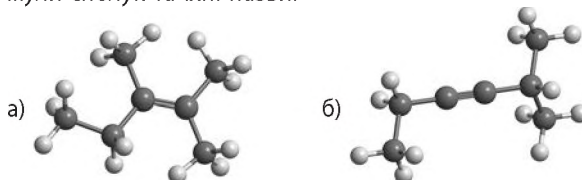
126. Які вуглеводні називають ненасиченими? У чому полягає головна їх відмінність від насичених вуглеводнів?
127. Чому перші члени гомологічних рядів алкенів та алкінів містять по два атоми Карбону, а не по одному?
128. Які види структурної ізомерії характерні для алкенів та алкінів? Наведіть приклади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



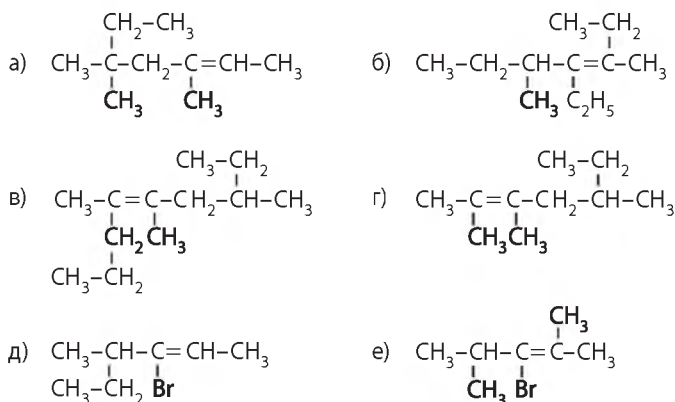
Завдання для засвоєння матеріалу

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 їхні назви.



133. Складіть назви сполук 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. Визначте молекулярну формулу сполук: а) алкену з молярною масою 84 г/моль; б) алкіну з молярною масою 68 г/моль; в) алкену з густиною 1,875 г/л.
137. Установіть формулу вуглеводню, в якому масова частка Карбону становить 85,7 %, а відносна густина його випарів за гелієм дорівнює 28.

Завдання з 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 гідрування та галогенування етену й етину (за § 1);
- знебарвлення бромної води (розчину броду у воді) є якісною реакцією на ненасичені сполуки.

Хімічні властивості етену та етину

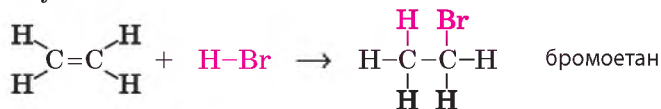
У 9 класі ви вже вивчали реакції гідрогенізації (гідрування) та галогенування етену й етину. Ці реакції ілюструють ненасичений характер цих вуглеводнів, а саме можливість молекул етену й етину приєднувати молекули інших речовин, тобто вступати в *реакції приєднання*. Але етен та етин здатні приєднувати не тільки молекули водню та галогенів, їхні хімічні властивості значно ширші.

Для алкенів та алкінів характерними є реакції приєднання:

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

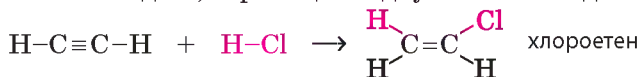
1. Гідрогенгалогенування. Процес приєднання молекул галогеноводнів (HF, HCl, HBr, HI) називають *гідрогенгалогенуванням*. Реакція відбувається так само, як і приєднання водню або галогенів: кратний зв'язок між атомами Карбону розривається (перетворюється на одинарний), а за місцем розриву зв'язку приєднуються атоми Гідрогену й галогену.

Для етену:

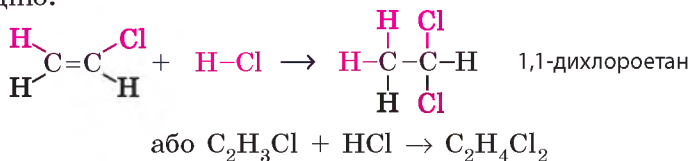


Етин у цю реакцію вступає в один або два етапи залежно від співвідношення реагентів.

У разі співвідношення 1 : 1 одна молекула етину приєднує одну молекулу галогеноводню, і реакція відбувається в один етап:



Якщо хлороводню у два рази більше за етин, то на другому етапі до утвореного хлороетену приєднується ще одна молекула галогеноводню:



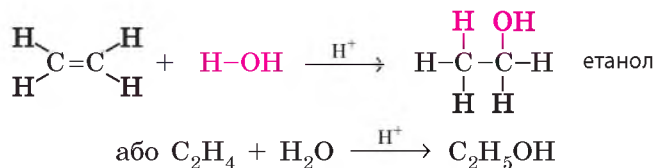
Реакція гідрогенгалогенування відбувається за звичайних умов і лише з хлороводнем — за незначного нагрівання.



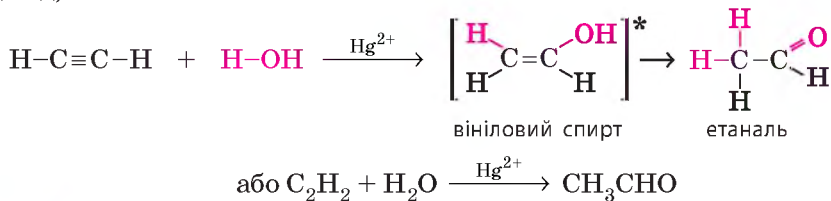
Залишок $\text{CH}_2=\text{CH}-$ називають вініл, тому в хлороетену є ще одна назва — вінілхлорид, яку вживають частіше за номенклатурну назву, особливо в промисловості. Вінілхлорид є сировиною (мономером) для промислового добування дуже цінного полімеру — полівінілхлориду (ПВХ).

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

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

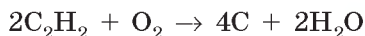


Гідратація етину (реакція Кучерова) відбувається за наявності солей Меркурію(II). Спочатку утворюється нестійкий ненасичений спирт (вініловий спирт, його нестійкість позначено квадратними дужками із зірочкою), який одразу перетворюється на етаналь (оцтовий альдегід):

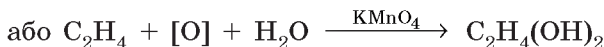
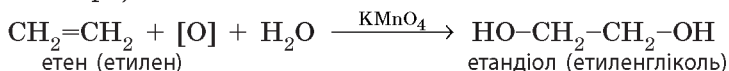


Цю реакцію відкрив та детально дослідив М. Г. Кучеров, тому її називають його ім'ям. Неможливість існування ненасичених спиртів, у яких група -OH приєднана до карбонового ланцюга поряд із подвійним зв'язком, довів український учений О. П. Ельтеков і сформулював правило, що назване його ім'ям.

3. Часткове окиснення. Під частковим окисненням часто розуміють неповне згоряння. І етен, і етин за умови нестачі кисню згоряють кіптявим полум'ям унаслідок утворення вуглецю:



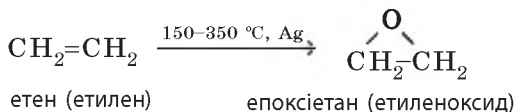
Часткове окиснення етену відбувається під час пропускання етену крізь розчин калій перманганату з утворенням етиленгліколю (реакція Вагнера):



В органічній хімії у схемах реакцій окиснення часто не пишуть хімічну формулу окисника, а замінюють її символом $[\text{O}]$. Тим самим позначають процес додавання атомів Оксигену. В іншому випадку в рівняннях реакцій було б досить складно добирати коефіцієнти.

Під час реакції відбувається знебарвлення розчину калій перманганату, тому цю реакцію разом зі знебарвленням бромної води 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 добування етиленгліколю та поліетиленгліколю.



**Михайло Григорович
Кучеров (1850–1911)**

Дослідив реакцію гідратації алкінів.



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

Досліджував хімічні властивості ненасичених сполук.

**Ключова ідея**

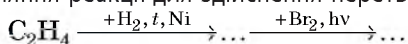
Етен та етин виявляють набагато більшу хімічну активність порівняно з алканами: у багато взаємодій вони вступають за звичайних умов. Для ненасичених вуглеводнів характерними є реакції приєднання.

**Контрольні запитання**

140. Які хімічні властивості характерні для ненасичених вуглеводнів?
141. За допомогою яких реакцій можна довести, що етен чи етин — це ненасичені сполуки?
142. Поясніть, чому за однакового об'єму етин приєднує у два рази більше водню за етен.
143. Складіть рівняння реакцій взаємодії етену й етину: а) з воднем; б) гідроген бромідом; в) хлором.

**Завдання для засвоєння матеріалу**

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

**Комплексні завдання**

148. Яку масу хлоропропану 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, з яким взаємодіє: а) етен масою 7 г; б) етин об'ємом 5,6 л (н. у.).
151. Обчисліть масу продукту реакції взаємодії пропіну об'ємом 11,2 л (н. у.) із надлишком хлору.
152. Обчисліть масу дихлороетану, що можна добути гідрогенгалогенуванням етину об'ємом 16,8 л (н. у.).
153. На бромовання етену витрачено 100 г розчину з масовою часткою бромів 6,4 %. Обчисліть масу продукту реакції.
154. Суміш метану й етену об'ємом 0,56 л (н. у.) пропустили крізь розчин бромів масою 160 г з масовою часткою 2 %. Обчисліть об'ємну частку етену в суміші.
155. Для приєднання до алкену масою 8,4 г знадобилося 0,15 моль водню. Визначте формулу алкену.
156. Суміш етену, пропану й пропену об'ємом 1 л під час реакції приєднує хлор масою 3,55 г. Який об'єм водню може приєднати 1 л такої суміші?

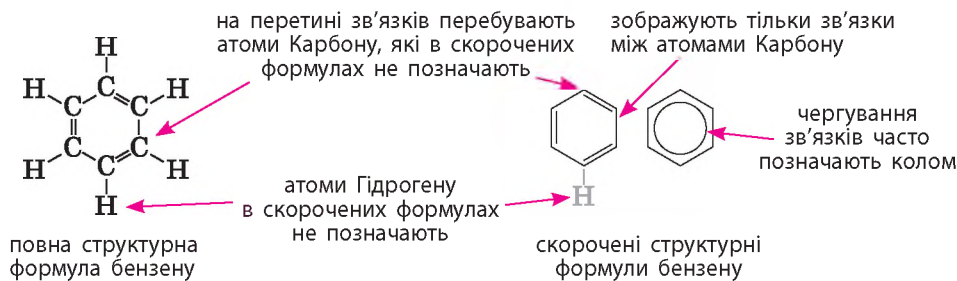
§ 11. Бензен — найпростіший ароматичний вуглеводень

Поняття про ароматичні вуглеводні. Формула бензену

Особливе місце серед органічних сполук посідають ароматичні сполуки, зокрема ароматичні вуглеводні. *Ароматичними* є сполуки, молекули яких містять *бензенове ядро* — 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.

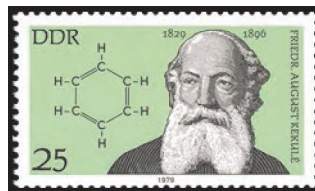
Найпростіший ароматичний вуглеводень — бензен (часто також використовують назву «бензол»). Це перший представник *гомологічного ряду ароматичних вуглеводнів* — *аренів*. Загальна формула аренів C_nH_{2n-6} ($n \geq 6$).

Молекула бензену утворена шістьма атомами Карбону (бензенове ядро), 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:



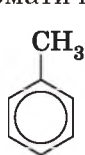
Будову молекули бензену запропонував німецький хімік Ф. Кекуле 1865 року, як і термін «ароматичні сполуки».

Ароматичний зв'язок у молекулі бензену зображують за допомогою одинарних та подвійних зв'язків, що чергуються, або кола всередині шестичленного карбонового цикла. Інші

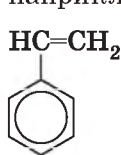


Мал. 11.1. Поштова марка Німецької Демократичної Республіки на честь відкриття Кекуле

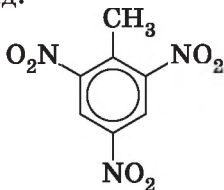
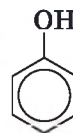
сполуки, що містять фрагмент молекули бензену, також називають ароматичними, наприклад:



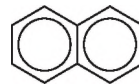
толуен



стирен

тринітролуен
(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 вираз «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 графині Герліц. Як доказ там демонстрували каблучку у вигляді двох переплелих зміюк. Із записів Кекуле: «Мої думки кружляли... довгі нитки зближались 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

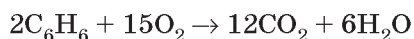


концентрацій бензену в повітрі можна знепритомніти. Випари бензену подразнюють очі й слизові оболонки;

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

Хімічні властивості бензену

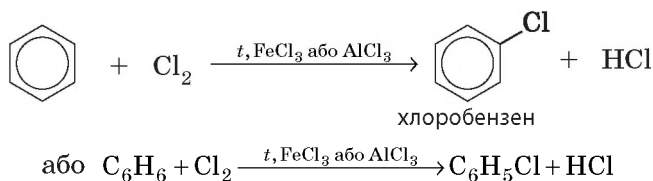
1. Горіння. Як і всі вуглеводні, бензен добре горить. У надлишку кисню він згоряє безбарвним полум'ям з утворенням вуглекислого газу і води:



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

- Для аренів більш характерними є реакції заміщення, зокрема з галогенами (Cl_2 , Br_2) — галогенування;
- менш характерні реакції приєднання, зокрема водню — гідрогенізація;
- 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 вступає переважно в реакції заміщення, як насичені вуглеводні. Бензен взаємодіє з галогенами (Cl_2 та Br_2) за наявності каталізаторів (галогенідів Алюмінію чи Феруму(III)). При цьому заміщується один атом Гідрогену при будь-якому атомі Карбону:



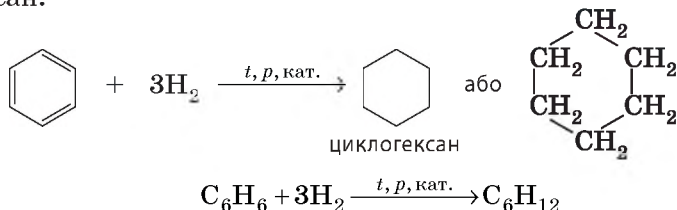
Для реакції бензену з хлором використовують хлориди Алюмінію чи Феруму(III), а для реакції з бромом — броміди.

3. Гідрування. Незважаючи на те що для бензену більш характерні реакції заміщення, він вступає в реакції приєднання. Зокрема, він приєднує водень за умов сильного нагрівання, високого тиску й наявності каталізаторів (Ni, Pd або Pt).

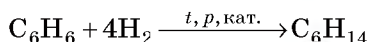


Мал. 11.2. Горіння бензену

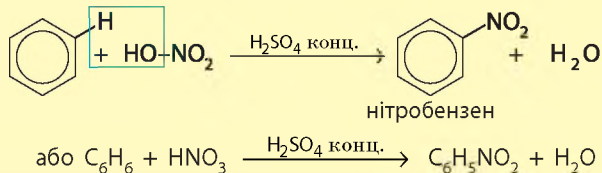
Продуктом реакції гідрування бензену є циклічний вуглеводень циклогексан:



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

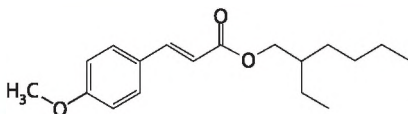


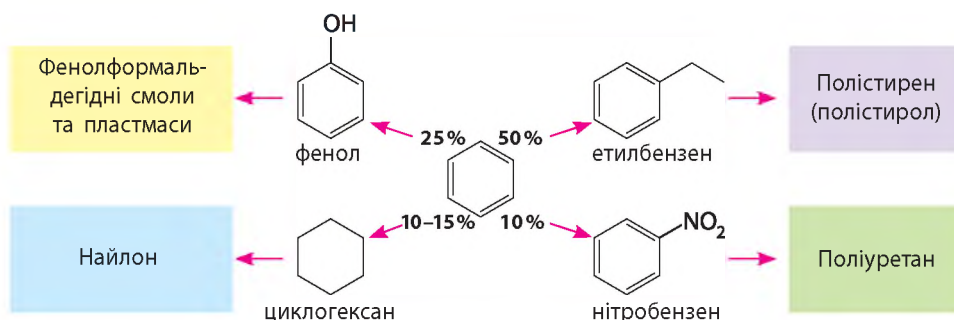
Реакція нітрування. Дуже важливою для промисловості є хімічна властивість бензену та інших аренів взаємодіяти з нітратною кислотою. Це перша стадія в технології виробництва вибухових речовин та штучних анілінових барвників. Під час нагрівання бензену з концентрованою нітратною кислотою у суміші з концентрованою 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. Через це останнім часом 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 добувають багато похідних, що мають широке застосування.

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

Уперше бензен добув 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, з 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

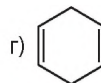
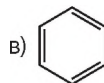
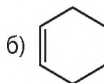
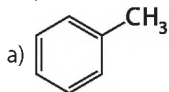
157. Які речовини відносять до ароматичних?
158. Поясніть, чому структурні формули бензену зображають по-різному.
159. Схарактеризуйте фізичні властивості бензену.
160. До яких вуглеводнів подібний бензен за хімічними властивостями: до насичених чи ненасичених? Відповідь поясніть.
161. Складіть повну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



Завдання для засвоєння матеріалу

163. Складіть рівняння реакції неповного згоряння бензену з утворенням вуглецю.

164. Серед наведених формул речовин визначте ароматичні сполуки:



165. Складіть 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, що можна добути з бензену масою 15,6 г.

168. Обчисліть масу дихлоробензену, що можна добути з бензену, якщо під час реакції 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 з розвитку критичного мислення

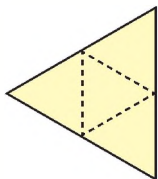
170. Уявіть ситуацію: ви зайшли в лабораторію і побачили, що бензен у склянці перебуває у твердому стані. Про що це свідчить?

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

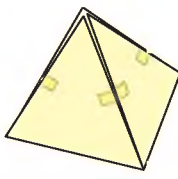
Міні-проекти

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

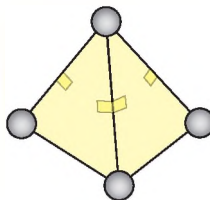
173. Використовуючи аркуш паперу і скотч, зробіть заготовку та складіть з неї тетраедр — він буде основою для моделювання молекул. Атоми Гідрогену можна виготовити у вигляді кульок із пластиліну. Використовуючи заготовки, складіть моделі відомих вам молекул: метану, етену, етину, бензену тощо, спираючись на наведені малюнки.



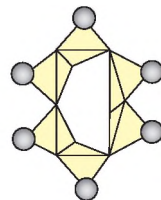
Заготовка з паперу



Складений тетраедр



Модель молекули метану



Модель молекули бензену

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

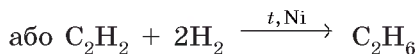
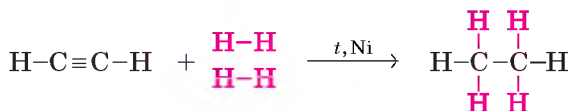
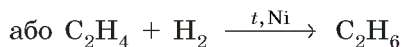
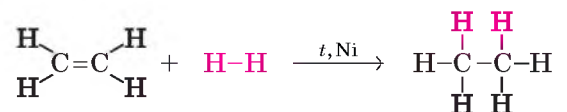
Одержання алканів

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

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

Ізомеризація та крекінг — 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 класу сполук є методом добування речовин іншого класу.

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



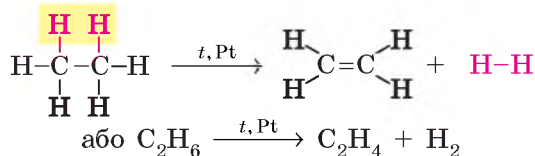
Уперше каталітичне гідрування етену здійснив П. Сабатьє спільно з Ж. Б. Сандераном (реакція Сабатьє — Сандерана).



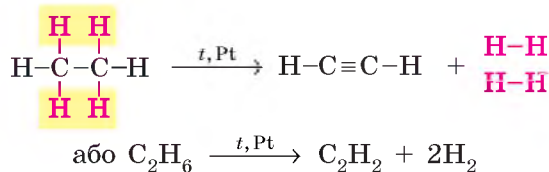
Одержання етену та етину

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

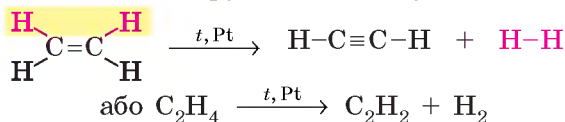
Етен, як і інші алкени, утворюється під час відщеплення водню від насичених вуглеводнів:



Для одержання алкінів необхідно від алкану відщепити дві молекули водню:

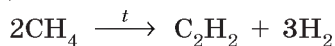


Також для добування алкінів можна використовувати й алкени. Одержати етин можна дегідруванням етену:

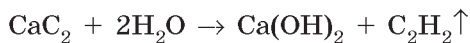


Значний внесок у дослідження реакцій дегідрування вуглеводнів зробив наш співвітчизник М. Д. Зелінський.

2. Піроліз метану. *Піроліз* — розкладання речовин під час нагрівання. Основний промисловий спосіб добування етину — нагрівання метану до 1500 °С:



3. Карбідний спосіб одержання етину. Етин утворюється під час гідролізу кальцій ацетиленіду CaC_2 , який також називають кальцій карбідом:



У промислових масштабах цей спосіб буде дуже дорогим через вартість сировини. Його переважно використовують для зварювання металів (ацетиленове зварювання). Етин (ацетилен) добувають



Микола Дмитрович Зелінський (1861–1953)
Дослідив реакції дегідрогенізації вуглеводнів.

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



а



б

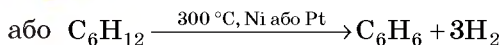
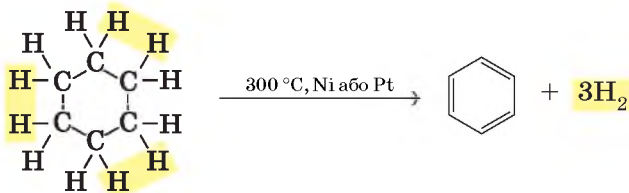
безпосередньо перед спалюванням у пальнику в спеціальних балонах — генераторах ацетилену (мал. 12.2).

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

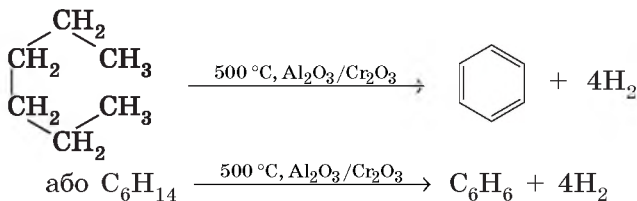
Одержання бензену

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

Бензен утворюється під час дегідрування циклогексану:



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



**Ключова ідея**

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

**Завдання для засвоєння матеріалу**

174. Складіть рівняння реакцій для здійснення перетворень за схемами:

- а) $\text{C}_2\text{H}_4 \rightarrow \text{C}_2\text{H}_6 \rightarrow \text{C}_2\text{H}_4 \rightarrow \text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$;
 б) $\text{CH}_4 \rightarrow \text{C}_2\text{H}_2 \rightarrow \text{C}_2\text{H}_4 \rightarrow \text{C}_2\text{H}_2 \rightarrow \text{CH}_3\text{CHO}$;
 в) $\text{CH}_4 \rightarrow \text{C}_2\text{H}_2 \rightarrow \text{C}_6\text{H}_6 \rightarrow \text{C}_6\text{H}_5\text{Cl}$.
 г) $\text{CaC}_2 \rightarrow \text{C}_2\text{H}_2 \rightarrow \text{C}_6\text{H}_6 \rightarrow \text{C}_6\text{H}_5\text{NO}_2$;
 д) $\text{C} \rightarrow \text{CH}_4 \rightarrow \text{C}_2\text{H}_2 \rightarrow \text{C}_2\text{H}_6$.

175. Розшифруйте ланцюги та складіть рівняння реакцій, за допомогою яких можна здійснити перетворення:

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

Комплексні завдання

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

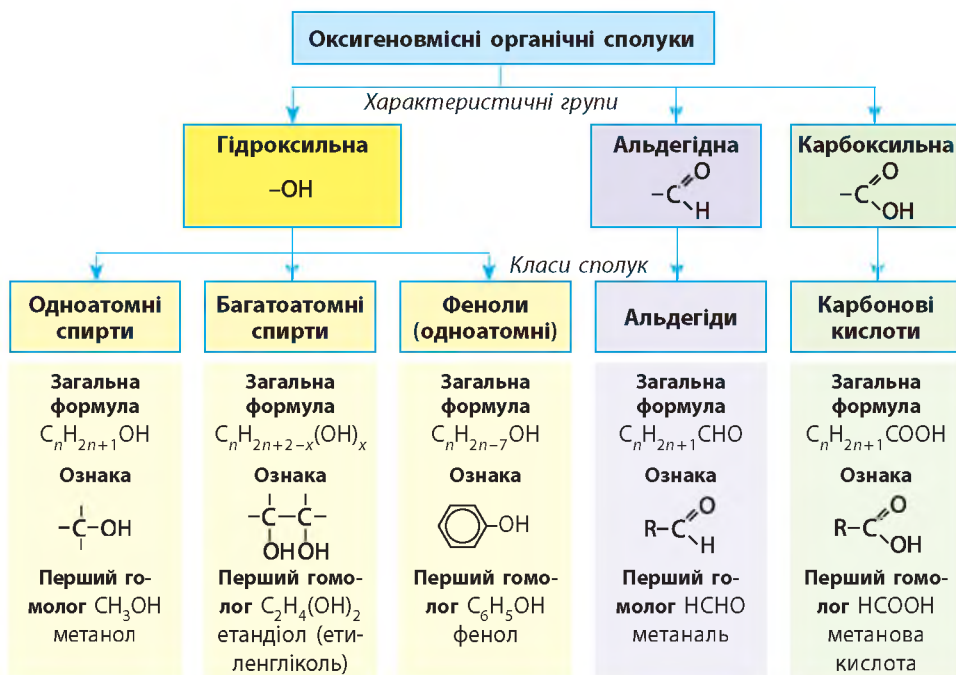
Завдання з розвитку критичного мислення

- 178.** 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) П. М. Бертло добув метан під час пропускання сірковуглецю (карбон дисульфід) разом із гідроген сульфідом через трубку з розпеченою міддю. Складіть рівняння реакції одержання метану за методом Бертло.
179. Складіть схему одержання бензену з кальцій карбонату.
180. Як ви вважаєте, чому реакцію Зелінського називають тримеризацією?



Перевірте свої знання за темою «Вуглеводні», виконавши тестові завдання на сайті.

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 вже ознайомилися з найпростішими представниками спиртів — метанолом, етанолом і гліцеролом. Але так само як існує величезна кількість вуглеводнів, існує багато різних спиртів. У молекулах усіх спиртів обов'язково наявна гідроксильна група -OH, вона є характеристичною (функціональною) для цього класу сполук.



