

О. В. Григорович

# ХІМІЯ

# 10

## КЛАС

Рівень стандарту

Підручник для 10 класу  
закладів загальної середньої освіти

Харків  
Видавництво «Ранок»  
2018

УДК [54:37.016](075.3)  
Г83

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

ISBN

УДК [54:37.016](075.3)



**Інтернет-підтримка**  
Електронні матеріали  
до підручника розміщено на сайті  
[interactive.ranok.com.ua](http://interactive.ranok.com.ua)

ISBN

© 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; |    | — демонстраційний дослід;           |
|   | — рубрика «Дізнайтеся більше»;                   |   | — ключова ідея параграфа;           |
|  | — рубрика «Цікавий факт»;                        |  | — контрольні запитання;             |
|  | — рубрика «Хімія навколо нас»;                   |  | — завдання для засвоєння матеріалу; |
|  | — теми навчальних проектів;                      |  | — посилання на електронний додаток. |

### Електронний додаток до підручника

На сторінках підручника ви знайдете посилання на сторінку Інтернету **interactive.ranok.com.ua**, де розміщено додаткову інформацію до параграфів, біографії учених, 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 до органічних речовин відносили 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:



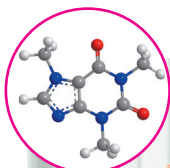
Органічна хімія — це розділ хімії, що вивчає сполуки Карбону, їхні властивості та методи добування.

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).

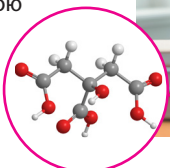
#### Основні ознаки органічних сполук:

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

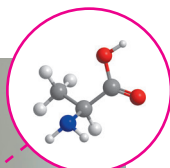
Кофеїн — органічна нітрогеновмісна сполука



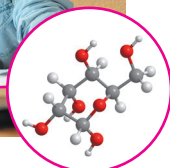
Апельсин та інші фрукти містять лимонну кислоту, яка є органічною сполукою



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  $300^{\circ}\text{C}$  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

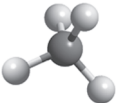
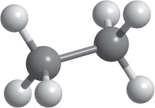
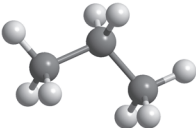
Найпростішою органічною речовиною є метан  $\text{CH}_4$ . Він також є першим членом *гомологічного ряду алканів* із загальною формулою  $\text{C}_n\text{H}_{2n+2}$ , де  $n$  — число атомів Карбону в молекулі. У 9 класі ви ознайомилися з десятьма першими представниками цього ряду (табл. 1). Назви гомологів 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	$\text{CH}_4$	Метан	6	$\text{C}_6\text{H}_{14}$	Гексан
2	$\text{C}_2\text{H}_6$	Етан	7	$\text{C}_7\text{H}_{16}$	Гептан
3	$\text{C}_3\text{H}_8$	Пропан	8	$\text{C}_8\text{H}_{18}$	Октан
4	$\text{C}_4\text{H}_{10}$	Бутан	9	$\text{C}_9\text{H}_{20}$	Нонан
5	$\text{C}_5\text{H}_{12}$	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:	$\text{CH}_4$	$\text{C}_2\text{H}_6$	$\text{C}_3\text{H}_8$
Структурна формула:	$\begin{array}{c} \text{H} \\   \\ \text{H}-\text{C}-\text{H} \\   \\ \text{H} \end{array}$	$\begin{array}{cc} \text{H} & \text{H} \\   &   \\ \text{H}-\text{C} & -\text{C}-\text{H} \\   &   \\ \text{H} & \text{H} \end{array}$	$\begin{array}{ccc} \text{H} & \text{H} & \text{H} \\   &   &   \\ \text{H}-\text{C} & -\text{C} & -\text{C}-\text{H} \\   &   &   \\ \text{H} & \text{H} & \text{H} \end{array}$
Скорочена структурна формула:	$\text{CH}_4$	$\text{CH}_3-\text{CH}_3$	$\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CH}_3$
Модель молекули:			

Основні властивості метану та його гомологів наведено в таблиці 2.

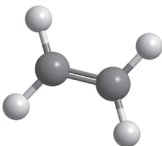
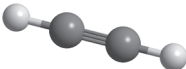
**Таблиця 2. Фізичні й хімічні властивості метану та його гомологів**

Фізичні властивості	Хімічні властивості
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>\text{CH}_4</math> — <math>\text{C}_4\text{H}_{10}</math> — гази без запаху</li> <li>• <math>\text{C}_5\text{H}_{12}</math> — <math>\text{C}_{16}\text{H}_{34}</math> — рідини зі специфічним запахом</li> <li>• <math>\text{C}_{17}\text{H}_{36}</math> — <math>\text{C}_\infty</math> — тверді, без запаху, жирні на дотик</li> <li>• безбарвні</li> <li>• зі збільшенням числа атомів Карбону підвищуються температури плавлення й кипіння</li> <li>• неполярні, нерозчинні у воді</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>горіння</i>:  <math display="block">\text{C}_5\text{H}_{12} + 8\text{O}_2 \rightarrow 5\text{CO}_2 + 6\text{H}_2\text{O}</math> </li> <li>• <i>галогенування</i> — взаємодія з галогенами (<math>\text{Cl}_2</math> та <math>\text{Br}_2</math>) за освітлення або нагрівання:  <math display="block">\text{CH}_4 + \text{Cl}_2 \xrightarrow{h\nu} \text{CH}_3\text{Cl} + \text{HCl}</math> </li> </ul>

## 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**

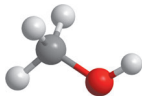
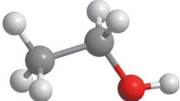
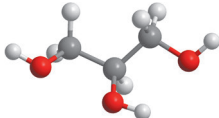
Характеристика	Етен	Етин
Молекулярна формула	$C_2H_4$	$C_2H_2$
Структурна формула	$\begin{array}{c} H & & H \\ & \backslash & / \\ & C = C \\ & / & \backslash \\ H & & H \end{array}$	$H-C \equiv C-H$
Скорочена структурна формула	$CH_2=CH_2$	$CH \equiv CH$
Модель молекули		
Фізичні властивості	<ul style="list-style-type: none"> <li>• газуваті за звичайних умов</li> <li>• безбарвні</li> <li>• погано розчиняються у воді, але добре розчиняються в органічних розчинниках</li> <li>• не мають запаху</li> </ul>	
Хімічні властивості	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>горіння</i>:</li> </ul>	
	$C_2H_4 + 3O_2 \rightarrow 2CO_2 + 2H_2O$	$2C_2H_2 + 5O_2 \rightarrow 4CO_2 + 2H_2O$
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>гідрування (гідрогенізація)</i> — приєднання водню — відбувається за нагрівання та наявності каталізатора:</li> </ul>	
	$C_2H_4 + H_2 \xrightarrow{t, Ni} C_2H_6$	$\begin{array}{l} C_2H_2 + H_2 \xrightarrow{t, Ni} C_2H_4 \\ C_2H_2 + 2H_2 \xrightarrow{t, Ni} C_2H_6 \end{array}$
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>галогенування</i> — приєднання галогенів <math>Cl_2</math> або <math>Br_2</math> — відбувається за звичайних умов:</li> </ul>	
	$C_2H_4 + Cl_2 \rightarrow C_2H_4Cl_2$	$\begin{array}{l} C_2H_2 + Cl_2 \rightarrow C_2H_2Cl_2 \\ C_2H_2 + 2Cl_2 \rightarrow C_2H_2Cl_4 \end{array}$

## Етанол, метанол, гліцерол — представники спиртів

*Спирти* — це органічні сполуки, що містять одну або декілька гідроксильних груп  $\text{-OH}$ , сполучених з насиченим атомом Карбону.