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



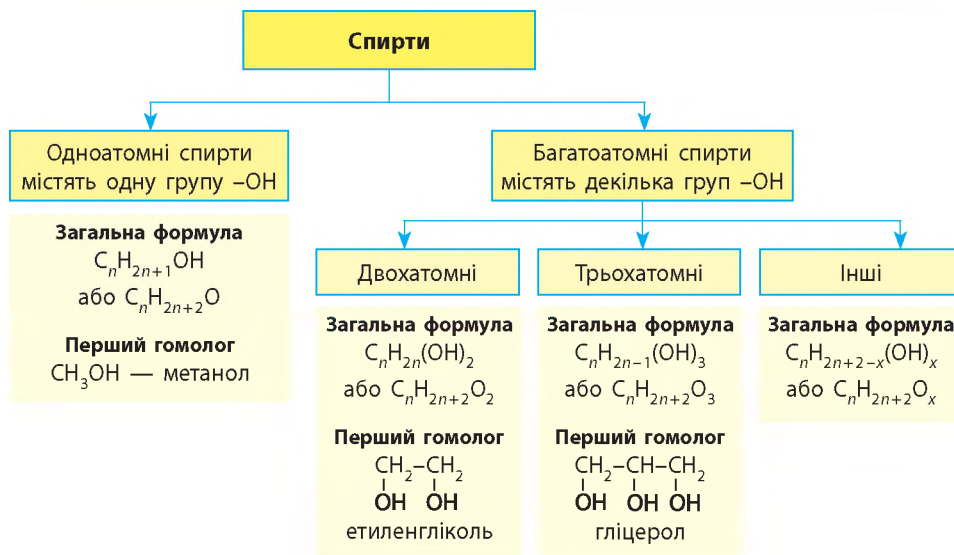
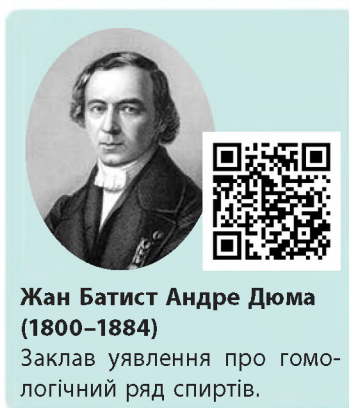
Спирти (алкоголі) — органічні сполуки, що містять одну чи декілька гідроксильних груп $-\text{OH}$, сполучених з насиченим атомом Карбону.

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

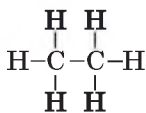
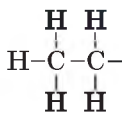
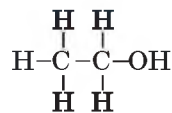


Залишок R може бути утворений будь-яким вуглеводнем (алканом, алкеном, алкіном, а також ареном). У цьому курсі ми вивчатимемо тільки насичені спирти, отже, матимемо справу тільки із залишками, що є похідними алканів.

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



Для насичених одноатомних спиртів загальна формула гомологічного ряду $\text{C}_n\text{H}_{2n+1}\text{OH}$ ($n \geq 1$). Окрім неї також справедлива загальна емпірична формула $\text{C}_n\text{H}_{2n+2}\text{O}$.

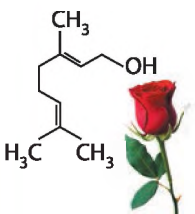
алкан $\text{C}_n\text{H}_{2n+2}$ алкільний залишок $\text{C}_n\text{H}_{2n+1}$ насичений спирт
 $\text{C}_n\text{H}_{2n+1}\text{OH}$, або $\text{C}_n\text{H}_{2n+2}\text{O}$

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.

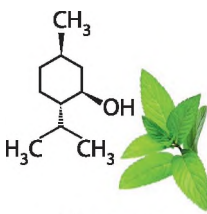


Спирти

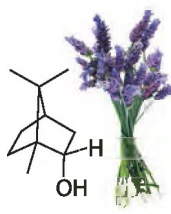
Спирти дуже поширені в природі. Деякі з них мають дуже приємний запах і зумовлюють аромат ефірних олій.



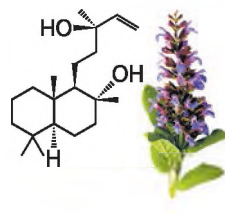
Гераніол
зумовлює запах
троянд



Ментолом
пахне м'ята



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



Склареол
виділяють з листя
шавлії мускатної

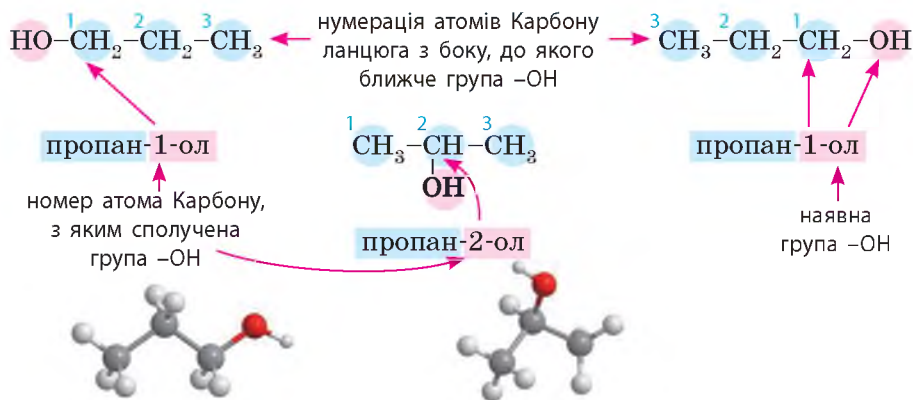
Номенклатура насичених одноатомних спиртів

Назви спиртів складають подібно до назв алканів:

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

Але існують певні особливості:

- нумерацію головного ланцюга починають з боку, 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, з яким сполучена група -ОН.

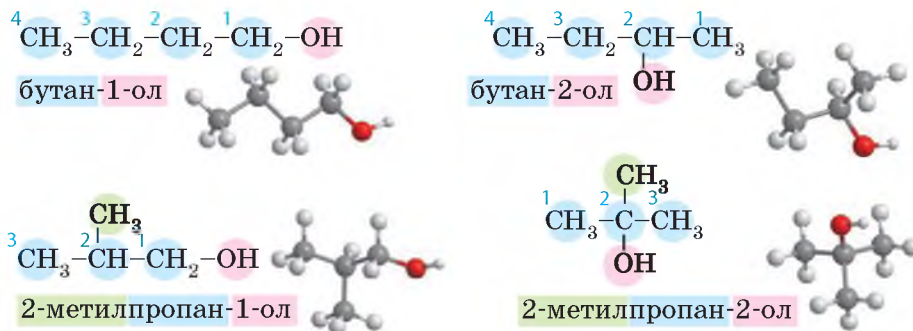


Ізомерія насичених одноатомних спиртів

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 положення 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 різним головним ланцюгом та різним положенням характеристичної групи:

Для спиртів характерна ізомерія:

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

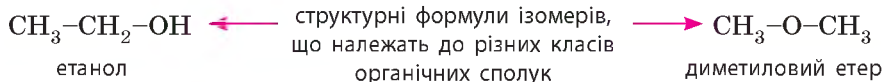


Якщо в молекулі спирту карбоновий ланцюг нерозгалужений, а гідроксильна група сполучена з першим атомом Карбону, то такі спирти називають *нормальними*, що в назві позначають буквою «н». Так, бутан-1-ол можна також назвати нормальним бутанолом, або *н-бутанолом*.

У насичених одноатомних спиртів також існує *міжкласова ізомерія з етерами*. Тобто з однаковим складом можуть існувати дві речовини з різними характеристичними групами (саме тому її називають ізомерією характеристичної групи). Ці речовини належать до різних класів, зокрема, якщо один ізомер є спиртом, то інший — етером.

Наприклад, для спирту:

молекулярна формула C_2H_6O

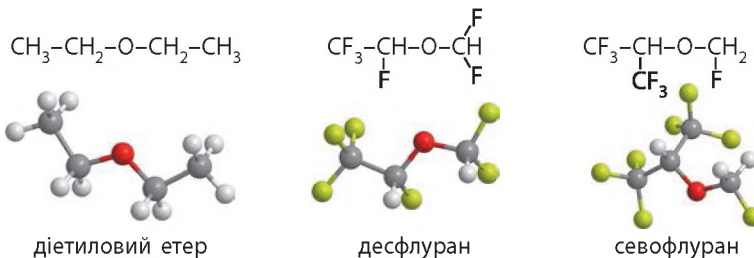


Друга назва спиртів — «алкоголі» — походить від арабського *al-kohol*. Цю назву для спиртів почали застосовувати наприкінці XVI століття, причому тільки для винного спирту (етанолу). Згодом назву «алкоголі» почали застосовувати до групи речовин. Цікаво, що давньоєврейською та арабською мовами слово *Kohl* 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(I) оксид N_2O , який також називають веселящим газом, був уперше застосований для інгаляційної анестезії (знеболювання, або наркозу) 1799 року і 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, провівши з ним близько 10 тисяч операцій. Однак діетиловий етер має певні недоліки: він дуже займистий, а в разі зберігання понад шести місяців стає вибухонебезпечним. Сьогодні для інгаляційного наркозу в медицині використовують галогеновані етери десфлуран та севофлуран.



**Ключова ідея**

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

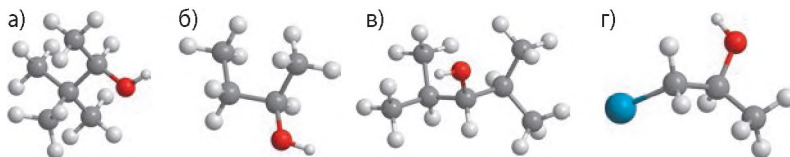
**Контрольні запитання**

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. В 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) $\text{CH}_3-\text{CH}(\text{CH}_3)-\text{CH}_2\text{OH}$.
Серед наведених формул сполук випишіть 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-хлоробутан-2-ол.
191. Складіть назви спиртів зі структурними формулами:
а)
$$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ | \\ \text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{CH}-\text{OH} \\ | \\ \text{CH}_2 \\ | \\ \text{CH}_3 \end{array}$$
 б)
$$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ | \\ \text{CH}_3-\text{CH}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{OH} \\ | \\ \text{CH}_3 \end{array}$$
 в)
$$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ | \\ \text{CH}_3-\text{CH}-\text{CH}-\text{CH}_2-\text{OH} \\ | \\ \text{CH}_3 \end{array}$$
192. Складіть усі можливі формули структурних ізомерів спиртів зі складом: 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. Для кожної моделі молекул запишіть скорочену структурну формулу та складіть назву речовини (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. Визначте молекулярну формулу насиченого одноатомного спирту з молярною масою 88 г/моль.
196. Визначте молекулярну формулу одноатомного спирту, в якому масова частка Карбону становить 52,22 %, а Гідрогену — 13,00 %.
197. Визначте молекулярну формулу спирту, в якому масова частка Карбону становить 60,00 %, а Оксигену — 26,66 %.

Завдання з розвитку критичного мислення

198. Укажіть, за якими ознаками спирти $\text{CH}_3\text{—CH}_2\text{—OH}$ та $\text{CH}_2\text{=CH—CH}_2\text{—OH}$ можна віднести до: а) однієї групи спиртів (до якої?); б) до різних груп спиртів (до яких?).

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

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

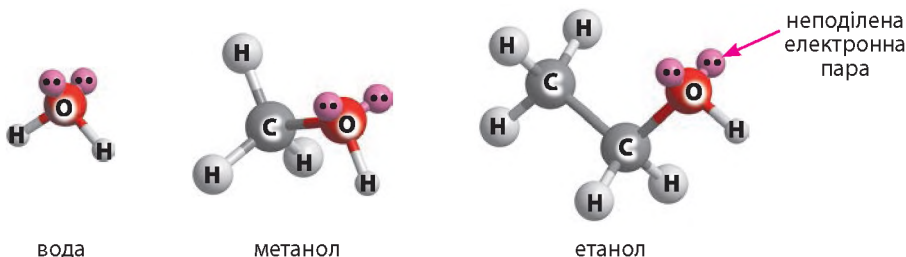
Серед спиртів немає газуватих речовин. Перші члени гомологічного ряду насичених одноатомних спиртів — це рідини, а вищі спирти (від C_{15}) — тверді речовини. У гомологічному ряду нормальних (нерозгалужених) спиртів зі збільшенням молекулярної маси підвищуються температури плавлення й кипіння (як і в алканів), а густина спиртів майже не змінюється (табл. 8). Перші три члени гомологічного ряду змішуються з водою необмежено, а далі розчинність суттєво зменшується. Тверді спирти не мають запаху, тоді як рідким 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	$t_{пл}$, °C	$t_{кип}$, °C	Розчинність у воді
Метанол CH_3OH	32	0,79	-97,5	64,5	Необмежено розчинний
Етанол C_2H_5OH	46	0,79	-114,5	78,3	Необмежено розчинний
<i>n</i> -Пропанол C_3H_7OH	60	0,80	-126,2	97,2	Необмежено розчинний
<i>n</i> -Бутанол C_4H_9OH	74	0,81	-89,5	117,1	Розчинний (7 %)
<i>n</i> -Пентанол $C_5H_{11}OH$	88	0,81	-78,9	138,1	Погано розчинний (2 %)
<i>n</i> -Гексанол $C_6H_{13}OH$	102	0,81	-46,1	157,5	Практично нерозчинний
<i>n</i> -Гептанол $C_7H_{15}OH$	117	0,81	-30,6	176,4	Нерозчинний
<i>n</i> -Октанол $C_8H_{17}OH$	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, хоча перші члени ряду мало відрізняються від них за молекулярною масою. 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), що містить гідроксильну групу, та нерозчинної (гідрофобної), що складається з вуглеводневого залишка. 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 гідроксильна група вже не в змозі здійснити розчинення речовини. Тому вищі спирти — нерозчинні.

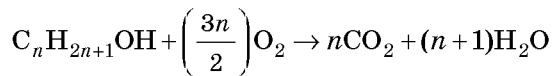
Хімічні властивості насичених одноатомних спиртів

Для спиртів найбільш характерні 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.

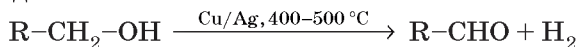
Повне окиснення — горіння — відбувається під час взаємодії з киснем, у результаті чого утворюються вуглекислий газ і вода:



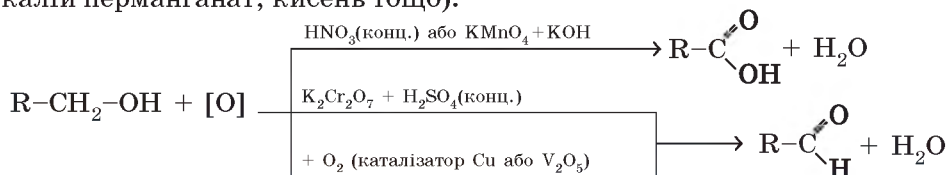
Як і вищі вуглеводні, вищі спирти горять кіптявим полум'ям унаслідок неповного згорання, під час якого утворюється чадний газ або вуглець (сажа).

Під час *часткового окиснення* спиртів утворюються альдегіди або карбонові кислоти залежно від реагентів та каталізаторів, що застосовуються для взаємодії.

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



Також спирти перетворюються на альдегіди або карбонові кислоти під час взаємодії з різними окисниками (калій дихромат, калій перманганат, кисень тощо).



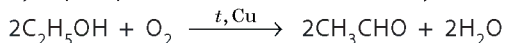
Демонстраційний дослід: окиснення етанолу купрум(II) оксидом

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:
 $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH} + \text{CuO} \rightarrow \text{CH}_3\text{CHO} + \text{Cu} + \text{H}_2\text{O}$

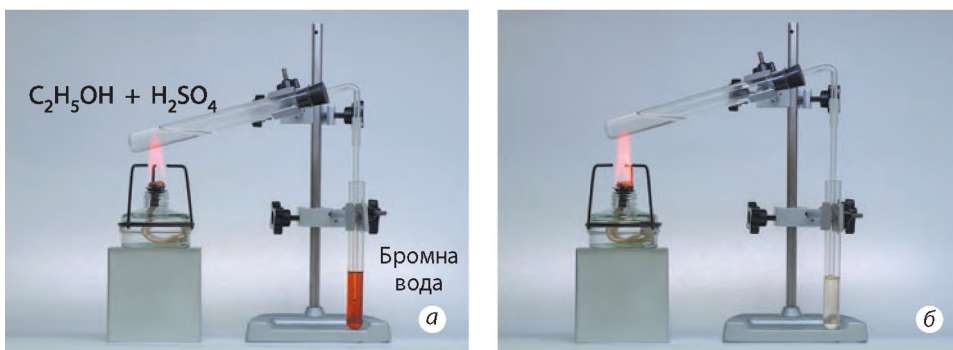
У лабораторії цей процес можна відтворити поетапно. Прожарюємо мідний дріт у полум'ї пальника (а), у результаті чого мідь взаємодіє з киснем. Спостерігаємо, що червона поверхня міді вкривається чорним нальотом купрум(II) оксиду.

Далі розпечений дріт занурюємо в пробірку з етанолом (б). Спостерігаємо, що поверхня дроту знов стає червоною, а в пробірці з'являється запах оцтового альдегіду. Сумарно реакцію окиснення етанолу можна записати так:



Пригадайте: минулого року під час вивчення окисно-відновних реакцій на прикладі міді та купрум(II) оксиду ви аналізували суть процесів окиснення та відновлення. В органічній та 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.





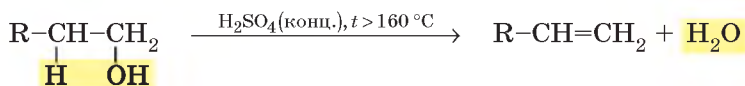
Мал. 14.1. Дегідратація спиртів: нагрівання етанолу із сульфатною кислотою (а).

Знебарвлення бромної води під час пропускання утвореного газу доводить, що одержана речовина є ненасиченою (б)

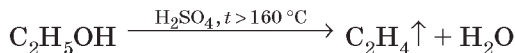
2. Дегідратація. Процес відщеплення молекули води називають *дегідратацією*. Під час нагрівання спиртів з концентрованою сульфатною кислотою відбувається відщеплення молекул води від молекул спиртів. Але залежно від температури, за якої відбувається реакція, можлива внутрішньомолекулярна або міжмолекулярна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

Внутрішньомолекулярна дегідратація. Під час нагрівання вище за $160^\circ C$ молекула води відщеплюється від однієї молекули спирту, й утворюється алкен (мал. 14.1).

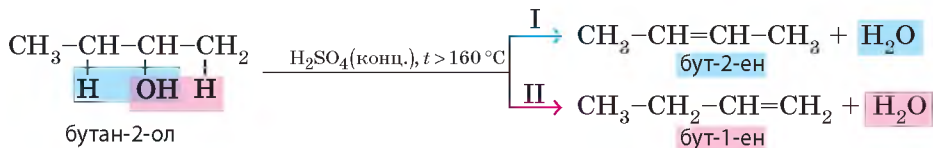
У загальному вигляді схема реакції:



Для етанолу:

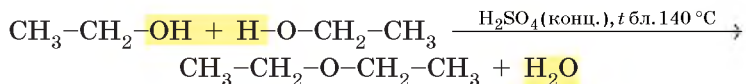


Під час дегідратації спиртів, у яких група $-OH$ приєднана не до першого атома Карбону, можливі два напрямки реакції:



У таких випадках реакція відбувається переважно за напрямком I: атом Гідрогену відщеплюється від найменш гідрогенізованого атома Карбону (з яким сполучене менше атомів Гідрогену). Таку закономірність помітив учень Бутлерова О. М. Зайцев (правило Зайцева).

Міжмолекулярна гідратація. Якщо температура близько 140 °С, молекула води відщеплюється від двох молекул спирту з утворенням етерів. Наприклад, діетиловий етер, або медичний ефір, добувають за такою схемою:

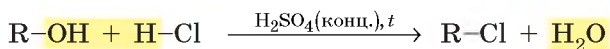


У даному випадку концентрована сульфатна кислота є не тільки каталізатором, але й водовідіймаючим засобом — речовиною, що активно поглинає воду в ході хімічних або фізико-хімічних процесів.

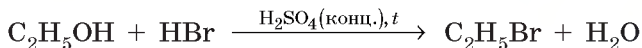
Діетиловий етер уперше було добуто за цією реакцією ще в XVI столітті. Тоді вважали, що в його складі міститься Сульфур, тому його назвали сірчанним ефіром. Цю назву іноді застосовують і сьогодні.

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

У загальному вигляді схема реакції:



Для етанолу:

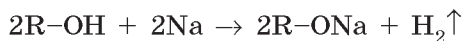


У цій реакції сульфатна кислота також є не тільки каталізатором, а й сприяє відщепленню води, тобто є водовідіймаючим засобом.

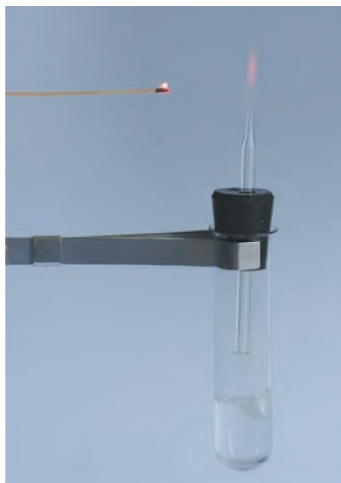
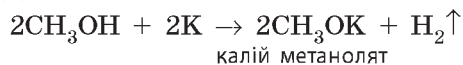
За таких умов реакція відбувається тільки зі спиртами, в яких група -OH з'єднана з кінцевим атомом Карбону (такі спирти називають первинними).

4. Взаємодія з лужними металами. За звичайних умов спирти вступають у реакцію заміщення з активними металами, зокрема лужними, з утворенням солей (алконолятів) та водню (мал. 14.2).

У загальному вигляді схема реакції:



Для метанолу:



Мал. 14.2. Під час взаємодії спиртів з активними металами виділяється водень



**Олександр Михайлович
Зайцев (1841–1910)**

Вивчав хімічні властивості
спиртів.

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. Спирти не змінюють забарвлення індикаторів і не взаємодіють з лугами.

Одержання етанолу

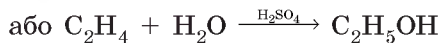
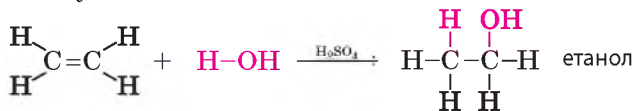
1. Спиртове бродіння глюкози. Більшу частину етанолу одержують з глюкози або інших вуглеводів. Дією ферментів, що виділяють дріжджі, молекули глюкози розщеплюються на молекули етанолу та вуглекислого газу:



Цей процес дуже поширений у природі й широко використовується людиною. Вуглекислий газ, що виділяється під час бродіння, розпушує дріжджове тісто. Під час бродіння соку ягід чи фруктів утворюється етиловий спирт, що використовують для виготовлення вина та інших напоїв.

В Україні виробництво спирту є державною монополією і відбувається на близько 40 заводах концерну «Укрспирт» в усіх регіонах України. Загальна потужність усіх заводів ДП «Укрспирт» становить понад 360 млн л на рік, а найбільше його виробляють у Вінницькій області.

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 тільки 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 добувають 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: під час згоряння етанолу виділяється вуглекислий газ, що потім засвоюється рослинами, з яких знову добувають етанол. У такий спосіб підтримується колообіг вуглекислого газу без включення до нього додаткової кількості вуглекислого газу від згоряння викопного палива. У деяких автомобільних двигунах використовують чистий 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 спирти не змінюють забарвлення індикаторів.
202. Схарактеризуйте хімічні властивості та методи одержання спиртів. Складіть відповідні рівняння хімічних реакцій на прикладі етанолу.



Завдання для засвоєння матеріалу

203. Складіть рівняння реакцій для 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. Складіть рівняння реакції: а) дегідратації пропан-1-олу; б) реакції пропан-1-олу з бромоводнем. За яких умов відбувається ця реакція?
205. Складіть рівняння реакцій 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 під час 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 під час взаємодії натрію з етанолом масою 23 г.
209. Під час взаємодії метанолу з надлишком натрію виділився водень об'ємом 2,24 л (н. у.). Обчисліть масу спирту, що вступив у реакцію.
210. Під час 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. Складіть рівняння реакцій горіння метанолу, етанолу й пропанолу. У скільки разів будуть розрізнятися об'єми газуватих продуктів реакції, отриманих під час горіння цих спиртів?
212. Обчисліть об'єм гідроген броміду, необхідного для взаємодії з етанолом масою 11,5 г.
213. Обчисліть об'єм кисню, необхідний 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 вступив у реакцію.
215. Під час взаємодії одноатомного спирту масою 3,7 г з натрієм виділився водень об'ємом 560 мл (н. у.). Визначте молекулярну формулу спирту.
216. Під час спалювання одноатомного насиченого спирту кількістю речовини 0,1 моль було витрачено 10,08 л кисню (н. у.). Визначте молекулярну формулу цього спирту.
217. Метанол у промисловості добувають реакцією сполучення карбон(II) оксиду з воднем. Складіть рівняння цієї реакції. Обчисліть об'єм водню, необхідний для взаємодії з 500 л чадного газу. Яку масу метанолу при цьому можна добути?

Завдання з розвитку критичного мислення

218. Складіть схему перетворень, за якою можна добути етанол з кальцій карбиду. Складіть відповідні рівняння реакцій.
219. Як ви вважаєте, у який спосіб реалізується водовідіймаюча дія речовин: кальцій оксиду, кальцій хлориду (безводного), сульфатної кислоти (концентрованої), фосфор(V) оксиду? В якому випадку від-

бувається 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 з гідроген галогенідами проводять в умовах якомога меншої кількості води в реакційній суміші. Для цього в колбі змішують концентровану сульфатну кислоту, спирт і галогенід. Складіть рівняння реакції добування 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 вступають у хімічну реакцію;
- необхідно обчислити масу, або об'єм, або кількість речовини продукту реакції чи одного з чистих реагентів.

Більшість реагентів, що використовують для проведення хімічних реакцій, як і більшість речовин у природі, є не чистими речовинами, а сумішами кількох речовин. За вмістом домішок речовинам надають певну кваліфікацію чистоти: чиста («Ч»), хімічно чиста («ХЧ»), чиста для аналізу («ЧДА») тощо. В усіх чистих реагентах уміст домішок не більше 1 %, тому для розрахунків ними можна нехтувати. Але чисті речовини досить дорогі, тому їх використовують переважно для дослідів у лабораторії, де витрачають у невеликих кількостях.

У промисловості, де ціна реагентів істотно впливає на рентабельність виробництва, зазвичай використовують не дуже чисті реагенти. Про такі речовини говорять, що вони «технічно чисті», наприклад технічний кальцій 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, що можна добути 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:

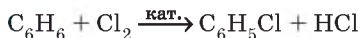
$$m(\text{чистого реагенту}) = w(\text{чистого реагенту}) \cdot m(\text{техн. реагенту})$$

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

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

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

У рівнянні реакції коефіцієнти перед бензеном та хлоробензеном однакові (дорівнюють 1):



Отже, кількості речовини бензену та хлоробензену також однакові:

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

Останнім етапом 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 вступають у хімічну реакцію, тобто є інертними;
- відома маса, або об'єм, або кількість речовини продукту реакції;
- відома маса реагенту технічного ступеня чистоти.

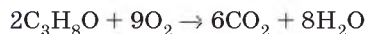
Задача 2. Обчисліть масову частку домішок у технічному пропанолі, якщо під час згоряння його зразка масою 2 г виділився вуглекислий газ об'ємом 1,68 л (н. у.).

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 співвідношення 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 технічного ступеня чистоти;
- домішки не вступають у хімічну реакцію, 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, в 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 цукру в очереті становить 15 %. Обчисліть масу такого очерету, що знадобиться для добування етанолу об'ємом 1150 л (густина 0,8 г/см³). Припустіть, що очерет містить тільки глюкозу.

Розв'язання:

Примітка: хоча в одиницях СІ об'єм та густина вимірюються в м³ та кг/м³ відповідно, але традиційно в хімічних розрахунках використовують кратні одиниці мл та г/мл. Головне під час розрахунків, щоб одиниці вимірювання всіх величин були однаковими.

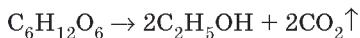
$$V(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) = 1150 \text{ л або } 1,15 \cdot 10^6 \text{ мл}; \rho(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) = 0,8 \text{ г/см}^3, \text{ або } 0,8 \text{ г/мл.}$$

У цій задачі очерет — це технічний реагент, а глюкоза, що в ньому міститься, — чиста речовина. Щоб визначити масу очерету, якого вистачить для добування 1150 л спирту, насамперед необхідно знати, скільки глюкози він має містити. Обчислимо це, знаючи, що етанол утворюється тільки внаслідок бродіння глюкози. Обчислимо 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 під час реакції:



звідки дізнаємося співвідношення кількості 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), піддали піролізу. Обчисліть максимальний об'єм етину, що можна добути.
227. Під час згоряння технічного бензену масою 1 г утворився вуглекислий газ масою 2,64 г. Обчисліть масову частку домішок у бензені.
228. З вуглецю масою 1 кг добуто метан об'ємом 1,792 м³ (н. у.). Обчисліть масову частку домішок у вуглецю.
229. Із глюкози масою 1,1 кг добуто етанол об'ємом 0,69 л (густина 0,8 г/см³). Обчисліть масову частку домішок у глюкозі.
230. Технічний кальцій карбід масою 1,6 г залили надлишком води. Під час пропускання утвореного газу крізь розчин бром у реакцію вступив бром масою 7,2 г. Обчисліть масову частку домішок у технічному кальцій карбіді.
231. Обчисліть масу технічного бензену з масовою часткою домішок 6,4 % для добування бромобензену масою 565,2 г.
232. Технічний етанол містить 4 % домішок. Обчисліть масу зразка такого етанолу, якщо під час його згоряння утворився вуглекислий газ масою 0,9183 г.

Міні-проекти

233. Дізнайтеся з відкритих джерел інформації про хімічні або харчові виробництва, що є у вашій місцевості: яку продукцію вони випускають, яку сировину використовують та приблизні обсяги виробництва. Уявіть, що ви працюєте головним технологом на цьому підприємстві та контролюєте аналітичну лабораторію. Змодельуйте ситуацію, за якої в лабораторії припустилися помилки у визначенні вмісту корисної речовини в сировині (у більший або в менший бік). Оцініть, як це відіб'ється на прибутках вашого підприємства.

§ 16. Багатоатомні спирти. Гліцерол

Пригадайте:

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

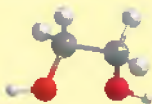
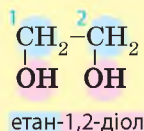
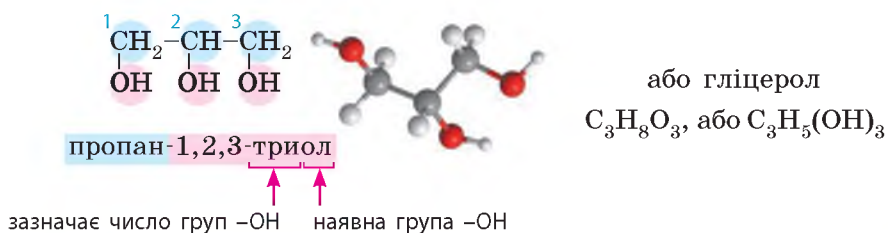
Поняття про багатоатомні спирти



Сирти, молекули яких містять більше однієї групи -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:



або етиленгліколь
 $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}_2$, або $\text{C}_2\text{H}_4(\text{OH})_2$

номери атомів Карбону, з якими сполучені групи -OH

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. Молекули цих спиртів також значно важче пересуваються одна відносно одної, унаслідок чого багатоатомні спирти дуже в'язкі.

Гліцерол:

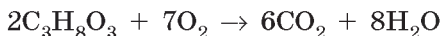
- безбарвна сиропоподібна рідина;
- дуже в'язкий;
- дуже гігроскопічний;
- необмежено розчиняється у воді;
- $t_{\text{пл.}} = 18,2\text{ }^{\circ}\text{C}$; $t_{\text{кип.}} = 290\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- густина $1,26\text{ г/мл}$;
- солодкуватий;
- не отруйний.

**Етиленгліколь:**

- безбарвна сиропоподібна рідина;
- необмежено розчиняється у воді й етанолі, не розчиняється у вуглеводнях;
- $t_{\text{пл.}} = -12,6\text{ }^{\circ}\text{C}$, $t_{\text{кип.}} = 197,9\text{ }^{\circ}\text{C}$; • густина $1,12\text{ г/мл}$;
- солодкуватий; • 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:



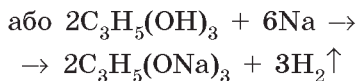
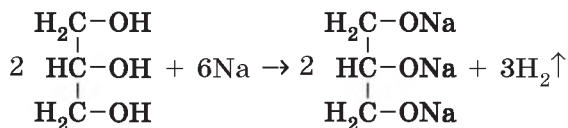
У разі нагрівання вище $300\text{ }^{\circ}\text{C}$ гліцерол спалахує. Здатність гліцеролу горіти використовують у прозорих свічках (мал. 16.2).



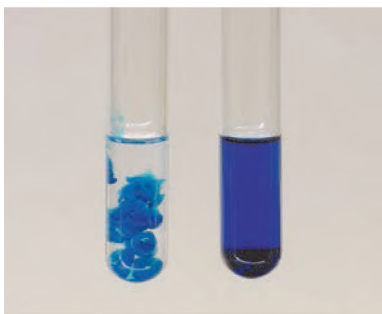
Мал. 16.1. Гліцерол горить ясним полум'ям

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

Гліцерол активно взаємодіє з активними металами, зокрема з натрієм:



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



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

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

Також проявом кислотних властивостей гліцеролу є його взаємодія з купрум(II) гідроксидом, що використовують для виявлення його в розчині. У разі додавання до свіжоосадженого 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 й інші багатоатомні спирти. Це демонструє, що багатоатомні спирти мають трохи сильніші кислотні властивості, ніж одноатомні, внаслідок більшого числа груп $-\text{OH}$ у молекулах.

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



Досліджуючи нітропохідні алканів та спиртів, М. М. Зінін разом із В. Ф. Петрушевським помітили, що суміш нітрогліцерину (стара назва нітрогліцеролу) з магній карбонатом є безпечною для транспортування. Про це Зінін розповів своєму сусідові по дачі Альфреду Нобелю. Нобель згадав про це через кілька років, коли він спостерігав, як під час транспортування розбита пляшка з нітрогліцерином не вибухнула, оскільки рідина пропитала інфузорну землю, насипану між пляшками. Нобель швидко оцінив властивості утвореної композиції, назвав її динамітом і отримав величезні прибутки. Довідавшись про це, Зінін зазначив: «Цей Нобель вихопив у нас динаміт прямо з-під носу».



Ключова ідея

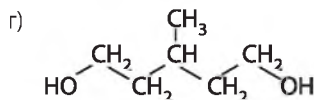
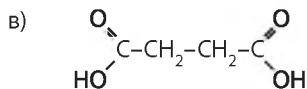
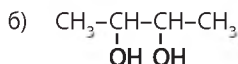
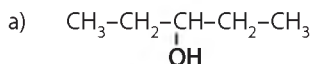
Збільшення числа гідроксильних груп у молекулі спиртів добре ілюструє закон переходу кількісних змін у якісні: принципово властивості не змінюються, але ті, що є, виявляються по-іншому.

**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 складіть 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.** Які з наведених формул речовин відповідають багатоатомним спиртам?



- 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 під час взаємодії натрію з гліцеролом масою 69 г.
- 244.** Обчисліть масову частку домішок у технічному гліцеролі, якщо під час 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 під час згоряння гліцеролу масою 78,2 г.
- 246.** Обчисліть відносну молекулярну масу двохатомного спирту, якщо під час 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 під час реакції натрію з метанолом та з гліцеролом. Яка залежність (пряма, зворотна) спостерігається між масовою часткою металічного елемента й атомністю спирту?

Завдання з розвитку критичного мислення

- 248.** Використовуючи матеріал параграфа, проілюструйте прикладами ключову ідею цього параграфа.
- 249.** Використовуючи матеріал параграфа, складіть рівняння реакції взаємодії етиленгліколю з натрієм та купрум(II) гідроксидом.
- 250.** Під час взаємодії суміші гліцеролу з одноатомним насиченим спиртом масою 15,6 г з натрієм виділяється водень об'ємом 3,08 л (н. у). Ця суміш такої самої маси взаємодіє зі свіжодобутиим купрум(II) гідроксидом масою 2,45 г. Визначте молекулярну формулу одноатомного спирту в цій суміші. Багатоатомні спирти взаємодіють з купрум(II) гідроксидом у стехіометричному співвідношенні 2:1.

Міні-проекти

- 251.** У додаткових джерелах знайдіть інформацію про застосування етиленгліколю та гліцеролу. У чому полягає промислове значення цих речовин? Дайте розгорнуту відповідь.
- 252.** Нітрогліцерин як вибухівку часто згадують у художніх творах. Перегляньте запропоновані художні твори та схарактеризуйте: а) небезпеки роботи й транспортування нітрогліцерину за к/ф «Плата за страх» (реж. Анрі-Жорж Клузо) та «Легенда Зорро» (реж. Мартін Кемпбел); б) процес синтезу нітрогліцерину за романом Ж. Верна «Таємничий острів» та к/ф «Бійцівський клуб» (реж. Девід Фінчер).

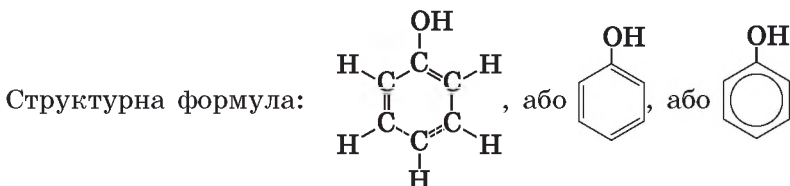
§ 17. Фенол**Пригадайте:**

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

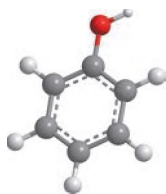
Поняття про феноли

Феноли — це клас ароматичних сполук, у яких група —OH сполучена безпосередньо з бензеновим ядром.

Найпростішою сполукою цього класу, в якій з бензеновим ядром сполучена тільки одна група —OH , є фенол:

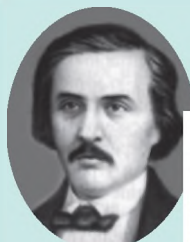


Модель молекули:



Молекулярна формула фенолу C_6H_5OH . Традиційна 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.



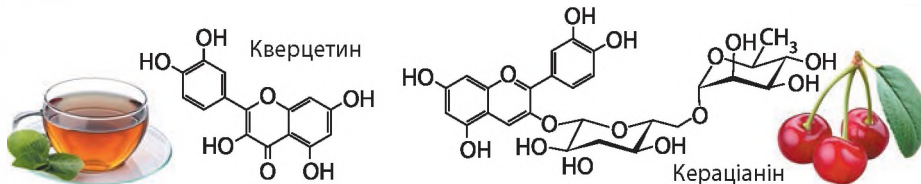
**Шарль Фредерік Жерар
(1816–1856)**

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, в яких подібно до фенолу гідроксильна група сполучена з бензеновим ядром. 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 — дуже поширений у природі представник флавонолів. Дуже багато його міститься в чаї, червоній цибулі, часнику, помідорах, горобині, обліпсисі тощо. Поліфеноли у значній кількості потрапляють до нашого організму з рослинною їжею і виконують дуже важливу роль потужних антиоксидантів разом з вітамінами С та Е. Вони є незамінними компонентами їжі людини і допомагають нашому організму протидіяти виникненню злоякісних пухлин.



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



Хімія навколо нас



Фізичні властивості фенолу

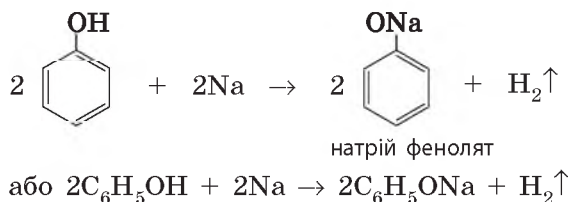
- Свіжодобутий фенол — безбарвна кристалічна речовина;
- під час зберігання набуває рожевого забарвлення внаслідок часткового окиснення;
- $t_{\text{пл.}} = 42\text{ }^{\circ}\text{C}$; $t_{\text{кип.}} = 181,8\text{ }^{\circ}\text{C}$, але за нагрівання близько $90\text{ }^{\circ}\text{C}$ займається;
- леткий, 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 ядро (як арили) та гідроксильну групу (як спирти), отже, він має виявляти властивості як аренів, так і спиртів.

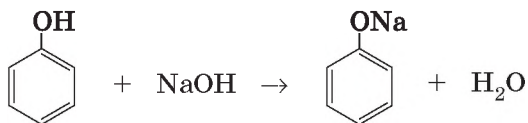
1. Взаємодія з лужними металами. Феноли виявляють кислотні властивості і за звичайних умов взаємодіють з активними металами. Реакція відбувається так само, як і у спиртів: атоми металічних елементів заміщують атоми Гідрогену гідроксильної групи:



Фенол активно взаємодіє:

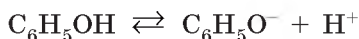
- з лужними металами (як і спирти);
- лугами (на відміну від спиртів);
- бромом (набагато активніше за бензен).

2. Взаємодія з лугами. Феноли виявляють сильніші кислотні властивості, ніж спирти, і на відміну від них взаємодіють з лугами:

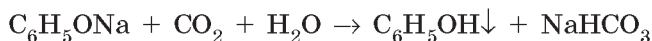




Здатність фенолу взаємодіяти з лугами зумовлена впливом бензенового ядра на зв'язок О–Н у гідроксильній групі. Завдяки цьому впливу зв'язок О–Н більш полярний, ніж у спиртах, і легше розривається. Унаслідок цього фенол хоч і незначною мірою, але дисоціює у водному розчині:

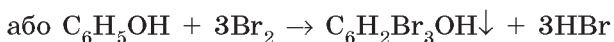
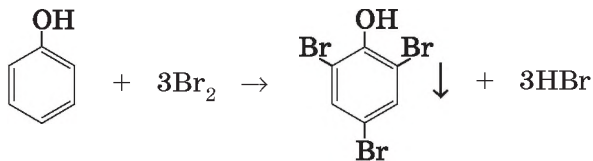


Але кислотні властивості фенолу настільки слабкі, що навіть така слабка кислота, як карбонатна, витісняє фенол із розчину його солей:



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

3. Взаємодія з бромом. Фенол активно взаємодіє з бромом. Під час 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 ядро. 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 бенzenovому ядрі фенолу відбуваються набагато активніше. Зокрема, фенол бромується за звичайних умов навіть з розчином броду (бромною водою) із заміщенням одразу трьох атомів Гідрогену в бенzenovому ядрі.

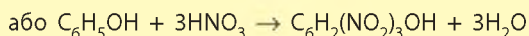
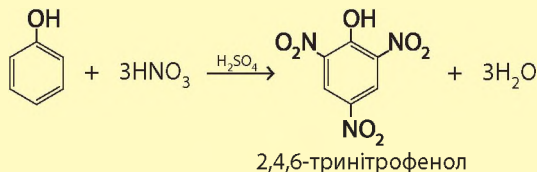


Мал. 17.1. Бромна вода (ліворуч) та після додавання фенолу (праворуч)



Реакція нітрування

Як і бензен, фенол піддається нітруванню дією нітратної 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 спочатку використовували як жовтий барвник для вовни та шовку, а потім виявили її вибухові властивості й до Другої світової війни використовували для виготовлення боєприпасів. Сьогодні пікринову кислоту застосовують у криміналістичній практиці для виявлення деяких наркотичних речовин.

Застосування фенолу

Раніше фенол (карболова кислота) був одним з 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 понад 8 млн тонн на 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 кривлі й фасадів будівель, шумових загороджень доріг тощо.

Значні обсяги фенолу витрачають на виробництво фенолформальдегідних 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 телефонів та інших апаратів, а також шахи, шашки, доміно тощо.



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

Також фенол необхідний у виробництві деяких поверхнево-активних речовин (ПАР).

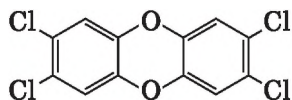
У фармацевтичній промисловості фенол використовують для синтезу різноманітних лікарських препаратів, зокрема аспірину. Розбавлені розчини фенолу (1–4 %) використовують як антисептичні та знеболювальні засоби в лікуванні деяких захворювань та у стоматології («Орасепт», «Фукорцин»).

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 крізь навіть неущожену 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 виливах. 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-тетрахлородибензо-*para*-діоксин — найтоксичніший представник діоксинів

Одна з найбільших трагедій, пов'язаних з викидами фенолу, сталася навесні 1990 року в м. Уфа (Башкортостан). У результаті

техногенної катастрофи на території підприємства ВО «Уфахімпром» відбувся витік десятків тонн фенолу в річку Шугуровка, звідки отруєна вода потрапила у водопровідну мережу Уфи. Концентрація фенолу майже у 100 разів перевищувала ГДК, із кранів текла вода з характерним карболовим запахом. Від нормального водопостачання було відрізано майже 700 тис. людей.



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. Піттман).



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?



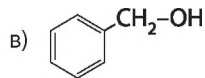
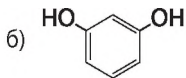
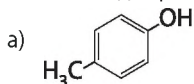
Контрольні запитання

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



Завдання для засвоєння матеріалу

260. Серед наведених структурних формул визначте формули сполук, що належать до фенолів.



261. 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) з Na ; б) NaOH ; в) Br_2 ; г) розчином Br_2 .

262. Складіть рівняння реакції, що ілюструють відмінності у хімічних властивостях фенолу та: а) етанолу; б) бензену. Відповідь поясніть.

Комплексні завдання

263. До розчину фенолу додали бромну воду, утворився осад масою 49,65 г. Обчисліть масу фенолу, що вступив у реакцію.

264. Обчисліть масу розчину натрій гідроксиду з масовою часткою лугу 4%, необхідного для нейтралізації розчину фенолу масою 200 г із масовою часткою 0,705 %.

265. Зразок фенолу масою 47 г змішали з розчином калій гідроксиду масою 953 г. У результаті утворився розчин з дуже лужним середовищем. Обчисліть масу солі в утвореному розчині.

266. Зразок технічного фенолу масою 1 г розчинили в надлишку розчину лугу. Крізь отриманий розчин пропустили вуглекислий газ до припинення виділення осаду. У результаті утворився осад масою 0,95 г. Обчисліть масову частку домішок у технічному фенолі.

267. 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 з розвитку критичного мислення

268. Запропонуйте хімічний спосіб розділення суміші етанолу та фенолу.

269. У додаткових джерелах знайдіть інформацію про застосування фенолу та продуктів його переробки.

Міні-проекти

270. 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 ядром (так званий «фенольний гідроксил»). Для реакції застосовують дуже розбавлений розчин ферум(III) хлориду світло-жовтого кольору. Під час змішування його з розчином, що містить «фенольний гідроксил», частіше розчин набуває темно-синього забарвлення. Перевірте на вміст поліфенолів харчові продукти рослинного та тваринного походження. У додаткових джерелах інформації знайдіть, які саме сполуки з «фенольним гідроксилом» 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 $\text{C}_n\text{H}_{2n+1}\text{CHO}$ ($n \geq 0$). Також для них можна вивести *загальну емпіричну формулу* $\text{C}_n\text{H}_{2n}\text{O}$ ($n \geq 1$).

Порівняйте загальні емпіричні 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:

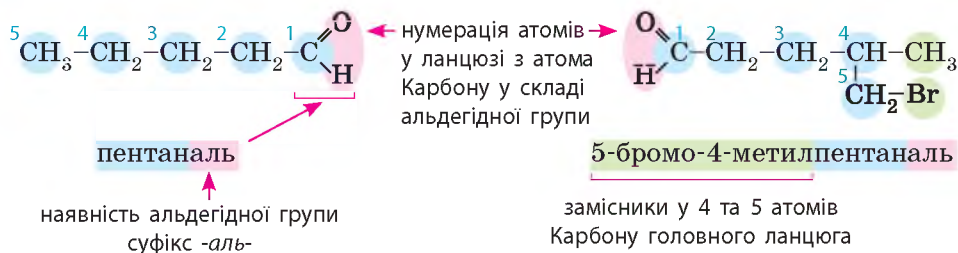
префікс	родонаціальна структура		суфікс
назви замісників за алфавітом	корінь назва головного ланцюга	суфікс для насичених альдегідів -ан-	позначення характеристичної групи -CHO — <i>аль</i>

Але існують певні особливості:

- за родонаціальну структуру в альдегідів обирають таку, що містить альдегідну групу;
- альдегідна група може утворюватися тільки кінцевим атомом Карбону, тому її положення 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-*.

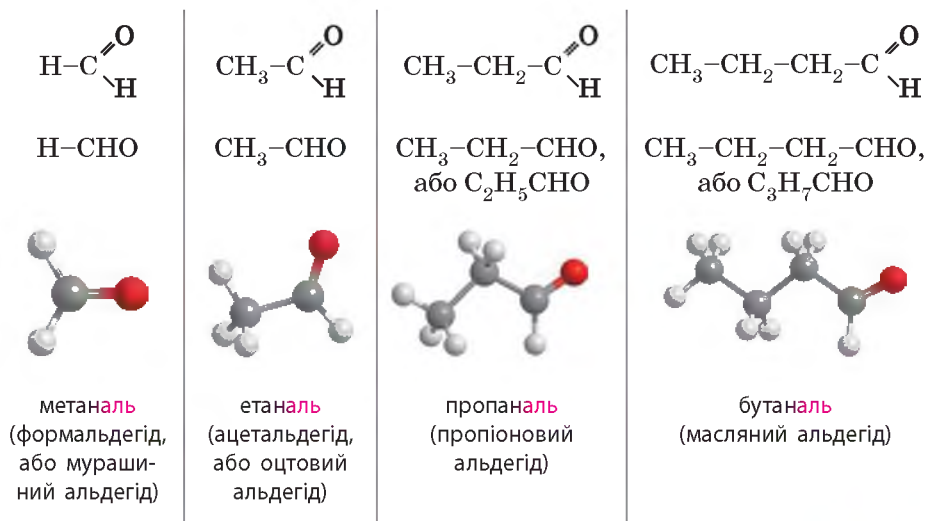


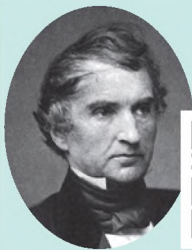
Крім того, багато альдегідів мають традиційні назви.

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:





Таблиця 9. Фізичні властивості альдегідів

Формула	M , г/моль	$t_{\text{пл.}}, ^\circ\text{C}$	$t_{\text{кип.}}, ^\circ\text{C}$	Розчинність у воді
HCHO	30	-92	-21	Добре розчинний (до 44 %)
CH_3CHO	44	-123	20,2	Необмежено розчинний
$\text{C}_2\text{H}_5\text{CHO}$	58	-103,3	50,3	Добре розчинний (до 31 %)
$\text{C}_3\text{H}_7\text{CHO}$	72	-97,1	74,8	Добре розчинний (до 7,1 %)
$\text{C}_4\text{H}_9\text{CHO}$	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).

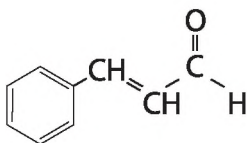
Такі фізичні властивості альдегідів зумовлені можливістю утворення водневого зв'язку:

- 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 добру (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. Кориичний альдегід зумовлює запах кориці

**Ключова ідея**

Альдегіди — похідні вуглеводнів, молекули яких містять характеристичну групу $-\text{CHO}$. Вона зумовлює наявність спільного та відмінного в альдегідів із вуглеводнями та спиртами, а в назвах позначається суфіксом *-аль-*.

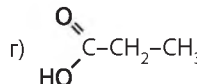
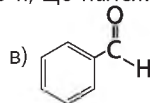
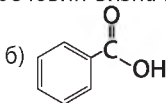
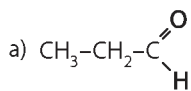
**Контрольні запитання**

- 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 у порівнянні 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.

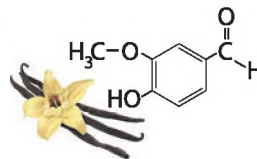
**Завдання для засвоєння матеріалу**

275. Визначте, до яких класів можуть належати речовини з формулами: $\text{C}_2\text{H}_4\text{O}$, $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$, CH_2O , C_2H_4 , $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}_2$.

276. Серед наведених речовин визначте ті, що належать до альдегідів:

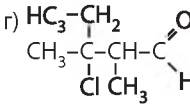
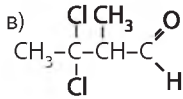
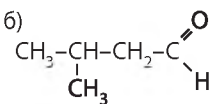
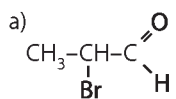


277. Ванілін виділяють із бобів ванілі плосколистої і часто використовують у кондитерській справі. За структурною формулою ваніліну визначте, до яких відомих вам класів органічних сполук можна його віднести.



278. Складіть усі можливі структурні формули альдегідів складу: а) $\text{C}_4\text{H}_8\text{O}$; б) $\text{C}_4\text{H}_7\text{OCl}$.

279. Складіть назви альдегідів за систематичною номенклатурою:



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

Комплексні завдання

281. Визначте молекулярну формулу альдегіду з молярною масою 44 г/моль.