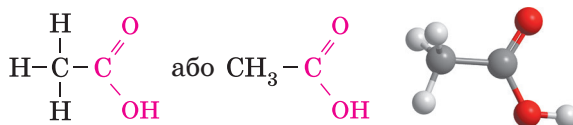
Ця гідроксильна група наявна в молекулах усіх спиртів. У назвах спиртів наявність гідроксильної групи  $\text{-OH}$  позначають суфіксом *-ол-*. Характеристики деяких спиртів наведено в таблиці 4.

**Таблиця 4.** Характеристика та фізичні властивості деяких спиртів

Характеристика	Метанол, або метиловий спирт	Етанол, або етиловий спирт	Гліцерол, або пропантриол
Молекулярна формула	$\text{CH}_3\text{OH}$	$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$	$\text{C}_3\text{H}_8\text{O}_3$ 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	<ul style="list-style-type: none"> <li>• безбарвні рідини</li> <li>• легкі</li> <li>• легші за воду</li> <li>• необмежено розчиняються у воді</li> <li>• добре змішуються з органічними речовинами</li> <li>• пекучі на смак</li> <li>• отруйні</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• безбарвна сиропоподібна рідина</li> <li>• нелеткий</li> <li>• важчий за воду</li> <li>• необмежено розчиняється у воді</li> <li>• дуже в'язкий</li> <li>• без запаху</li> <li>• гігроскопічний</li> <li>• солодкий</li> </ul>

## Етанова кислота — представник карбонових кислот

Етанову кислоту відносять до класу карбонових кислот завдяки наявності у складі її молекули карбоксильної групи  $\text{-COOH}$ :





Властивості етанової кислоти наведено в таблиці 5.

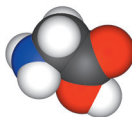
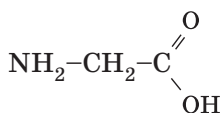
**Таблиця 5. Фізичні й хімічні властивості етанової кислоти**

Фізичні властивості	Хімічні властивості
<ul style="list-style-type: none"> <li>• безбарвна рідина</li> <li>• летка</li> <li>• гігроскопічна</li> <li>• трохи важча за воду</li> <li>• необмежено розчиняється у воді</li> <li>• має характерний різкий запах</li> <li>• їдка, концентрована етанова кислота спричиняє хімічний опік</li> </ul>	<p>У водному розчині незначно дисоціює (є слабкою кислотою), змінює забарвлення індикаторів:</p> $\text{CH}_3\text{--COOH} \rightleftharpoons \text{CH}_3\text{--COO}^- + \text{H}^+$ <p>Як і більшість неорганічних кислот взаємодіє:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• з металами: <math display="block">2\text{CH}_3\text{COOH} + \text{Zn} \rightarrow \text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2 + \text{H}_2\uparrow</math> </li> <li>• з основними оксидами: <math display="block">2\text{CH}_3\text{COOH} + \text{MgO} \rightarrow \text{Mg}(\text{CH}_3\text{COO})_2 + \text{H}_2\text{O}</math> </li> <li>• з лугами: <math display="block">\text{CH}_3\text{COOH} + \text{NaOH} \rightarrow \text{CH}_3\text{COONa} + \text{H}_2\text{O}</math> </li> <li>• із солями: <math display="block">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</math> </li> </ul>

### Аміноетанова кислота

Величезне значення для життя на Землі мають органічні кислоти, у молекулах яких окрім карбоксильної групи  $\text{--COOH}$  є аміногрупа  $\text{--NH}_2$ . 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 вигляді 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 бромоводню становить 2 %.

### Завдання на критичне 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

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

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.

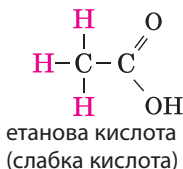
### Другий постулат. Реакційна здатність сполук



*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:



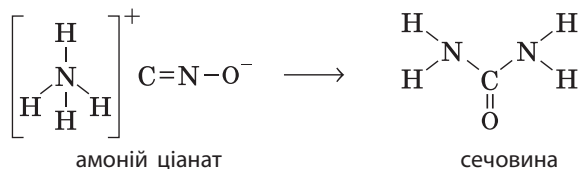
Отже, хімічна будова визначає реакційну здатність та хімічні властивості речовин. Знаючи хімічну будову речовини, можна передбачити та пояснити її хімічні властивості.

### Третій постулат. Ізомерія



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

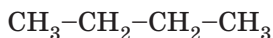
Пригадайте з курсу хімії 9 класу, із чого почався розвиток органічної хімії. Так, це був знаменитий дослід Ф. Велера, коли він з неорганічної речовини амоній ціанату  $\text{NH}_4\text{NCO}$  добув органічну сечовину  $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$ . У цьому досліді Велер був першим, хто мав справу з явищем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



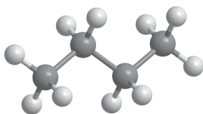
Виявилося, що явище ізомерії є досить поширеним, це згодом було експериментально підтверджено. А 1831 року Й. Берцеліус запровадив термін «ізомери». Але ж чому Бутлеров відносить цей постулат до своєї теорії будови органічних сполук? Цінність будь-якого закону або теорії полягає в можливості передбачати 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  $\text{C}_4\text{H}_{10}$ . Але із чотирьох атомів Карбону можна скласти не тільки нерозгалужений карбоновий ланцюг, а й розгалужений. Кожному з них відповідає свій вуглеводень:

нормальний бутан

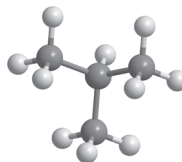
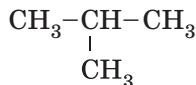
Скорочена  
структурна  
формула:



Модель  
молекули:



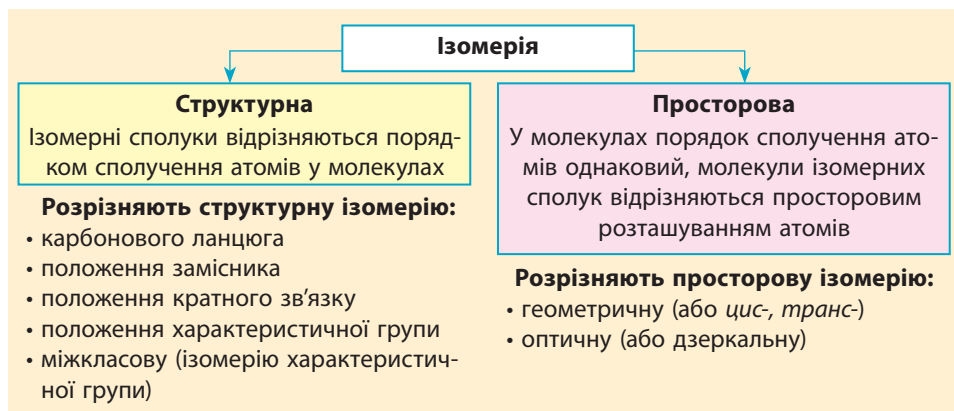
ізобутан



Не зважаючи на однаковий склад, властивості цих вуглеводнів 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.



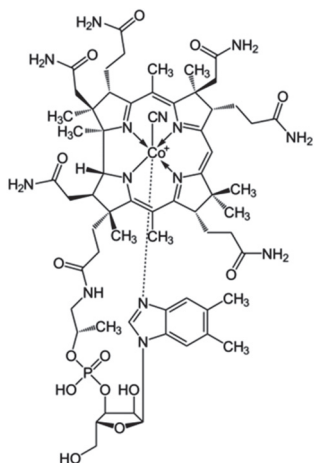
## Четвертий постулат. Аналіз і синтез



*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<sub>12</sub>)

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<sub>12</sub>), хіміч-

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. 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 Гарварді 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 ілюзійоніста починав з обох боків дошки малювати хімічну структуру, і не було випадку, коли б лінії всередині дошки не зійшлися б».

### 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.



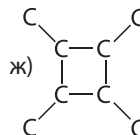
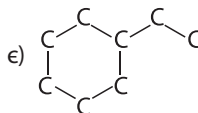
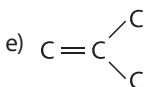
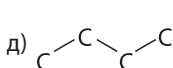
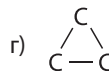
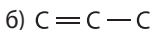
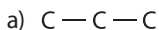
### Контрольні запитання

- 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 на критичне 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 встановлення їхньої хімічної будови.

## § 3. Класифікація органічних сполук

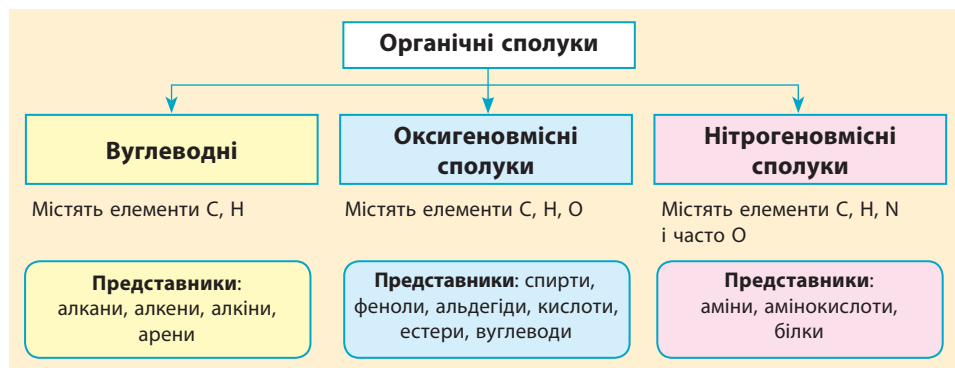
### Пригадайте:

- які існують ознаки класифікації неорганічних та органічних сполук;
- ковалентний зв'язок реалізується за рахунок притягання атомів до спільної електронної пари;
- кратністю 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

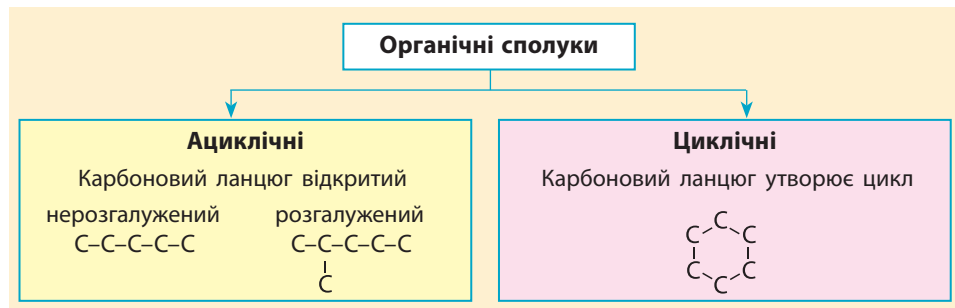
Для вивчення органічних сполук зручно розділити їх на класи за будовою або властивостями. Один із принципів розділення ґрунтується на *елементному складі сполук*.

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:



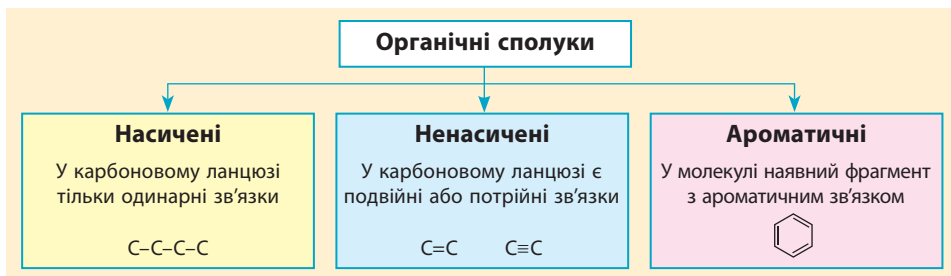
### Класифікація органічних сполук за будовою карбонового ланцюга

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.

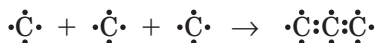


## Класифікація органічних сполук за видом зв'язку

Органічні сполуки також класифікують за типом ковалентного зв'язку в карбоновому ланцюзі. Вам уже відомі *насичені* вуглеводні, у яких в 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.

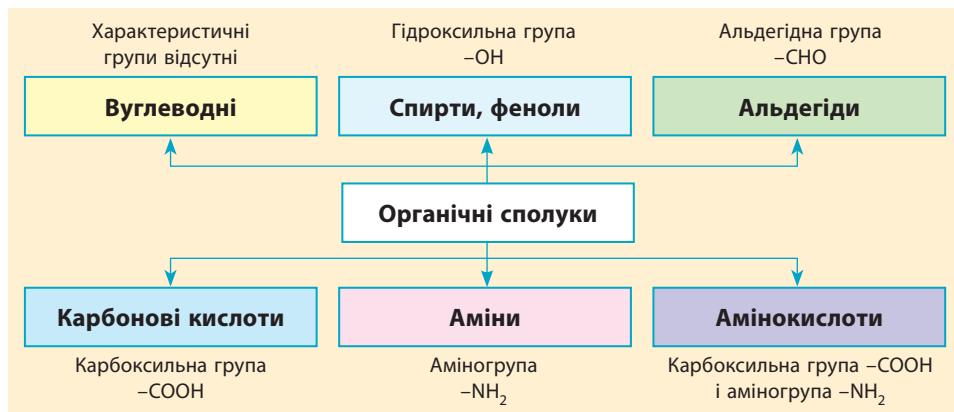
Подвійному та потрійному зв'язкам між атомами Карбону відповідають дві та три спільні електронні пари:



## 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  $-COOH$  (карбоксільна).

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 їхню реакційну здатність.



### Контрольні запитання

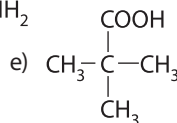
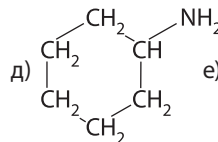
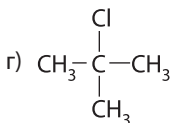
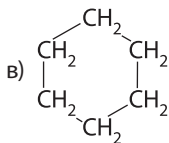
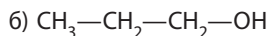
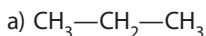
29. За якими ознаками класифікують органічні сполуки?
30. На які групи або класи розділяють органічні сполуки за різними класифікаційними ознаками?



### Завдання для засвоєння матеріалу

31. Найпростіша органічна сполука — метан  $\text{CH}_4$ . 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  $\text{CH}_3\text{COOH}$ ; в) етин  $\text{C}_2\text{H}_2$ ; 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  $\text{—OH}$ ; 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  $\text{—NH}_2$ .
37. Серед наведених структурних формул сполук укажіть: вуглеводні, циклічні сполуки, спирт, карбонову кислоту, амін.