282. Визначте молекулярну формулу альдегіду, в якому масові частки:

- а) Карбону — 40 %, Оксигену — 53,3 %, Гідрогену — 6,66 %;
б) Карбону — 54,54 %, Гідрогену — 9,09 %.

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

Завдання з 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 тільки кінцевим атомом Карбону головного ланцюга і не може розташовуватися всередині головного карбонового ланцюга?

§ 19. Етаналь: хімічні властивості та методи добування

Пригадайте: хімічні властивості спиртів (за § 14).

Хімічні властивості етаналю

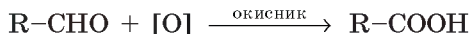
Ю. Лібіх одним із перших почав досліджувати альдегіди й першим синтезував етаналь. Він вважав альдегіди проміжним продуктом процесу окиснення етанолу до етанової кислоти. І його точка зору не позбавлена сенсу. Наведена схема ілюструє проміжне положення альдегідів:



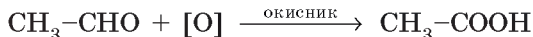
Ця схема також відображає окисно-відновні властивості та методи одержання альдегідів: альдегіди можна одержати зі спиртів (окисненням) та з карбонових кислот (відновленням). Отже, хімічними властивостями альдегідів є окиснення (до карбонових кислот) та відновлення (до спиртів).

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

У загальному вигляді:



Для етаналю:

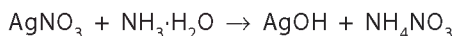


Як окисники застосовують калій перманганат $KMnO_4$, калій дихромат $K_2Cr_2O_7$, селен(IV) оксид SeO_2 , аргентум(I) оксид Ag_2O (амоніачний розчин), купрум(II) гідроксид $Cu(OH)_2$.

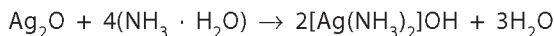


Демонстраційний дослід: окиснення альдегідів амоніачним розчином аргентум(I) оксиду

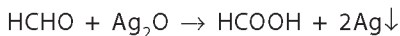
У колбу з розчином аргентум(I) нітрату доливаємо розчин амоніаку. У ході реакції спочатку випадає жовтуватий осад аргентум(I) оксиду (мал. а):



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



До отриманого розчину додаємо розчин метаналю (формалін) і обережно нагріваємо на водяній бані або в стакані з гарячою водою (мал. б). Аргентум(I) 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(I) оксиду називають *реакцією срібного дзеркала* і використовують як якісну реакцію для виявлення альдегідів у розчинах.



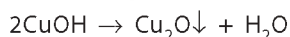


Демонстраційний дослід: окиснення альдегідів свіжодобутим купрум(II) гідроксидом

Альдегіди також можна окиснити купрум(II) гідроксидом. Спочатку добуваємо 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 їх окиснення в організмі. У разі потрапляння в організм людини спирт з 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 уражає 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.

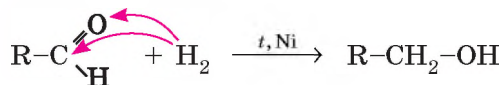




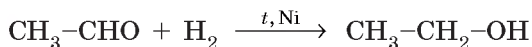
**Олександр Порфирійович
Бородин (1833–1887)**

Досліджував методи добування карбонових кислот з альдегідів.

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



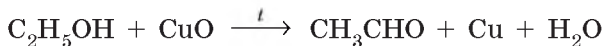
На прикладі етаналю:



Попри все це альдегіди — клас сполук з найрізноманітнішими хімічними властивостями, яких налічується кілька десятків. Дослідженню цих властивостей присвячені роботи таких видатних учених, як Ш. А. Вюрц, М. Г. Кучеров, Л. Кляйзен, О. П. Бородин тощо.

Методи одержання етаналю

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



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



Ця реакція є одним із промислових способів добування етаналю.



Ключова ідея

Альдегіди — проміжні продукти окиснення спиртів до 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, в якій із двох пробірок міститься етаналь, а в якій — гліцерол.
- 289.** Складіть 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 вступив у реакцію.
- 294.** Під час взаємодії 0,5 моль етину з водою утворився альдегід. Обчисліть масу срібла, що виділиться під час окиснення цієї кількості альдегіду амоніачним розчином аргентум(I) оксиду.
- 295.** Під час окиснення етанолу витрачено купрум(II) оксид масою 12 г. Обчисліть масу утвореного альдегіду.
- 296.** Технічний кальцій карбід містить 20 % домішок. Обчисліть масу етаналю, що можна добути з 0,8 кг такого карбіду.

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

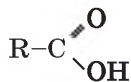
Пригадайте: неорганічні кислоти класифікують: за числом атомів Гідрогену (одно- та багатоосновні), за здатністю до дисоціації (сильні та слабкі).

Поняття про карбонові кислоти, класифікація



Карбонові кислоти — це похідні вуглеводнів, у молекулах яких міститься одна або декілька характеристичних карбоксильних груп —COOH .

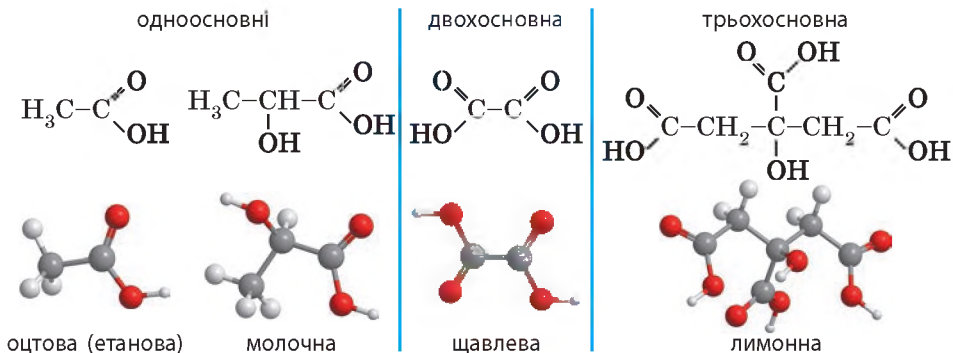
Загальна структурна формула карбонових кислот:



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.

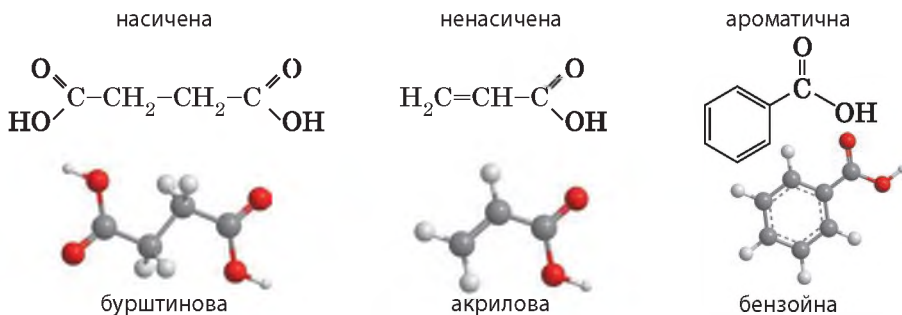
Органічні кислоти класифікують за основністю. У неорганічних кислот основність визначається числом атомів Гідрогену, які можна замінити атомами металічних елементів. В органічних кислот так само. Але в карбонових кислот атомами металічних елементів можна замінити атоми Гідрогену тільки у складі карбоксильної 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 серед карбонових кислот — трифлуороетанова CF_3COOH — є кислотою середньої сили.

• *За характером вуглеводневого залишка.* 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 тільки насичені одноосновні карбонові кислоти.

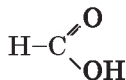
Гомологічний ряд насичених одноосновних карбонових кислот

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 кислоті з карбоксильною групою сполучений тільки 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

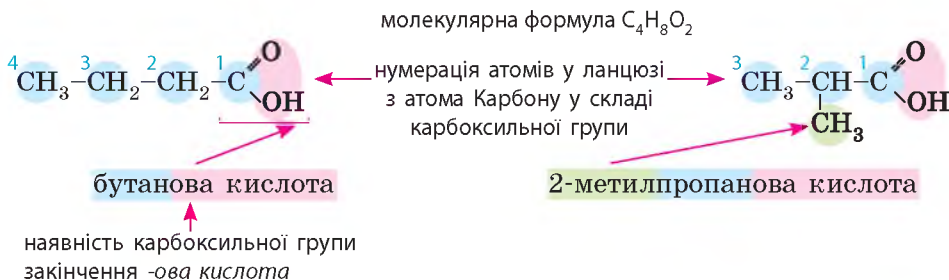
Формула	Назва	Традиційна назва	Назва кислотного залишку
HCOOH	Метан ова	Мурашина	Метано ат (форміат)
CH_3COOH	Етан ова	Оцтова	Етано ат (ацетат)
$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{COOH}$	Пропан ова	Пропіонова	Пропано ат (пропіонат)
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_2\text{COOH}$	Бутан ова	Масляна	Бутано ат (бутират)
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_3\text{COOH}$	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	Пальміт ат
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{16}\text{COOH}$	Октадекан ова	Стеаринова	Стеар ат

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

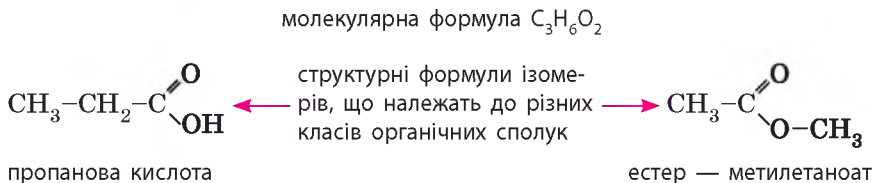
Ізомерія та номенклатура насичених одноосновних карбонових кислот

Як і в альдегідів, карбоксильна група утворюється тільки кінцевим атомом Карбону і розташовується тільки 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 з естерами*. Складу $C_nH_{2n}O_2$ відповідають два класи сполук з різними характеристичними групами — карбонові кислоти та естери. Отже, естери є міжкласовими ізомерами для карбонових кислот:



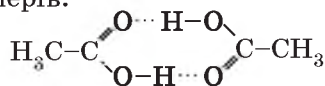
Фізичні властивості насичених одноосновних карбонових кислот

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 з числом атомів Карбону більше 10 — тверді речовини.

Таблиця 11. Фізичні властивості деяких карбонових кислот

Формула	$t_{\text{пл.}}, ^\circ\text{C}$	$t_{\text{кип.}}, ^\circ\text{C}$	Густина, г/мл	Розчинність у воді
HCOOH	8,25	100,7	1,22	Необмежено розчинна
CH_3COOH	16,75	118,1	1,05	Необмежено розчинна
$\text{C}_2\text{H}_5\text{COOH}$	-20,8	140,8	0,99	Необмежено розчинна
$\text{C}_3\text{H}_7\text{COOH}$	-5,3	163,3	0,956	Добре розчинна
$\text{C}_4\text{H}_9\text{COOH}$	-34,5	186,4	0,94	Розчинна (5 %)
$\text{C}_5\text{H}_{11}\text{COOH}$	-3,4	205,3	0,92	Малорозчинна (0,97 %)
$\text{C}_{15}\text{H}_{31}\text{COOH}$	62,9	351	0,84	Нерозчинна
$\text{C}_{17}\text{H}_{35}\text{COOH}$	69,6	376,1	0,94	Нерозчинна

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:



Через це в карбонових кислот температури кипіння й плавлення значно вищі, ніж у відповідних їм спиртів та альдегідів.

- 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 прогрівання масла утворюється масляна кислота, яку назвали бутановою від грецького слова *butyron* — «масло». Звідси й пішла назва відповідного їй вуглеводню — бутану, а її солей — бутирати.



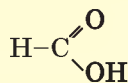
Поширеність карбонових кислот у природі

Карбонові кислоти дуже поширені в природі. Вони містяться у складі багатьох овочів, фруктів та інших харчових продуктів. Про це свідчать традиційні назви кислот: вони указують на те, звідки ці кислоти були вперше виділені.

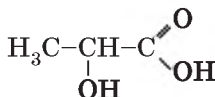
КАРБОНОВІ КИСЛОТИ

Мурашина кислота

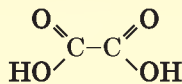
міститься у залозах мурах, бджіл, жалких медуз, у кропиві, сосновій хвої.



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

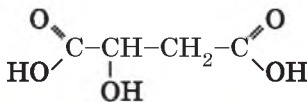


Щавлева кислота міститься в помідорах, щавлі, карамболі, ревені.

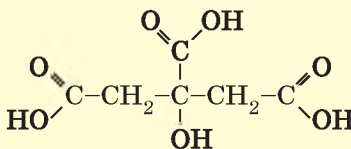


Яблучна кислота

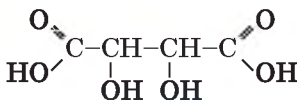
міститься в яблуках, кавунах, горобині, малині, барбарисі, виноградному соку.



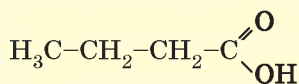
Лимонна кислота міститься в апельсинах, лимонах й інших цитрусових, у хвої, китайському лимоннику.



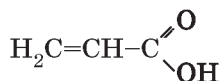
Винна кислота є у виноградному соку, вині, зумовлює кислий смак фруктів.



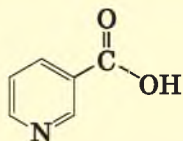
У ПРИРОДІ



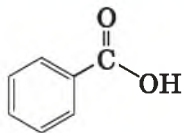
Масляна кислота утворюється під час підгоряння вершкового масла. Важлива для підтримки кишкового гомеостазу.



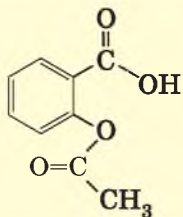
Акрилова кислота утворюється під час сильного нагрівання гліцеролу або сильного прожарювання жирів на сковорідці, названа від латинського *acris* — гострий, їдкий.



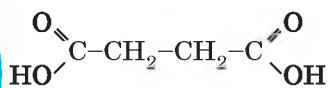
Нікотинова кислота є вітаміном B₃ (застаріла назва PP). Міститься у житньому хлібі, ананасах, манго, буряку, гречаній крупі, квасолі, печінці тощо.



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**

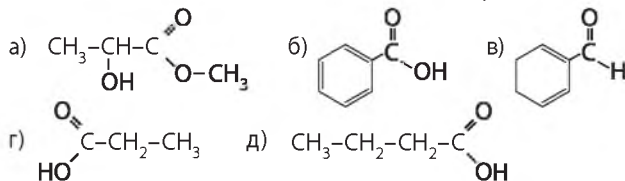
Для карбонових кислот спостерігаються такі самі закономірності у фізичних властивостях, ізомерії та номенклатурі, як для алканів, спиртів і альдегідів. Суттєві відмінності зумовлені карбоксильною групою.

**Контрольні запитання**

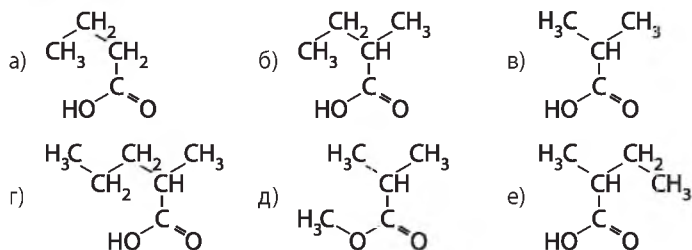
- 297.** Які речовини відносять до карбонових кислот? Напишіть загальну структурну та молекулярну формули насичених одноосновних карбонових кислот.
- 298.** Як утворюються назви карбонових кислот за систематичною номенклатурою? Як називають кислоту з формулою $\text{CH}_3\text{--CH}_2\text{--COOH}$?
- 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?

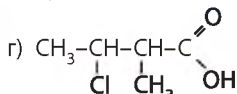
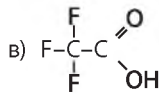
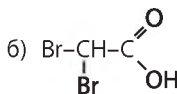
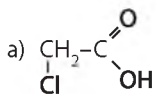


- 303.** Складіть усі можливі структурні формули карбонових кислот зі складом: а) $\text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}_2$; б) $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_2$.
- 304.** Серед наведених формул речовин визначте формули гомологів та ізомерів:



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

306. Складіть назви кислот 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. Визначте молекулярну формулу цієї речовини.

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

310. Визначте молекулярну формулу насиченої одноосновної кислоти з молярною масою 130 г/моль.

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

Завдання з 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:

- під час 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, змінюючи забарвлення індикаторів, як і слабкі неорганічні кислоти (мал. 21.1). Але під час дисоціації від молекули карбонових кислот відщеплюється тільки Гідроген карбоксильної групи. Тому основність органічних кислот не збігається з числом атомів Гідрогену, що міститься в її молекулі, а дорівнює числу карбоксильних груп.

Схема дисоціації карбонових кислот:

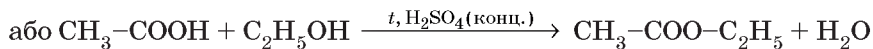
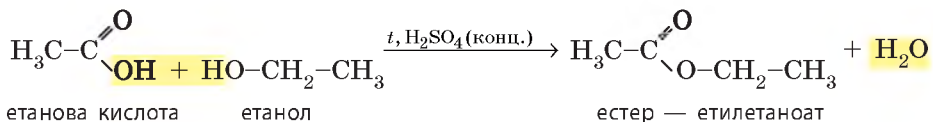
- у загальному вигляді: $\text{RCOOH} \rightleftharpoons \text{RCOO}^- + \text{H}^+$
- для метанової кислоти: $\text{HCOOH} \rightleftharpoons \text{HCOO}^- + \text{H}^+$

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

2. Кислотно-основні реакції. 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: $2\text{RCOOH} + \text{Na}_2\text{CO}_3 \rightarrow 2\text{RCOONa} + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2\uparrow$

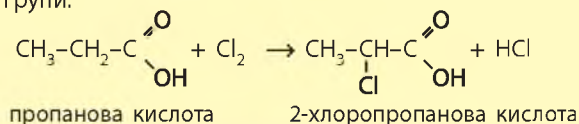
3. Реакція естерифікації. *Естерифікація* — реакція утворення естерів під час кип'ятіння карбонових кислот зі спиртами за наявності концентрованої сульфатної кислоти:



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 водовідймаючим засобом.

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

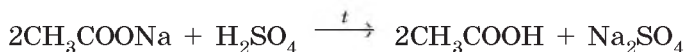
Реакція галогенування. Карбонові кислоти виявляють певні хімічні властивості й за участі вуглеводневого залишку, що споріднює їх з алканами. Вони взаємодіють з хлором та бромом за наявності фосфор(III) хлориду чи броміду, причому реакція відбувається за атомом Карбону, найближчим до карбоксильної групи:



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 добування чистої етанової кислоти.



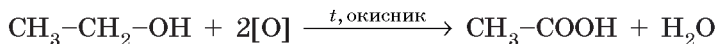
Мал. 21.2. Добування етанової кислоти в лабораторії



**Сергій Миколайович
Реформатський (1860–1934)**

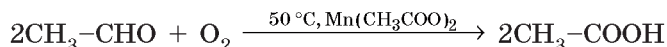
Досліджував властивості та методи добування похідних карбонових кислот.

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



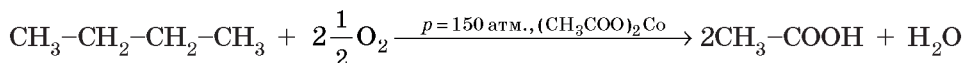
3. Окиснення альдегідів. Альдегіди досить легко окиснюються звичайними лабораторними окисниками (§ 19).

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



За цією реакцією етанова кислота також утворюється в природі під час скисання різних солодких сумішей (фруктові соки, вино) за наявності рослинних ферментів.

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



Цей метод є економічно вигідним за умови наявності дешевих нафтопродуктів.

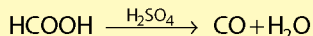
В Україні етанову кислоту для технічних цілей виробляють переважно на Северодонецькому об'єднанні «Азот» (150 тис. т/рік), а також на Перечинському лісохімічному комбінаті (Закарпатська обл.). Для харчових цілей етанову кислоту виробляють на підприємствах ДП «Укрспирт».



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 добувають з карбон(II) оксиду і використовують для фарбування тканин, обробки (дублення) шкір і консервування кормів.

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



У такий спосіб у лабораторії добувають 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 (лиmoni, 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 досліджених 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 досліджених 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 досліджених 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 з 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. Складіть 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 під час взаємодії етанової кислоти масою 15 г з 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.** Під час спалювання зразка одноосновної насиченої карбонової кислоти масою 6,225 мг виділилися вуглекислий газ масою 12,44 мг та вода масою 5,091 мг. Визначте 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 з 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 під час взаємодії етанової кислоти масою 42 г з розчином натрій гідроксиду.
- 326.** Визначте молекулярну формулу насиченої одноосновної кислоти, якщо відомо, що на нейтралізацію цієї кислоти масою 12 г витрачено натрій гідроксид масою 8 г.

Завдання з розвитку критичного мислення

- 327.** Запропонуйте схему добування етанової кислоти з глюкози. Складіть 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, під час яких утворюється етанова кислота, можна застосовувати для її добування? У чому полягають відмінності між лабораторними та промисловими методами добування різних сполук?
- 329.** Попередній аналіз певного зразка довів, що в розчині наявні етанол і натрій етаноат. Як за допомогою тільки сульфатної кислоти довести наявність цих речовин за запахом продуктів реакції? Складіть 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? Складіть відповідні рівняння реакцій.

Міні-проект

- 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 і влийте в неї оцет (півстакана). 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 перекладіть його в чисту посудину. Два-три рази промийте стеарин водою і загорніть у чисту білу бавовняну або паперову серветку, щоб убрати 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 ароматних.

§ 22. Естери

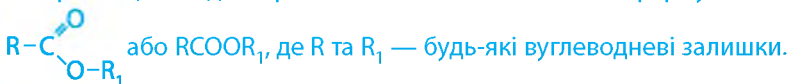
Пригадайте:

- вплив водневого зв'язку на фізичні властивості спиртів, альдегідів та кислот (за § 14, 19, 21);
- назви карбонових кислот та їхніх залишків і ізомерію функціональної групи карбонових кислот (за § 20);
- оборотними реакціями називають реакції, які за одних і тих самих умов відбуваються як у пряму, так і у зворотному напрямках.

Поняття про естери



Естери — це похідні карбонових кислот із загальною формулою:



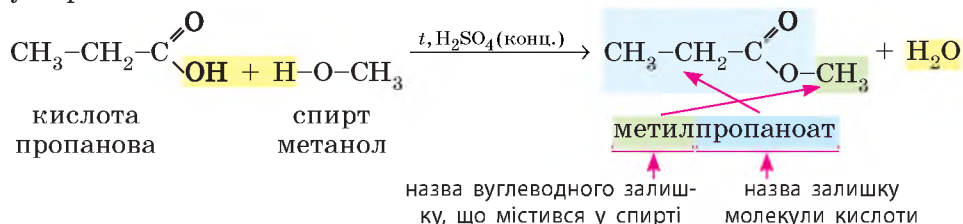
Характеристичну групу естерів $-\text{COO}-$ називають естерною.

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

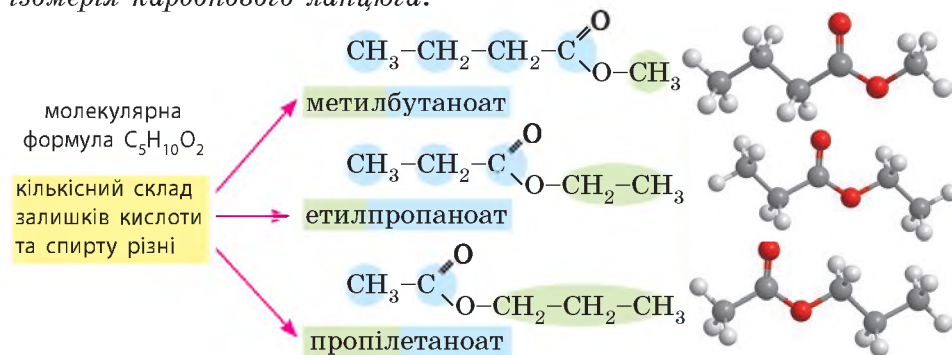
Як ви вже дізналися з попереднього параграфа, естери утворюються під час реакції естерифікації, що відбувається між карбоновими кислотами та спиртами.

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*:

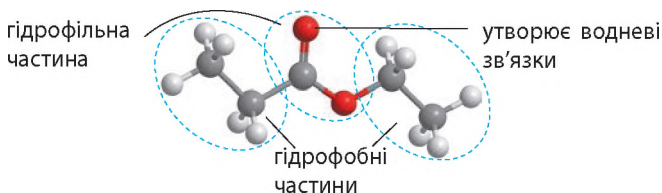


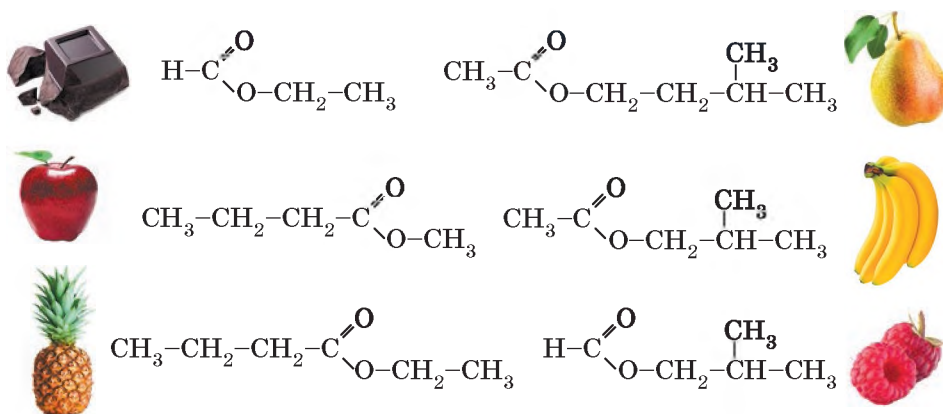
Естери: фізичні властивості та поширеність у природі

Фізичні властивості естерів зумовлені кількома чинниками:

- як і у вуглеводнів, у молекулах естерів переважають гідрофобні частини, внаслідок 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 C=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 з молекулами води.

Естери, утворені нижчими карбоновими кислотами:

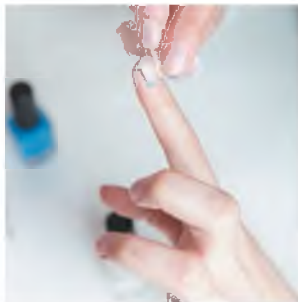
- леткі безбарвні рідини, малорозчинні або практично нерозчинні у воді;
- багато таких естерів мають приємний запах, переважно фруктовий. Аромат багатьох квітів і плодів зумовлений наявністю саме естерів (мал. 22.1). Завдяки цьому естери застосовують у харчовій промисловості для приготування напоїв, 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).

Естери, утворені вищими карбоновими кислотами:

- нелеткі, безбарвні, воскоподібні, тверді речовини;
- нерозчинні у воді, жирні на дотик.