38. Формула найпростішого аміну —  $\text{CH}_3\text{NH}_2$ . 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 органічної, так і неорганічної), 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;
- масова частка 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 (формульній одиниці<sup>1</sup>),  $M_r$  — 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  $N = 1$  або 2, 3 тощо.

Зверніть увагу! Для розв'язання задач, у яких дані подані 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:

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

<sup>1</sup> 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 сполуці 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:

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

Оскільки цього разу ми припустили, що у сполуці 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  $C_xH_yO_z$ . Відносна молекулярна маса речовини чисельно дорівнює її молярній масі, тобто  $M_r = 60$ .

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

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

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

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  $C_2H_4O_2$ .

**Відповідь:** формула сполуки —  $C_2H_4O_2$ .



## 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 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 %, все інше — Гідроген.
47. Певна речовина містить Карбон (62,1 %), Гідроген (10,3 %) та Оксиген. Визначте її молекулярну формулу.
48. Певна речовина містить Карбон (79,1 %), Гідроген (5,5 %) та Нітроген. Визначте її молекулярну формулу.
49. Визначте молекулярну формулу спирту, в якому масова частка Карбону 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.



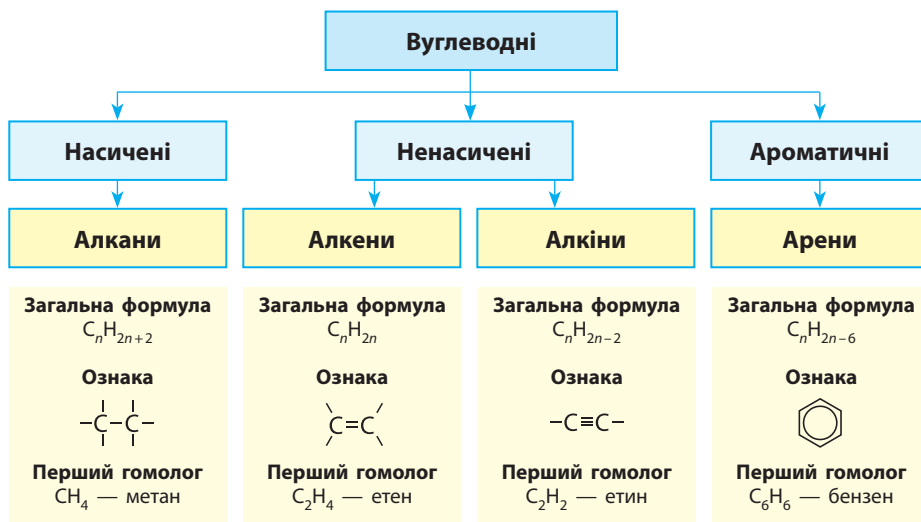
### Навчальні проекти за темою «Теорія будови органічних сполук»:

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



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

## ТЕМА 2. ВУГЛЕВОДНІ



### § 5. Алкани: ізомерія та номенклатура

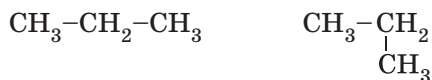
#### Пригадайте:

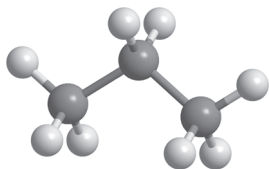
- формули та назви перших десяти членів гомологічного ряду алканів;
- як складають структурні формули (за § 1);
- які речовини називають ізомерами та які існують різновиди ізомерії (за § 2).

#### Структурна ізомерія алканів

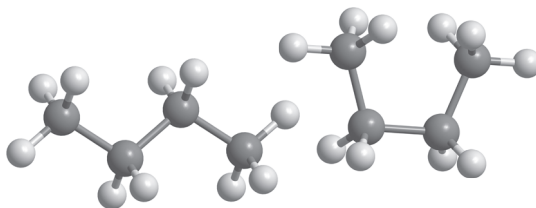
Як ви пам'ятаєте, існування ізомерів серед алканів передбачав ще О. М. Бутлеров. Зі всіх різновидів структурної ізомерії для алканів характерна тільки *ізомерія карбонового ланцюга*. Цей вид ізомерії пов'язаний лише з тим, що атоми Карбону можуть по-різному сполучатися один з одним: утворювати карбонові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





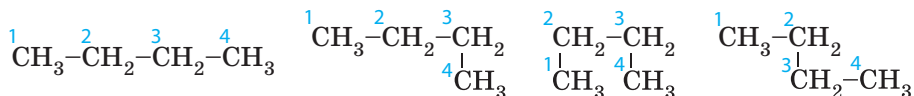
Мал. 5.1. Модель молекули пропану



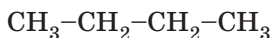
Мал. 5.2. Різні форми молекули бутану

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

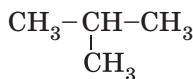
Як ви пам'ятаєте з курсу хімії 9 класу, хімічні зв'язки від атома Карбону в молекулах алканів спрямовані до вершин тетраедра під кутом  $109,5^\circ$ . Але на папері цей кут ми зазвичай округлюємо для зручності до  $180^\circ$  або до  $90^\circ$ . Наприклад, для бутану наведені нижче формули є абсолютно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



Утім бутан є найпростішим алканом, у якого існують ізомери. Так, зі складом  $\text{C}_4\text{H}_{10}$  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
$\text{C}_5\text{H}_{12}$	3	$\text{C}_{10}\text{H}_{22}$	75
$\text{C}_6\text{H}_{14}$	5	$\text{C}_{15}\text{H}_{32}$ (пентадекан)	4347
$\text{C}_7\text{H}_{16}$	9	$\text{C}_{20}\text{H}_{42}$ (ейкозан)	366 319
$\text{C}_8\text{H}_{18}$	18	$\text{C}_{25}\text{H}_{52}$ (пентакозан)	36,8 млн
$\text{C}_9\text{H}_{20}$	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.

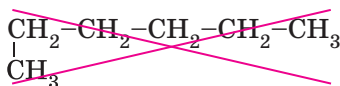
Пам'ятайте, що до одного атома Карбону в ланцюзі може приєднуватися максимум чотири інші атоми.

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

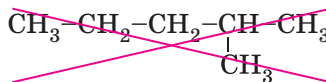
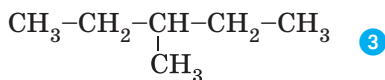
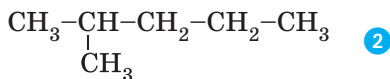
Найпростіше скласти структурну формулу нерозгалуженого алкану:



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

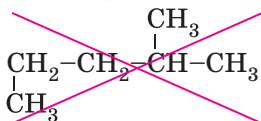


те саме, що формула ①

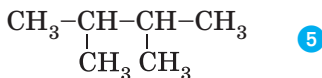
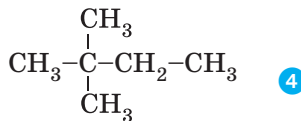


те саме, що формула ②

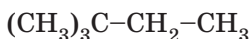
Далі змінюємо положення ще одного атома Карбону і отримуємо ще дві комбінації:



те саме, що формула ②



У такий спосіб можна скласти всі можливі комбінації сполучення атомів Карбону. Структурні формули можна записувати в інший спосіб. Наприклад, формули ④ і 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 із цими формулами 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 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:



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

найдовший ланцюг з атомів Карбону

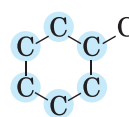
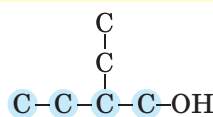
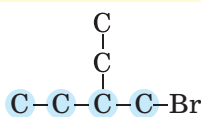
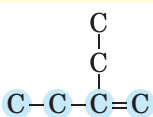
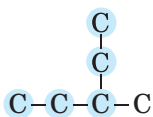
не обов'язково найдовший ланцюг, але який:

- 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

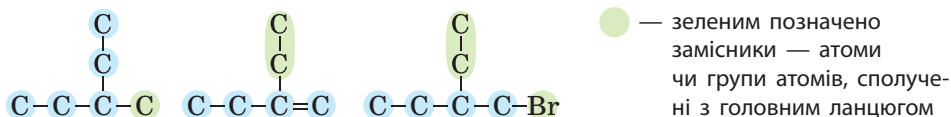
Назва родонаціальної структури утворюється від назви відповідного алкану та суфікса, що позначає ступінь насиченості.