Такі естери містяться у складі бджолиного воску.



Мал. 22.2. Рідина для зняття лаку складається переважно з етилетаноату (етилацетату)

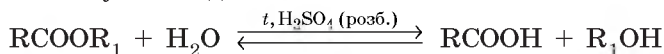
Хімічні властивості естерів

Характерною хімічною властивістю естерів є *гідроліз* — реакція, зворотна до реакції естерифікації. За наявності каталізаторів естери взаємодіють з водою, перетворюючись

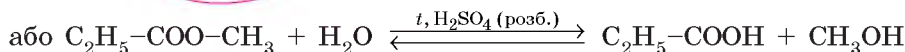
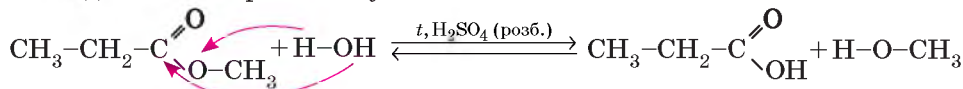
на кислоту і спирт. Залежно від середовища, в якому відбувається реакція (каталізатора), розрізняють два види гідролізу.

1. Кислотний гідроліз. Відбувається під час кип'ятіння естерів за наявності розбавленої сульфатної кислоти:

• у загальному вигляді:



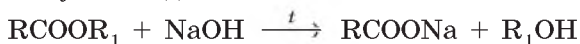
• для метилпропаноату:



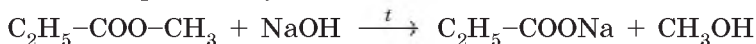
Оскільки сульфатна кислота є також каталізатором зворотної реакції — естерифікації, то реакція кислотного гідролізу є оборотною, отже, неможливо весь естер перетворити на продукти реакції.

2. Лужний гідроліз. Відбувається під час кип'ятіння естерів з 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 з 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?

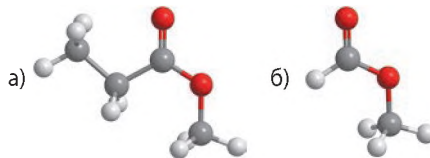
333. Схарактеризуйте особливості складання назв естерів за систематичною номенклатурою.

334. Схарактеризуйте фізичні властивості естерів. Порівняйте їх з 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 їх 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 їх традиційними назвами: а) метилацетат; б) етилформіат; в) пропілпропіонат; г) метилбутират; д) етилвалерат.
340. Складіть систематичні та традиційні назви естерів: 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. Складіть назви естерів, структурні формули яких наведено на мал. 22.1.
342. Складіть скорочені структурні формули та назви естерів за моделями молекул:



343. Естер, утворений етановою кислотою та бензиловим спиртом $\text{C}_6\text{H}_5\text{—CH}_2\text{—OH}$, використовують для виробництва дешевих дезодорантів. Складіть 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. Складіть рівняння реакції лужного гідролізу: а) метилетаноату; б) етилметаноату.
347. Складіть два рівняння реакцій, під час яких утворюються два різні естери, але з однаковою молекулярною формулою.
348. Складіть 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.** Під час лужного гідролізу пропілетаноату добуто натрій етаоат масою 229,6 г. Обчисліть масу естеру, що вступив у реакцію.
- 353.** Метилетаноат масою 240,5 г добули за схемою: метан $\rightarrow$ етин $\rightarrow$ етаналь $\rightarrow$ етанова кислота $\rightarrow$ метилетаноат. Визначте об'єм витраченого метану (н. у.).
- 354.** Обчисліть масу етилетаноату, що можна добути зі 100 г оцтової есенції, яка містить 25 % води.

Завдання з 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: з курсу біології роль жирів та ліпідів у живих організмах, зокрема в організмі людини.

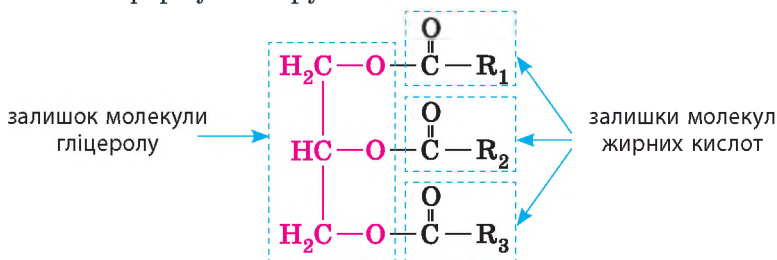
Жири як естери

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 з числом атомів Карбону в молекулах від 4 до 24.

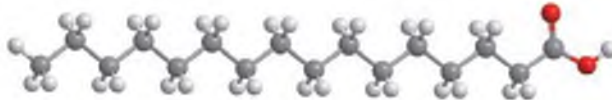
Серед жирних кислот у природних жирах найчастіше трапляються:

- насичені кислоти:**

стеаринова: $\text{C}_{17}\text{H}_{35}\text{COOH}$, або $\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_{16}-\text{COOH}$



пальмітинова: $\text{C}_{15}\text{H}_{31}\text{COOH}$, або $\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_{14}-\text{COOH}$



• **ненасичені кислоти:**

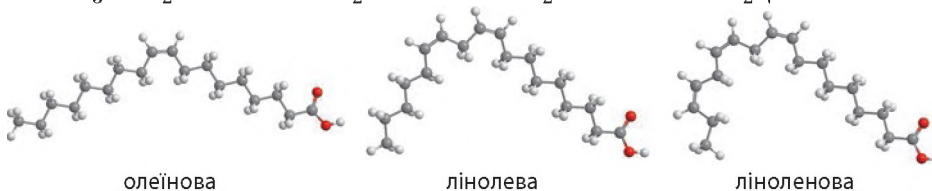
олеїнова: $C_{17}H_{33}COOH$, або $CH_3-(CH_2)_7-CH=CH-(CH_2)_7-COOH$

лінолева: $C_{17}H_{31}COOH$, або

$CH_3-(CH_2)_4-CH=CH-CH_2-CH=CH-(CH_2)_7-COOH$

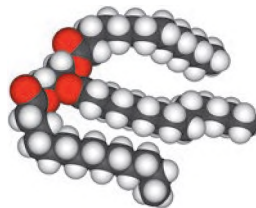
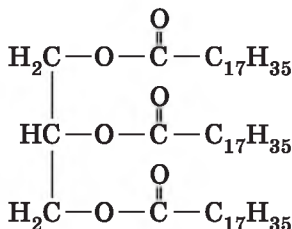
ліноленова: $C_{17}H_{29}COOH$, або

$CH_3-CH_2-CH=CH-CH_2-CH=CH-CH_2-CH=CH-(CH_2)_7-COOH$



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 і 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 під час 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

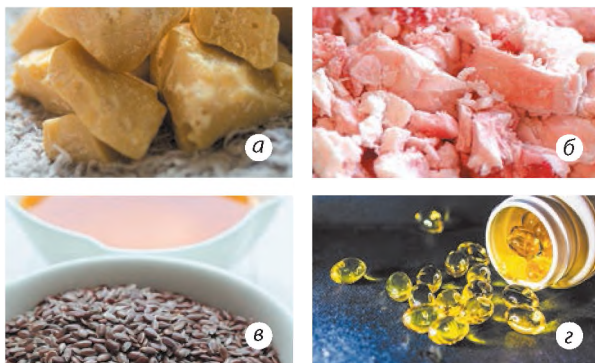
Жири — безбарвні в'язкі рідини або тверді речовини, легші за воду (їхня густина 0,9–0,95 г/см³), нерозчинні у воді, але розчинні в багатьох органічних розчинниках.

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).



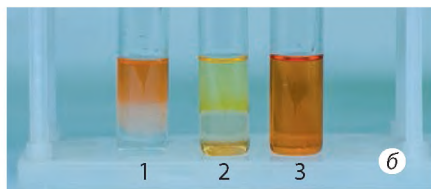
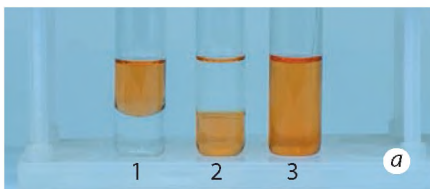
Мал. 23.1. Природні жири: *а* — какао масло; *б* — баряний жир; *в* — лляна олія; *г* — риб'ячий жир

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 кожную 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*) внаслідок того, що органічні розчинники добре розчиняють жири.



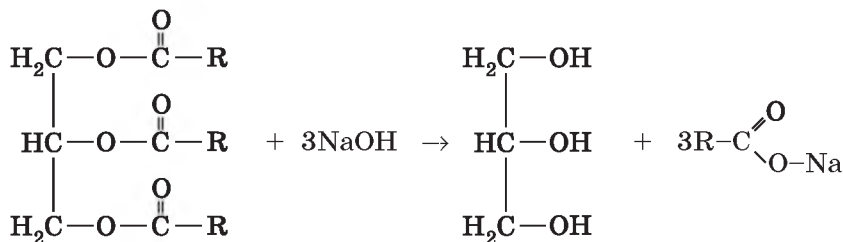
жири — це жири тваринного походження (яловичий, баранячий, свинячий тощо), за винятком кокосового та какао масла.

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 риб'ячого жиру.

Хімічні властивості жирів

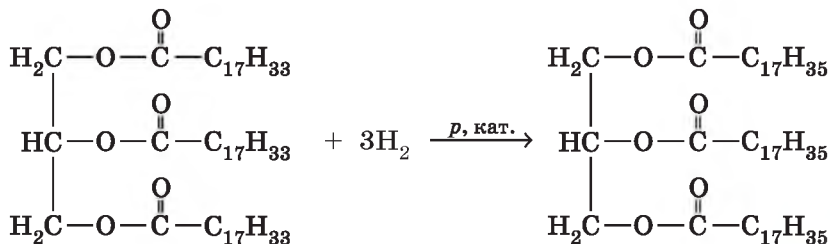
З одного боку, жири є естерами, отже, для них мають бути характерними хімічні властивості естерів. З іншого боку, деякі жири містять залишки молекул ненасичених карбонових кислот, що зумовлює здатність жирів виявляти хімічні властивості ненасичених сполук.

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. Гідрування (гідрогенізація). Якщо у складі жиру містяться залишки молекул ненасичених кислот, то, як і всі ненасичені сполуки, вони вступають у реакції приєднання, зокрема приєднання водню (гідрування, або гідрогенізація жирів):





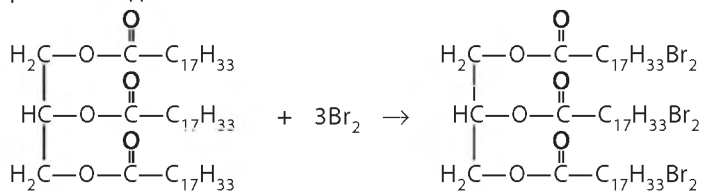
Мал. 23.2. Гідруванням олії — рідкого жиру (а) — одержують тверді комбіновані жири та маргарини (б)

Оскільки залишки молекул ненасичених кислот трапляються більше в рідких рослинних жирах, то під час гідрування з рідкого жиру добувають твердий. Цей процес використовують для добування 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.

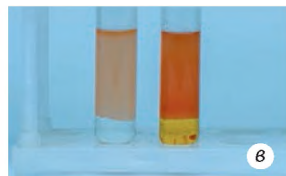


Демонстраційний дослід: доведення ненасиченого характеру рідких жирів

Характерною ознакою ненасичених сполук є здатність вступати в реакції приєднання. Жири, як і інші ненасичені сполуки, приєднують не тільки водень, але й галогени, що можна спостерігати, зокрема, під час знебарвлення бромної води:



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 і 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

Харчова промисловість використовує 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	
Cholesterol 60mg	20%
Sodium 200mg	8%
Vitamin A 0%	

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 і способу життя. Якщо з вуглеводами і жирами в організм надходить більше енергії, чим витрачається, 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 з 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, під час розщеплення жирів організмом виділяється набагато більше енергії, ніж від розщеплення такої самої маси білків чи вуглеводів. 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 під час 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, з 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. Складіть 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 їх 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 під час омилення триолеїнового жиру масою 335,92 г.
- 372.** Обчисліть масу натрій стеарату, що утворюється під час 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 з 0,1 г тристеаринового жиру.
- 376.** Суміш триолеату і тристеарату, в якій кількість речовини обох жирів однакова, піддали лужному гідролізу. Отриману суміш продуктів реакції піддали зворотній реакції естерифікації. Зобразіть структурні формули жирів, що при цьому могли утворитися. Визначте серед отриманих жирів ті, що мають однакову молекулярну масу.
- 377.** Жир масою 88,6 г, молекула якого має залишки молекул і олеїнової, і стеаринової кислот, під час 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 тільки однієї жирної кислоти, масою 40,3 г піддали омиленню. Під час реакції витратився натрій гідроксид масою 6 г. Визначте, залишки якої кислоти містилися у складі жиру.

Завдання з розвитку критичного мислення

- 379.** У який спосіб можна стабілізувати емульсію олії у воді? Наведіть приклади таких емульсій з власного досвіду.

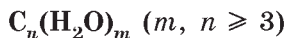
Міні-проекти

- 380.** Які жири і в якій кількості є корисними для людини з точки зору біологічної цінності? 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 «гідрат вуглецю». 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 співвідношення атомів Гідрогену й Оксигену в них таке саме, як у воді. Такий склад описали загальною формулою вуглеводів:



До того ж, під час нагрівання або дією водовідіймаючих засобів вуглеводи розкладаються на вуглець та воду, що також підтверджувало таку формулу і 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 їх молекули або молекули продуктів їх гідролізу містять групу

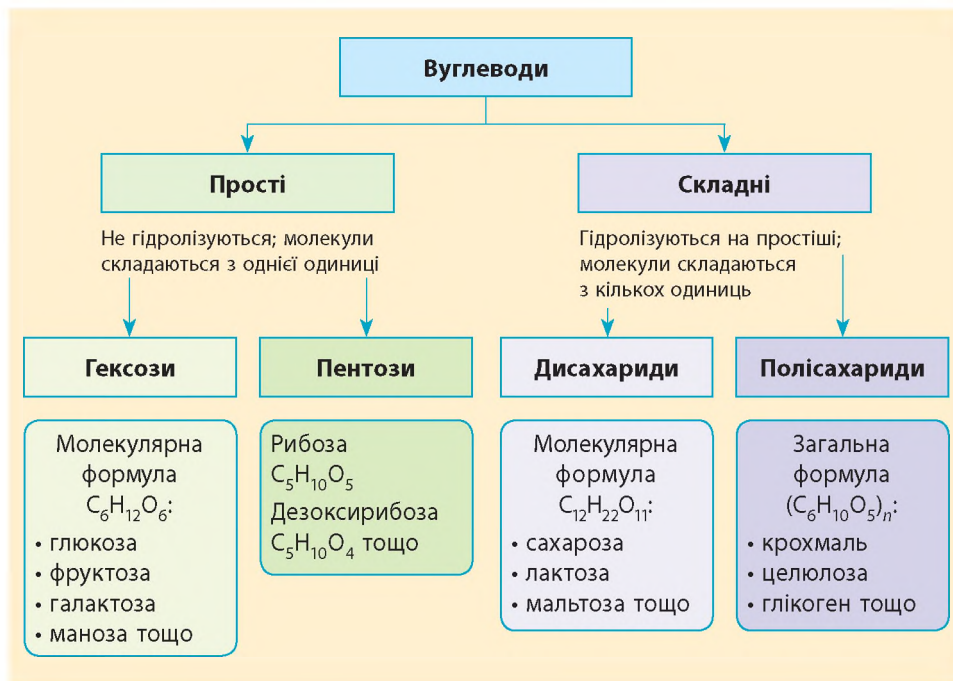


Молекули вуглеводів складаються з певних «одиниць» (мономерів), які називають сахаридами. За числом таких одиниць вуглеводи поділяють на *прості* та *складні*.

Молекули простих вуглеводів складаються з однієї одиниці й не гідролізуються на простіші вуглеводи.

Складні вуглеводи гідролізуються на прості, і їх молекули складаються з кількох одиниць:

- з двох одиниць — дисахариди;
- від двох до десяти одиниць — олігосахариди;
- більше десяти одиниць — полісахариди.



Вуглеводи в природі

Вуглеводи — найпоширеніші органічні сполуки в природі. Вони становлять близько 80 % від сухої маси рослин і 2–3 % від 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.

Функції вуглеводів досить різноманітні, головними серед яких є:

- енергетична (глюкоза, фруктоза, сахароза, лактоза, крохмаль, глікоген тощо);
- структурна (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 під час 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 переварювання, 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 їх різновидів. Ці полісахариди зазвичай утворюють в'язкий слизований 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 збовтування 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 тільки 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 з 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, їх біологічну роль та застосування.

**Завдання для засвоєння матеріалу**

- 385.** Запишіть молекулярні формули відомих вам вуглеводів, схарактеризуйте їх фізичні й хімічні властивості.
386. З 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 з 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?

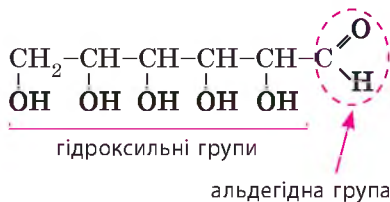
§ 25. Глюкоза

Пригадайте: хімічні властивості багатоатомних спиртів та альдегідів (за § 16 та 18).

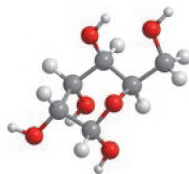
Формула глюкози

Глюкоза є моносахаридом. Її молекулярна формула $C_6H_{12}O_6$.

відкрита форма молекули глюкози



модель молекули



У відкритій формі існує близько 2 % молекул глюкози у водному розчині. У кристалах глюкоза існує тільки 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 $1,54 \text{ г/см}^3$;
- $t_{\text{пл.}} = 146^\circ\text{C}$, 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

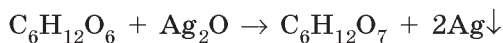
Оскільки молекули глюкози містять альдегідну та кілька гідроксильних груп, то вона має виявляти хімічні властивості і альдегідів, і багатоатомних спиртів.

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:

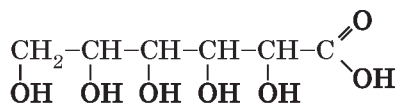


Оскільки за цією реакцією виявляють будь-які розчинні багатоатомні спирти, то відрізнити один багатоатомний спирт від іншого, а також від моно- та дисахаридів неможливо.

2. Окиснення. Як і альдегіди, глюкоза вступає в реакції окиснення. Можна використовувати різні окисники. У разі використання амоніачного розчину аргентум(I) оксиду виділяється срібло (*реакція срібного дзеркала*):

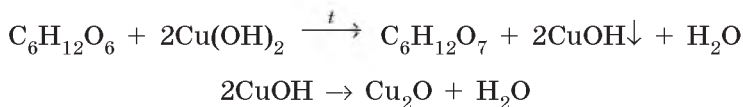


Продукт реакції — глюконова кислота — у молекулах містить карбоксильну групу:

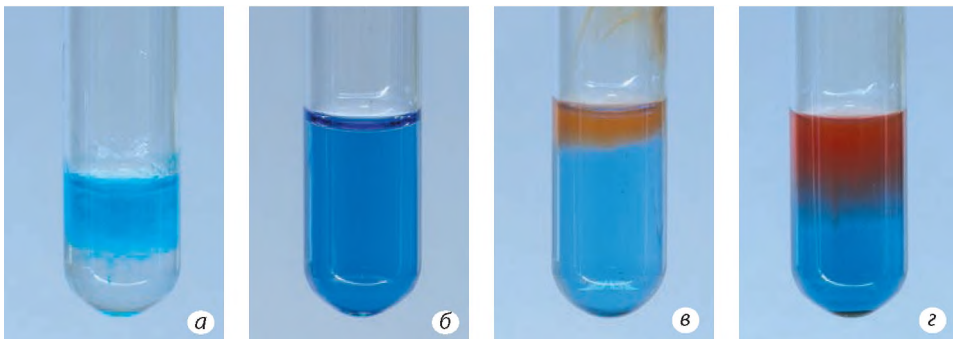


Глюконову кислоту використовують для приготування поширеного фармацевтичного препарату «Глюконат кальцію», який застосовують для поповнення Кальцію в організмі в разі його нестачі.

Альдегідна група глюкози також окиснюється купрум(II) гідроксидом, під час реакції з яким 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 останні в реакцію окиснення не вступають.



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(I) гідроксиду; *г* — морквяно-червоний осад купрум(I) оксиду

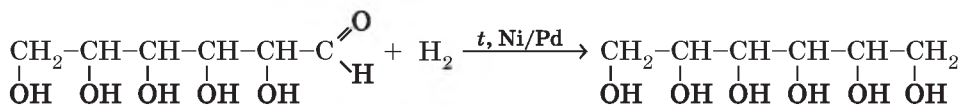


Демонстраційний дослід: окиснення глюкози амоніачним розчином аргентум(I) оксиду

До амоніачного розчину аргентум(I) оксиду додаємо розчин глюкози й обережно нагріваємо на водяній бані або у стакані 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 також характерна реакція відновлення. Водень за наявності каталізаторів (нікель, паладій) відновлює альдегідну групу до гідроксильної:



Продукт реакції — шестиатомний спирт сорбіт — дуже цінна речовина, з якої в промисловості добувають 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:

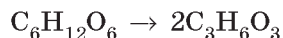




Мал. 25.2. Молочнокисле бродіння з давніх-давен використовують для виготовлення молочнокислих продуктів

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;

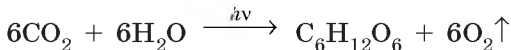
• *молочнокисле бродіння* відбувається під час перероблення вуглеводів молочнокислими бактеріями. Продуктом цього процесу є молочна кислота:



Ця реакція відбувається під час скисання молока і є основою виготовлення різноманітних молочнокислих продуктів — кисляку, йогуртів, сиру, сметани тощо (мал. 25.2). Молочнокисле бродіння також відбувається під час квашення силосу, капусти та інших овочів, що запобігає розвитку гнильних бактерій і сприяє тривалому зберіганню продуктів. Цей процес також відбувається в ротовій порожнині, але це спричиняє карієс зубів.

Глюкоза в природі

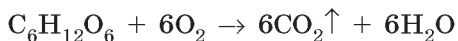
Глюкоза — один з основних продуктів обміну речовин у живих організмах. Вона утворюється в зелених частинах рослин у процесі фотосинтезу, що відбувається з поглинанням сонячного світла:



У рослинах глюкоза перетворюється на складні вуглеводи — крохмаль і целюлозу:



У тваринних організмах відбувається зворотний процес: тварини вдихають кисень, з 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 дуже 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.



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;
- під час нагрівання не торкайтеся руками гарячих предметів.

1. Добудьте купрум(II) гідроксид: у пробірку налейте 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? В який колір забарвлюється розчин? Які висновки про будову молекули глюкози можна зробити за результатами дослідів?

3. Пробірку з отриманою 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.** Складіть рівняння реакцій для здійснення перетворень за схемою: метан $\rightarrow$ вуглекислий газ $\rightarrow$ глюкоза $\rightarrow$ етанол $\rightarrow$ 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 під час спиртового бродіння глюкози масою 540 г.
- 399.** Обчисліть масу кальцій карбонату, що утвориться під час поглинання вапняною водою газу, який виділиться у ході 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 й фруктози масою 18 г обробили амоніачним розчином аргентум(I) оксиду. При цьому утворився осад масою 8,64 г. Обчисліть масову частку глюкози в суміші.
- 402.** Газ, отриманий під час спиртового бродіння глюкози масою 90 г, був повністю поглинутий розчином із надлишковою кількістю натрій гідроксиду. Обчисліть масу солі, що утворилася в розчині.
- 403.** Під час фотосинтезу було поглинуто 44,8 л вуглекислого газу. 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, в результаті чого утворився осад масою 3,5 г. Визначте масову частку глюкози в початковій суміші.

§ 26. Складні вуглеводи: сахароза, крохмаль, целюлоза

Пригадайте: фотосинтез, утворення сахарози, крохмалю й целюлози в природі.

Сахароза

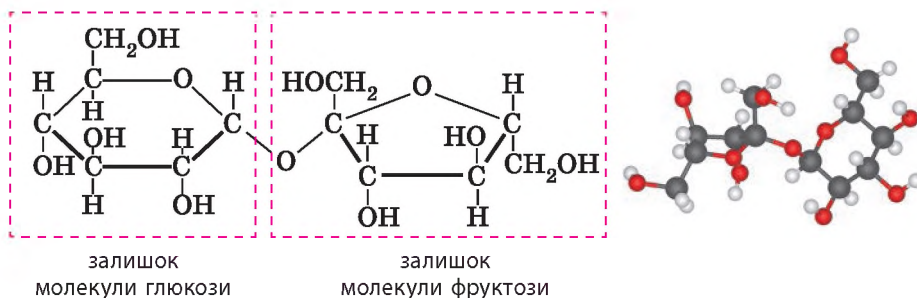
У 9 класі ви вже вивчали деякі складні вуглеводи. Тому в цьому параграфі ми зосередимо увагу на їхніх хімічних властивостях.

Сахароза — дуже 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.

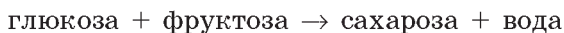
Сахароза — безбарвна кристалічна речовина без запаху, густина $1,59 \text{ г/см}^3$, температура плавлення 186°C . Так само як і глюкоза, під час нагрівання розкладається. Сахароза солодка на смак і в півтора раза солодша за глюкозу. Дуже добре розчиняється у воді: в 100 г води за 0°C розчиняється 179 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:

сахароза



У природі сахароза утворюється в рослинах сполученням залишків молекул глюкози та фруктози:

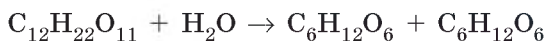


Оскільки сахароза є складним вуглеводом, то вона гідролізується на прості. Під час гідролізу сахарози в кислому середовищі або під дією ферментів зв'язок між залишками молекул розривається,



Мал. 26.1. Мед — продукт переробки сахарози бджолами — складається з однакових кількостей глюкози і фруктози

й утворюються окремі молекули глюкози й фруктози:



сахароза + вода → глюкоза + фруктоза

Таке перетворення відбувається в організмах бджіл: збираючи нектар з квіток, вони споживають сахарозу, яка потім гідролізується. Тому мед — це суміш однакових кількостей глюкози і фруктози, зазвичай з домішками інших речовин (мал. 26.1).