**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.

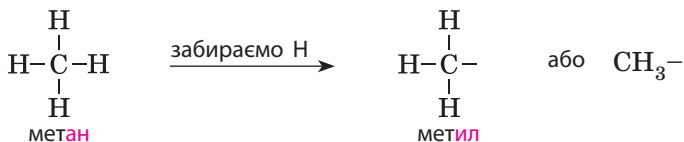


International Union of Pure and Applied Chemistry

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

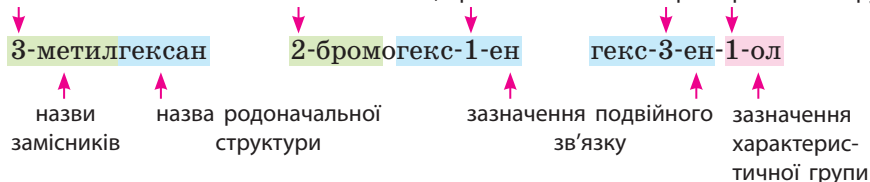


У префіксах перелічують назви замісників. Якщо замісник складається з одного атома, то його називають за назвою хімічного елемента (Хлор, Бром тощо). Назви радикалів, утворених з алканів, утворюються від назв відповідних їм алканів заміною суфікса *-ан* на суфікс *-ил* (*-ил*):



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)





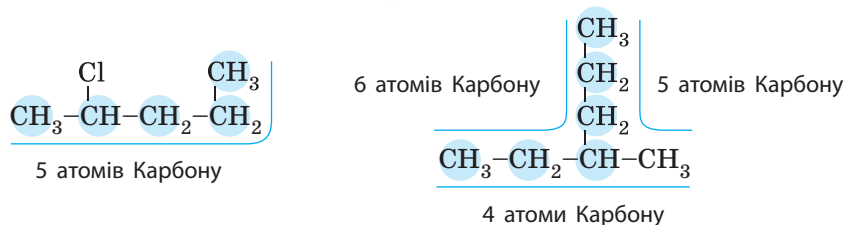
Замісники часто за традицією називають *радикалами*. Якщо розірвати ковалентний зв'язок між головним ланцюгом та замісником, то зі спільної електронної пари кожний атом забирає по одному електрону, який стає неспареним. А частинки з неспареними електронами називають радикалами.

## Складання назв алканів за систематичною номенклатурою

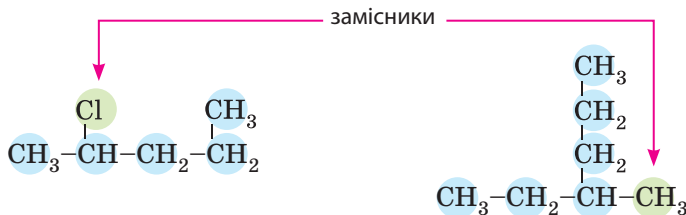
### Алгоритм складання назв алканів:

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

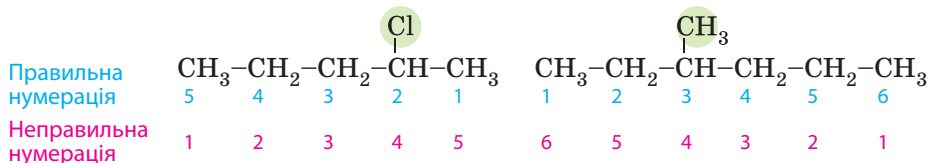
1. Виокремити родоначальну структуру. В алканів — це найдовший карбоновий ланцюг. У другому з наведених прикладів головним є ланцюг із шістьох атомів Карбону:



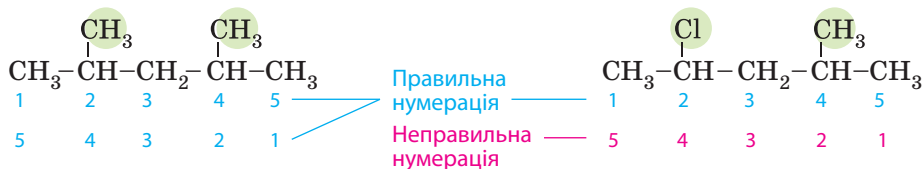
2. Визначаємо замісники:



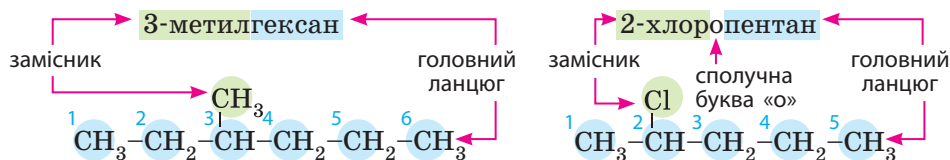
3. Нумеруємо атоми Карбону головного ланцюга. Нумерацію слід починати з того боку, до якого ближче розгалуження або замісник:



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

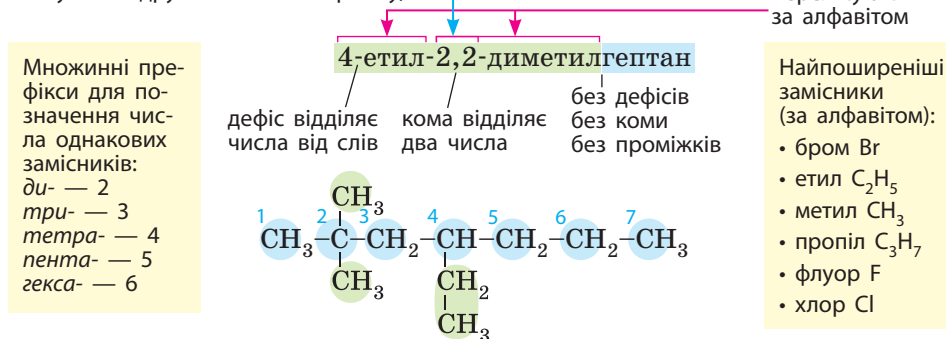


4. Складаємо назву сполуки згідно зі схемою: префікс + родоначальна структура (суфіксу немає, оскільки в алканів відсутні характеристичні групи):



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)



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;

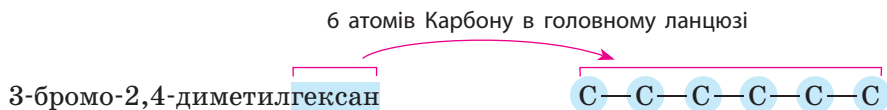
$\text{CH}_3\text{—CH}_2\text{—CH}_2\text{—CH}_2\text{—CH}_3$  — нормальний пентан, або *н*-пентан.

### 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:

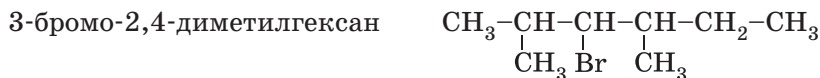


2. У відповідні місця ланцюга дописуємо формули замісників:  
атом Брому у третього атома Карбону



дві метильні групи у другого та четвертого атомів Карбону

3. Допишуємо 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 родо-наочної 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, моногалогенопихідна пентану, тригалогенопихідні етанової кислоти, монобромопихідна 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?