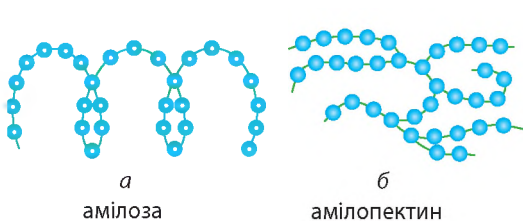
Крохмаль та целюлоза

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)



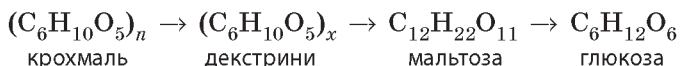
Мал. 26.3. Молекули целюлози мають лінійну будову

Закінчення таблиці

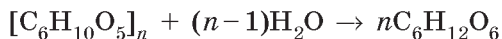
Характеристика	Крохмаль	Целюлоза
Фізичні властивості	Аморфний білий порошок з характерним хрускотом, густина 1,5 г/см ³ . Амілоза незначною мірою розчиняється у воді й утворює колоїдний розчин. Амілопектин у воді не розчиняється, а тільки набухає	Біла волокниста речовина, нерозчинна у воді й інших розчинниках. Густина від 1,27 до 1,61 г/см ³ . Температури плавлення й кипіння немає, оскільки під час 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 добувають патоку, глюкозу, етанол. Додають у різні харчові продукти як загущувач (ковбаси, майонези, кетчупи, соки, кондитерські вироби тощо)	Деревина використовується як будівельний матеріал. Чиста целюлоза — вата. Целюлозу використовують для виготовлення паперу, натуральних (бавовна) та штучних (віскосний та ацетатний шовк, штучне хутро) волокон, вибухівки, пластмас

Гідроліз крохмалю та целюлози

Під час тривалого нагрівання з розчином кислоти або під дією ферментів крохмаль гідролізується, і зв'язки між залишками молекул глюкози розриваються. Гідроліз крохмалю відбувається постадійно. Спочатку молекули крохмалю розриваються на менші молекули олігосахаридів — декстрини — із числом залишків молекул глюкози від 10 до 30. Олігосахариди гідролізуються до дисахариду мальтози, яка вже гідролізується до глюкози:



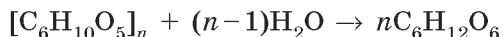
Сумарно рівняння реакції повного гідролізу крохмалю можна записати так:



Ця реакція відбувається під час перетравлення харчових продуктів, що містять крохмаль. Процес починається в ротовій порожнині і закінчується в кишківнику, де відбувається всмоктування утвореної глюкози в кров.

Гідроліз крохмалю використовують у промисловості для виготовлення патоки та добування 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, піддаючись гідролізу 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 добування глюкози, яку потім піддають спиртовому бродінню. У такий спосіб добувають 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. Складіть 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 добування оцтової кислоти з деревини. Складіть відповідні рівняння реакцій.
413. Речовина **A** білого кольору без смаку, набухає у воді й розчиняється в ній під час нагрівання, забарвлюється за наявності йоду в темно-синій колір. Під час гідролізу речовини **A** утворюється речовина **Б**, яка під дією ферментів перетворюється на безбарвну рідину **В**, що змішується з водою в будь-яких співвідношеннях. 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 з розвитку критичного мислення

- 415.** Як ви вважаєте, з якої картоплі можна виділити більше крохмалю: з щойно зібраної чи з тієї, що всю зиму перебувала в овочесховищі?
- 416.** Чи можна сахарозу назвати гомологом глюкози? Чому?

Міні-проекти

- 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. Для цього підійдуть 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 в гарячий спирт (або горілку), 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 осілий крохмаль знову 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, добудьте магній етаноат двома способами. Складіть відповідні рівняння реакцій у молекулярній і йонній формах.

Задача 4 (додаткове завдання підвищеної складності). У трьох пробірках містяться розчини етанолу, етанової кислоти та натрій етаноату. Використовуючи тільки один реактив, визначте вміст кожної пробірки. Обґрунтуйте свій вибір.

Варіант II

Задача 1. Доведіть за допомогою хімічних реакцій, що у складі сахарози міститься Карбон.

Задача 2. У двох пробірках містяться розчини етанолу й етанової кислоти. За допомогою хімічних реакцій визначте вміст кожної пробірки.

Задача 3. Використовуючи етанову кислоту, добудьте натрій етаноат двома способами. Складіть відповідні рівняння реакцій у молекулярній і йонній формах.

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?

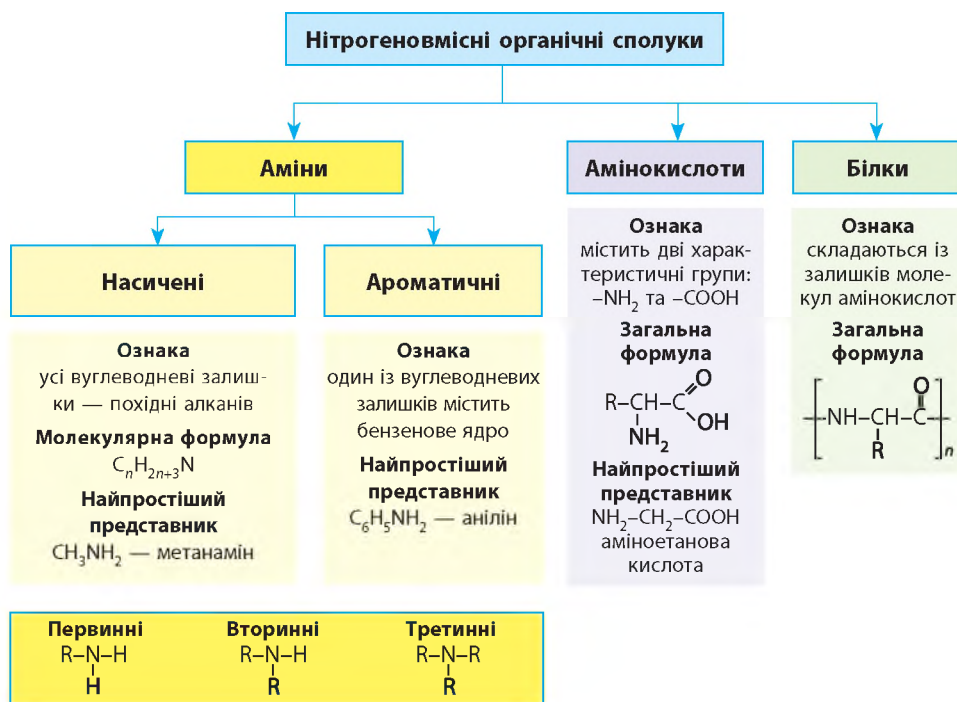
3. Що спільного в будові молекул гліцеролу і глюкози?

4. Чому більшість органічних сполук під час прожарювання чорніє?



Перевірте свої знання за темою «Оксигеновісні органічні сполуки», виконавши тестові завдання на сайті.

ТЕМА 4. НІТРОГЕНОВМІСНІ ОРГАНІЧНІ СПОЛУКИ



§ 27. Аміни

Поняття про аміни



Аміни — це похідні амоніаку, в молекулах якого один чи більше атомів Гідрогену заміщено на вуглеводневий залишок.

Залежно від вуглеводневого залишка аміни можуть бути насиченими, ненасиченими та ароматичними. У цьому курсі ми вивчатимемо насичені аміни, в яких вуглеводневі залишки є похідними алканів, а також ознайомимося з найпростішим ароматичним аміном — аніліном.

За числом атомів Гідрогену, що заміщено на вуглеводневий залишок у молекулі амоніаку, розрізняють аміни:

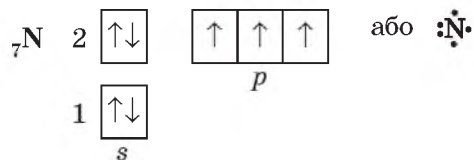
первинні	вторинні	третинні
заміщено один атом Гідрогену	заміщено два атоми Гідрогену	заміщено три атоми Гідрогену
$\begin{array}{c} \text{R}-\text{N}-\text{H} \\ \\ \text{H} \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{R}^1-\text{N}-\text{H} \\ \\ \text{R}^2 \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{R}^1-\text{N}-\text{R}^3 \\ \\ \text{R}^2 \end{array}$
Загальна формула	Загальна формула	Загальна формула
$\text{C}_n\text{H}_{2n+1}\text{NH}_2$, або $\text{R}-\text{NH}_2$	$(\text{C}_n\text{H}_{2n+1})_2\text{NH}$, або $\text{R}^1\text{R}^2\text{NH}$	$(\text{C}_n\text{H}_{2n+1})_3\text{N}$, або $\text{R}^1\text{R}^2\text{R}^3\text{N}$

де R, R¹, R² та R³ — вуглеводневі залишки; вони можуть бути однаковими або різними.

Молекулярна формула всіх насичених амінів однакова — $\text{C}_n\text{H}_{2n+3}\text{N}$. Уперше існування амінів відкрив 1839 року видатний французький хімік Ш. Вюрц, а наступного року А. Гофман розробив методи їх синтезу.

Будова аміногрупи

Пригадайте з 8 класу будову електронної оболонки атома Нітрогену та хімічні зв'язки, що він утворює. В атомі Нітрогену на зовнішньому енергетичному рівні п'ять електронів: одна електронна пара та три неспарені електрони:

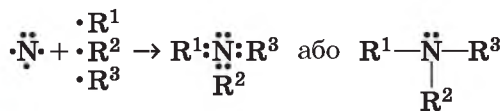


Шарль Адольф Вюрц
(1817–1884)

Уперше виявив аміни.



У молекулах амінів ці три неспарені електрони утворюють три спільні електронні пари з електронами атомів Гідрогену або вуглеводневого залишку, а одна електронна пара лишається неподіленою:



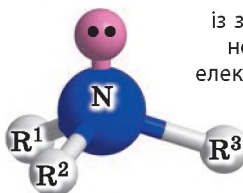
Унаслідок такої електронної будови у молекулах амінів зв'язки спрямовані до кутів трикутної піраміди. Кут між хімічними зв'язками N–R дорівнює приблизно 108° :

Просторова будова молекул амінів

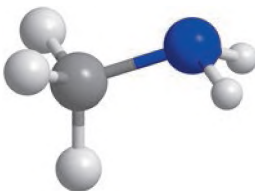
без зазначення
неподіленої
електронної пари



із зазначенням
неподіленої
електронної пари



Наприклад, молекула найпростішого аміну має вигляд:



Отже, в аміногрупі хімічні зв'язки спрямовані під кутом $\approx 108^\circ$ до вершин трикутної піраміди, а в атома Нітрогену є неподілена електронна пара. Наявність цієї електронної пари зумовлює можливість утворення водневого зв'язку, а також основні властивості амінів, про що йдеться нижче.

Номенклатура насичених амінів

Складання назв амінів ґрунтується на тих самих принципах, що і для інших класів сполук, з урахуванням певних особливостей:

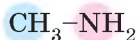
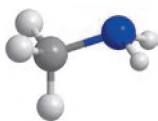
- як назву родоначальної структури обирають назву алкану, що відповідає головному ланцюгу;
- наявність характеристичної групи позначають у назві суфіксом *-амін-*;
- у назвах вторинних та третинних амінів за родоначальну структуру обирають тільки один (найдовший) ланцюг, інші називають як замісники.

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>-ін-</i>	<i>-амін-</i> характеристична група

У навчальній та науковій літературі для амінів частіше використовують застарілу номенклатуру, за якої вуглеводневі залишки, що сполучені з атомом Нітрогену, називають як замісники (метил, етил тощо).

Первинні аміни:



метанамін

↑
назва головного ланцюга

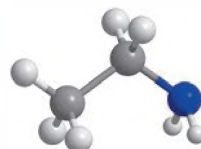
(або метиламін)¹



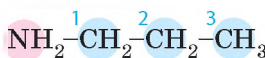
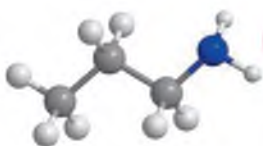
етанамін

↑
наявність характеристичної групи

(або етиламін)

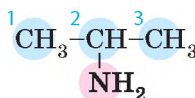


Якщо у вуглеводневому залишку більше двох атомів Карбону, то в назві необхідно зазначати номер атома Карбону, з яким сполучена аміногрупа:

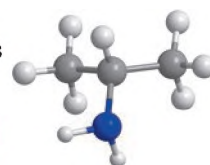


пропан-1-амін

(або пропіламін,
або 1-амінопропан)



пропан-2-амін



↑
номер атома Карбону головного ланцюга, з яким сполучена аміногрупа

(або ізопропіламін,
або 2-амінопропан)

У вторинних та третинних амінів також необхідно префіксом позначити алкільні замісники, які сполучені з атомом Нітрогену. Причому в даному випадку положення замісника позначають не цифрою, а буквою N, що означає сполучення замісника не з карбоновим ланцюгом, а з атомом Нітрогену аміногрупи.

Вторинні аміни:



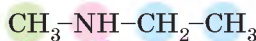
N-метилметанамін

↑
алкільний замісник сполучений з атомом Нітрогену

(або диметиламін)

↑
назва алкільного замісника

↑
оскільки обидва залишки однакові, то один із них обирають родоначальною структурою, а інший — замісником



N-метилетанамін

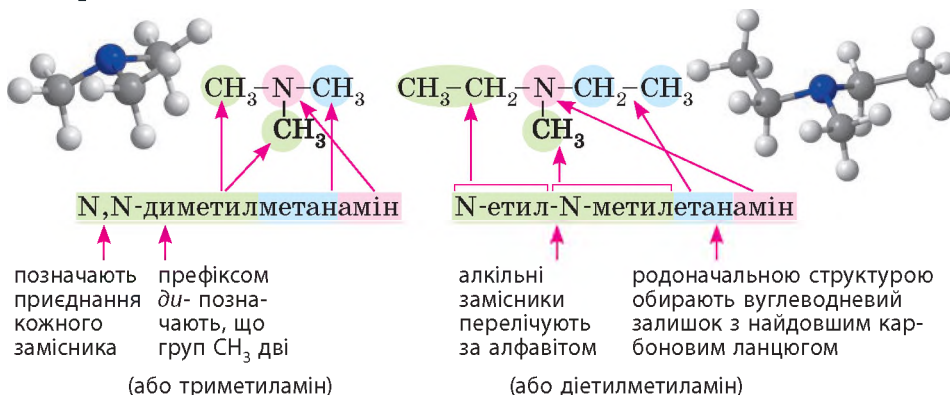
↑
родоначальною структурою обирають вуглеводневий залишок із найдовшим карбоновим ланцюгом

(або етилметиламін)



¹ Тут і далі в дужках наведено назви амінів за застарілою номенклатурою.

Третинні аміни:



Для амінів характерні такі самі типи ізомерії, як і для вивчених вами класів органічних сполук. Із цим ви можете ознайомитися в електронному додатку до підручника.

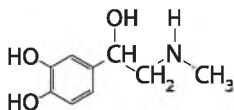


Біологічно важливі аміни

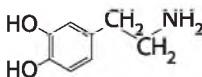
Багато біологічно та медично важливих речовин є амінами.

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.

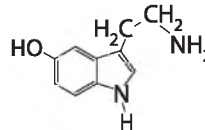
Дофамін і **серотонін** є важливими нейромедіаторами мозку тварин. Дофамін бере участь у регулюванні та контролі руху, процесів оцінювання, мотивації та пізнання. Порушення концентрації дофаміну пов'язане із психічними розладами, зокрема з хворобою Паркінсона. Серотонін дуже важливий для підтримки стабільності 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.



Хімія навколо нас

**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.** Серед наведених формул визначте формули сполук, що є амінами:
 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 виписіть окремо первинні, вторинні та третинні аміни. Складіть їхні назви.
 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. Складіть назви сполук 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.** Визначте об'єм (н. у.), що займає: а) 0,4 моль метанаміну; б) суміш 1,2 моль метанаміну та 2,3 моль кисню.
431. Визначте молекулярну формулу аміну, в якому масова частка Карбону становить 38,7 %, а Нітрогену — 45,1 %. Складіть його структурну формулу.
432. Установіть число атомів Карбону в молекулі аміну, в якому масова частка Нітрогену становить 15,05 %.

§ 28. Властивості насичених амінів

Пригадайте: з точки зору теорії електролітичної дисоціації, основами є речовини, в розчинах яких наявні аніони тільки 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 та Нітрогену аміногрупи утворюють водневі зв'язки, але значно слабші, ніж водневі зв'язки гідроксильної групи $-\text{OH}$ (мал. 28.1). Тому міжмолекулярна взаємодія між молекулами амінів значно слабша, ніж у відповідних спиртів. Це пояснює менші температури кипіння та плавлення амінів порівняно з відповідними спиртами (табл. 13). Наприклад, у метанолу температура кипіння $63\text{ }^\circ\text{C}$, а в метанаміні — $-6\text{ }^\circ\text{C}$.

Наявність аміногрупи також зумовлює кращу розчинність амінів у воді порівняно з алканами.

Таблиця 13. Фізичні властивості деяких амінів

Формула	$t_{\text{пл.}},\text{ }^\circ\text{C}$	$t_{\text{кип.}},\text{ }^\circ\text{C}$	Густина, г/мл	Розчинність у воді
CH_3NH_2	-94	-6	0,0014 (н. у.)	Добре розчинний (52 %)
$\text{C}_2\text{H}_5\text{NH}_2$	-80,6	16,6	0,68	Необмежено розчинний
$\text{C}_3\text{H}_7\text{NH}_2$	-83	48	0,71	Необмежено розчинний
$\text{C}_4\text{H}_9\text{NH}_2$	-50,5	77,8	0,74	Добре розчинний ($\approx 50\%$)
$\text{C}_5\text{H}_{11}\text{NH}_2$	-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

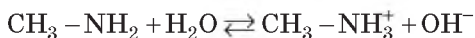
Як і для інших класів органічних сполук (за винятком вуглеводнів), хімічні властивості амінів насамперед зумовлені наявністю в їхніх молекулах характеристичної групи. Причому властивості амінів багато в чому подібні до властивостей амоніаку, який виявляє властивості слабкої основи.

Подібні властивості характерні і 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.

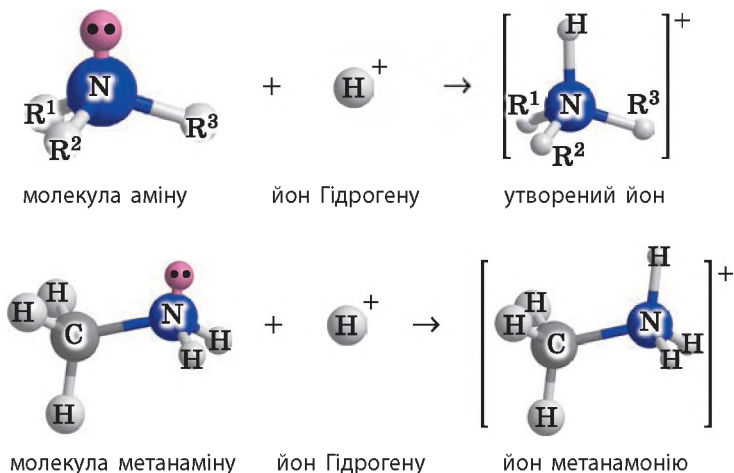
1. Взаємодія з водою. Багато нижчих амінів досить добре розчинні у воді, їхні розчини мають лужне середовище і змінюють забарвлення індикаторів:



Для метанаміну:



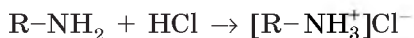
Така взаємодія можлива внаслідок будови аміногрупи, що описано в попередньому параграфі. Завдяки неподіленій електронній парі атом Нітрогену утворює ще один ковалентний зв'язок з атомом Гідрогену, утворюючи йон:



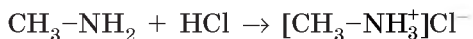
Отже, аміни з точки зору електролітичної дисоціації також є основами, тільки органічними. З молекулами води взаємодіє невелика частка молекул амінів, тому аміни є слабкими електролітами.

2. Взаємодія з кислотами. Як слабкі основи, аміни добре взаємодіють із сильними кислотами з утворенням солей:

у загальному вигляді:



для метанаміну:

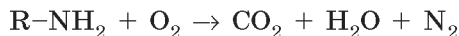


метанамоній хлорид

Назви солей амінів за номенклатурою утворюються заміною суфікса *-амін-* на суфікс *-амоній-*. Але в багатьох випадках це занадто складно. Особливо це стосується амінів природного походження зі складною хімічною будовою. У такому разі назва солі утворюється додаванням слова «гідрохлорид (у разі солі хлоридної кислоти)», що означає «продукт приєднання гідроген хлориду». Наприклад, піридоксин — амін природного походження, більш відомий як вітамін B₆. Сіль, що утворена його взаємодією з хлоридною кислотою, називають піридоксин гідрохлоридом. Саме таку назву ви можете побачити в інструкціях до лікарських препаратів (мал. 28.2).

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:

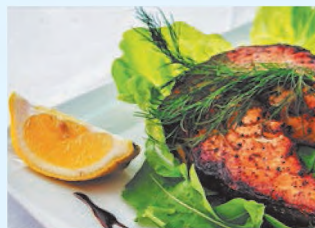


Мал. 28.2. На етикетках та в інструкціях до лікарських препаратів трапляється слово «гідрохлорид». Це означає, що основна лікарська речовина є основою, а в препараті міститься у вигляді солі хлоридної кислоти





• 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.

• Путресцин (від латин. *puter* — гнилий або той, що гниє) — це бутан-1,4-діамін $\text{NH}_2-(\text{CH}_2)_4-\text{NH}_2$, що належить до групи біогенних амінів. Відкритий 1885 року берлінським лікарем Людвігом Бригером у продуктах гнильного розкладу білків. Разом із кадаверином є одним з компонентів трупної отрути.



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, в якому агрегатному стані перебувають за кімнатної температури (18 °C): а) метанамін; б) етанамін; в) пропанамін. Відповідь поясніть.
437. Складіть рівняння реакцій взаємодії з водою та хлоридною кислотою: а) етанаміну; б) пропан-1-аміну. Назвіть продукти реакції.
438. Використовуючи загальну молекулярну формулу насичених амінів, складіть у загальному вигляді рівняння реакції насичених амінів.

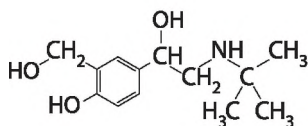
- 439.** Складіть рівняння реакції горіння: а) етанаміну; б) пропанаміну; в) триетиламіну; г) етилдиметиламіну.
- 440.** Складіть рівняння реакцій для здійснення перетворень за схемою:
 $\text{CH}_4 \rightarrow \text{CH}_3\text{Cl} \rightarrow \text{CH}_3\text{NH}_2 \rightarrow \text{CH}_3\text{NH}_3\text{Cl} \rightarrow \text{CH}_3\text{NH}_2$.

Комплексні завдання

- 441.** Обчисліть масу диметиламіну, що може взаємодіяти з хлороводнем об'ємом 3,36 л (н. у.).
- 442.** Обчисліть масу метанаміну та етанаміну, що може вступити в реакцію з 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.** Під час згоряння невідомого насиченого первинного аміну кількістю речовини 10 моль утворилося 20 моль вуглекислого газу. Визначте молекулярну формулу аміну.
- 445.** Обчисліть масу етанаміну, що згорів, якщо під час реакції утворилося 112 л (н. у.) газуватих продуктів реакції.
- 446.** Визначте молекулярну формулу органічної речовини, якщо під час 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 з розвитку критичного мислення

- 447.** Альбутерол — дуже важлива речовина для людей з бронхіальною астмою, оскільки дозволяє робити профілактику та усуває її напади. За структурною формулою альбутеролу визначте, до яких відомих вам класів органічних сполук можна його віднести.



- 448.** Вуглеводневий залишок в етанаміну більший, ніж у метанаміну. Як ви вважаєте, чому при цьому етанамін у воді розчиняється краще за метанамін?
- 449.** Порівняйте фізичні властивості амінів (табл. 13, с. 171) та спиртів (табл. 8, с. 85) із властивостями алканів (табл. 2, с. 6). Визначте, як і на які саме властивості впливає наявність характеристичних груп та довжина карбонового ланцюга.

- 450.** Під час горіння вуглеводнів та оксигеновмісних органічних сполук утворюються тільки оксиди, а під час 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. Використовуючи 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 одним реактивом?
- 452.** Амоніак у лабораторії добувають взаємодією солей амонію з лужними речовинами, зокрема з кальцій гідроксидом. Як ви вважаєте, чи можна в подібний спосіб добувати аміни?
- 453.** Як ви вважаєте, чи можна кислотно-основні взаємодії амінів використовувати для їх очищення? Якщо так, то в який спосіб?

Міні-проекти

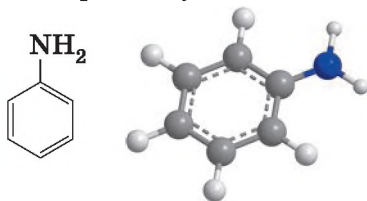
- 454.** Із додаткових джерел інформації дізнайтеся про способи кількісного опису основних властивостей сполук. На прикладі амінів поясніть зміни в їх основних властивостях.

§ 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 ядро сполучене з аміногрупою:



З огляду на будову, анілін також можна назвати феніламіном (феніл — назва замісника C_6H_5), або амінобенzenом.



Август Вільгельм фон Гофман (1818–1892)
Розробив метод добування амінів.

Анілін був відкритий декількома хіміками: 1826 року німецький хімік О. Унфердорбен добув його з природного барвника індиго під назвою кристалін, 1834 року Ф. Рунге — з кам'яновугільної смоли під назвою кіанол тощо. Але тільки 1843 року А. Гофман установив будову аніліну й довів, що всі ці речовини ідентичні.

Назва «анілін» уперше була застосована Ю. Фріцше, який добув його нагріванням природного барвника індиго з лугом, і походить від назви однієї з рослин, що містить індиго — *Indigofera anil*.

Фізичні властивості аніліну

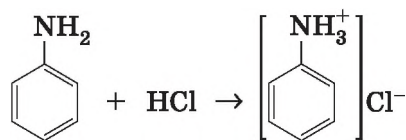
- Безбарвна олієподібна речовина з характерним запахом;
- на повітрі швидко окиснюється й набуває червоно-бурого забарвлення;
- обмежено розчинний у воді (3,6 г на 100 мл), добре розчиняється в органічних розчинниках;
- трохи важчий за воду, густина 1,022 г/мл;
- $t_{\text{пл.}} = -6,3\text{ }^{\circ}\text{C}$, $t_{\text{кип.}} = 184,1\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- отруйний, у разі потрапляння на шкіру спричиняє хімічні опіки.



Хімічні властивості аніліну

Як і у випадку з фенолом, хімічні властивості аніліну мають поєднувати властивості ароматичних вуглеводнів (бензену) та амінів.

1. Взаємодія з хлоридною кислотою. Як і всі аміни, анілін виявляє основні властивості й реагує з кислотами:



анілін гідрохлорид,
або феніламоній хлорид

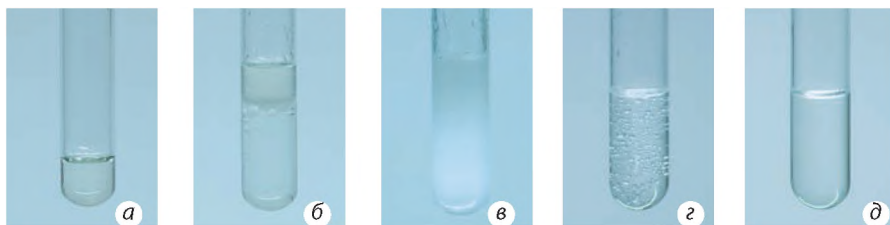


На відміну від аніліну, його сіль (анілін гідрохлорид) у воді розчиняється набагато краще й окиснюється повітрям значно важче. Тому в лабораторіях анілін часто зберігають у вигляді гідрохлориду.

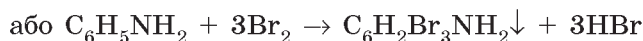
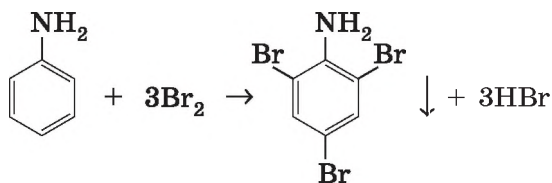


Демонстраційний дослід: взаємодія аніліну з хлоридною кислотою

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 однорідний розчин анілін гідрохлориду (мал. д).



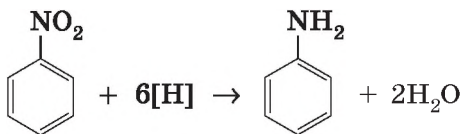
2. Взаємодія з бромом. Ви вже знаєте, що на відміну від бензену фенол активно взаємодіє з бромом унаслідок впливу гідроксильної групи на бензенове ядро. Так само анілін за звичайних умов активно взаємодіє з бромом — заміщуються три атоми Гідрогену в бензеновому ядрі:



Під час реакції спостерігається утворення білого осаду 2,4,6-триброманіліну.

Добування та застосування аніліну

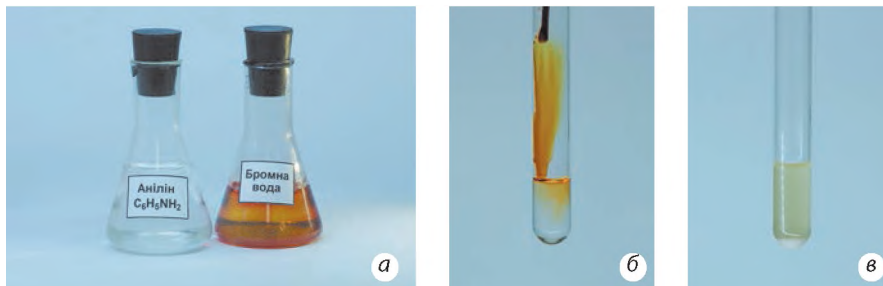
Анілін — дуже важливий реагент для хімічної промисловості, тому метод його добування має бути простим і дешевим. Основний спосіб добування аніліну — відновлення нітробензену:



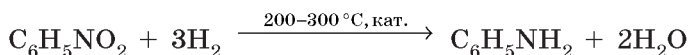


Демонстраційний дослід: взаємодія аніліну з бромом

Для реакції використовуємо не чисті речовини, а їх розчини (мал. а): розбавлений розчин аніліну у воді та розчин бромну (бромну воду). У пробірку наливаємо 2–3 мл розчину аніліну та тоненькою цівкою доливаємо бромну воду (мал. б). Реакція відбувається майже миттєво і супроводжується утворенням осаду (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 добування різноманітних штучних барвників, виробництво яких на той час було дуже затребуваним, але дорогим. Завдяки відкриттю Зініна 1856 року Вільям Перкін організував промислове виробництво фіолетового барвника мовеїну. Із часом було налагоджено виробництво дешевих анілінових барвників з яскравим і різноманітним забарвленням, придатних для фарбування тканин. Це дозволило відмовитися від такої дефіцитної і дорогої природної сировини, як барвники індіго, кошєніль, королівський пурпур.



**Микола Миколайович Зінін
(1812–1880)**

Розробив метод добування аніліну.

В Україні анілінофарбова промисловість виготовляє барвники для текстильної, взуттєвої та поліграфічної промисловостей. Підприємства зосереджені поблизу коксохімічного виробництва. Найбільшим підприємством галузі є «Рубіжанський барвник».

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. Характеризуйте фізичні властивості аніліну. Що відбуватиметься, якщо в склянку з водою налити стільки ж аніліну?
457. Характеризуйте 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 метиламін та анілін можна віднести до: а) однієї групи амінів (якої); б) до різних груп амінів (яких)?
459. Складіть рівняння реакції феніламоній хлориду з лугом.
460. Складіть рівняння реакції 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, що 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 отримали 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 добування аніліну масою 18,6 кг.

Завдання з розвитку критичного мислення

465. Складіть рівняння реакцій, за якими можна добути анілін з 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 хлоридною кислотою додають значну кількість води?

§ 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



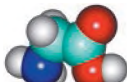
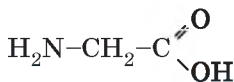
Амінокислоти — це похідні карбонових кислот, у вуглеводневому залишку яких один чи декілька атомів Гідрогену заміщено на аміногрупу.

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:

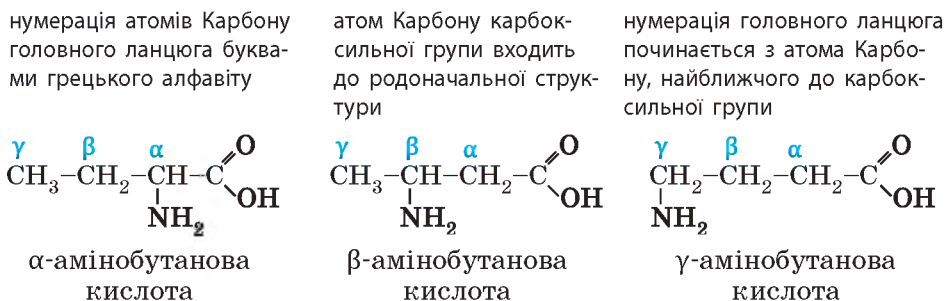
префікс	родоначальна структура		суфікс
назви замісників за алфавітом	назва головного ланцюга	ступінь насиченості + позначають суфіксами -ан-, -ен-, -ін-	-ова кислота характеристична група

Але існують певні особливості, зумовлені наявністю двох характеристичних груп. Із них карбоксильна група є старшою, тому:

- за родоначальну 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:



У природі переважають α -амінокислоти, тільки ці амінокислоти утворюють білки, тобто є протеїногенними.

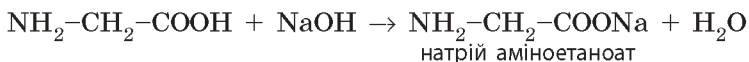
Фізичні властивості амінокислот

Амінокислоти — тверді безбарвні кристалічні речовини, 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). Деякі амінокислоти солодкі на смак.

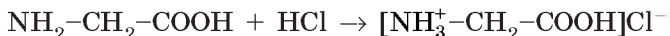
Водні розчини більшості амінокислот мають нейтральне середовище.

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.

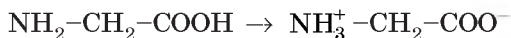
1. Взаємодія з лугами відбувається за участі карбоксильної групи:

Назва солі утворюється аналогічно назвам солей карбонових кислот. Якщо кислота аміноетанова, то її сіль називають аміноетанат.

2. Взаємодія з кислотами відбувається за участі аміногрупи:

Назва цієї солі утворюється подібно до назв амінів: аміноетанова кислота гідрохлорид.

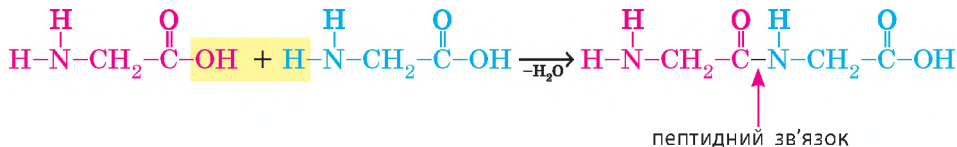
Іноді амінокислота сама є і кислотою, і основою одночасно, у цьому випадку йон Гідрогену з карбоксильної групи приєднується до аміногрупи:



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:

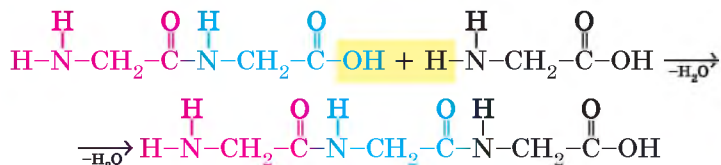


3. Утворення поліпептидів. Ди-, три- та поліпептиди утворюються в реакції поліконденсації. За певних умов група -COOH однієї молекули може реагувати з групою -NH_2 іншої молекули, при цьому відщеплюється молекула води й утворюється продукт, у якому залишки амінокислот сполучені так званим *пептидним 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.

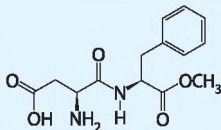
Біологічне значення амінокислот

Амінокислоти — це цеглинки, з 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 добувають 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 коктейлей для спортивного харчування.



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 аспарагіноювою кислотою та фенілаланіном, він добре засвоюється організмом людини. Він не призводить до утворення карієсу зубів, а його засвоєння не залежить від вироблення організмом інсуліну.



Ада Йонат
(народилася 1939 р.)

Досліджувала будову білкових молекул.

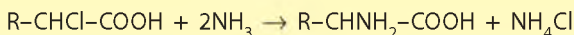


Іван Якович Горбачевський
(1854–1942)

Установив, що білки мають амінокислотну природу.



Добування амінокислот. Амінокислоти добувають 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).



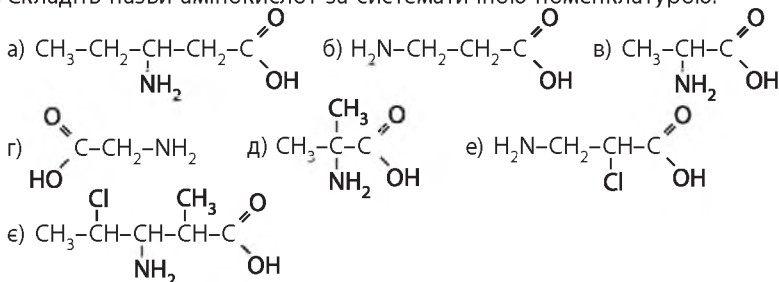
Контрольні запитання

467. Які сполуки є амінокислотами?
468. Чому водні розчини одноосновних амінокислот не змінюють забарвлення індикаторів?
469. Які особливості складання назв амінокислот у порівнянні 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?



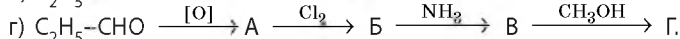
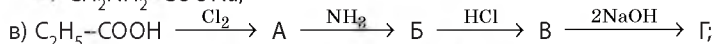
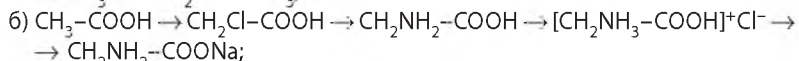
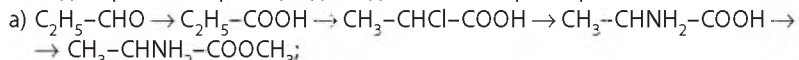
Завдання для засвоєння матеріалу

473. Складіть назви амінокислот за систематичною номенклатурою:

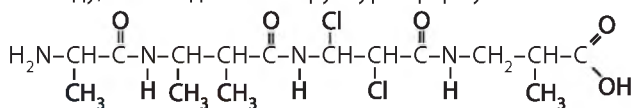


474. Складіть формулу: а) 2-амінопропанової кислоти; б) гідрохлорид 2-амінопропіонової кислоти; в) натрій 2-амінопропаноату; г) 2-аміно-2-хлоропропанової кислоти; д) дипептид 2-амінопропанової кислоти.
475. Складіть усі можливі структурні формули амінокислот зі складом: а) $\text{C}_4\text{H}_9\text{NO}_2$; б) $\text{C}_3\text{H}_6\text{NO}_2\text{Cl}$. Назвіть їх.
476. Складіть рівняння реакції аміноетанової та амінопропанової кислот з калій гідроксидом, хлоридною кислотою, метанолом.
477. З якими з речовин — калій гідроксид, хлор, вода, хлоридна кислота — взаємодіятиме: а) аміноетанова кислота; б) α -амінопропанова кислота?

478. Складіть рівняння реакцій для здійснення перетворень за схемами:



479. Визначте амінокислоти, що утворюються під час гідролізу наведеного пептиду, та складіть їхні структурні формули й назви.



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 хлороетанової кислоти. Обчисліть мінімальний об'єм амоніаку (н. у.) для реакції з 200 г розчину з масовою часткою хлороетанової кислоти 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. Визначте 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 %. Визначте молекулярну формулу цієї амінокислоти. Запропонуйте, які структурні формули можуть відповідати такому складу амінокислоти.

485. Під час 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 з розвитку критичного мислення

487. Чи є коректними такі назви сполук: α-аміноетанова кислота, амінобутанова кислота?

§ 31. Білки

Пригадайте: з курсу біології просторову будову молекул білків.

Білки — похідні амінокислот



Білки — природні високомолекулярні сполуки, молекули яких складаються із залишків молекул амінокислот, які сполучені один з одним пептидними зв'язками.

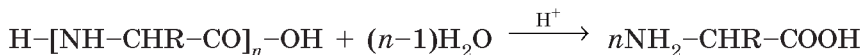
Білки є полімерами, мономерами яких є амінокислоти. Зазвичай білки містять 100 і більше залишків молекул амінокислот. Більшість білків людського організму містять кілька сотень амінокислотних залишків. Отже, молекулярна маса білків коливається від декількох тисяч до декількох мільйонів.

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 під час 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 ущільнення білків молока під час скисання.

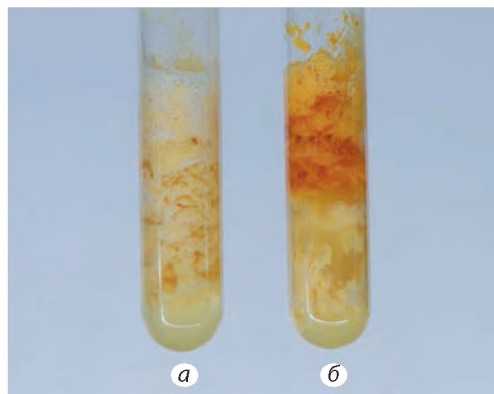
2. Гідроліз білків. Інша хімічна властивість білків — здатність до гідролізу в кислому або лужному середовищі. Під час гідролізу розриваються пептидні зв'язки і відбувається розщеплення поліпептидного ланцюга. Повний гідроліз до окремих амінокислот відбувається під час тривалого нагрівання білків з концентрованою хлоридною кислотою:



Після потрапляння білкових речовин у шлунок під дією хлоридної кислоти і ферменту пепсину відбувається їх гідроліз. Організм людини засвоює білкові речовини тільки 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+} поліпептидами (мал. 31.1). Цю реакцію називають *біуретовою*, вона є універсальною для всіх білків, оскільки виявляє 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 кожен 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 запасав 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;
- під час нагрівання 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 протейногенних 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?



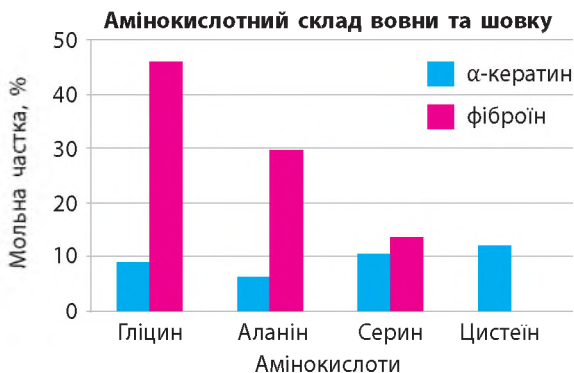
Завдання для засвоєння матеріалу

Комплексні завдання

- 494.** Під час гідролізу трипептиду масою 46,2 г з натрій гідроксидом утворилася сіль тільки 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 прийміть до уваги, що в молекулі білка щонайменше два залишки молекул амінокислот, у яких по одному атому Сульфору в молекулі.

Завдання з 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 тільки 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?

Міні-проекти

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 спаліть невеликий шматочок цього білка й понюхайте його. Утворюється характерний запах, що нагадує запах паленого рога, 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. Якщо потримати над вогнем пташине перо або волосся, відчуєте знайомий запах паленого рога. Це свідчить про те, що перо й волосся містять білок.



Перевірте свої знання за темою «Нітрогеновмісні органічні сполуки», виконавши тестові завдання на сайті.

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

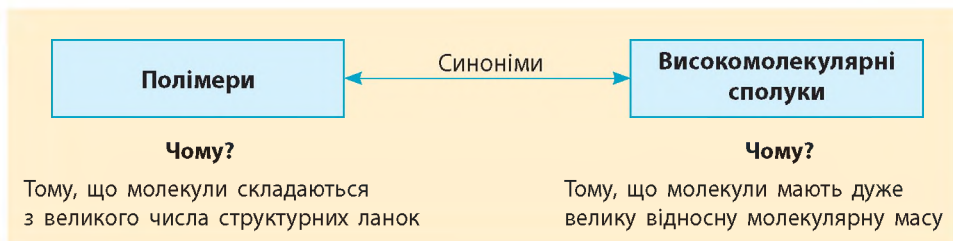
З курсу хімії та біології 9 класу вам уже відомі природні полімери, або біополімери, зокрема полісахариди, білки та нуклеїнові кислоти. Їх особливістю є те, що їхні молекули складаються з великого числа структурних ланок. А завдяки досягненням хімії створено багато синтетичних (штучних) полімерів.

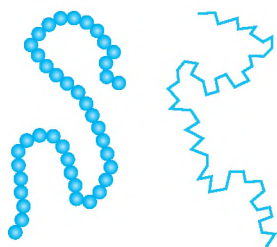


Полімери — це речовини, що складаються з великого числа структурних ланок, сполучених у довгі молекули хімічними зв'язками.

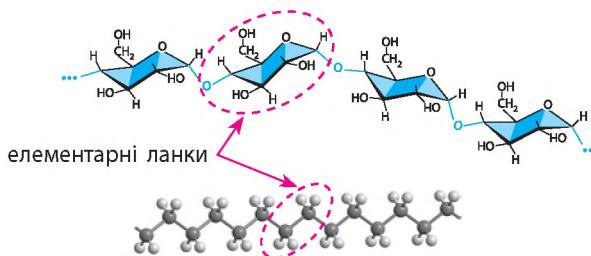
Число структурних ланок у складі молекул полімерів може сягати декількох мільйонів, тому ці молекули дуже великі, їх іще називають *макромолекулами* (мал. 32.1).

Відносна молекулярна маса полімерів також дуже велика і може сягати десятків мільйонів, тому полімери також називають *високомолекулярними сполуками*.





Мал. 32.1. Умовне зображення макромолекул полімерів



Мал. 32.2. Фрагменти макромолекул крохмалю (угорі) і поліетилену (унизу) та їхні елементарні ланки

Структурні ланки, з яких складаються молекули полімерів,— це групи атомів, що є характерними для кожного полімеру, їх називають елементарними ланками (мал. 32.2).

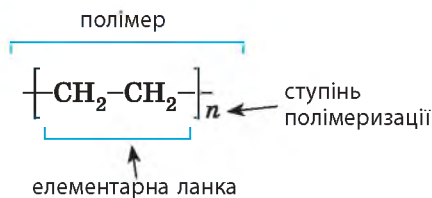


Елементарна ланка — це група атомів, що багаторазово повторюється в макромолекулі полімеру.

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. За дужками символом n позначають середнє число елементарних ланок у макромолекулах, яке називають *ступенем полімеризації*.

Ступінь полімеризації — середнє число елементарних ланок у макромолекулі полімеру:



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

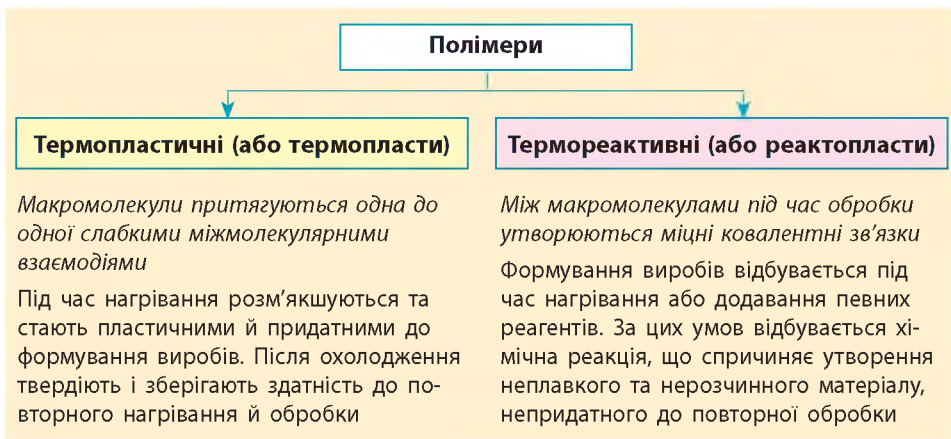
Для полімерів характерні особливі властивості, що відрізняють їх від низькомолекулярних речовин.

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.

3. Термопластичність. Властивість тіла змінювати свою форму за нагрівання і зберігати її після охолодження називають *термопластичністю*. За цим параметром полімери поділяють на *термопластичні* та *термореактивні*.

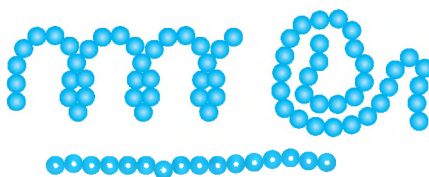


Будова макромолекул

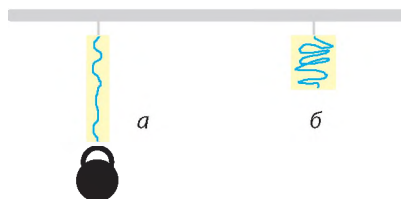
Особливі властивості полімерів зумовлені не тільки великими розмірами, а й особливостями будови макромолекул. Розрізняють три основні різновиди будови макромолекул: *лінійна*, *розгалужена* та *сітчаста*. Будова макромолекул зумовлює фізичні та експлуатаційні властивості полімерів (табл. 14).

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 розривання 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).



Мал. 32.3. Лінійні макромолекули утворюють різні просторові форми

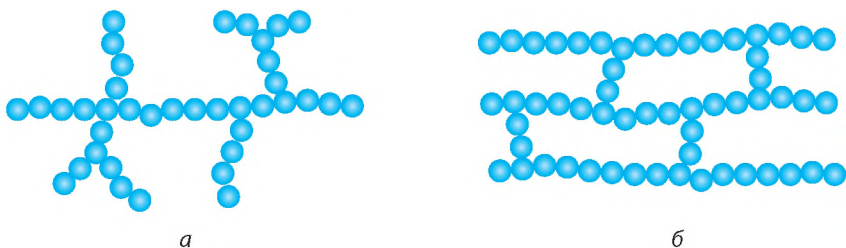


Мал. 32.4. За умови дії навантаження на еластичні полімери їхні макромолекули розпрямляються (а) та оборотно скручуються після його зняття (б)

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, фенолформальдегідні смоли, гума
Приклади біополімерів	Амілоза, целюлоза, білки, нуклеїнові кислоти	Амілопектин, глікоген	Вовна

* У воді чи органічних розчинниках залежно від полярності полімеру.



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.

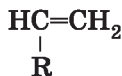
Реакції полімеризації та поліконденсації

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:

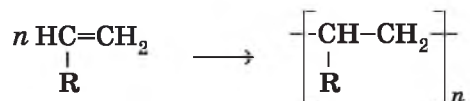


Групою R у цих молекулах можуть бути будь-які вуглеводневі залишки, атоми чи групи атомів, зокрема характеристичні групи. Ці речовини, з яких утворюються полімери, називають мономерами.



Мономер — низькомолекулярна речовина, з якої шляхом полімеризації або поліконденсації утворюється полімер.

Під час 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 *полі-*. Наприклад, з етилену (етену) під час полімеризації утворюється поліетилен, з пропілену (пропену) — поліпропілен тощо.

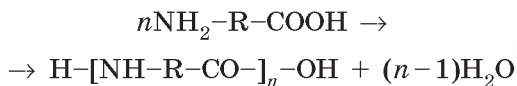
Револуція в синтезі полімерів відбулася після відкриття К. Циглером та Дж. Наттою каталізаторів для реакції полімеризації на основі сполук Титану та Алюмінію, за що 1963 року вони були нагороджені Нобелівською премією.

Подібно до полімеризації відбувається процес поліконденсації, але є одна відмінність: під час 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 протеїногенних амінокислот у рибосомах відбувається синтез білків.



Джуліо Натта (1903–1979)

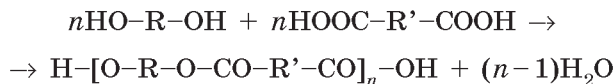


Карл Вальдемар Циглер (1898–1973)

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, з двохатомних спиртів та двохосновних карбонових кислот синтезують поліестери:



Сьогодні за реакціями полімеризації та поліконденсації на хімічних підприємствах синтезують багато полімерів, з яких, у свою чергу, виготовляють різноманітні полімерні матеріали для потреб суспільства.

В Україні станом на 2018 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», *macro* — «довгий» або «великий», *meros* — «частина». Поясніть значення термінів «полімер», «мономер», «макромолекула».



Контрольні запитання

- 500.** Дайте визначення поняттям «полімер», «високомолекулярна сполука», «мономер», «елементарна ланка», «ступінь полімеризації», «макромолекула».
- 501.** Що називають термопластичністю? Які полімери називають термопластичними, а які — термореактивними? Чим вони відрізняються? Наведіть приклади.
- 502.** Схарактеризуйте відмінності механічних властивостей та здатності розчинятися для високо- та низькомолекулярних речовин.
- 503.** Схарактеризуйте різну будову макромолекул. Як будова макромолекул позначається на властивостях полімерів?
- 504.** Чим відрізняються реакції полімеризації та поліконденсації? Які полімери добувають 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 з їхніми властивостями. Проілюструйте прикладами.
- 507.** Утворення крохмалю у рослинах з 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 з розвитку критичного мислення

- 511.** Як ви вважаєте, в 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 з 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 отримав поширену назву 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,

побуті тощо. На пластмасових виробках обов'язково має бути зазначено, з яких полімерів вони виготовлені, оскільки в кожного полімеру є певні межі застосування, наприклад «не нагрівати», «не використовувати для зберігання харчових продуктів». Полімер, з якого виготовлено виріб, позначають трикутником з 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, їх позначення й формули та сфери застосування

Назва полімеру	Позначення	Формула	Застосування
Поліетилентерефталат		$\left[\text{O}-\text{C} \begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \end{array} \text{C}_6\text{H}_4 \begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \end{array} \text{C}-\text{O}-\text{CH}_2 \right]_n$	Виготовлення тари для напоїв: мінеральної води, фруктових соків тощо, blisterної 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 полу, 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

Закінчення таблиці

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. Вважається 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, підошви 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 їх накопичення на сміттєзвалищах і у водоймах. Оскільки вони не гниють, то велика кількість пластмасових виробів вимушує займати під сміття нові площі, що згодом може перетворити нашу планету на одне велике сміттєзвалище (мал. 33.4, а).