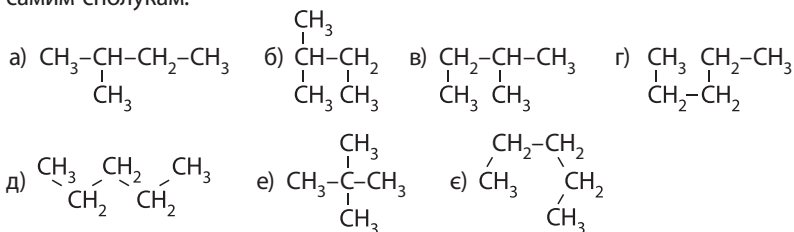
### Контрольні запитання

- 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 радикал, 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:



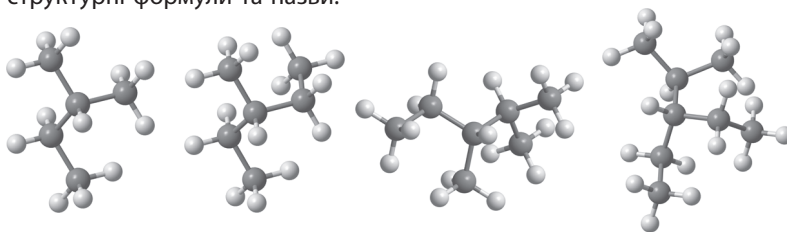
- a)  $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-}\underset{\text{CH}_3}{\text{CH}}$
- b)  $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-}\underset{\text{CH}_3}{\text{CH}}\text{-CH}_3$
- r)  $\underset{\text{CH}_3}{\text{CH}_2}\text{-CH=CH-}\underset{\text{CH}_3}{\text{CH}_2}$
- d)  $\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ | \\ \text{CH}_3\text{-C-CH}_3 \\ | \\ \text{CH}_3 \end{array}$
- e)  $\underset{\text{CH}_3}{\text{CH}_2}\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-}\underset{\text{CH}_3}{\text{CH}_2}$

**64.** Складіть назви сполук за наведеними структурними формулами.

- а)  $\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\underset{\text{CH}_3}{\text{CH}}-\text{CH}_3$     б)  $\text{CH}_3-\underset{\text{CH}_3}{\text{CH}}-\underset{\text{CH}_3}{\text{CH}}-\text{CH}_2-\text{CH}_3$     в)  $\text{CH}_3-\text{CH}_2-\underset{\text{CH}_3}{\text{C}}(\text{CH}_3)-\text{CH}_3$   
 г)  $\text{CH}_3-\underset{\text{CH}_3}{\text{CH}}-\text{CH}_2-\underset{\text{Br}}{\text{CH}}-\text{CH}_3$     д)  $\text{CH}_3-\underset{\text{CH}_3}{\text{CH}}-\underset{\text{Br}}{\text{CH}}-\text{CH}_2-\text{CH}_3$   
 е)  $\text{CH}_3-\text{CH}_2-\underset{\text{CH}_3}{\text{CH}}-\text{CH}_2-\underset{\text{CH}_3}{\text{C}}(\text{CH}_3)-\text{CH}_3$     е)  $\text{CH}_3-\text{CH}_2-\underset{\text{CH}_3}{\text{CH}}-\text{CH}_2-\text{CH}_3$   
 ж)  $\text{CH}_3-\underset{\text{CH}_3}{\text{CH}}-\text{CH}_2-\underset{\text{Br}}{\text{CH}}-\underset{\text{CH}_3}{\text{CH}}_2$     з)  $\text{CH}_3-\underset{\text{CH}_3}{\text{CH}}-\underset{\text{Br}}{\text{CH}}-\text{CH}_2-\underset{\text{CH}_3}{\text{CH}}_2$   
 и)  $\text{CH}_3-\underset{\text{Br}}{\text{C}}(\text{CH}_3)-\text{CH}_2-\underset{\text{CH}_3}{\text{C}}(\text{CH}_3)-\text{CH}_2-\text{CH}_3$     и)  $\text{CH}_2-\underset{\text{CH}_3}{\text{CH}}(\text{CH}_3)-\underset{\text{CH}_3}{\text{CH}}(\text{Cl})-\underset{\text{CH}_3}{\text{C}}(\text{CH}_3)-\text{CH}_2-\text{CH}_3$   
 к)  $\text{CH}_3-\underset{\text{CH}_3}{\text{CH}}-\text{CH}_2-\underset{\text{CH}_3}{\text{C}}(\text{CH}_3)-\text{CH}_2-\text{CH}_3$     л)  $\text{CH}_3-\underset{\text{CH}_3}{\text{CH}}-\text{CH}_2-\underset{\text{CH}_3}{\text{C}}(\text{CH}_3)-\text{CH}_2-\text{Br}$   
 м)  $\text{CH}_3-\underset{\text{CH}_3}{\text{CH}}_2-\underset{\text{CH}_3}{\text{CH}}-\text{CH}_3$     н)  $\text{CH}_3-\underset{\text{CH}_3}{\text{C}}(\text{CH}_3)-\text{CH}_2-\underset{\text{CH}_3}{\text{CH}}(\text{CH}_2\text{CH}_3)-\underset{\text{CH}_3}{\text{CH}}(\text{CH}_3)-\text{CH}_3$   
 о)  $\text{CH}_3-\underset{\text{CH}_3}{\text{CH}}(\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3)-\underset{\text{CH}_3}{\text{CH}}-\text{CH}_2-\text{CH}_3$     п)  $\text{CH}_3-\text{CH}_2-\underset{\text{CH}_2\text{CH}_3}{\text{CH}}(\text{CH}_3)-\underset{\text{CH}_3}{\text{CH}}(\text{CH}_3)-\underset{\text{CH}_3}{\text{CH}}(\text{CH}_3)-\text{CH}_2-\text{CH}_3$

37

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 на критичне 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

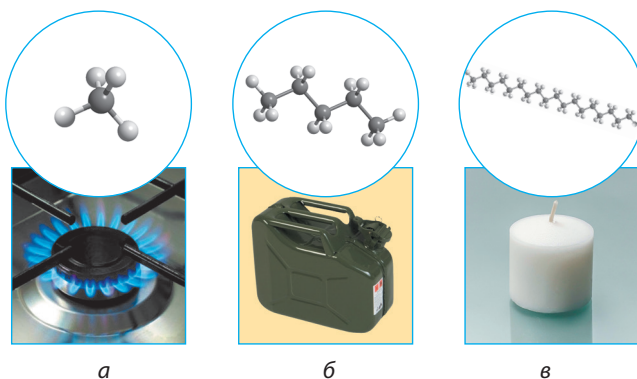
Оскільки речовини гомологічного ряду метану мають подібну будову й відрізняються тільки довжиною карбонового ланцюга, то їхні фізичні властивості також подібні.