Скупчення відходів з 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 океанах. 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 з їх 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 з таких екологічно безпечних матеріалів (мал. 33.6).

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 їх 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 «Вважається безпечним для...»? Чому у цьому випадку не пишуть більш конкретно про безпечність чи небезпечність матеріалів?

Міні-проекти

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.

§ 34. Каучуки

Відкриття та види каучуків

Серед 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. Під час нагрівання або іншої обробки цей полімер вивільнюється й утворює натуральний каучук.

Із розвитком автомобільної промисловості потреба в каучуку, з якого виготовляли шини, стрімко зростала. Виробництво натурального каучуку не могло задовольнити всі потреби, і постало завдання добути каучук синтетичний. Уперше синтетичний бутадієновий каучук полімеризацією бутадієну добув 1910 року С. В. Лебедев, який згодом став одним із засновників промислового синтезу каучуків.



Сергій Васильович Лебедев
(1874–1934)

Розробив дешевий спосіб виробництва каучуку.



Мал. 34.1. Збирання молочного соку (латексу) з гевеї

Синтетичний каучук став промислово вигідним після винайдення способу добувати бутадієн з етанолу пропусканням спирту над каталізатором (реакція Лебедева):



Синтез каучуків ще значно здешевів після винайдення каталізаторів Циглера — Натти.

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).

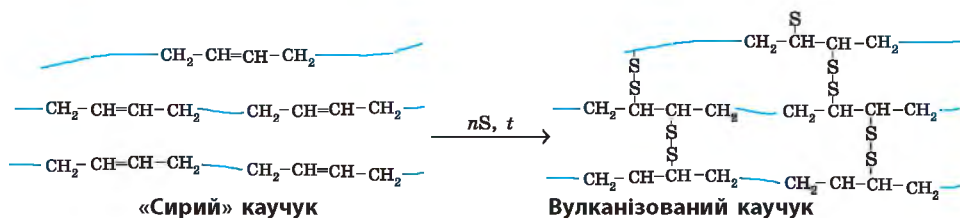
Таблиця 16. Найважливіші види каучуків

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 з 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 отриманого матеріалу: сонячне світло поглинається сажею, а не каучуком, молекули якого руйнуються під дією сильного освітлення.

Вулканізацією каучуку добувають 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 пробоїну 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 пробоїна зтягується 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 з 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.



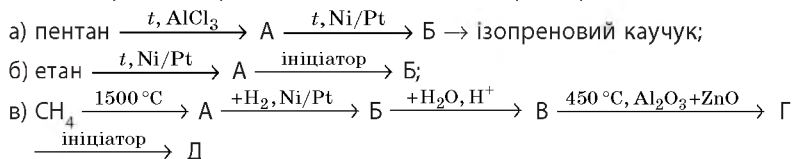
Контрольні запитання

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 добувають вулканізацією каучуків? Чим відрізняються ці матеріали?



Завдання для засвоєння матеріалу

530. Складіть 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 і 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).

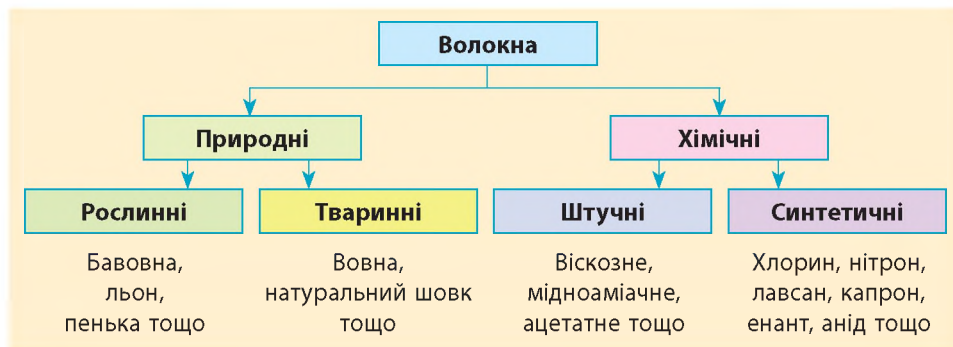
Зі збільшенням потреби населення в тканинах і розвитком промисловості постала проблема нестачі волокнистих матеріалів. Виникла необхідність отримання волокон хімічним способом.

Це можливо здійснити двома шляхами: з природних або синтетичних полімерів.

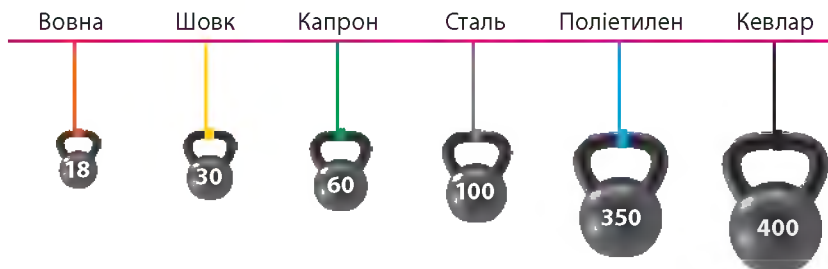
Оскільки волокна характеризуються впорядкованим, орієнтованим уздовж осі волокна розташуванням лінійних макромолекул, то можна взяти природний полімер неупорядкованої структури і шляхом певної обробки перебудувати в ньому розташування макромолекул, а саме укласти їх в одному напрямку. Волокна, отримані 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 добувають у ході реакцій поліконденсації.

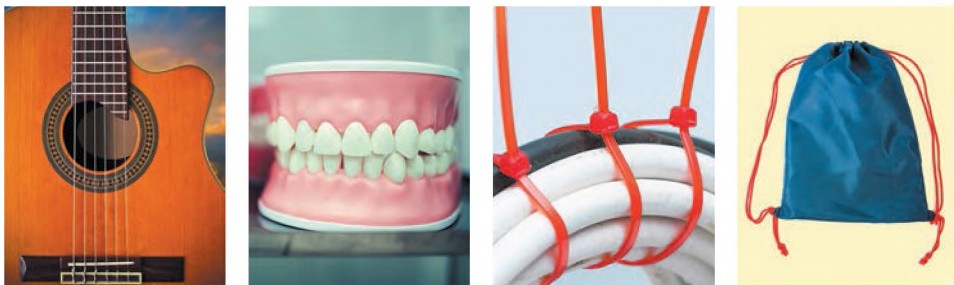
1. Найлон (нейлон, анід). Полімер синтезують з адипінової кислоти $\text{HOOC}-(\text{CH}_2)_4-\text{COOH}$ та гексаметилендіаміну $\text{H}_2\text{N}-(\text{CH}_2)_6-\text{NH}_2$.

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, сорочки



Мал. 35.3. Вироби з капрону: канат, тюль, господарська сумка

нає вологу, 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, та 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.

З 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 з 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 їх еластичності (мал. 35.5). Одяг з 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, стійкість до 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 з 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.
- З 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 розв'язувати 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 їх 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?

Міні-проекти

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 відчує 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, з якою тканиною ми маємо справу — вовняною чи бавовняною.

Дослід 2. У кабінеті хімії разом з учителем виконайте експериментальний проект. 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. Через деякий час тканина розчиниться. В аналогічному досліді з бавовняною тканиною такого не відбудеться, оскільки білки, на відміну від полісахаридів, піддаються гідролізу під дією лугів.

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.

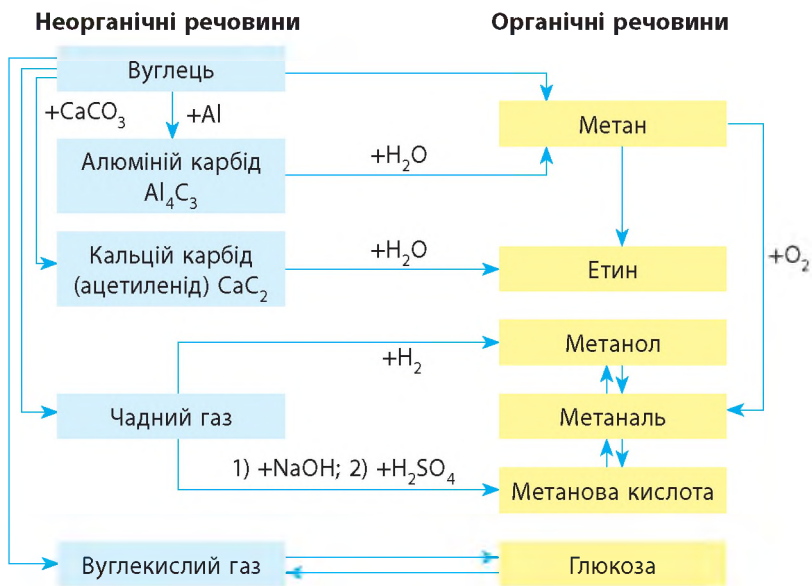
Причинами багатоманітності органічних сполук є:

- **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 з 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 їх сполучення. Так, не всі ізомери можуть існувати тривалий час, і не всі вони матимуть цінність для людини. Але ізомерія — дуже суттєвий чинник, що сприяє урізноманітненню й збільшенню числа органічних сполук;
- **існування сполук з 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, з різним амінокислотним складом, різною їх послідовністю. Це також стосується інших органічних сполук у живих організмах.

Отже, число органічних сполук може бути майже нескінченним, і навіть передбачити це число неможливо. Можна тільки сказати, що, за даними хімічної реферативної служби (CAS), на початок 2018 року зареєстровано понад 110 млн органічних сполук і кожного дня синтезують нові.

Взаємозв'язок між органічними та неорганічними сполуками

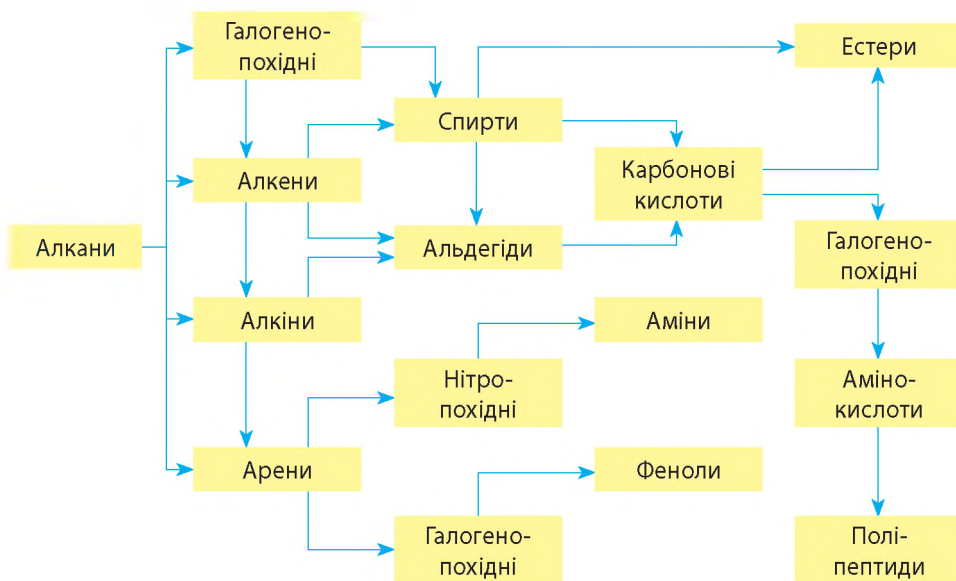
Ще на початку вивчення органічної хімії ми зазначали, що органічними є речовини на основі атомів Карбону, і досить складно провести межу між органічними та неорганічними сполуками. Певним чином це зумовлено можливістю їх взаємного перетворення. Неорганічні речовини (чадний та вуглекислий гази, сажа тощо) утворюються під час повного чи неповного згоряння органічних речовин. Органічні речовини також можна добути з неорганічних, зокрема, такими перетвореннями:



Взаємозв'язок між класами органічних сполук

Ви вже вивчили, які взаємозв'язки існують між вуглеводнями. Ці взаємозв'язки ґрунтуються на способах взаємоперетворень вуглеводнів різних гомологічних рядів. За цим принципом також можна виявити взаємозв'язки між класами органічних сполук. Певна річ, класів сполук існує дуже багато, і взаємозв'язки між ними дуже

різноманітні, але для вивчених вами класів сполук схему їх взаємозв'язків можна зобразити так:



Грунтуючись на знаннях про взаємозв'язки між різними класами сполук, про їхні властивості та методи добування, можна спланувати й здійснити майже будь-які перетворення. Цим користуються хіміки-органіки для синтезу нових, ще невідомих сполук. Наприклад, урахувавши 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 їх кількість збільшилася до 12 млн, а 2014 року — до 87 млн. На початок 2018 року відомо 137 млн хімічних речовин, з яких близько 115 млн — органічні.



**Ключова ідея**

У природі може існувати безліч органічних речовин, між якими існують складні взаємозв'язки, що характеризують властивості та методи добування 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. Складіть 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 складіть рівняння реакцій для їх здійснення.

Завдання з розвитку критичного мислення

543. Проаналізуйте, як можна зіставити причини багатоманітності органічних сполук, перелічених у цьому параграфі, з 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: з курсу біології, які речовини називають ферментами, гормонами, вітамінами; їх різноманітність та значення.

Поняття про біологічно активні речовини

Біологічно активні речовини (БАР) — хімічні речовини, що виявляють високу фізіологічну активність за малих концентрацій.

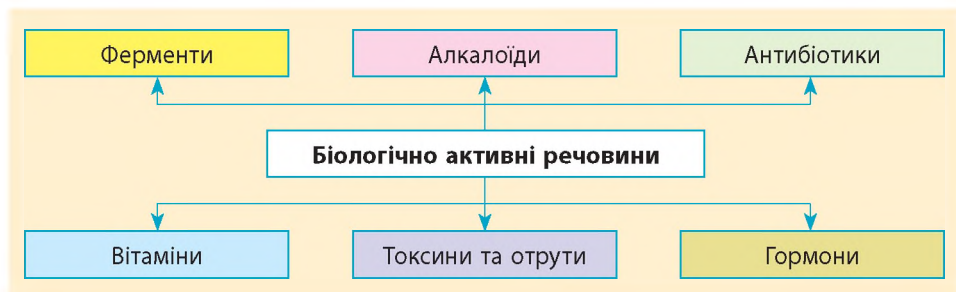
Свою фізіологічну активність речовини можуть виявляти до певної групи рослин чи тварин (але зазвичай мають на увазі людину) або до певних груп клітин (тканин). Фізіологічну активність речовин можна використовувати для лікування або підтримання нормальної життєдіяльності організму.



Дороти Кроуфорт-Ходжкін (1910–1994)

Досліджувала хімічну будову біологічно активних речовин.

Серед біологічно активних речовин виділяють декілька груп. Ця класифікація не має чіткого хімічного підґрунтя, вона спирається більше на фізіологічну дію та походження речовин.

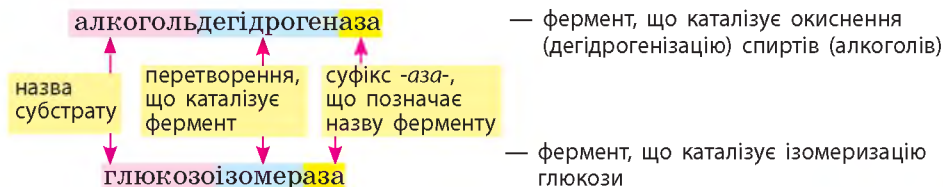


Дослідження хімічної будови біологічно активних речовин — дуже складна експериментальна задача, до якої доклали зусиль багато вчених. Серед них видатна вчена, лауреатка Нобелівської премії Дороти Ходжкін.

Ферменти

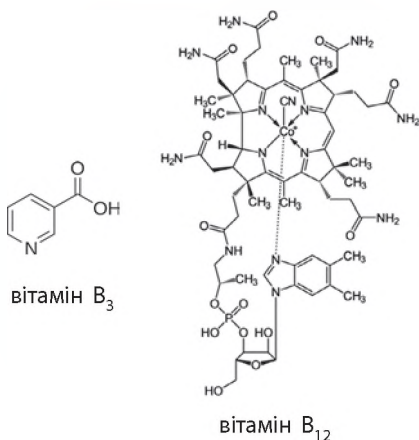
Ферменти, або *ензими*, — біологічні каталізатори, вони каталізують усі хімічні процеси, що відбуваються в живих організмах. Терміни «фермент» та «ензим» — синоніми, перший почали застосовувати в німецькомовних наукових статтях, а другий — у франко- та англomовній літературі.

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*.



Вітаміни

Вітаміни — низькомолекулярні органічні сполуки різноманітної хімічної природи. У вітамінів відсутні певні спільні ознаки в хімічній будові. Наприклад, найпростіший за хімічною будовою вітамін B₃ (нікотинова кислота) та найскладніший — вітамін B₁₂ (ціанокоболамін):



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 з їжею. Надлишок або нестача вітамінів у їжі спричиняє розвиток захворювань.



Ключова ідея

Багато органічних сполук виявляють певну фізіологічну дію. Без деяких біологічно активних речовин неможлива 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.** Складіть 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 з розвитку критичного мислення

- 549.** Прочитайте епіграф до підручника. Ґрунтуючись 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, що 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 невинно 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.

До другої половини XIX століття доступними були тільки 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. Також у світі прийнята та 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 з нафтохімічними) є найбільш енергоємними галузями індустрії. Ви-



Мал. 38.5. Використання альтернативних джерел енергії та енергозберігаючих технологій дозволяє розв'язати глобальну енергетичну проблему

пускаючи 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 добування 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.

Міні-проекти

554. Назвіть продукти хімічних виробництв, які використовують у повсякденному житті.

555. Наведіть приклади несприятливого впливу хімічних речовин, знань або 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.

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 ядро 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
Гідрування
(гідрогенізація) 73
Глюкоза 152
Головний ланцюг 31
Гума 207

Д

Дегідратація 88
Дегідрування
(дегідрогенізація) 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
Крекінг 44
Крохмаль 160
Ксенобіотик 68

Л

Локант 32

М

Мономер 196

О

Оксигеновмісні
 сполуки 5
Органічна хімія 4

Н

Нітрогеновмісні сполуки 5

П

Пептидний зв'язок 183

Піроліз 74

Пластмаси 199

Полімери 92

Поліконденсація 97

Полімеризація 197

Р

Родоначальна структура 31

С

Сахароза 159

Синтез 16

Систематична
 номенклатура 31

Спирти 79

Ступінь полімеризації 193

Т

Термічний розклад 44

Термопластичність 194

Ф

Феноли 103

Ферменти 219

Х

Характеристична (функціо-
 нальна) група 20, 78

Ц

Целюлоза 160

Іменний покажчик

Байер, Йоган Фрідріх Вільгельм Адольф 225
Беліцер, Володимир Олександрович 156
Бородін, Олександр Порфирійович 118
Бутлеров, Олександр Михайлович 13
Вудворд, Роберт Бернс 16
Вюрц, Шарль Адольф 166
Горбачевський, Іван Якович 184
Гофман, Август Вільгельм фон 176
Гула, Надія Максимівна 220
Данилевський, Олександр Якович 219
Дюма, Жан Батист Андре 79
Ельтеков, Олександр Павлович 65
Ерленмейер, Ріхард Август Карл Еміль 61
Жерар, Шарль Фредерік 103
Зайцев, Олександр Михайлович 90
Зелінський, Микола Дмитрович 74
Зінін Микола Миколайович 179
Іпатьєв Володимир Миколайович 45
Йонат, Ада 184
Кекуле фон Штрадоніц Фрідріх Август 67
Кіпріанов, Андрій Іванович 225
Красовицький, Борис Маркович 224
Кроуфорт-Ходжкін, Дороті 218
Кучеров, Михайло Григорович 65
Лебедев, Сергій Васильович 205
Лібіх, Йоганес Юстус 112
Натта, Джуліо 197
Палладін, Олександр Володимирович 221
Реформатський, Сергій Миколайович 129
Сабатьє, Поль 73
Фішер, Еміль Герман 157
Циглер, Карл Вальдемар 197

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.
- Алкини** — ненасичені нециклічні вуглеводні, у молекулах яких є один потрійний зв'язок між атомами Карбону.
- Аміни** — це похідні амоніаку, в молекулах якого один чи більше атомів Гідрогену заміщено на вуглеводневий залишок.
- Амінокислоти** — похідні карбонових кислот, у вуглеводневому залишку яких один чи декілька 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 піддають розкладу і встановлюють її хімічну будову шляхом дослідження продуктів хімічних перетворень.
- Бензенове ядро** — 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 їх молекули або молекули продуктів їх гідролізу містять групу $>C=O$.
- Вуглеводні** — органічні речовини, що містять тільки атоми Карбону і Гідрогену.
- Вуглеводні насичені** — вуглеводні, в молекулах яких усі хімічні зв'язки одинарні.
- Вуглеводні ненасичені** — вуглеводні, в 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.
- Дегідрування, або дегідрогенізація** — 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: $\text{R}-\text{C}(=\text{O})-\text{O}-\text{R}_1$ або RCOOR_1 , де R та R_1 — будь-які вуглеводневі залишки.

Жири — це естери гліцеролу і жирних кислот.

Інгібітор — каталізатор, що зменшує швидкість реакції.

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 декілька характеристичних карбоксильних груп $-\text{COOH}$.

Кислоти карбонові вищі — карбонові кислоти, молекули яких містять більше 12 атомів Карбону.

Мономер — низькомолекулярна речовина, з якої шляхом полімеризації або поліконденсації утворюється полімер.

Моносахариди — найпростіші вуглеводи, молекули яких складаються тільки з однієї структурної ланки.

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

Піроліз — розкладання речовин під час нагрівання.

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 сполучення молекул певних речовин шляхом хімічних реакцій у нову речовину з необхідною хімічною будовою.

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

Спирти багатоатомні — спирти з декількома гідроксильними групами.

Спирти одноатомні — спирти з однією гідроксильною групою.

Ступінь полімеризації — середнє число елементарних ланок у макромолекулі полімеру.

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 їх належність до певного класу.

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

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

Співвідношення індексів в емпіричній формулі речовини

Для речовини $C_xH_yO_z$ справедливо

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

Обчислення молярної маси речовини за загальною формулою гомологічного ряду:

Алкани $M(C_nH_{2n+2}) = 14n + 2$	Алкени $M(C_nH_{2n}) = 14n$	Алкіни $M(C_nH_{2n-2}) = 14n - 2$
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 $M(C_nH_{2n+3}N) = 14n + 17$

Додаток 2

Посилання в Інтернеті на цікаві хімічні ресурси

- Повний опис властивостей хімічних елементів і їхніх сполук
<http://www.webelements.com/>
- Вільна енциклопедія Вікіпедія
<https://uk.wikipedia.org/>
- Оригінальне візуальне представлення Періодичної системи
Д. І. Менделєєва на сайті Королівської хімічної спілки
<http://www.rsc.org/periodic-table>
- Цікавий електронний науково-популярний журнал про хімію
та хіміків, що видається спеціалістами Київського національно-
го університету імені Тараса Шевченка
<http://chemistry-chemists.com/>
- Міжнародне товариство IUPAC
<http://www.iupac.org/>
- Український хімічний портал
<http://www.chemportal.org.ua/>
- Портал «Хімічний світ»
<http://www.chemworld.com.ua/>
- Всеукраїнські хімічні олімпіади
<http://www-chemo.univer.kharkov.ua/olympiad.htm>
<https://www.facebook.com/UkrChemOlimp/>
- Цікавий портал про хімію для учнів та дорослих
<http://chemistry.about.com/>
- Інфографіка з хімії
<http://www.compoundchem.com/>
- Навчальні симуляції
<https://phet.colorado.edu/en/simulations/category/new>
- Природознавча гра «Геліантус»
<http://www.helianthus.com.ua/>

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. Виведення молекулярної формули речовини за масовими частками елементів 22
Виведення молекулярної формули речовини за відомою масовою часткою елемента у сполучі. Виведення молекулярної формули речовини за відомою відносною молекулярною масою речовини. Виведення 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. Виведення молекулярної формули речовини 48
Виведення молекулярної формули речовин за загальною формулою гомологічного ряду. Виведення молекулярної формули речовин за відносною густиною. Виведення молекулярної формули речовин за густиною.
- §8. Виведення молекулярної формули речовини 54
Виведення молекулярної формули за даними про продукти згоряння речовин. Виведення 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 добування	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 добування.....	115
Хімічні властивості етаналю. Методи одержання етаналю.	
§ 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 їх 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 та целюлоза. Гідроліз крохмалю та целюлози	
Практична робота № 1. Розв'язування експериментальних задач	163
Тема 4. Нітрогеновмісні органічні сполуки	
§ 27. Аміни	165
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. Добування 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 їх 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
Іменний покажчик	229
Словник термінів	230
Додаток 1	231
Додаток 2	232
Відповіді на розрахункові задачі	234

Відомості про користування підручником

№ з/п	Прізвище та ім'я учня / учениці	Навчаль- ний рік	Стан підручника	
			на початку року	в кінці року
1				
2				
3				
4				
5				

Навчальне видання

ГРИГОРОВИЧ Олексій Владиславович

«ХІМІЯ (РІВЕНЬ СТАНДАРТУ)»

підручник для 10 класу закладів загальної середньої освіти

Рекомендовано Міністерством освіти і науки України

Видано за рахунок державних коштів. Продаж заборонено

Редактори *Т. М. Мишиньова, І. Г. Шахова*. Технічний редактор *А. В. Плisko*.
Комп'ютерна верстка *А. О. Цибань*. Коректор *Н. В. Красна*.
Художнє оформлення *В. І. Труфен, А. О. Цибань*.

Окремі зображення, що використані в оформленні підручника,
розміщені в мережі Інтернет для вільного використання

Підписано до друку 04.12.2018. Формат 70×90/16.
Папір офсетний. Гарнітура Шкільна. Друк офсетний.
Ум. друк. арк. 17,55. Обл.-вид. арк. 16,8. Тираж 27526. Зам. № 6311-2018.

ТОВ Видавництво «Ранок»,
вул. Кібальчича, 27, к. 135, Харків, 61071.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 5215 від 22.09.2016.
Адреса редакції: вул. Космічна, 21а, Харків, 61145.
E-mail: office@ranok.com.ua. Тел. (057) 719-48-65, тел./факс (057) 719-58-67.

Надруковано у друкарні ТОВ «ТРИАДА-ПАК»,
пров. Сімферопольський, 6, Харків, 61052.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 5340 від 15.05.2017.
Тел. +38 (057) 703-12-21. E-mail: sale@triada.kharkov.ua