За звичайних умов перші чотири члени гомологічного ряду метану (від  $\text{CH}_4$  до  $\text{C}_4\text{H}_{10}$ ) — гази, наступні (від  $\text{C}_5\text{H}_{12}$  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

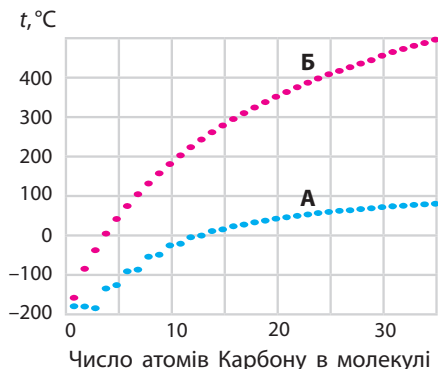


а

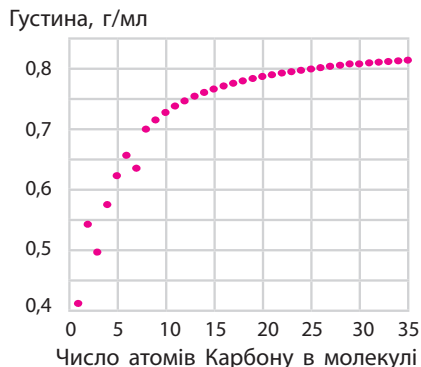
б

в

**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.



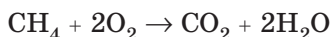
### Демонстраційний дослід: відношення насичених вуглеводнів до лугів, кислот

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.

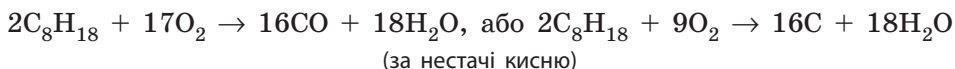


**1. Горіння.** У 9 класі ви вже вивчали реакцію горіння метану та його гомологів.

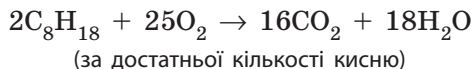
Нижчі<sup>1</sup> алкани займаються легко (іноді з вибухом) і згоряють блідо-синім полум'ям з утворенням вуглекислого газу та води:



Вищі алкани на повітрі згоряють кіптявим полум'ям, оскільки під час згоряння виділяється не тільки вуглекислий газ, а й чадний газ та вуглець (сажа):



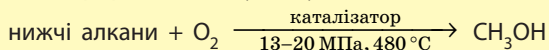
Утім за умови достатньої кількості кисню можливе повне згоряння:



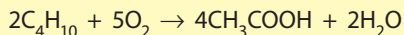
**Мал. 6.4.** Горіння нижчого алкану (метан у газовому пальнику) та вищого (парафін у свічці)

### Часткове окиснення алканів

Частковим окисненням часто називають горіння алканів за нестачі кисню з виділенням чадного газу або вуглецю. Але ці процеси коректніше називати неповним згорянням, оскільки для алканів характерні реакції, що дійсно можна назвати частковим окисненням. Ці реакції відбуваються за участі кисню, але за особливих умов: певної температури й тиску, за наявності каталізаторів (зазвичай солей Мангану). Реакції часткового окиснення алканів застосовують для промислового добування органічних речовин. У такий спосіб окисненням природного газу добувають метанол:



Використовуючи бутан, добувають етанову (оцтову) кислоту:



Під час реакції відбувається розрив карбонового ланцюга в молекулі бутану.

Вищі алкани із числом атомів Карбону більшим за 25 під час часткового окиснення киснем перетворюються на суміш карбонових кислот із середньою довжиною ланцюга від  $\text{C}_{12}$  до  $\text{C}_{18}$ , яку використовують для виготовлення поверхнево-активних речовин для мийних засобів.

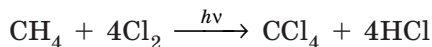
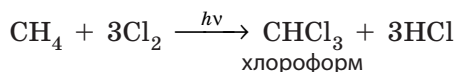
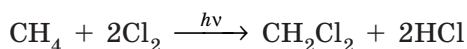
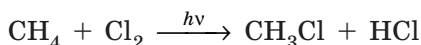


<sup>1</sup> Нижчими зазвичай називають перші члени гомологічного ряду певного класу, вищими — члени гомологічного ряду з великим числом атомів Карбону в ланцюзі (не менше 10).

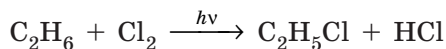
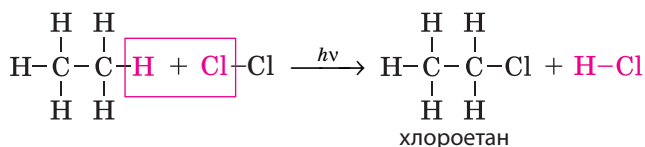
Вищі алкани настільки важко займаються, що, наприклад, парафін сам по собі підпалити дуже складно. Тому з парафіну виготовляють свічки, у середину яких вставляють ґніт. Завдяки горінню ґнота парафін легше плавиться й випаровується, а отже, легше займається. На холоді вищі алкани майже не випаровуються,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

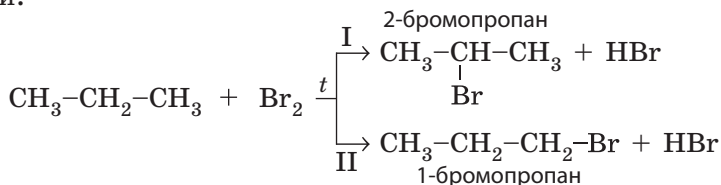
Метан з галогенами може реагувати з утворенням різних речовин залежно від співвідношення кількостей метану та галогену:



Подібно до метану з галогенами взаємодіють й інші алкани:



Під час галогенування пропану можуть утворитися два ізомерні продукти:



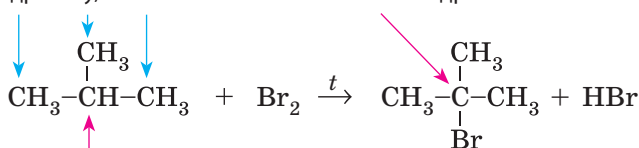
В органічній хімії майже завжди реакції відбуваються в кількох паралельних напрямках. У результаті утворюється суміш різних продуктів реакцій.

Однак часто один із напрямків є переважним, отже, й у суміші продуктів реакції переважає одна речовина. У випадку галогенування 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

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



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

2-бromo-2-метилпропан

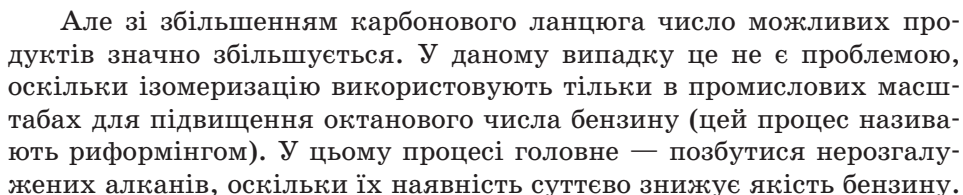
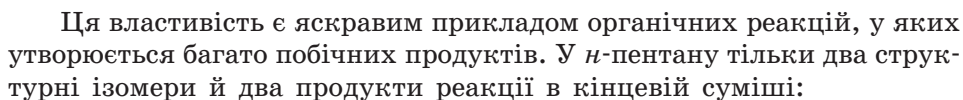
### Хлороформ

У переважній більшості міст України перед подачею води у водопровідну мережу її знезаражують — обробляють хлором або хлоровмісними реагентами. Але під час вирішення однієї проблеми часто виникають інші. У разі надмірної кількості хлору він реагує з природними органічними домішками, що є у воді, зокрема гуміновими кислотами. Одним із продуктів реакції є хлороформ, 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.



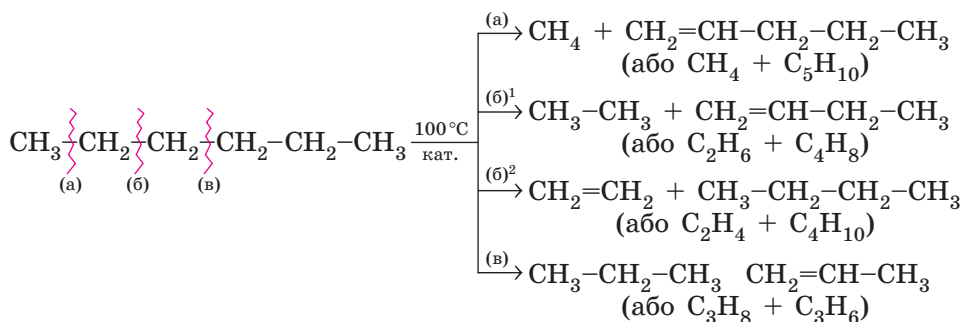
Хімія навколо нас

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

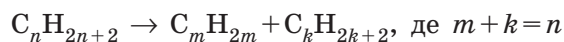


44

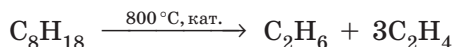
Крекінг проводять зазвичай за температури  $500^{\circ}\text{C}$  за наявності спеціальних каталізаторів (суміш алюмосилікатів з оксидами металічних елементів). Під час крекінгу карбоновий ланцюг може розірватися в будь-якому місці, тому в продуктах реакції міститься суміш багатьох сполук. Але загальне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



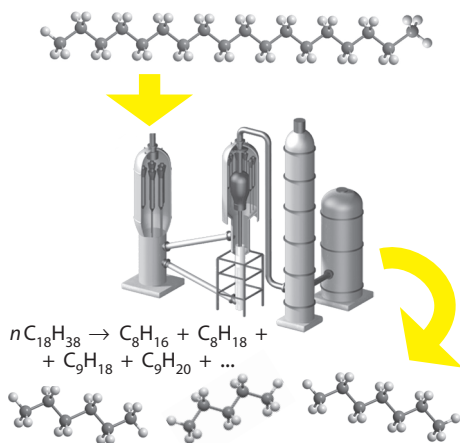
У загальному вигляді рівняння крекінгу алканів можна описати так:



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. Іпатьєв.



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





### 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 на критичне 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 налийте 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 б 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 вмієте 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;
- молекулярна або молярна маса 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  $\text{C}_4\text{H}_6$ .

**Відповідь:** формула сполуки  $\text{C}_4\text{H}_6$ .

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 —  $\text{C}_2\text{H}_6$ . Але в молекулі етану на один атом Карбону припадає три атоми Гідрогену: емпірична формула етану —  $\text{CH}_3$ . І таких випадків досить багато:

Емпірична формула:	Молекулярна формула:
НО	$\text{H}_2\text{O}_2$ — гідроген пероксид
$\text{CH}_3$	$\text{C}_2\text{H}_6$ — етан
$\text{CH}_2$	$\text{C}_2\text{H}_4$ , $\text{C}_3\text{H}_6$ та інші алкени
СН	$\text{C}_6\text{H}_6$ — бензен
$\text{CH}_2\text{O}$	метаналь $\text{CH}_2\text{O}$ , 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  $M(\text{повітря}) = 29 \text{ г/моль}$ :

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

Якщо б 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:

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

Якщо формула речовини була б  $CH_2$ , то її молярна маса дорівнювала б 14 г/моль ( $12 + 1 \cdot 2$ ), що вп'ятеро 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 встановити молекулярну формулу речовини за молярною масою. Якщо загальна формула невідома, використовують інші дані, з яких можна дізнатися про співвідношення чисел 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 з відносною густиною за вуглекислим газом 2,55.
- 104.** Визначте молекулярну формулу арену, відносна густина якого за метаном становить 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 в 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 85,7 %. Густина його випарів за повітрям 1,45. Визначте число атомів Карбону в одній молекулі такого вуглеводню.
- 112.** Визначте молекулярну формулу вуглеводню, в якому масова частка Карбону становить 88,2 %, а густина його випарів за нормальних умов — 3,036 г/л.
- 113.** Визначте молекулярну формулу вуглеводню, в якому масова частка Карбону становить 88,09 %, а густина його випарів за нормальних умов — 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

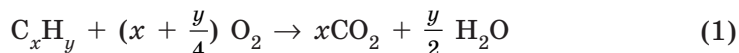
Виведення молекулярної формули органічної сполуки — це один з перших етапів у дослідженні їх хімічної будови. Одним із способів, що почали використовувати хіміки для цього, стало дослідження продуктів згоряння або інших продуктів характерних реакцій — елементний аналіз. У цьому параграфі ми розглянемо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

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

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

Записуємо умовну формулу вуглеводню  $\text{C}_x\text{H}_y$ . 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  $\text{CH}$ .

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  $\text{CH}$ , то її молярна маса дорівнювала б  $13 \text{ г/моль}$  ( $12 + 1$ ), що в шість разів менше за обчислену нами. Отже, помножимо індекси на 6 і отримуємо молекулярну формулу  $\text{C}_6\text{H}_6$ .

**Відповідь:** формула сполуки  $\text{C}_6\text{H}_6$ .

**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  $\text{C}$  і  $\text{H}$ , 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:  $1,38 \text{ г} - 0,9 \text{ г} = 0,48 \text{ г}$ .

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

Установити молекулярну формулу можна в 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 ( $46 \text{ г/моль}$ ), 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.



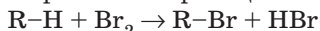
**Задача 3.** Під час бромовання невідомого газуватого вуглеводню об'ємом 89,6 мл (н. у.) добуто монобромпохідну масою 0,38 г. Визначте вуглеводень.

**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

Встановлення 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 згоряння 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(-ен)**, 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 (-ен)** 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
$C_2H_4$	ет <b>ен</b> (етилен)	$C_2H_2$	ет <b>ин</b> (ацетилен)
$C_3H_6$	проп <b>ен</b> (пропілен)	$C_3H_4$	проп <b>ін</b>
$C_4H_8$	бут <b>ен</b>	$C_4H_6$	бут <b>ин</b>
$C_5H_{10}$	пент <b>ен</b>	$C_5H_8$	пент <b>ин</b>
$C_6H_{12}$	гекс <b>ен</b>	$C_6H_{10}$	гекс <b>ин</b>

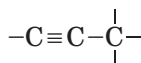
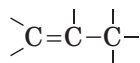
Структурні формули алкенів та алкінів складають так само, як і алканів, але під час складання карбонового ланцюга слід зазначити подвійний (потрійний) зв'язок, а також урахувати його під час додавання атомів Гідрогену.

Розгляньмо складання структурних формул на прикладі пропену та пропіну.

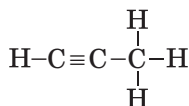
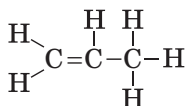
1. Зображуємо карбоновий ланцюг: для обох сполук він складається з трьох атомів Карбону. Позначаємо кратні зв'язки (між будь-якими атомами Карбону, якщо не вказано його положення):



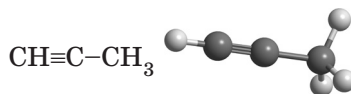
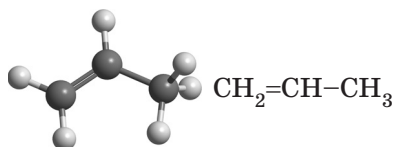
2. Від кожного атома Карбону зображуємо риски хімічних зв'язків так, щоб у кожного атома їх було по чотири:



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 і алкінів такий самий, як і для алканів (§ 5), але існують певні особливості:

