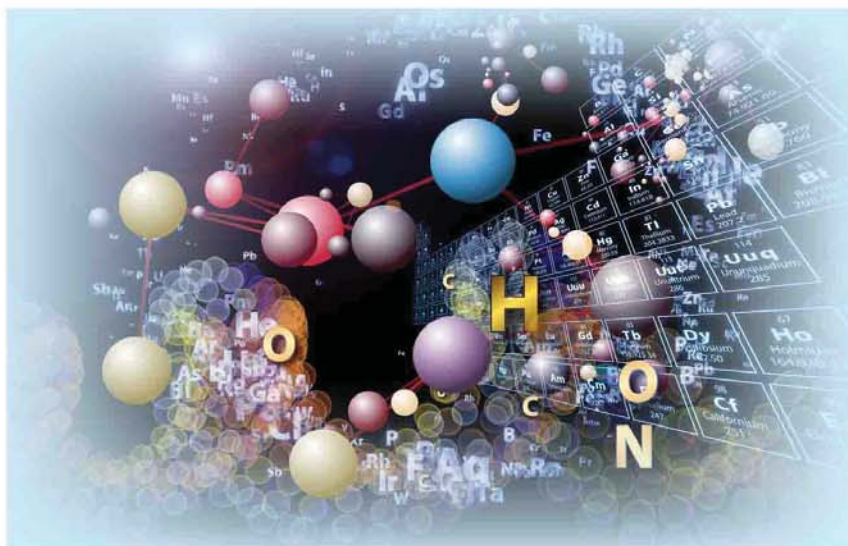


Л. П. Величко

# ХІМІЯ

Рівень стандарту

Підручник для 10 класу закладів загальної середньої освіти  
*Рекомендовано Міністерством освіти і науки України*



УДК 375.5+53](075.3)  
В27

*Рекомендовано Міністерством освіти і науки України  
(наказ Міністерства освіти і науки України від 31.05.2018 № 551)*

**ВИДАНО ЗА РАХУНОК ДЕРЖАВНИХ КОШТІВ. ПРОДАЖ ЗАБОРОНЕНО**

**Величко Л. П.**  
В27 **Хімія** : рівень стандарту : підруч. для 10 кл. закл. загал. серед.  
освіти / Л. П. Величко. — Київ : Пед. думка, 2018. — 136 с.  
ISBN 978-966-644-468-7.

Підручник розроблено згідно з чинною навчальною програмою з хімії для 10 класу. В основу викладення змісту знань та їх узагальнення покладено сучасну модель особистісно орієнтованого навчання, якою передбачено самонавчання і самоконтроль, вироблення особистісного ставлення до об'єктів і явищ, розвиток емоційно-ціннісної сфери учнів.

Апарат організації засвоєння змісту підручника (запитання, вправи, задачі, прописи лабораторних і практичних робіт, шрифтові виділення, рубрикація, узагальнювальні таблиці, анонси на початку розділу чи параграфа й резюме – наприкінці) та апарат орієнтування (звертання до учнів, поради щодо самостійної роботи, відповіді до завдань, додаток, іменний і предметний покажчики) спрямовано на навчання учнів у діяльності, що дає змогу сформулювати і виявити їхні ключові й предметні компетентності.

**УДК 375.5+53](075.3)**

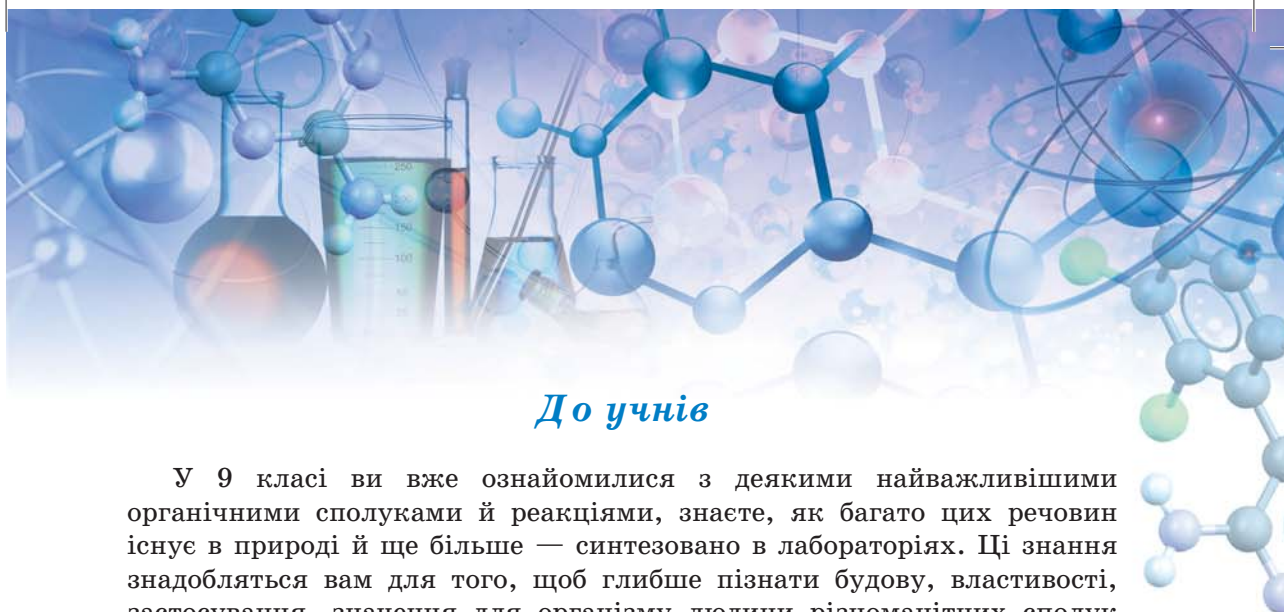
Усі права захищено. Жодна частина, елемент, ідея, композиційний підхід цього видання не можуть бути копіюваними чи відтвореними в будь-якій формі та будь-якими засобами — ні електронними, ні фотомеханічними, зокрема копіюванням, записом або комп'ютерним архівуванням, — без письмового дозволу видавця.

ISBN 978-966-644-468-7  
© Л. П. Величко, 2018  
© Видавництво «Педагогічна думка», 2018  
© Видавництво «Педагогічна думка», художнє оформлення, 2018

## ЗМІСТ


До учнів .....	5
§ 1. Повторення початкових понять про органічні сполуки .....	6
<b>ТЕОРІЯ БУДОВИ ОРГАНІЧНИХ СПОЛУК</b> .....	8
§ 2. Теорія хімічної будови органічних сполук.....	8
§ 3. Ізомерія. Утвердження і розвиток теорії хімічної будови .....	12
§ 4. Виведення молекулярної формули речовини .....	15
§ 5. Карбон-карбонові зв'язки в молекулах органічних сполук. Класифікація органічних сполук .....	17
<b>ВУГЛЕВОДНІ</b> .....	21
§ 6. Алкани .....	21
§ 7. Алкени .....	30
§ 8. Алкіни.....	34
§ 9. Арени. Бензен.....	39
§ 10. Взаємозв'язок і взаємоперетворення вуглеводнів .....	43
<b>ОКСИГЕНОВМІСНІ СПОЛУКИ</b> .....	45
<b>СПИРТИ І ФЕНОЛ</b> .....	46
§ 11. Насичені одноатомні спирти.....	46
§ 12. Гліцерол .....	55
§ 13. Фенол .....	58
<b>АЛЬДЕГІДИ І КАРБОНОВІ КИСЛОТИ</b> .....	61
§ 14. Альдегіди .....	61
§ 15. Насичені одноосновні карбонові кислоти.....	66
<i>Лабораторний дослід 1</i>	
Виявлення карбонових кислот у харчових продуктах.....	69
<b>ЕСТЕРИ</b> .....	71
§ 16. Естери. Жири.....	71
<b>ВУГЛЕВОДИ</b> .....	77
§ 17. Глюкоза .....	77

<i>Лабораторний дослід 2. Окиснення глюкози купрум(II) гідроксидом</i>	78
§ 18. Сахароза	79
§ 19. Крохмаль	81
§ 20. Целюлоза (клітковина)	82
<i>Практична робота. Розв'язування експериментальних задач</i>	85
<b>НІТРОГЕНОВМІСНІ СПОЛУКИ</b>	86
§ 21. Аміни. Анілін	86
§ 22. Амінокислоти	93
§ 23. Білки	96
<i>Лабораторний дослід 3. Біуретова реакція</i>	99
<i>Лабораторний дослід 4. Ксантопротеїнова реакція</i>	99
<b>СИНТЕТИЧНІ ВИСОКОМОЛЕКУЛЯРНІ СПОЛУКИ</b>	102
§ 24. Загальна характеристика полімерів. Пластичні маси	103
§ 25. Синтетичні каучуки	110
§ 26. Синтетичні волокна	112
<b>БАГАТОМАНІТНІСТЬ ТА ЗВ'ЯЗКИ МІЖ КЛАСАМИ ОРГАНІЧНИХ РЕЧОВИН</b>	115
§ 27. Розмаїття органічних речовин, взаємозв'язок між ними	115
§ 28. Біологічно активні речовини	118
§ 29. Роль органічної хімії у розв'язуванні глобальних проблем людства	120
Відповіді до додаткових завдань	127
<b>Додатки</b>	128
Додаток 1. Зв'язки між органічними речовинами	128
Додаток 2. Число ізомерів алканів	129
Додаток 3. Відносні молекулярні маси (округлені) деяких органічних речовин	130
Додаток 4. Розчинність основ, кислот, амфотерних гідроксидів і солей у воді	131
Іменний покажчик	132
Предметний покажчик	133



## До учнів

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

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

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

У тексті параграфів описано хімічні досліди, що проводяться під час засвоєння нових знань. Виконуючи лабораторні досліди і практичні роботи, ви набудете навичок експериментування, без чого ґрунтовне вивчення хімії неможливе.

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

Успіхів вам!

*Авторка*





## § 1. ПОВТОРЕННЯ ПОЧАТКОВИХ ПОНЯТЬ ПРО ОРГАНІЧНІ СПОЛУКИ

Пригадайте вивчене і виконайте завдання.

- ◆ Органічна хімія вивчає сполуки Карбону.
  1. Які інші елементи можуть входити до складу органічних речовин? Наведіть приклади (формули, назви) органічних речовин.
- ◆ Атоми Карбону можуть сполучатися між собою в ланцюги й утворювати молекули різноманітних форм.
  2. Наведіть приклади.
  3. Чому, на вашу думку, кількість органічних речовин значно переважає кількість неорганічних речовин?
- ◆ Характерні ознаки органічних речовин: ковалентні зв'язки, молекулярні кристалічні ґратки, низька термостійкість, горючість, погана розчинність у воді.
  4. Чим різняться між собою органічні та неорганічні речовини?
  5. Складіть порівняльну таблицю неорганічних та органічних речовин за відомими вам ознаками.
- ◆ Органічні сполуки становлять основу рослинних і тваринних організмів, з них виробляють харчові продукти, папір, тканини, барвники, лікарські та косметичні засоби, пластмаси, паливо тощо.
  6. Позначте перелік, у якому подано лише органічні речовини.  
А капрон, метан, сірка, вода  
Б каучук, капрон, поліетилен, глюкоза  
В вовна, целюлоза, гас, амоніак  
Г ацетилен (етин), нафтален, вольфрам, етанова (оцтова) кислота
  7. Укажіть предмети, що виготовлені з матеріалів органічного походження.  
А книжка  
Б грифель олівця  
В кулька кулькової ручки  
Г хімічний стакан  
Г підшва кросівок  
Д джинси  
Е водопровідний кран
  8. Назвіть інші предмети, що їх, на вашу думку, виготовлено з органічних речовин.
  9. Як змінилася б ваша класна кімната (кабінет хімії), якби зникли всі матеріали органічного походження?
- ◆ Органічні речовини добувають із природної сировини, а також шляхом синтезу з інших органічних та неорганічних речовин.
  10. Наведіть приклади природних і синтетичних органічних речовин.

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

◆ Поділ на органічні та неорганічні речовини є умовним.

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

13. Наведіть приклади кругообігу хімічних елементів у природі. Який висновок можна зробити щодо взаємозв'язку неорганічних та органічних речовин?

14. Наведіть власний приклад взаємозв'язку цих двох груп речовин.

◆ Метан — найпростіша органічна сполука.

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

16. Що означає риска у структурній формулі?

17. Складіть розповідь про застосування метану і його хлоропохідних.

◆ Гомологи метану належать до групи насичених вуглеводнів.

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

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

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

◆ Метан як насичений вуглеводень вступає в реакцію заміщення з хлором.

20. Складіть рівняння послідовного заміщення атомів Гідрогену в метані на атоми Хлору.

◆ Етен і етин як ненасичені вуглеводні вступають у реакції приєднання з воднем і бромом.

21. Складіть рівняння реакцій приєднання водню і броду до етину й етену.

◆ Молекули спиртів можуть містити одну, дві, три і більше гідроксильних груп.

22. Наведіть приклади (формули і назви) відомих вам спиртів.

◆ Етанова (оцтова) кислота за деякими хімічними властивостями подібна до неорганічних кислот.

23. Складіть рівняння реакцій, що підтверджують це.

◆ Крохмаль, целюлоза, білки — природні полімери.

24. Схарактеризуйте біологічне значення цих сполук.

◆ Поліетилен — синтетичний полімер.

25. Розкажіть про використання поліетилену.





## ТЕОРІЯ БУДОВИ ОРГАНІЧНИХ СПОЛУК

Наприкінці вивчення теми ви зможете:

- назвати перші синтезовані органічні сполуки;
- описати передумови створення теорії хімічної будови органічних сполук, напрями її розвитку та значення для науки;
- схарактеризувати суть основного положення цієї теорії;
- пояснити, як утворюються прості й кратні карбон-карбонів зв'язки; суть понять: *ізомерія, хімічна будова, структурна формула, взаємний вплив атомів у молекулі*;
- скласти моделі ізомерів;
- вивести формулу речовини за масовими частками хімічних елементів.

### § 2. ТЕОРІЯ ХІМІЧНОЇ БУДОВИ ОРГАНІЧНИХ СПОЛУК

**З ІСТОРІЇ ОРГАНІЧНОЇ ХІМІЇ.** З курсу хімії 9 класу ви знаєте, що органічна хімія вивчає сполуки Карбону, вам відомо багато органічних сполук: вуглеводні, спирти, карбонові кислоти, жири, вуглеводи, білки та ін. Як самостійна галузь хімічної науки органічна хімія виникла на початку XIX ст. У 1808 р. шведський учений Я. Берцеліус запропонував цю назву, що походить від слова «організм». Органічними, на відміну від неорганічних (мінеральних), називали речовини, що їх добуто з рослинних і тваринних організмів. На той час уже було з'ясовано, що всі ці речовини містять Карбон. Проте жоден учений не міг припустити можливість утворення органічної речовини *in vitro* (лат. у пробірці). Вважалося, що органічні речовини можна добувати з продуктів рослинного й тваринного походження, вивчати їх у готовому вигляді, але добути в лабораторії з інших речовин, тобто хімічним способом, неможливо. Згідно з віталістичною теорією (від лат. *vis vitalis* — життєва сила), що панувала на той час у хімії, органічні речовини можуть утворюватися лише в живих організмах під дією «життєвої сили». Такі погляди гальмували розвиток органічної хімії, і до середини XIX ст. синтетичні методи в цій галузі не розвивалися.



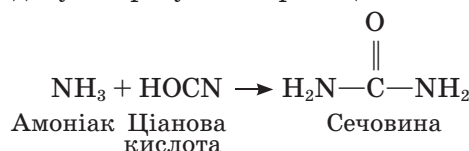


**Фрідріх ВЕЛЕР**  
(1800—1882)

Німецький хімік, професор Геттингенського університету. Працював у галузі органічної та неорганічної хімії. Синтезував низку органічних сполук, установив їхні формули. Уперше синтезував природну органічну речовину — сечовину з неорганічних речовин.

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

Сечовину було добуто в результаті реакції:



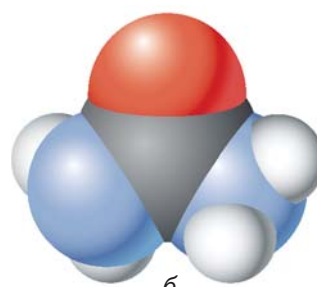
Сечовина належить до речовин тваринного походження і є продуктом білкового обміну в організмі (мал. 1, 2). У листі до Берцеліуса Велер написав, що може робити сечовину, не потребуючи для цього ні нирок, ні живої істоти взагалі, чи то людини, чи собаки. Це повідомлення стало науковою сенсацією.

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

У 1854 р. французький учений П. Е. М. Бертло вперше синтезував жироподібну речовину, а в 1861 р. російський учений О. М. Бутлеров — цукристу речовину. Серед авторів перших синтезів органічних речовин є й

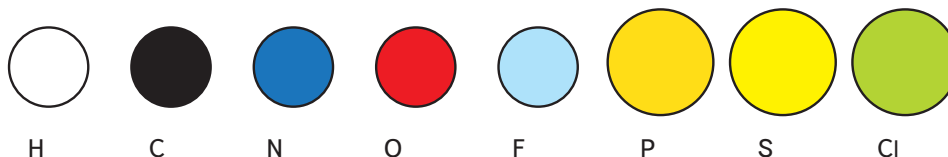


*a*



*б*

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



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

український учений, академік Іван Якович Горбачевський. У 1882 р. він синтезував сечову (уреатну) кислоту. Ця сполука є кінцевим продуктом обміну білків у деяких плазунів і птахів.

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

Українські вчені зробили вагомий внесок у розвиток органічної хімії. Усьому науковому світові відомі імена С. М. Реформатського (1860—1934), І. Я. Горбачевського (1854—1942), М. І. Коновалова (1858—1906), А. І. Кіпріанова (1896—1972), Є. О. Шилова (1893—1970), О. В. Кірсанова (1902—1992) та інших учених.

**ТЕОРІЯ ХІМІЧНОЇ БУДОВИ ОРГАНІЧНИХ СПОЛУК О. М. БУТЛЕРОВА.** У середині XIX ст. в органічній хімії виникли суперечності між накопиченими фактами й теоретичними уявленнями, на ґрунті яких можна було б пояснити ці факти. У 1835 р. Ф. Велер писав: «Органічна хімія може нині кого завгодно позбавити здорового глузду. Вона здається мені дрімучим лісом, повним дивних речей, безмежною хащею, з якої неможливо вибратися, куди не насмілишся проникнути».

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

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

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

#### Олександр Михайлович БУТЛЕРОВ (1828—1886)



Російський учений. Здобув освіту в Казанському університеті, там став професором, згодом очолив кафедру в Петербурзькому університеті. Видатний теоретик і блискучий експериментатор. Автор теорії хімічної будови органічних сполук і першого підручника з органічної хімії, в якому матеріал викладався з позицій цієї теорії. За допомогою розроблених ним синтезів ізомерів, передбачених теоретично, підтвердив її справедливість. Уперше синтезував цукристу речовину.

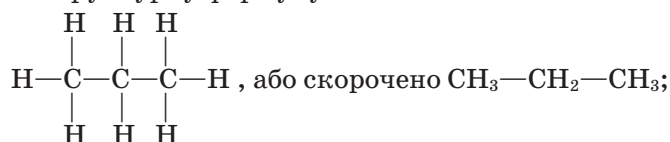
Інтереси О. М. Бутлерова як людини високоосвіченої окрім хімії стосувалися також медицини, бджолярства, садівництва. Був видатним педагогом, виховав плеяду вчених-хіміків.

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

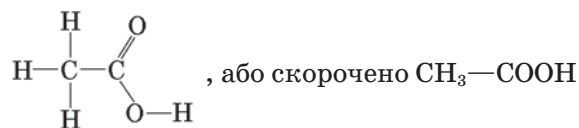
Учений висловив думку про те, що кожній речовині притаманна своя **хімічна будова**. За Бутлеровим, хімічна будова — це «спосіб взаємного сполучення атомів у складному тілі», або, сучасною мовою, послідовність (порядок) сполучення атомів у молекулі.

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

Хімічну будову речовини можна зобразити за допомогою *структурної формули*, або *формули будови*. Пригадаймо структурні формули органічних речовин, які ви вивчали в курсі хімії 9 класу. Наприклад, пропан складу  $C_3H_8$  має структурну формулу



етанова (оцтова) кислота складу  $C_2H_4O_2$  має структурну формулу



Хімічну будову можна встановити на основі хімічних перетворень речовини. Визначення того, які атоми, яка їх кількість і в якій послідовності вони сполучені між собою, інакше кажучи, визначення хімічного складу і хімічної будови — це перші кроки в дослідженні будь-якої речовини.

Теорія хімічної будови стверджує також наявність **взаємного впливу атомів у молекулі**. Розглянемо це явище на прикладі відомих вам неорганічних речовин води  $H_2O$  і гідроген хлориду  $HCl$  та органічної речовини метану  $CH_4$ . Вони містять елемент Гідроген, однак він виявляє різні властивості: у гідроген хлориді легко заміщується на металічний елемент, у воді заміщується лише на активний металічний елемент, у метані не заміщується на металічний елемент. Гідроген по-різному поводить себе в хімічних реакціях, оскільки на нього по-різному впливають атоми, що сполучені з ним. Отже, властивості речовин не зводяться до суми властивостей окремих атомів, оскільки ці атоми чинять взаємний вплив.

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

Згідно із сучасними поняттями це положення можна перефразувати так: *хімічна природа молекули визначається природою атомів, що входять до її складу, їх кількістю та хімічною будовою*.

Це положення встановлює закономірний зв'язок між складом, хімічною будовою і властивостями речовини та є одним із найважливіших серед теоретичних положень хімічної науки.

Теорія будови виникла на основі дослідження органічних речовин. Поняття хімічної будови О. М. Бутлеров пов'язував насамперед з молекулами органічних речовин. Проте ця теорія є загальнохімічною і поширюється також на речовини немoleкулярної будови. Відома вам залежність між типом хімічного зв'язку, кристалічною будовою неорганічних речовин та їх властивостями — це також вияв цього закону.

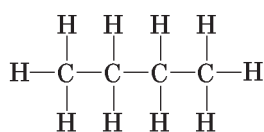


### ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЮ

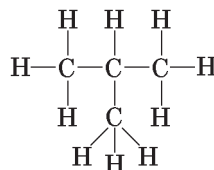
1. Хто і коли вперше синтезував органічну речовину?
2. Поясніть значення перших синтезів органічних речовин для розвитку органічної хімії.
3. Схарактеризуйте стан, що склався в органічній хімії у середині XIX ст.
4. Що таке хімічна будова органічних речовин?
5. Хімічну будову речовини можна схарактеризувати
  - А молекулярною формулою
  - Б молекулярною масою
  - В структурною формулою
6. Яка формула дає більше інформації про молекулу речовини — молекулярна чи структурна? Наведіть докладні пояснення.
7. Поясніть, як ви розумієте взаємний вплив атомів у молекулі.

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

**ІЗОМЕРІЯ.** Звернемося до структурних формул органічних сполук, які відображають їхню хімічну будову. Запишемо структурну формулу бутану, що має склад  $C_4H_{10}$ , пам'ятаючи про чотиривалентність Карбону. Можливі два варіанти сполучення атомів:



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



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

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

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

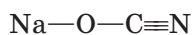
Для пентану складу  $C_5H_{12}$  можливі три варіанти будови, тобто такому складу відповідають три різні речовини.

- Складіть структурні формули трьох ізомерів пентану, пам'ятаючи про чотири-валентність Карбону.

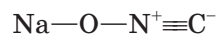
*Сполуки, що мають однаковий склад молекул (однакові молекулярні формули), але різну будову, а тому й різні властивості, називають ізомерами (від грец. *іzos* — однаковий і *мерос* — частина).*

Ми розглянули приклади т. зв. *структурної ізомерії*, зумовленої будовою карбонового скелета молекули. Існують також інші види ізомерії.

Явище ізомерії спостерігається і серед неорганічних сполук. Наприклад, натрій ціанат і натрій фульмінат мають однаковий хімічний склад  $NaOCN$ . Проте перша сполука плавиться за температури  $560^\circ C$ , а друга — вибухає від нагрівання. Причина відмінностей полягає в тому, що ці речовини є ізомерами, атоми в них сполучені в різному порядку, а саме:



Натрій ціанат



Натрій фульмінат

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

- Пригадайте, які наукові відкриття сприяли утвердженню Періодичного закону.

**ЗНАЧЕННЯ ТЕОРІЇ ХІМІЧНОЇ БУДОВИ.** На основі теорії хімічної будови органічних речовин було узагальнено накопичений наукою фактичний матеріал органічної хімії, пояснено причину ізомерії, передбачено й добуто невідомі раніше сполуки.

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

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

Закономірність взаємозв'язку будови речовин та їх властивостей поширюється не лише на фізичні та хімічні властивості, а й на біологічні функції цих речовин. Цю закономірність покладено в основу створення речовин з необхідним комплексом технічних, біологічних та інших характеристик, наприклад барвників, полімерів, лікарських засобів тощо.

**РОЗВИТОК ТЕОРІЇ ХІМІЧНОЇ БУДОВИ.** Важливою особливістю справді наукової теорії є те, що ця форма знань може розвиватися разом з наукою. Щодо теорії хімічної будови органічних сполук, то її справедливості доведено подальшим розвитком науки.

У 70-х роках XIX ст. в органічній хімії виявили деякі випадки ізомерії, що їх не можна було пояснити лише різною хімічною будовою ре-



човин. Пояснити явище — означає встановити його причину. Часом це можна зробити, користуючись наявними теоретичними знаннями, але іноді цих знань виявляється недостатньо, постає потреба їх розвитку, доповнення, а то й заміни новими. Виявлення нових випадків ізомерії спонукало вчених висунути гіпотезу просторової будови молекул органічних сполук. Подальші дослідження підтвердили справедливість цієї гіпотези: з'ясувалося, що молекули неплоскі, що атоми певним чином орієнтовані в тривимірному просторі й що властивості речовин залежать від цієї орієнтації. Так виникли вчення про просторову будову молекул і нова галузь хімічної науки — стереохімія (від грец. *стереос* — просторовий).

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

Розвиток науки розширив поняття «будова органічних речовин». Якщо раніше розглядали лише хімічну будову, то нині будову речовин розглядають у *єдності хімічної, просторової та електронної будови*. У зв'язку з цим основне положення теорії будови органічних сполук було уточнено:

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

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



### ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЮ

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

### Додаткові завдання

1. Чи можна стверджувати, що органічна хімія належить до молодих наук порівняно з: астрономією; ботанікою; інформатикою; генетикою?
2. Які нові наукові ідеї запропонував О. М. Бутлеров?
3. Як теорія хімічної будови вплинула на розвиток органічної хімії?
4. Назвіть спільні та відмінні ознаки ізомерів.
5. Який зміст вкладає сучасна наука в поняття «будова речовини»?
6. Чи «працює» закон Бутлерова для неорганічних сполук? Наведіть приклади.

### Висновки

- Термін «органічна хімія» запропонував шведський учений Я. Берцеліус.
- На початку XIX ст. в органічній хімії панувала віталістична теорія.
- Сечовина — перша синтезована органічна сполука.
- Перші синтези органічних речовин сприяли розвитку синтетичної органічної хімії.
- О. М. Бутлеров запровадив у науку поняття про хімічну будову і взаємний вплив атомів у молекулі, виявив залежність властивостей органічних речовин від складу і хімічної будови їхніх молекул.
- Хімічну будову речовин можна наочно відтворити за допомогою структурних формул.
- Згідно із теорією будови кожна речовина має властиву тільки їй хімічну будову.
- Сучасна теорія будови органічних речовин розглядає хімічну, просторову та електронну будову в єдності.

## § 4. ВИВЕДЕННЯ МОЛЕКУЛЯРНОЇ ФОРМУЛИ РЕЧОВИНИ

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

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

де  $n$  — кількість атомів елемента.

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

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

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

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

Звідси можна обчислити шукану відносну молекулярну масу газу:

$$M_r(\text{речовини}) = 2D_{\text{H}_2} = 32D_{\text{O}_2} = 29D_{\text{пов.}} \quad (4)$$

**Задача 1.** Визначте молекулярну формулу газуватого вуглеводню, який містить 80 % Карбону. Відносна густина вуглеводню за воднем становить 15.

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

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

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

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

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

**В і д п о в і д ь:** формула вуглеводню —  $\text{C}_2\text{H}_6$ .

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

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

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

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

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

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

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

Молекулярну формулу речовини можна встановити за масою, об'ємом або кількістю речовини реагентів або продуктів реакції.

**Задача 2.** У результаті спалювання газуватої речовини об'ємом 112 мл добуто вуглекислий газ об'ємом 448 мл і воду масою 0,45 г. Густина газу за воднем становить 29. Визначте молекулярну формулу газу.

Визначимо відносну молекулярну масу ( $M_r$ ) невідомої речовини:

$$M_r = 2 \cdot 29 = 58.$$

Продукти реакції горіння містять три елементи: Карбон, Гідроген і Оксиген. Склад невідомої речовини можна позначити, як  $C_xH_y$  або  $C_xH_yO_z$ , оскільки Оксиген може потрапити до складу продуктів згоряння з кисню. Через те передусім треба визначити, чи міститься Оксиген у складі невідомого газу.

Якщо газ масою 58 г займає об'єм 22 400 мл, то маса 112 мл газу становить:

$$M_r = \frac{58 \text{ г} \cdot 112 \text{ мл}}{22\,400 \text{ мл}} = 0,29 \text{ г}.$$

Визначимо вміст Карбону й Гідрогену в невідомій речовині. Моль вуглекислого газу (22 400 мл) містить 12 г Карбону, а моль води (18 г) містить 2 г Гідрогену, тоді в 448 мл вуглекислого газу міститься Карбону:

$$\frac{12 \text{ г} \cdot 448 \text{ мл}}{22\,400 \text{ мл}} = 0,24 \text{ г (C)},$$

а в 0,45 г води міститься Гідрогену:

$$\frac{2 \text{ г} \cdot 0,45 \text{ г}}{18 \text{ г}} = 0,05 \text{ г (H)}.$$

Маса Карбону й Гідрогену разом становить  $0,24 \text{ г} + 0,05 \text{ г} = 0,29 \text{ г}$ , як і було визначено вище. Отже, у складі невідомого газу немає Оксигену, формула газу  $C_xH_y$ . Знайдемо співвідношення  $x$  і  $y$ :

$$x : y = \frac{0,24}{12} : \frac{0,05}{1} = 0,02 : 0,05 = 1 : 2,5 = 2 : 5 = 4 : 10.$$

Формула невідомого газу —  $C_4H_{10}$ .

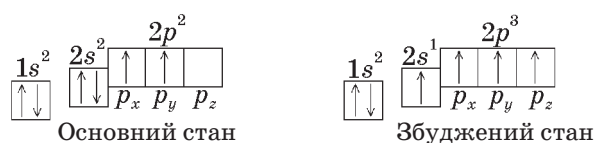
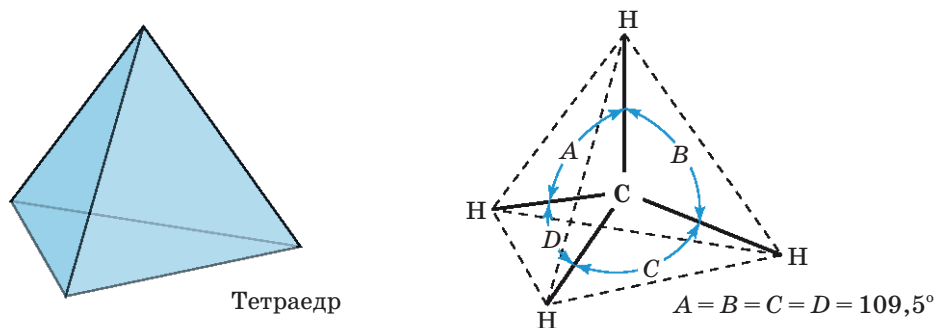
## § 5. КАРБОН-КАРБОНОВІ ЗВ'ЯЗКИ В МОЛЕКУЛАХ ОРГАНІЧНИХ СПОЛУК. КЛАСИФІКАЦІЯ ОРГАНІЧНИХ СПОЛУК

Ви вже знаєте, що в молекулах органічних речовин між атомами Карбону можуть встановлюватись прості й кратні зв'язки. Коротко нагадаємо про це.

**ПРОСТИЙ С—С-ЗВ'ЯЗОК.** Молекула метану  $CH_4$  утворюється за допомогою чотирьох ковалентних зв'язків між атомами Карбону та Гідрогену. Ці зв'язки спрямовані у просторі під кутами  $109,5^\circ$  (тетраедричні кути) (мал. 3).

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

У результаті переміщення одного  $2s$ -електрона на вільну  $2p$ -орбіталь атом Карбону має чотири неспарені електрони, що можуть утворювати



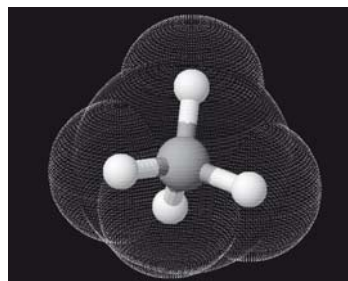
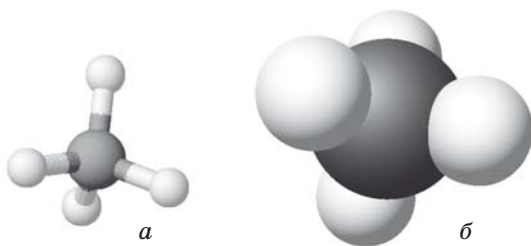
чотири ковалентні зв'язки. Тетраедричний напрямок цих зв'язків забезпечує максимальне перекривання електронів атома Карбону з електронами чотирьох атомів Гідрогену в молекулі метану.

Моделі молекули метану наведено на мал. 5 і 6.

- Пригадайте, які існують види моделей молекул. Які з них більше відповідають реальним молекулам?
- Розгляньте кулестержневу (а) й масштабну (б) моделі молекули метану (мал. 5). Порівняйте їх з комп'ютерною моделлю (мал. 6).
- Запишіть електронну й структурну формули метану.

У молекулі етану  $C_2H_6$  кожен атом Карбону віддає у спільне користування по одному електрону, утворюючи ковалентний зв'язок. Інші три електрони кожного атома Карбону беруть участь в утворенні зв'язків з атомами Гідрогену. Моделі молекули етану наведено на мал. 7.

- Запишіть електронну й структурну формули етану.



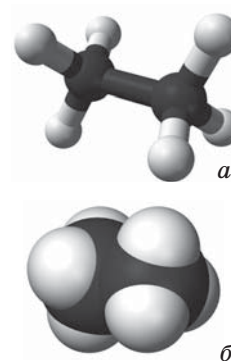


**ПОДВІЙНИЙ  $C=C$ -ЗВ'ЯЗОК.** У молекулі етену  $C_2H_4$  між атомами Карбону утворюється подвійний зв'язок завдяки усупільненню чотирьох електронів, тобто утворюються дві електронні пари (два зв'язки). По два електрони, що залишилися в атомів Карбону, утворюють зв'язки з електронами атомів Гідрогену. Модель молекули етену наведено на мал. 11 (с. 30).

- Запишіть електронну й структурну формули етену.

**ПОТРІЙНИЙ  $C\equiv C$ -ЗВ'ЯЗОК.** У молекулі етину  $C_2H_2$  атоми Карбону використовують по три електрони для утворення трьох спільних електронних пар (потрійного зв'язку) і по одному електрону – для утворення зв'язку з атомами Гідрогену. Модель молекули етину наведено на мал.13 (с. 34).

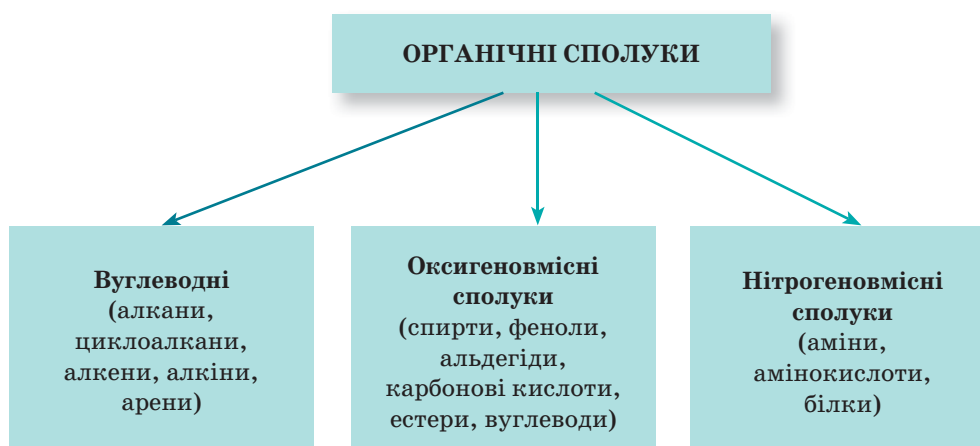
- Запишіть електронну й структурну формули етину.



Мал. 7.  
Кулестержнева (а)  
й масштабна (б)  
моделі молекули  
етану

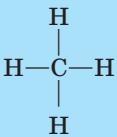
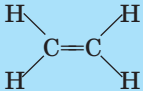
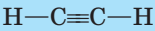
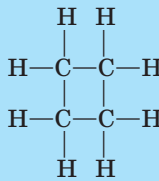
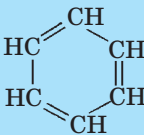
**КЛАСИФІКАЦІЯ ОРГАНІЧНИХ СПОЛУК.** З метою упорядкування знань про величезну кількість різних об'єктів, що їх вивчає наука, ці об'єкти класифікують за певними ознаками. Вам відома класифікація неорганічних речовин на оксиди, кислоти, основи, солі, яка ґрунтується на хімічному складі цих сполук.

Класифікаційними ознаками органічних сполук є будова карбонового ланцюга і наявність певних груп атомів, що визначають функції речовин, — т. зв. **функціональних груп**. Їх ще називають **характеристичними** групами. У 9 класі ви вивчали деякі найважливіші органічні речовини, до складу молекул яких входять такі функціональні групи, як гідроксильна, карбоксильна, аміногрупа і які належать, відповідно, до спиртів, карбонових кислот, амінокислот. За складом і функціональними (характеристичними) групами органічні речовини можна згрупувати так:



Вуглеводні етан, етен, етин ви розрізняли за наявністю в їхніх молекулах простого чи кратного зв'язку між атомами Карбону. Сам карбоновий ланцюг може бути прямим, розгалуженим або циклічної форми. Розглянемо класифікацію вуглеводнів за цими ознаками.

### Класифікація вуглеводнів

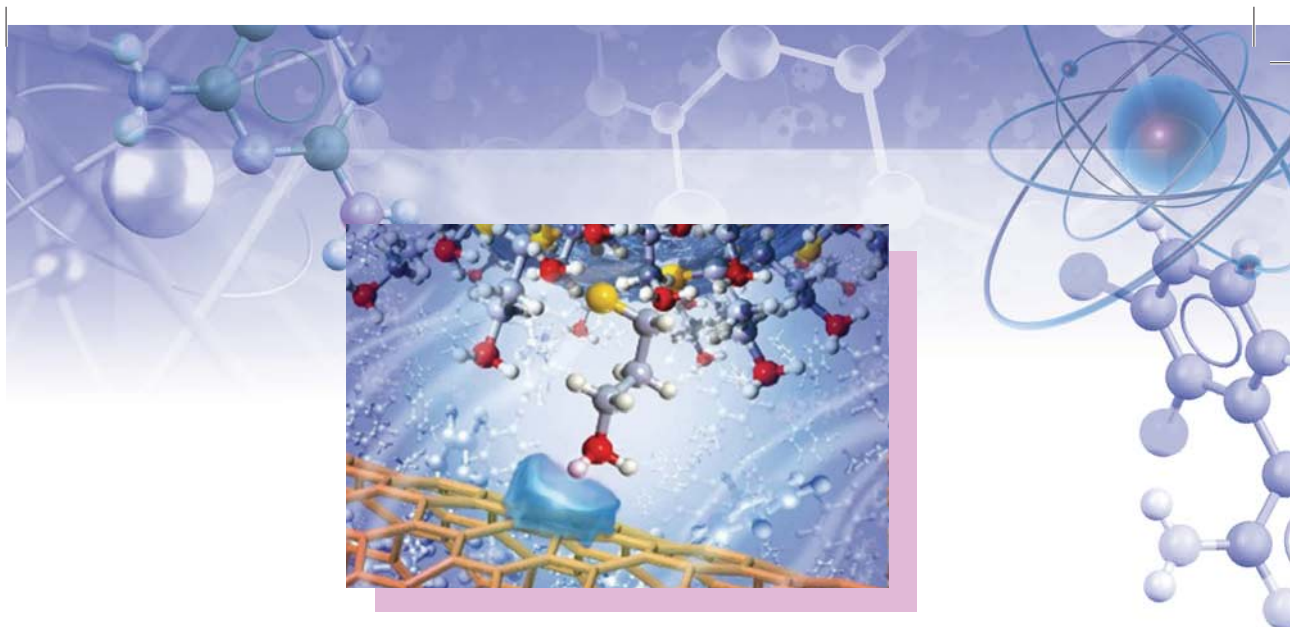
Вуглеводні				
Ациклічні (аліфатичні)			Циклічні	
Насичені	Ненасичені			
Алкани $C_nH_{2n+2}$	Алкени $C_nH_{2n}$	Алкіни $C_nH_{2n-2}$	Циклоалкани $C_nH_{2n}$	Ароматичні (арени) $C_nH_{2n-6}$
 Метан	 Етен	 Етин	 Циклобутан	 Бензен

Відомі вам метан і його гомологи належать до насичених вуглеводнів (за міжнародною назвою — алканів), етилен (етен) — до алкенів, ацетилен (етин) — до алкінів. Із різними групами вуглеводнів ви ознайомитеся в наступному розділі.



### ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЮ

1. Поясніть відмінність між основним і збудженим станами атома Карбону.
2. Які зв'язки утворюються між атомами Карбону? Наведіть приклади
3. Наведіть приклади (формули, назви) відомих вам оксигено- й нітрогеновмісних органічних речовин.
4. Наведіть приклади органічних речовин з йонним зв'язком.
5. Поясніть, як змінюються зв'язки між атомами Карбону в процесі полімеризації етину з утворенням поліетилену.



## ВУГЛЕВОДНІ

Наприкінці вивчення теми ви зможете:

- назвати вуглеводні за правилами номенклатури;
- скласти формули вуглеводнів за їхніми назвами та назви — за формулами;
- скласти формули структурних ізомерів;
- описати фізичні властивості сполук;
- пояснити реакційну здатність вуглеводнів; записати рівняння реакцій окиснення, заміщення, приєднання, розкладу, ізомеризації;
- розповісти про застосування вуглеводнів;
- засвоїти терміни: *алкани, алкени, алкіни, арени, номенклатура, алкільний замісник, піроліз, крекінг*.

### § 6. АЛКАНИ

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

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

Вам уже відомо, що гомологи метану належать до **насичених вуглеводнів (парафінів)**; міжнародна назва — **алкани**. Загальна формула алканів —  $C_nH_{2n+2}$ .

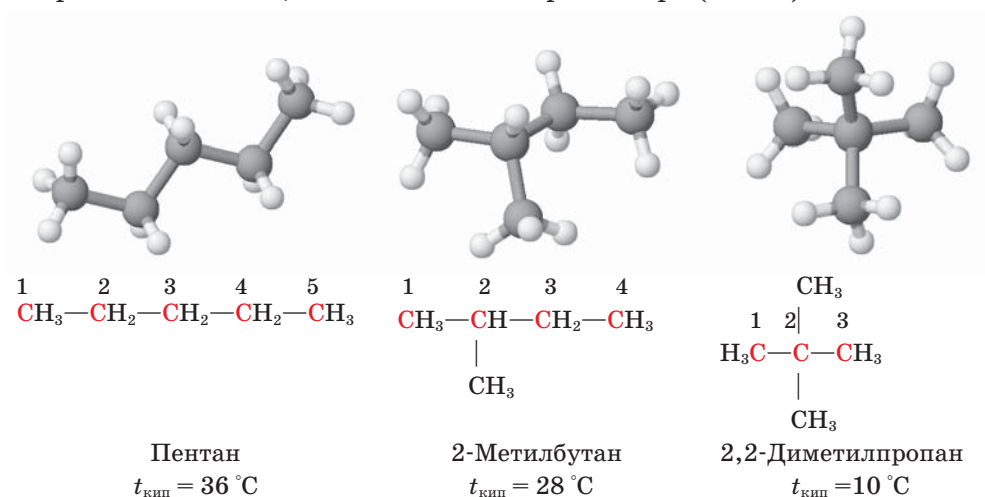
- Складіть формулу алкану, молекула якого містить 15 атомів Карбону (пентадекан).

**Назви** перших чотирьох алканів склалися історично, а починаючи з пентану, утворені від назв грецьких або латинських числівників додаванням суфікса **-ан** (табл. 1 на с. 22).

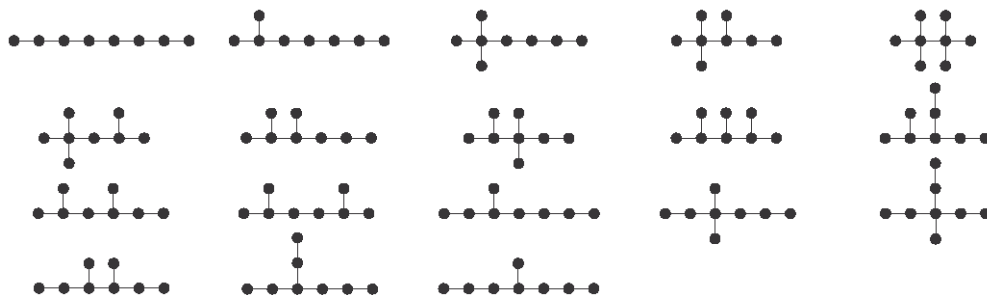
Характеристики алканів

Назва	Формула		Температура, °C		Густина, г/см <sup>3</sup>
	молекулярна	скорочена структурна	плавлення	кипіння	
Метан	CH <sub>4</sub>		-182,5	-162	
Етан	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	CH <sub>3</sub> —CH <sub>3</sub>	-183	-89	
Пропан	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	CH <sub>3</sub> —CH <sub>2</sub> —CH <sub>3</sub>	-188	-42	
Бутан	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	CH <sub>3</sub> —(CH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> —CH <sub>3</sub>	-138	-0,5	
Пентан	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	CH <sub>3</sub> —(CH <sub>2</sub> ) <sub>3</sub> —CH <sub>3</sub>	-130	36	0,63
Гексан	C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	CH <sub>3</sub> —(CH <sub>2</sub> ) <sub>4</sub> —CH <sub>3</sub>	-95	69	0,66
Гептан	C <sub>7</sub> H <sub>16</sub>	CH <sub>3</sub> —(CH <sub>2</sub> ) <sub>5</sub> —CH <sub>3</sub>	-91	98	0,68
Октан	C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>	CH <sub>3</sub> —(CH <sub>2</sub> ) <sub>6</sub> —CH <sub>3</sub>	-57	126	0,70
Нонан	C <sub>9</sub> H <sub>20</sub>	CH <sub>3</sub> —(CH <sub>2</sub> ) <sub>7</sub> —CH <sub>3</sub>	-54	151	0,72
Декан	C <sub>10</sub> H <sub>22</sub>	CH <sub>3</sub> —(CH <sub>2</sub> ) <sub>8</sub> —CH <sub>3</sub>	-30	174	0,73

**ІЗОМЕРІЯ.** Насиченим вуглеводням властива *структурна ізомерія*, що зумовлена різною послідовністю сполучення атомів у молекулі (хімічною будовою). Наприклад, у молекулі пентану атоми можуть сполучатися трьома способами, тобто пентан має три ізомери (мал. 8).



Мал. 8. Структурні формули й моделі молекул ізомерів пентану



Мал. 9. Схематична будова молекул ізомерів октану

Зверніть увагу, що в молекулах ізомерів зберігаються валентні кути  $109,5^\circ$  і довжина зв'язків C—C 0,154 нм. Завдяки тетраедричній направленості зв'язків ланцюг атомів Карбону набуває зигзагоподібної будови.

- На мал. 9 зображено схеми «скелетів» ізомерів октану  $C_8H_{18}$ . Складіть за цими схемами структурні формули.

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

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

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

**Назви** алкільних замісників *утворюють заміною суфікса -ан у назві алканів на суфікс -ил (-іл)* (алкан — алкіл). Загальна формула одновалентних алкільних замісників  $C_nH_{2n+1}$ . Приклади найпростіших з них наведено в таблиці 2 на с. 24.

*Щоб скласти назву алкану розгалуженої будови, треба:*

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

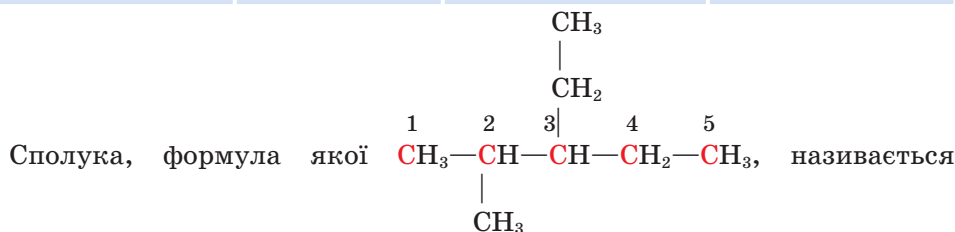


За наявності однакових замісників уживають множинні префікси *ди-, три-, тетра-*.

Таблиця 2

## Алкани та алкільні замісники

Алкан $C_nH_{2n+2}$		Алкіл $C_nH_{2n+1}$	
Формула	Назва	Формула	Назва
$CH_4$	Метан	$CH_3-$	Метил
$C_2H_6$ $CH_3-CH_3$	Етан	$C_2H_5-$ $CH_3-CH_2-$	Етил
$C_3H_8$ $CH_3-CH_2-CH_3$	Пропан	$C_3H_7-$ $CH_3-CH_2-CH_2-$	Пропіл



3-етил-2-метилпентаном.

**ФІЗИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ.** Звернувшись до наведених у таблиці 1 фізичних констант алканів, можна помітити, що зі збільшенням кількості атомів Карбону в молекулі зростають температури плавлення і кипіння цих речовин. Перші чотири речовини за стандартних умов — гази. Далі йдуть рідини, а починаючи з вуглеводню складу  $C_{18}H_{38}$  (у таблиці не наведено) — тверді речовини. Від пентану в кожного наступного члена ряду температури кипіння зростають на  $20-30^\circ C$ .

Густина насичених вуглеводнів збільшується зі збільшенням розмірів молекул, проте всі вони легші за воду.

Пропан і бутан легко скраплюються за підвищеного тиску.

Алкани — неполярні або слабкополярні сполуки, практично нерозчинні у воді, яка є полярною сполукою.

Газуваті й тверді алкани не мають запаху, а рідкі (складу  $C_5-C_{17}$ ) мають характерний запах бензину.

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

- 3 якою метою, на вашу думку, добавляють ці речовини?

**ХІМІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ.** За звичайних умов алкани **хімічно інертні**, не взаємодіють з кислотами, лугами, з таким сильним окисником, як калій перманганат. У цьому можна переконатися на досліді, діючи на різні насичені вуглеводні розчинами названих речовин. Якщо метан про-

пускати крізь розчин калій перманганату фіолетового кольору, то його забарвлення не змінюється, що свідчить про відсутність будь-яких змін окисника.

Низька реакційна здатність алканів зумовлена порівняно високою міцністю зв'язків C—C і C—H. Для розривання цих зв'язків та ініціювання реакції за їх участі потрібні досить жорсткі умови, наприклад висока температура, наявність каталізатора, дія ультрафіолетового випромінювання тощо.

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

Продукти реакції можна виявити експериментально (цей досвід ви проводили в 9 класі). Якщо підпалити метан, зібраний у циліндрі, або опустити газовідвідну трубку з полум'ям метану в скляний циліндр, то через деякий час можна помітити утворення вологи на стінках циліндра. Вапняна вода, що її наливо в циліндр, стає каламутною. Отже, внаслідок згоряння метану виділяються вода і вуглекислий газ:



Характер горіння алканів залежить від їхнього складу. Вищі алкани (ті, що мають високі відносні молекулярні маси) горять кіптявим полум'ям. Запалимо в порцеляновій чашці шматочки твердого вуглеводню, попередньо розплавивши його. Спостерігатимемо утворення кіптяви під час горіння. Це добре видно, якщо над полум'ям потримати скло.

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

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



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

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

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

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

**Реакція розкладу.** Внаслідок нагрівання до високої температури алкани розкладаються, при цьому можуть розриватися зв'язки C—C і C—H.

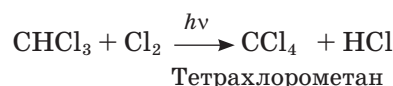
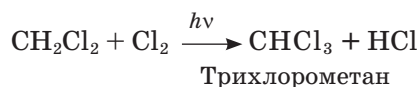
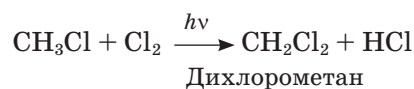
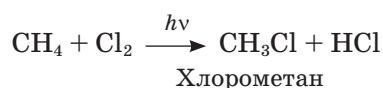
Молекула метану розщеплюється за температури понад 1000 °С, а молекули вищих алканів — за значно нижчої температури: близько 450 °С.



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

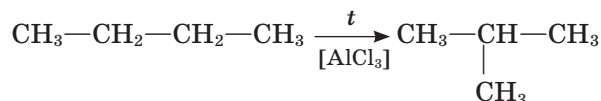
Розрізняють термічний, каталітичний, гідрокрекінг (за участі водню). Залежно від умов крекінг алканів супроводжується відщепленням водню, утворенням нижчих вуглеводнів, ізомеризацією, циклізацією тощо.

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



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

**Реакція ізомеризації.** Під дією підвищеної температури та за наявності каталізатора алкани можуть зазнавати **ізомеризації**:



Бутан

2-Метилпропан (ізобутан)

Реакція ізомеризації має значення для добування потрібних сортів пального.

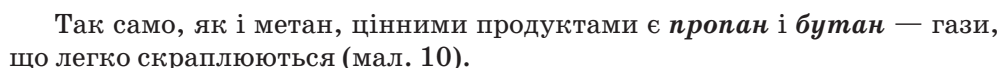
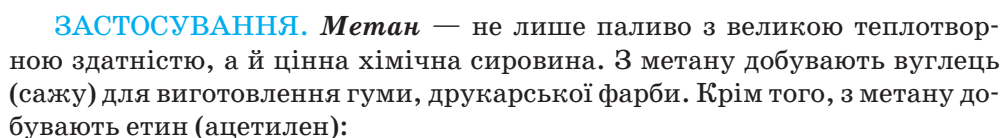
● Пригадайте, як склад пального позначається на його якості.

- Пригадайте, які алкани входять до складу природного газу, продуктів переробки нафти.

$$\text{C} + 2\text{H}_2 \xrightarrow{t, \text{кат.}} \text{CH}_4$$

Метан

Алкани утворюються внаслідок приєднання водню до ненасичених вуглеводнів, у молекулах яких є кратні зв'язки (**реакція гідрогенізації**):



З курсу хімії 9 класу вам відомо, що метан — основний складник *біогазу*, який є продуктом розкладу й бродіння органічних залишків. Уста-

Мал. 10. Резервуар для зберігання скрапленого природного газу

новки з добування біогазу вже нерідкісні в сільській місцевості, де багато сільськогосподарських відходів (соломи, бадилля, качанів тощо).

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

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

### Висновки

- Загальна формула алканів (парафінів) —  $C_nH_{2n+2}$ .
- Алканам властива структурна ізомерія, зумовлена будовою карбонового скелета.
- В основу систематичної номенклатури алканів покладено назви сполук нормальної будови.
- Алкани нерозчинні у воді. Температури плавлення й кипіння алканів зростають пропорційно зростанню їхніх відносних молекулярних мас.
- Завдяки значній міцності C—C-зв'язків алкани хімічно стійкі за стандартних умов.
- За певних умов алкани вступають у реакції окиснення, розкладу, заміщення, ізомеризації.
- Алкани горять з утворенням вуглекислого газу і води.
- Природними джерелами алканів є корисні копалини: природний газ, нафта, кам'яне вугілля.

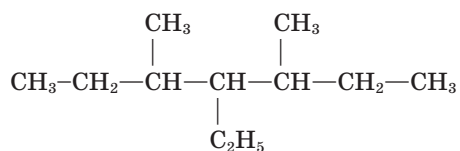


### ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЮ

1. Назвіть відомі вам групи вуглеводнів.
2. Що є причиною ізомерії алканів?  
**А** електронегативність атомів Карбону  
**Б** довжина карбонового ланцюга  
**В** структура карбонового ланцюга  
**Г** розмір молекул
3. Складіть формули ізомерів гексану й назвіть їх за систематичною номенклатурою.
4. Назвіть характерні фізичні властивості алканів.
5. За допомогою яких хімічних проб можна довести хімічну стійкість алканів?
6. У чому полягають особливості реакцій горіння алканів різного складу? Чим вони зумовлені?
7. Що таке повне і часткове окиснення вуглеводнів? Наведіть приклади.
8. Обґрунтуйте застосування алканів їхніми хімічними властивостями.
9. Яких правил безпеки слід дотримуватися під час використання в побуті метану та інших алканів?

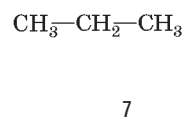
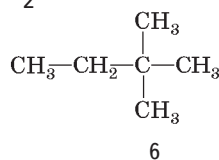
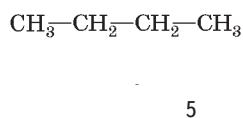
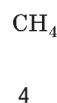
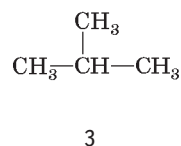
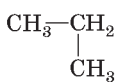
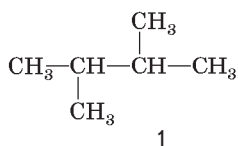
## Додаткові завдання

1. Укажіть назву алкану

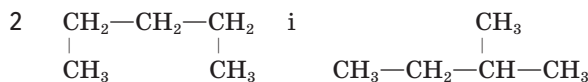
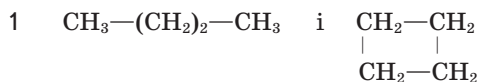


- А** гептан  
**Б** 4-етил-3,5-диметилгептан  
**В** 3-бутил-4-метилгептан  
**Г** пентадекан

2. Позначте ізомери серед наведених сполук.

**А** 2,7**Б** 3,5**В** 1,6**Г** 2,3

3. За даними таблиці 1 накресліть графік залежності температур кипіння алканів нормальної будови від кількості атомів у молекулі. Який характер має ця залежність — монотонний чи періодичний?
4. Якого об'єму кисень треба затратити для спалювання суміші газів об'ємом  $1 \text{ м}^3$ , що складається з 75 % метану та 25 % етану?
5. Спалили речовини такої будови:



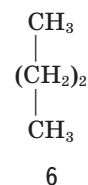
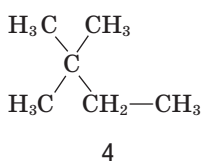
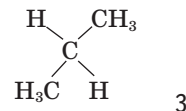
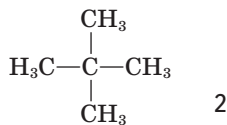
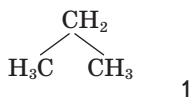
Чи можна розрізнити ці речовини за об'ємом газів (разом із водяною парою), що утворилися в результаті згоряння?

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

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

Вважати, що вміст кисню в повітрі становить 20 % за об'ємом.

7. Позначте гомологи серед наведених сполук.

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



8. На основі даних таблиці 3 та враховуючи, що теплота згоряння вугілля (у перерахунку на чистий вуглець) становить 394 кДж/моль, поясніть, який продукт — природний газ чи вугілля — доцільніше (за масою) використовувати як паливо у побуті. Які переваги й недоліки цих видів палива?

Таблиця 3

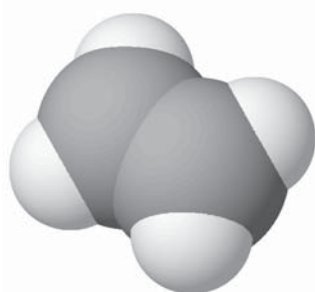
Теплота згоряння вуглеводнів

Назва алкану	Формула	Теплота згоряння, кДж/моль	Назва алкану	Формула	Теплота згоряння, кДж/моль
Метан	CH <sub>4</sub>	890	Пентан	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	3536
Етан	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	1560	Гексан	C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	4141
Пропан	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	2220	Гептан	C <sub>7</sub> H <sub>16</sub>	4817
Бутан	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	2878	Октан	C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>	5474

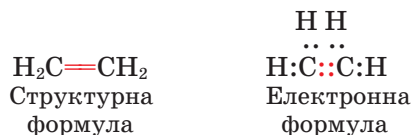
9. Визначте молекулярну формулу хлоропохідної сполуки, якщо масові частки елементів у ній такі: Карбону — 10 %, Хлору — 90 %, густина за воднем 118,5.

## § 7. АЛКЕНИ

**СКЛАД МОЛЕКУЛ.** Вам уже відомі ненасичені вуглеводні, в молекулах яких є подвійний зв'язок між атомами Карбону, та найпростіший серед них — етен (тривіальна назва — етилен) C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> (мал. 11):

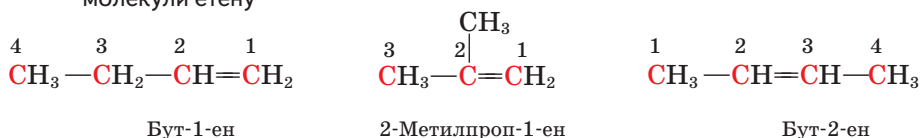


Мал. 11. Модель молекули етену



Етен започатковує групу ненасичених вуглеводнів **алкенів**. Загальна формула — C<sub>n</sub>H<sub>2n</sub>. У таблиці 4 наведено характеристики вуглеводнів ряду етену нормальної будови.

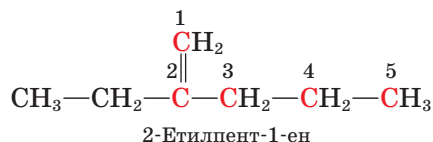
**ІЗОМЕРІЯ.** Алкенам властива **структурна ізомерія** карбонового скелета і положення кратного зв'язку:



- Складіть формули структурних ізомерів пент-1-ену.

**НОМЕНКЛАТУРА.** За правилами систематичної номенклатури **назви** алкенів утворюють від назв алканів заміною суфікса **-ан** на **-ен**. Насамперед треба визначити найдовший карбоновий ланцюг, у якому є подвійний зв'язок, і пронумерувати атоми з кінця, ближчого до подвійного зв'язку; перед назвою цифрою позначити місця замісників і

їхні назви в алфавітному порядку; перед суфіксом цифрою вказати атом Карбону, після якого слідує подвійний зв'язок. Наприклад:



**ФІЗИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ.** Алкени легші за воду й нерозчинні у воді сполуки, розчиняються в неполярних розчинниках — хлороформі, бензені. Так само, як у алканів, їхні температури плавлення й кипіння зростають зі збільшенням довжини карбонового ланцюга (табл. 4).

- Пригадайте фізичні властивості алканів (див. табл. 1) і порівняйте їх з алкенами (табл. 4).

Таблиця 4

#### Характеристики алкенів

Назва	Формула		Температура, °C	
	молекулярна	скорочена структурна	плавлення	кипіння
Етен	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	H <sub>2</sub> C=CH <sub>2</sub>	-169	-104
Пропен	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub>	H <sub>2</sub> C=CH—CH <sub>3</sub>	-188	-48
Бут-1-ен	C <sub>4</sub> H <sub>8</sub>	H <sub>2</sub> C=CH—CH <sub>2</sub> —CH <sub>3</sub>	-185	-6
2-Метилпроп-1-ен	C <sub>4</sub> H <sub>8</sub>	$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\   \\ \text{CH}_3-\text{C}=\text{CH}_2 \end{array}$	-141	-7
Пент-1-ен	C <sub>5</sub> H <sub>10</sub>	CH <sub>2</sub> =CH—(CH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> —CH <sub>3</sub>	-138	30
Пент-2-ен	C <sub>5</sub> H <sub>10</sub>	CH <sub>3</sub> —CH <sub>2</sub> —CH=CH—CH <sub>3</sub>	-151	36,9
Гекс-1-ен	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub>	H <sub>2</sub> C=CH—(CH <sub>2</sub> ) <sub>3</sub> —CH <sub>3</sub>	-139,8	63,5
Гепт-1-ен	C <sub>7</sub> H <sub>14</sub>	H <sub>2</sub> C=CH—(CH <sub>2</sub> ) <sub>4</sub> —CH <sub>3</sub>	-119	94
Окт-1-ен	C <sub>8</sub> H <sub>16</sub>	H <sub>2</sub> C=CH—(CH <sub>2</sub> ) <sub>5</sub> —CH <sub>3</sub>	-102	122

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



Добудемо етен за допомогою приладу, зображеного на мал. 12 на с. 32.

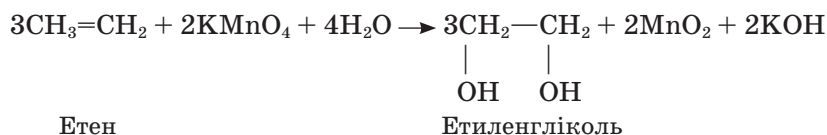
Підпалимо газ, що виділяється, біля кінця газовідвідної трубки — спостерігатимемо світне полум'я.

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

Пригадайте, що хімічну активність насичених вуглеводнів ми з'ясовували на основі дослідів з розчином калій перманганату. На відмі-

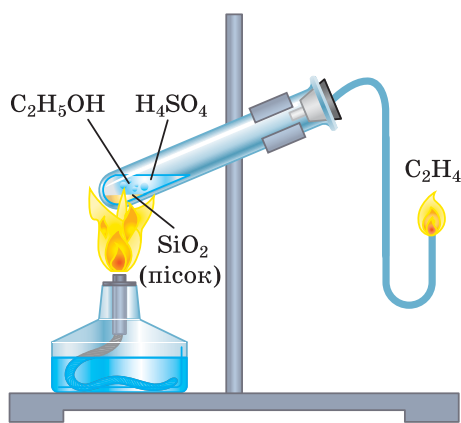
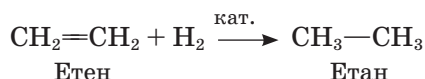
ну від алканів алкени виявляють значну активність у цій реакції, в чому можна переконатися на досліді (виконується віртуально).

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



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

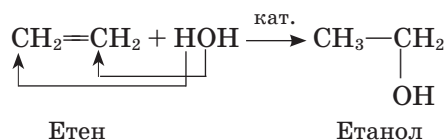
**Реакції приєднання.** За наявності каталізатора (Pt, Pd, Ni) за місцем подвійного зв'язку приєднується водень, у результаті чого алкени перетворюються на алкани:



Мал. 12. Прилад для добування етену в лабораторії

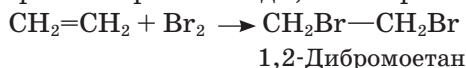
Реакцію приєднання атомів Гідрогену називають реакцією **гідрування (гідрогенізації)**.

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



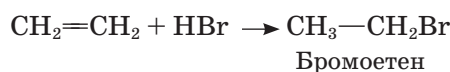
Реакцію приєднання води до речовини називають реакцією **гідратації**.

Хлор і бром приєднуються за місцем подвійного зв'язку з утворенням галогенопохідних алканів. Якщо пропустити етен крізь розчин бромної води, то забарвлення броду зникає:

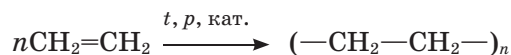


Цю реакцію також використовують для *аналітичного виявлення* ненасичених вуглеводнів.

Алкени реагують з гідроген галогенідами, утворюючи галогенопохідні сполуки:



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



- Пригадайте з курсу хімії 9 класу означення реакції полімеризації.

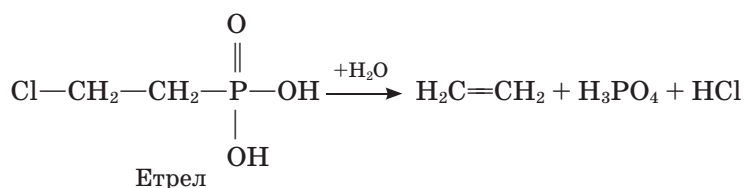
**ЗАСТОСУВАННЯ.** З **алкенів** добувають багато різних продуктів. Це насамперед *поліетилен* і *поліпропілен*, що їх використовують у виробництві пластмас, а останні — під час виготовлення виробів для потреб промисловості й побуту.

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

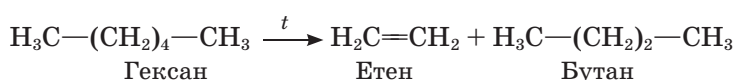
Продукт приєднання хлору до етену — *1,2-дихлоретан*  $\text{CH}_2\text{Cl—CH}_2\text{Cl}$  є розчинником і засобом знищення шкідників сільськогосподарських культур.

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

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

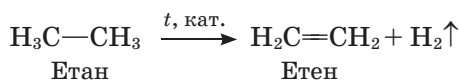


**ДОБУВАННЯ.** Етен утворюється у процесі *переробки насичених вуглеводнів*, що містяться в нафті:



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

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



### Висновки

- Алкени — ненасичені вуглеводні, в молекулах яких є один подвійний зв'язок.
- Загальна формула алкенів —  $\text{C}_n\text{H}_{2n}$ .

- Алкенам властиві структурна ізомерія карбонового скелета й положення кратного зв'язку.
- Фізичні властивості алкенів змінюються зі зміною кількості атомів Карбону в молекулі подібно до алканів.
- Хімічна активність алкенів визначається наявністю подвійного зв'язку, за яким відбуваються реакції приєднання.
- У промисловості алкени добувають переважно з нафтопродуктів.
- Застосування алкенів пов'язане насамперед з виробництвом продуктів полімеризації — поліетилену й поліпропілену.

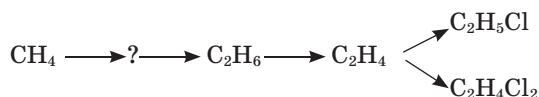


### ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЮ

1. Скільком структурним ізомерам відповідає формула  $C_5H_{10}$ ? Складіть структурні формули, назвіть сполуки.
2. Які реакції характерні для етену? Складіть рівняння реакцій.
3. Назвіть найважливіші галузі застосування алкенів.

### Додаткові завдання

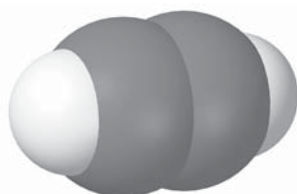
1. Порівняйте хімічну активність алканів і етену. Зробіть висновок.
2. Які розчини використовують для аналітичного визначення алкенів?  
**А** бромоводень  
**Б** бромну воду  
**В** калій перманганат  
**Г** сульфатну кислоту
3. Запропонуйте спосіб добування етену з метану.
4. Складіть рівняння реакцій, що відбуваються за схемою:



5. Обґрунтуйте галузі застосування етену його хімічними властивостями.
6. Спалили вуглеводень, отримали вуглекислий газ (17,6 г) і воду (7,2 г). Визначте формулу вуглеводню.

## § 8. АЛКІНИ

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



Мал. 13. Модель молекули етину



Модель молекули етину зображено на мал. 13. У таблиці 5 наведено характеристики деяких алкінів.

Таблиця 5

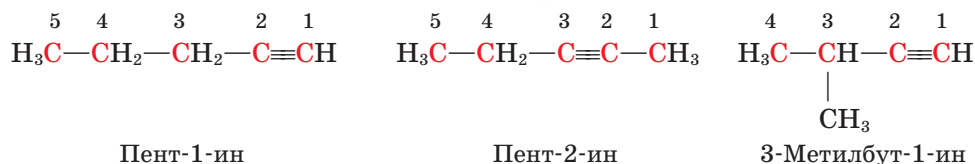
## Характеристики алкінів

Назва	Формула		Температура, °С	
	молекулярна	скорочена структурна	плавлення	кипіння
Етин	$C_2H_2$	$HC\equiv CH$	-81	-83,8
Пропін	$C_3H_4$	$HC\equiv C-CH_3$	-102,7	-23,2
Бут-1-ин	$C_4H_6$	$HC\equiv C-CH_2-CH_3$	-126	-8,6
Бут-2-ин	$C_4H_6$	$H_3C-C\equiv C-CH_3$	-32	27
Пент-1-ин	$C_5H_8$	$HC\equiv C-(CH_2)_2-CH_3$	-98	40
3-Метилбут-1-ин	$C_5H_8$	$\begin{array}{c} H_3C \\ \diagdown \\ CH-C\equiv CH \\ \diagup \\ H_3C \end{array}$	—	29,3
Гекс-1-ин	$C_6H_{10}$	$HC\equiv C-(CH_2)_3-CH_3$	-132	72
Гепт-1-ин	$C_7H_{12}$	$HC\equiv C-(CH_2)_4-CH_3$	-81	100
Окт-1-ин	$C_8H_{14}$	$HC\equiv C-(CH_2)_5-CH_3$	-80	128

- Намалуйте схематично геометрію молекули пропіну.

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

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



- З'ясуйте, чи можливі інші структурні ізомери складу  $C_5H_8$ .

За правилами систематичної номенклатури назви алкінів *утворюють від назв алканів заміною суфікса -ан на -ин (-ін)*. Спершу треба визначити найдовший карбоновий ланцюг, у якому є потрібний зв'язок, і пронумерувати атоми з кінця, ближчого до потрібного зв'язку; перед назвою цифрою зазначити місця замісників та їх назви в алфавітному порядку; перед суфіксом цифрою вказати атом Карбону, після якого слідує потрібний зв'язок.

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

Фізичні властивості гомологів етину закономірно змінюються зі зростанням кількості атомів Карбону в їхніх молекулах (див. табл. 5).

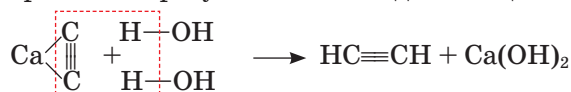


- Складіть графік зміни температур плавлення, кипіння алкінів залежно від складу їхніх молекул. Порівняйте цей графік з аналогічним для алканів і алкенів. Зробіть узагальнення.

#### ХІМІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ. Реакції повного й часткового окиснення.

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

Добудемо етин, скориставшись приладом, зображеним на мал. 14. Етин утворюється в результаті взаємодії кальцій карбіду з водою за реакцією:



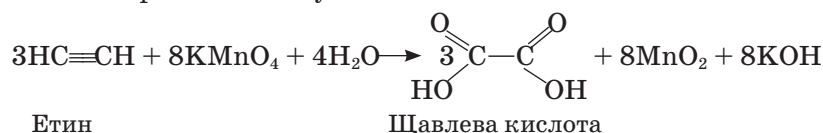
Підпалимо етин біля газовідвідної трубки — газ горітиме кіптявим полум'ям:



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

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

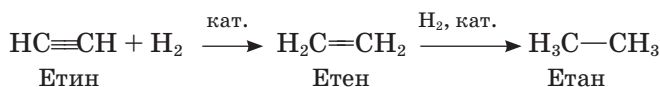
Алкіни подібно до алкенів легко **окиснюються** розчином калій перманганату в кислому, лужному і нейтральному середовищах з утворенням оксигеновмісних сполук. Пропускаючи етин крізь цей розчин, можна спостерігати його знебарвлення. Як і в разі часткового окиснення алкенів, утворюються оксигеновмісні органічні сполуки:



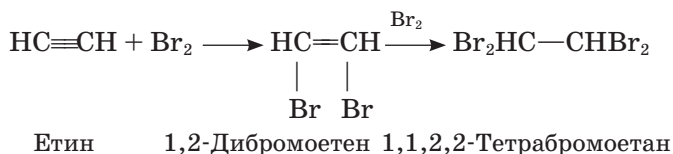
**Реакції приєднання.** Алкіни вступають у реакції приєднання за місцем кратного зв'язку. За наявності каталізатора вони приєднують водень, відновлюючись при цьому до алканів. Як проміжні продукти утворюються відповідні алкени:



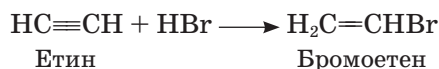
Мал. 14. Добування етину в лабораторії



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



Етин приєднує гідроген галогеніди з утворенням галогенопохідних сполук.



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

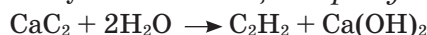
**ЗАСТОСУВАННЯ.** Найважливішим серед алкінів є *етин* (ацетилен). Завдяки високій питомій теплоті згоряння ацетилен використовують для газового різання і зварювання металів. З цією метою ним наповнюють спеціальні балони. Ацетилено-кисневе полум'я має температуру  $2\,800\text{ }^\circ\text{C}$  і легко плавить сталь (мал. 15).

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

- Пригадайте, чому ця галузь використання не набула поширення.

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

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



Донедавна саме так добували ацетилен і в промисловості.

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

Кальцій карбід утворюється в результаті нагрівання в електропечах суміші негашеного вапна  $\text{CaO}$  та коксу до температури  $2500\text{ }^\circ\text{C}$ :



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



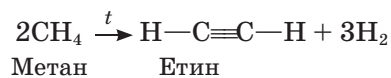
а



б

Мал. 15. Для ацетилено-кисневого зварювання (а) використовують спеціальне обладнання (б)

Економічно вигідніше добувати ацетилен з метану нагріванням його до температури  $1500\text{ }^{\circ}\text{C}$  — *піролізом*. Реакція відбувається за схемою:



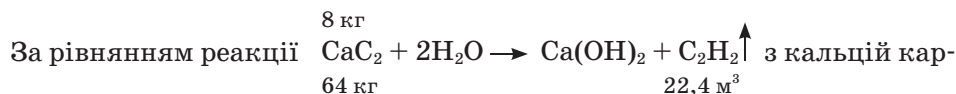
**Обчислення кількості речовини, маси або об'єму за кількістю речовини, масою або об'ємом реагенту, що містить певну частку домішок**

Сировина, що її використовують для добування речовин у промислових умовах, як правило, містить домішки, що не беруть участі в реакції або утворюють побічні продукти. Вміст домішок визначають заздалегідь, а обчислення витрат реагентів проводять, нехтуючи цими домішками.

**Задача.** Якого об'єму етин утвориться в результаті обробки водою кальцій карбїду масою 10 кг, якщо вміст домішок у сировині становить 20 % ?

Обчислимо масу чистого кальцій карбїду, що становить 80 % ( $100\% - 20\% = 80\%$ ):

$$\frac{10\text{ кг} \cdot 80\%}{100\%} = 8\text{ кг (CaC}_2\text{)}.$$



бїду масою 8 кг утвориться етин, об'єм якого становить:

$$\frac{8\text{ кг} \cdot 22,4\text{ м}^3}{64\text{ кг}} = 2,8\text{ м}^3 (\text{C}_2\text{H}_2).$$

Отже, утвориться етин об'ємом  $2,8\text{ м}^3$ .

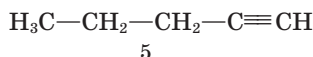
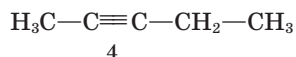
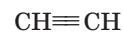
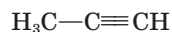
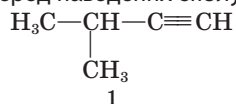
### Висновки

- Алкіни — ненасичені вуглеводні, в молекулах яких є потрійний карбон-карбонів зв'язок.
- Загальна формула алкінів —  $\text{C}_n\text{H}_{2n-2}$ .
- Алкінам властива структурна ізомерія карбонového ланцюга і положення кратного зв'язку.
- Для вуглеводнів ряду етину характерні реакції приєднання за місцем потрійного зв'язку.
- Етин — найважливіший серед алкінів. Його використовують у промисловості для добування синтетичних каучуків і пластмас, а також для газового зварювання й різання металів.
- Етин добувають піролізом метану або реакцією кальцій карбїду з водою.



## ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЮ

1. Серед наведених сполук

ізомери: **A** 1, 4, 5      **B** 1, 2, 3      гомологи: **B** 2, 3, 5      **Г** 1, 4.

- Складіть рівняння реакції приєднання двох молекул гідроген галогеніду до молекули етину.
- На якій хімічній властивості етину ґрунтується його застосування для зварювання металів?
- Укажіть правильне твердження.  
**A** кальцій карбід пахне ацетиленом  
**B** алкіни горять кіптявим полум'ям  
**B** алкіни й алкени — ізомери  
**Г** алкіни — насичені вуглеводні

## Додаткові завдання

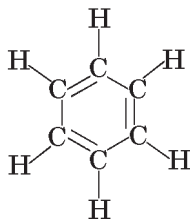
- Порівняйте будову молекул етену й етину.
- Наведіть структурні формули й назви ізомерів складу  $\text{C}_6\text{H}_{10}$ .
- Чим різняться між собою реакції приєднання в алкенів і алкінів? Наведіть приклади.
- Обґрунтуйте галузі застосування ацетилену його хімічними властивостями.
- Характеризуйте способи добування ацетилену з погляду їх економічності.
- Для добування етину піролізом метану використали природний газ, що містить 8 % домішок, об'ємом 48,7 л. Якого об'єму етин добуто?

## § 9. АРЕНИ. БЕНЗЕН

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

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

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





Мал. 16. Модель молекули бензену

За такої будови очевидно, що всі атоми Карбону є рівноцінними (мал. 16). Проте й ця формула неповністю відповідає хімічним властивостям бензену. Будучи формально ненасиченим, він виявляє певну хімічну інертність.

Щоб показати, що в молекулі бензену немає простих і кратних зв'язків, було запропоновано зображати структурну формулу як правильний шестикутник з кільцем усередині:



**ФІЗИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ.** За стандартних умов бензен — безбарвна рідина з характерним запахом, температурою кипіння 80 °С, практично нерозчинна у воді, але водночас є розчинником багатьох органічних речовин. У цьому можна переконатися на досліді.

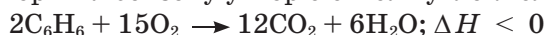
В одну пробірку наллємо бензену, в іншу — води. Додавимо в обидві пробірки по кілька краплин жиру і збовтаємо їх. Жир розчиняється у бензені, але спливає над водою.

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

**ХІМІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ.** Реакції бензену зумовлено наявністю стабільного карбонового кільця.

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

У результаті горіння бензену утворюються вуглекислий газ і вода:



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

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



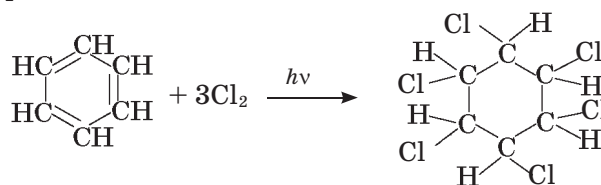
**Фрідріх Август КЕКУЛЕ**  
(1829— 1896)

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

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

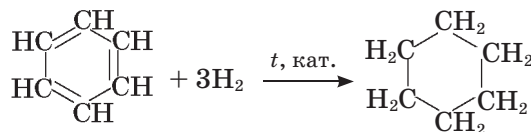
У пробірку з бенzenом додамo трохи бромної води і суміш збовтаємо. Бромна вода не знебарвлюється, бром переходить у верхній шар, отже, реакція не відбувається.

На відміну від ненасичених вуглеводнів бензен вступає в реакції приєднання за особливих умов. Наприклад, до молекули бензену, активованої дією ультрафіолетового випромінювання, можуть приєднатися три молекули хлору, при цьому утворюється гексахлороциклогексан, або гексахлоран, відомий як засіб боротьби зі шкідниками сільськогосподарських культур:



Гексахлороциклогексан

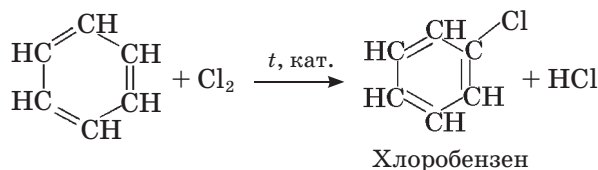
Приєднання водню до бензену відбувається за підвищених температури і тиску та наявності каталізатора. У результаті реакції утворюється циклогексан:



Циклогексан

**Реакції заміщення.** Бензен легко вступає в реакції заміщення. До таких реакцій належать реакція галогенування та ін.

Галогенування бензену за типом заміщення відбувається під дією каталізатора:



Хлоробензен

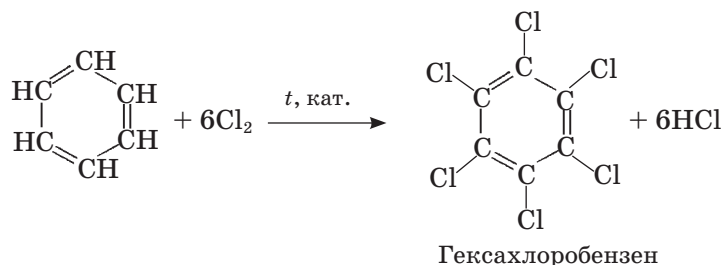


**Микола Дмитрович ЗЕЛІНСЬКИЙ**  
(1861—1953)

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



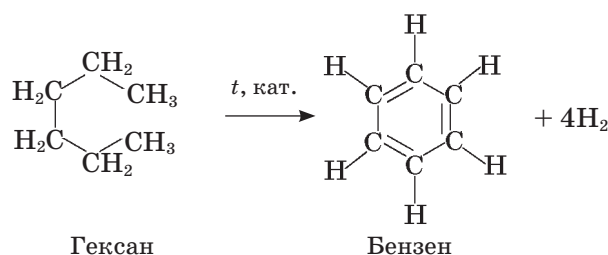
Можуть заміщуватися усі шість атомів Гідрогену з утворенням гексахлоробензену:



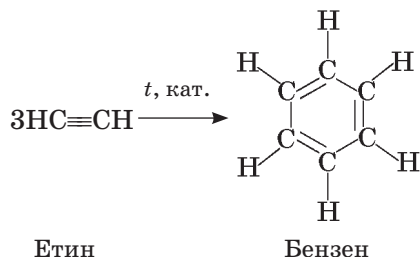
Бензен вступає як у реакції заміщення, так і реакції приєднання, причому заміщення відбувається у бензені легше, ніж у насичених вуглеводнях, а приєднання — важче, ніж у ненасичених. Отже, бензену більше властиві реакції заміщення.

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

Бензен добувають також з *нафтопродуктів* за допомогою процесів *ароматизації*, тобто перетворення неароматичних сполук на ароматичні, наприклад дегідруванням гексану за наявності каталізатора. Відбувається процес одночасного дегідрування і циклізації:



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



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

### Висновки

- Бензен належить до ароматичних вуглеводнів.
- Молекула бензену має форму правильного плоского шестикутника.
- У молекулі бензену зв'язки між атомами Карбону є рівноцінними.
- Бензену властиві реакції заміщення; за певних умов він вступає в реакції приєднання.
- Промисловим джерелом добування бензену є кам'яне вугілля. Бензен є сировиною для виробництва барвників, ліків, вибухових речовин, засобів захисту рослин від шкідників тощо.



### ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЮ

1. Чому структуру бензену було з'ясовано лише через 40 років після його відкриття?
2. За хімічними властивостями бензен не належить ні до насичених, ні до ненасичених вуглеводнів. Чому?
3. На мал. 17 зображено полум'я бензену, метану й етену. Яке зображення відповідає кожній з речовин? Відповідь поясніть.
4. Чи знебарвлює бензен бромну воду? Поясніть, чому.
5. Які реакції характерні для бензену? Складіть рівняння реакцій.
6. Які з наведених сполук належать до насичених, ненасичених, ароматичних:  $C_6H_{12}$ ,  $C_6H_6$ ,  $C_6H_5Cl$ ,  $C_6H_{14}$ ?



Мал. 17. Полум'я вуглеводнів різного складу

### Додаткові завдання

1. Поясніть умовність формули Кекуле для бензену.
2. Поясніть вплив умов на перебіг реакції бензену з хлором.
3. Зробіть висновок про реакційну здатність бензену порівняно з насиченими і ненасиченими вуглеводнями.
4. Складіть рівняння послідовних перетворень: вугілля на бензен; метану на хлорбензен.
5. Для добування 225 г хлорбензену треба затратити хлор об'ємом (н. у.)  
**А** 22,4 л    **Б** 67,2 л    **В** 44,8 л    **Г** 11,2 л

## § 10. ВЗАЄМОЗВ'ЯЗОК І ВЗАЄМОПЕРЕТВОРЕННЯ ВУГЛЕВОДНІВ

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

- Напишіть загальні формули гомологів метану, етену, етину.

Незначна зміна складу молекули (на групу  $-CH_2-$ ) спричиняє зміну фізичних властивостей гомолога, а незначна зміна порядку сполу-

чення атомів приводить до утворення ізомеру, тобто нової сполуки з притаманними їй властивостями. У цьому виявляється дія закону залежності властивостей органічних речовин від складу і хімічної будови молекул.

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

За складом молекул вуглеводні різних груп різняться між собою кількістю атомів Гідрогену, що припадають на певну кількість атомів Карбону. Отже, внаслідок приєднання або відщеплення атомів Гідрогену сполуки однієї групи перетворюються на сполуки іншої групи (реакції гідратування і дегідратування).

- Наведіть приклади таких реакцій.

Послідовними хімічними перетвореннями з неорганічної сполуки кальцій карбиду можна отримати етин, а з нього — бензен, останній переробити на інші сполуки.

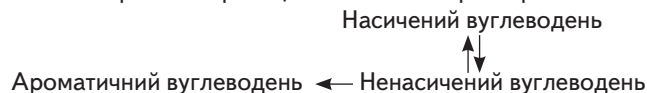
- Складіть рівняння цих хімічних перетворень.

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

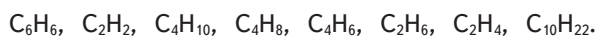


### ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЮ

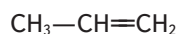
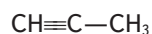
1. Напишіть рівняння реакцій за схемою перетворень:



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



4. Наведені речовини — це

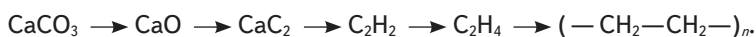


**А** гомологи

**Б** ізомери

**В** ні ізомери, ні гомологи

5. Напишіть рівняння реакцій за схемою перетворень:



Зробіть висновок про взаємозв'язок неорганічних та органічних речовин.



## ОКСИГЕНОВМІСНІ СПОЛУКИ

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

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

### Оксигеновмісні органічні сполуки

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

## СПИРТИ І ФЕНОЛИ

Наприкінці вивчення теми ви зможете:

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

### § 11. НАСИЧЕНІ ОДНОАТОМНІ СПИРТИ

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

Залежно від будови вуглеводневої групи розрізняють спирти *насичені*, *ненасичені*, *ароматичні*, а за кількістю гідроксильних груп — *одно-* і *багатоатомні*. Вам відомі насичені одноатомні спирти **метанол** і **етанол**, що містять залишок насиченого вуглеводню й одну гідроксильну групу, а також трьохатомний спирт **гліцерол**.

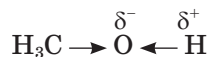
Пригадаймо їхні формули:  $\begin{array}{c} \text{H} \\ | \\ \text{H}-\text{C}-\text{OH} \\ | \\ \text{H} \end{array}$ , або скорочено  $\text{CH}_3-\text{OH}$ ;  
Метанол

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

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

Зв'язок  $\text{O}-\text{H}$  поляризований, оскільки атом більш електронегативного Оксигену відтягує до себе електронну густину зв'язку. Внаслідок

поляризації на атомі Гідрогену виникає частковий позитивний заряд, а на атомі Оксигену — частковий негативний:



Полярність зв'язку впливає на властивості спиртів.

Метанол розпочинає гомологічний ряд насичених одноатомних спиртів. Характеристики гомологів наведено в табл. 6. Моделі молекул метанолу й етанолу зображено на мал. 18.

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



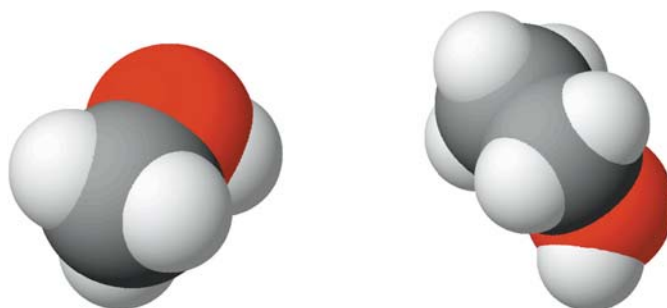
Якщо вуглеводневу групу позначити літерою R, то загальна формула спиртів матиме вигляд **R—OH**.

Таблиця 6

## Характеристики насичених одноатомних спиртів

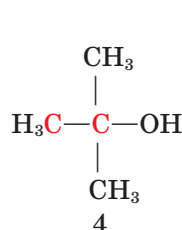
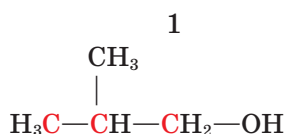
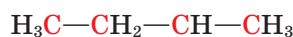
Назва спирту	Формула		Температура, °C		Густина, г/см <sup>3</sup>	Розчинність, г/100 г H <sub>2</sub> O
	молекулярна	скорочена структурна	плавлення	кипіння		
Метанол	CH <sub>3</sub> OH	CH <sub>3</sub> —OH	–94	64,5	0,792	Необмежена
Етанол	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH	CH <sub>3</sub> —CH <sub>2</sub>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





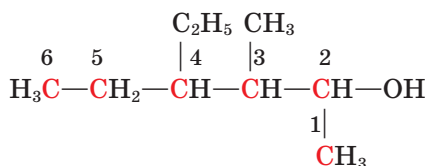
Мал. 18. Моделі молекул метанолу (а) та етанолу (б)

**ІЗОМЕРІЯ. НОМЕНКЛАТУРА.** Насиченим одноатомним спиртам властива *структурна ізомерія*, зумовлена будовою карбонового скелета і положенням гідроксильної групи. Для спирту складу  $C_4H_9OH$  можливі такі ізомери:



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

Наприклад: 4-етил-3-метилгексан-2-ол



● Складіть назви ізомерів бутанолу, що їх наведено вище.

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

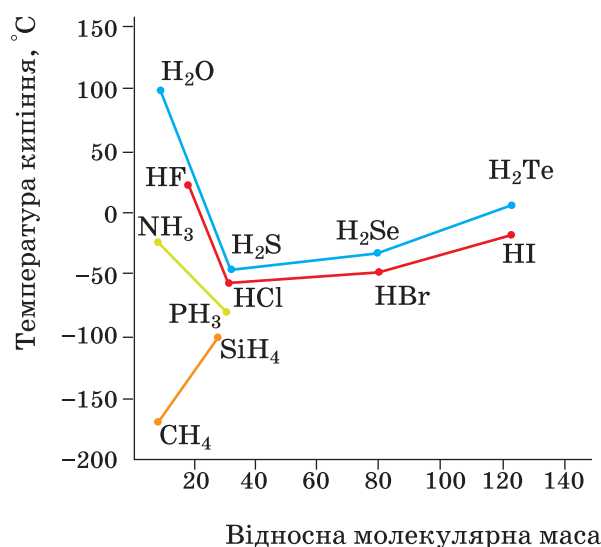
Серед спиртів, на відміну від вуглеводнів, немає газуватих речовин. Температури плавлення і кипіння спиртів значно вищі, ніж вуглеводнів з майже такою самою відносною молекулярною масою (табл. 7).

Таблиця 7

## Температури кипіння вуглеводнів і спиртів

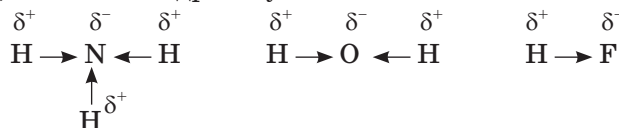
Формула вуглеводню	$t_{\text{кип}}, ^\circ\text{C}$	Формула спирту	$t_{\text{кип}}, ^\circ\text{C}$
$\text{C}_2\text{H}_6$	-89	$\text{CH}_3\text{OH}$	64,5
$\text{C}_3\text{H}_8$	-42	$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$	78,4
$\text{C}_4\text{H}_{10}$	-0,5	$\text{C}_3\text{H}_7\text{OH}$	97,4
$\text{C}_5\text{H}_{12}$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

Таку відмінність температур можна пояснити наявністю додаткової взаємодії між молекулами спирту. Для з'ясування природи цієї взаємодії звернемося до неорганічної хімії й розглянемо температури кипіння сполук Гідрогену з деякими елементами IV— VII груп Періодичної системи (мал. 19). Зверніть увагу, що зі збільшенням відносної молекулярної маси цих сполук їхні температури кипіння підвищуються. Виняток становлять гідроген флуорид, вода та амоніак, константи яких дуже відрізняються від констант сполук сусідніх елементів у підгрупі. Маючи найнижчі відносні молекулярні маси, вони характеризуються найвищими температурами кипіння, тобто молекули цих сполук міцніше зв'язані між собою. Чому?

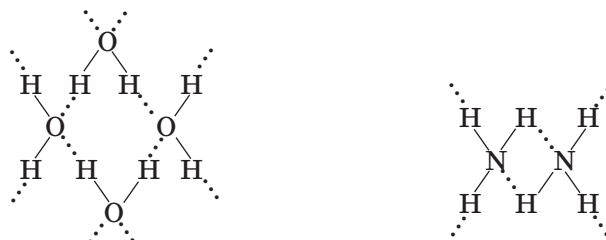


Мал. 19. Залежність температур кипіння сполук неметалічних елементів з Гідрогеном від їхньої відносної молекулярної маси

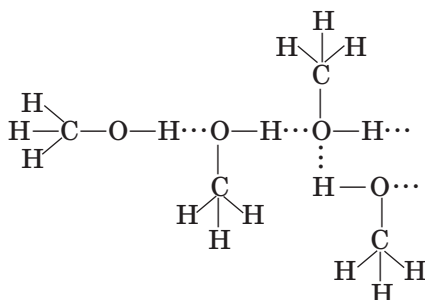
Зв'язки між атомами Гідрогену й електронегативними атомами N, O, F поляризовані, на атомах Гідрогену виникає частковий позитивний заряд:



За рахунок притягання позитивно зарядженого атома Гідрогену однієї молекули і негативно зарядженого атома Оксигену, Нітрогену чи Флуору іншої молекули утворюється т. зв. **водневий зв'язок** (позначають трьома крапками). Гідроген є ніби містком між двома електронегативними атомами:



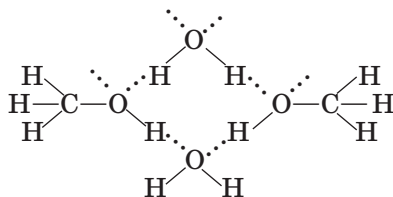
Так само утворюються водневі зв'язки між полярними молекулами спирту:



Водневий зв'язок належить до слабких зв'язків, однак для того щоб рідина, в якій молекули асоційовані за рахунок водневих зв'язків, перетворилася на пару (закипіла), потрібно затратити додаткову енергію на руйнування цих зв'язків.

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

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



Проте це характерно лише для нижчих спиртів, у яких гідроксильна група становить значну частину молекули. Перші три члени гомологічного ряду необмежено розчинні; у наступних гомологів з подовженням карбонового ланцюга його частка в молекулі збільшується, тому розчинність спиртів зменшується.

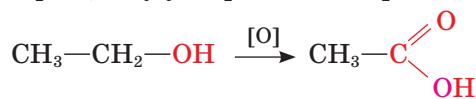
У цьому можна перекоонатися на досліді. У чотири пробірки з водою додаємо однакову кількість метанолу, етанолу, бутанолу, пентанолу. Спостерігатиметься повне розчинення перших двох спиртів і значно менша розчинність двох інших.

**ХІМІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ.** Реакції повного й часткового окиснення. Як і всі органічні речовини, спирти горять з виділенням теплоти. Підпалимо зразки метанолу, етанолу, пропанолу, пентанолу в порцелянових чашках. Помітна відмінність у характері горіння спиртів: від майже неслітнього синюватого полум'я метанолу до кіптявого — пентанолу.



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

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

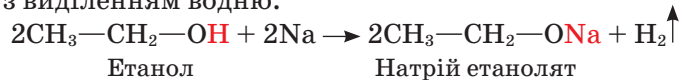


## Етанова кислота

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

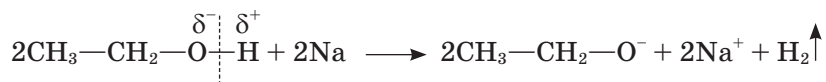
Отже, атом Гідрогену хоча й набуває рухливості, але хімічний зв'язок O—H за таких умов не розривається.

Спробуємо провести реакцію з активнішими реагентами. Вмістимо шматочок металічного натрію в пробірку з 2 мл етанолу й закриємо її пробкою зі скляною трубкою, відтягнутою на кінці. Відбувається реакція заміщення з виділенням водню:



- Як можна перекоонатися, що виділяється справді водень?

У цій реакції виявляються слабкі кислотні властивості спирту:



Загальна назва аніонів у продуктах заміщення Гідрогену на металічний елемент — *алканолати* (алкоголяти). Добутий нами *натрій етанолат* можна виділити у твердому вигляді.



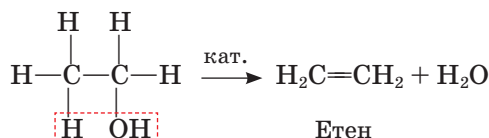
Мал. 20. Анестезія медичним ефіром (1885 р.)

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

З подовженням карбонового ланцюга активність спиртів у реакції з натрієм спадає. У цьому виявляється взаємний вплив атомів у молекулі.

**Реакція дегідратації.** Перебіг такої реакції визначається зовнішніми умовами. Якщо етанол нагрівати до темпе-

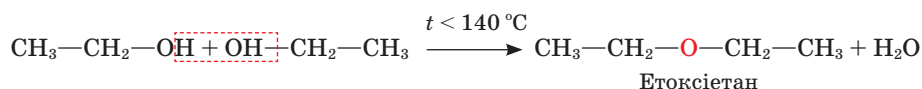
ратури понад  $170\text{ }^{\circ}\text{C}$  із сильною кислотою, наприклад концентрованою сульфатною, або пропускати пару спирту над каталізатором ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), то відбуватиметься реакція *внутрішньомолекулярної дегідратації* з утворенням етену:



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

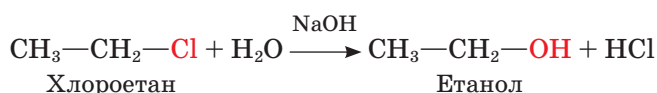
Якщо ж температура нагрівання не перевищує  $140\text{ }^{\circ}\text{C}$  і спирт узято в надлишку, то відбувається реакція *міжмолекулярної дегідратації* з утворенням сполуки, що належить до класу **етерів** загальної формули  $\text{R}-\text{O}-\text{R}^1$ .

З етанолу утворюється *етоксіетан*:



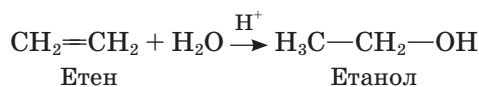
Із середини XIX ст. етоксіетан (у медицині вживають термін «медичний ефір») відомий як засіб для знеболення (мал. 20). Першу операцію під ефірним наркозом провів бостонський хірург Дж. Уоррен у 1846 р. У воєнно-польовій хірургії його вперше застосував видатний хірург М. І. Пирогов.

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



На практиці використовують водний розчин натрій гідроксиду або карбонату.

Етанол утворюється також у результаті реакції *гідратації етену*:



Найдавніший метод добування етанолу — це *спиртове бродіння глюкози*, що міститься у винограді, інших фруктах. Процес відбувається під дією природних каталізаторів — *ензимів (ферментів)*, що їх виробляють дріжджі деяких видів. У загальному вигляді процес спиртового бродіння можна подати рівнянням:



Насправді утворюється суміш спиртів та інших речовин, у якій лише 12 % етанолу. Для його виділення використовують метод *дистиляції*, або перегонки (мал. 21, 22). У результаті утворюється т. зв. *ректифікат*, що містить 96 % етанолу і 4 % води.

Етанол добувають також *гідратацією етену*. Добутий у такий спосіб спирт використовують для технічних потреб.

Використання етанолу надзвичайно широке. Це розчинник для виготовлення фармацевтичних препаратів (настоюнок, екстрактів тощо), парфумерних і косметичних виробів, есенцій, лаків (політури для меблів). Етанолом як бактерицидним засобом обробляють рани. У харчовій промисловості з нього виготовляють алкогольні напої.

З етанолу в промислових масштабах виробляють оцтову кислоту, хлорформ, медичний ефір та ін. У багатьох країнах суміш бензину з етанолом (до 10 %) використовують як паливо.

- Схарактеризуйте переваги використання такої суміші з погляду зменшення шкідливих викидів у атмосферу.

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



Мал. 21. Апарат для перегонки спирту (1500 р.)



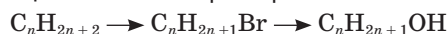
Мал. 22. Сучасний перегонний куб

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



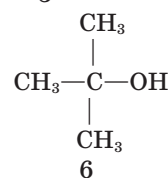
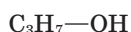
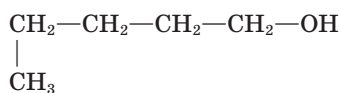
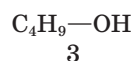
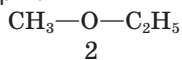
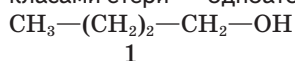
### ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЮ

1. Що таке функціональна (характеристична) група?
2. Які сполуки називають спиртами?
3. Як позначається вплив атома Оксигену на розподілі електронної густини в молекулі спирту?
4. Чим зумовлена ізомерія насичених одноатомних спиртів? Наведіть приклади.
5. Поясніть причину аномально високої температури кипіння води.
6. Поясніть вплив водневих зв'язків на фізичні властивості спиртів.
7. Наведіть рівняння хімічних реакцій спиртів, що відбуваються з розриванням зв'язків C—OH і CO—H.
8. Поясніть вплив умов на перебіг реакції дегідратації етанолу.
9. Складіть рівняння реакцій за схемою перетворень:

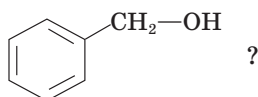


### Додаткові завдання

1. Укажіть ізомери і гомологи серед наведених сполук, зважаючи на ізомерію між класами етери — одноатомні спирти.



- А** ізомери: 1 і 6, 2 і 5      гомологи: 1, 4, 5  
**Б** ізомери: 1 і 4      гомологи: 5 і 2  
**В** ізомери: 2 і 3      гомологи: 4 і 6
2. Складіть структурні формули ізомерних спиртів складу  $C_5H_{12}O$ .
  3. Етин — газ, гідроген ціанід — рідина (н. у.), хоча молекулярні маси цих сполук приблизно однакові. Поясніть це.
  4. Які хімічні властивості етанолу підтверджують, що його формула  $C_2H_5-OH$ ?
  5. Порівняйте властивості метанолу з властивостями води і метану. Зробіть узагальнювальний висновок.
  6. Які хімічні властивості, на вашу думку, матиме бензиловий спирт



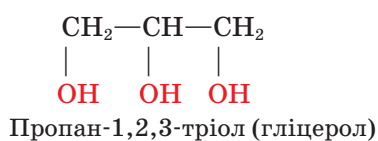
7. Напишіть рівняння послідовних перетворень: етанолу на етан; метану на метанол; вуглецю на метанол.
8. Унаслідок повного згоряння речовини масою 13,8 г утворилося 26,4 г вуглекислого газу і 16,2 г води. Визначте молекулярну формулу цієї речовини, якщо густина її пари за воднем дорівнює 23.



## § 12. ГЛІЦЕРОЛ

**СКЛАД МОЛЕКУЛИ.** Молекули спиртів можуть містити дві, три і більше гідроксильних груп біля різних атомів Карбону. Такі спирти називають відповідно *двохатомними*, *трьохатомними*, *багатоатомними* (якщо таких груп понад три). Щодо трьохатомних застосовують також загальну назву **гліцероли**. За систематичною номенклатурою їх називають *тріолами*.

Найпростіший трьохатомний спирт — **гліцерол** (тривіальна назва — гліцерин):



На мал. 23 зображено масштабну модель молекули гліцеролу.

**ФІЗИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ.** Гліцерол — безбарвна в'язка рідина, добре розчинна у воді. Особливістю гліцеролу та багатоатомних спиртів є солодкий смак, що посилюється зі збільшенням числа гідроксильних груп у молекулі. Ця властивість гліцеролу відбита в його назві, що походить від грецького слова *глікос* — солодкий. У XVIII ст., коли гліцерол було виділено з маслинової олії, його називали ще олійним цукром.

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

- Складіть схему утворення водневих зв'язків між молекулами гліцеролу.

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

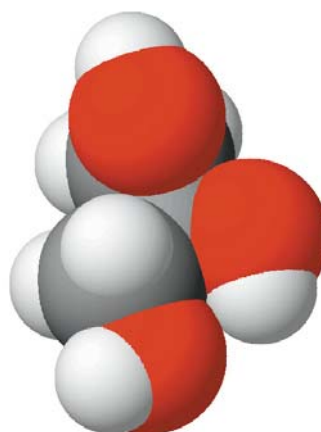
**ХІМІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ.** Для багатоатомних спиртів характерні реакції одноатомних спиртів, причому вони відбуваються за участі однієї або кількох гідроксильних груп.

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

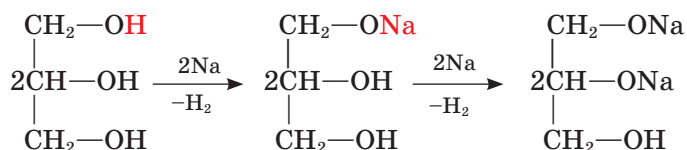
- Складіть рівняння реакції повного окиснення гліцеролу.

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

**Реакції заміщення.** Гліцерол вступає в реакцію заміщення з металічним *натрієм*. У пробірку з гліцеролом опустимо шматочок металічного натрію, нагріємо її вміст. Відбувається реакція з виділенням водню:



Мал. 23. Масштабна модель молекули гліцеролу



Наявність кількох гідроксильних груп позначається на хімічній активності сполук, зокрема посилюються кислотні властивості: якщо одноатомні спирти утворюють алканолати лише з лужними металами, то етиленгліколь і гліцерол реагують також з *лугами* та *гідроксидами важких металічних елементів*.

Характерною реакцією багатоатомних спиртів, що її використовують для їх виявлення, є реакція з купрум(II) гідроксидом з утворенням розчину синього кольору.

● Цю реакцію ви проводили в 9 класі. Пригадайте свої спостереження.

**ЗАСТОСУВАННЯ.** Гліцерол (гліцерин) широко застосовують передусім завдяки його гігроскопічності (мал. 24). У парфумерії та фармації — як пом'якшувальний засіб або основу мазей, добавку до мила, зубної пасти (щоб запобігти їх висиханню); у харчовій промисловості — як добавку до напоїв, кондитерських виробів. Шкіряне виробництво й текстильна промисловість послуговуються гліцеролом для обробки пряжі й шкіри з метою їх пом'якшення та надання еластичності. Продукт нітрування гліцеролу — тринітрогліцерол — вибухова речовина, з якої виготовляють динаміт. Ця сполука чинить судинорозширювальну дію і під назвою «нітрогліцерин» використовується як ліки від серцевих захворювань.



Мал. 24. Застосування гліцеролу



## ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЮ

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

### Додаткові завдання

1. Поясніть причину різноманітності сполук, що належать до класу спиртів.
2. Чи є гомологами пропанол і гліцерол? Відповідь поясніть.
3. Яка сполука має, на вашу думку, більшу густину — двохатомний чи трьохатомний спирт? Відповідь поясніть. Для підтвердження свого припущення скористайтесь довідником.
4. Поясніть, чому пентанол малорозчинний у воді, а пентантріол — добре розчинна сполука.
5. У результаті вибуху динаміту утворюється суміш вуглекислого газу, азоту, кисню і води, на які розкладається тринітрогліцерол. Укажіть суму коефіцієнтів у рівнянні реакції розкладу.

А 34

Б 33

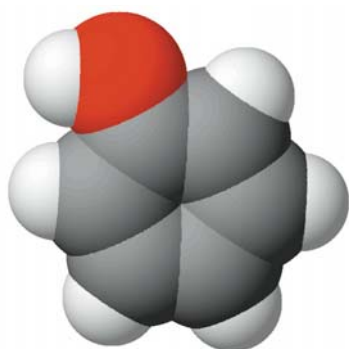
В 12

## Висновки

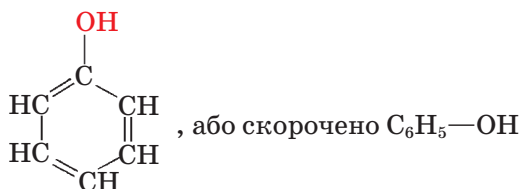
- Молекули спиртів містять функціональну гідроксильну групу, сполучену з вуглеводневим залишком. Багатоатомні спирти містять кілька таких груп біля різних атомів Карбону.
- Спирти — полярні сполуки. Електронна густина зв'язку  $O \leftarrow H$  зміщена до більш електронегативного атома Оксигену.
- Насиченим одноатомним спиртам властиві: структурна ізомерія, зумовлена будовою карбонового скелета й положенням гідроксильної групи.
- Спирти мають вищі порівняно з вуглеводнями температури плавлення і кипіння, більшу густину внаслідок утворення водневих зв'язків між молекулами. У багатоатомних спиртів ці константи мають ще більші значення.
- Спирти розчинні у воді внаслідок утворення водневих зв'язків.
- Повне окиснення спиртів відбувається до вуглекислого газу і води; часткове окиснення одноатомних спиртів — до карбонових кислот.
- Дегідратація насичених одноатомних спиртів відбувається, залежно від умов, з утворенням або алкенів, або етерів.
- Багатоатомні спирти реагують за однією або кількома гідроксигрупами.
- Метанол, етанол, гліцерол широко застосовують, тому їх виробляють у промислових масштабах.
- Уживання алкоголю справляє отруйну дію на організм людини. Це може врешті-решт призвести до хвороби, що супроводжується деградацією особистості.

## § 13. ФЕНОЛ

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

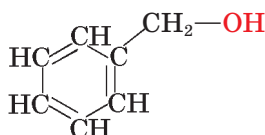


Мал. 25. Масштабна модель молекули фенолу



Модель молекули фенолу наведено на мал. 25.

Слід розрізняти фенол й ароматичні спирти, в яких гідроксильна група сполучена з бензеновим ядром через бічну вуглеводневу групу. Наприклад, бензиловий спирт



**ФІЗИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ.** Фенол — кристалічна безбарвна речовина з характерним запахом. У разі зберігання в нещільно закритому посуді внаслідок окиснення набуває рожевого кольору.

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

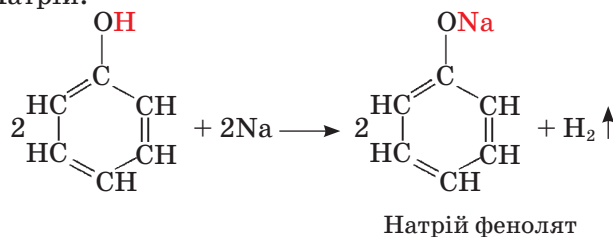
Помістимо пробірку з фенолом у посудину з гарячою водою: речовина розплавиться. У холодній воді фенол розчиняється погано, проте швидко розчиняється, якщо додати в пробірку з фенолом гарячої води.

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

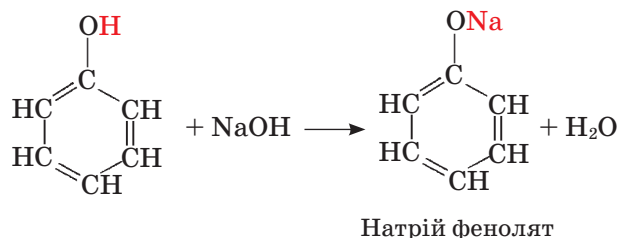
**Реакції заміщення.** Спершу розглянемо реакції фенолу за гідроксильною групою.

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

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



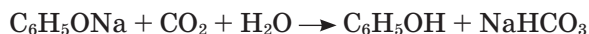
Етанол не реагує з розчином лугу, а фенол вступає в цю реакцію, утворюючи фенолят:



Отже, завдяки впливу бензенового ядра у фенолі зв'язок О—Н послаблюється порівняно зі спиртом.

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

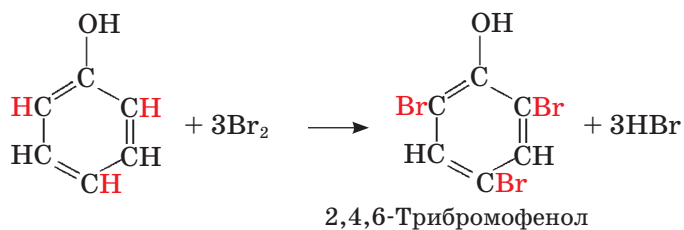
До водної емульсії фенолу добавлятимемо по краплинах розчин лугу — утвориться розчин феноляту. Крізь порцію феноляту в пробірці пропустимо вуглекислий газ — розчин знову каламутніє, бо виділяється вільний фенол:



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

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

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



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

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

Фенол має антисептичні властивості, що їх було виявлено ще в другій половині XIX ст. Вони зумовлюють використання його розчину (5 %-го) для

зnezаражування приміщень, хірургічних інструментів, його добавляють до деяких сортів мила, ним протравлюють деревину, щоб запобігти гниттю.

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

### Висновки

- У молекулі фенолу функціональна гідроксильна група сполучена безпосередньо з бензеновим ядром.
- Фенол розчиняється у воді завдяки утворенню водневих зв'язків.
- Фенол вступає в реакції за гідроксильною групою і бензеновим ядром.
- Гідроксильна група так впливає на бензенове ядро, що зростає його активність у реакціях заміщення атомів Гідрогену бензенового ядра.
- Під впливом бензенового ядра послаблюється зв'язок О—Н у гідроксильній групі, і фенол виявляє кислотні властивості.
- Основне промислове джерело фенолу — кам'яновугільна смола.
- Фенол — антисептик, але він отруйний для людини.



### ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЮ

1. У чому полягає відмінність хімічної будови ароматичних спиртів і фенолів?
2. Поясніть розчинність фенолу у воді.
3. Які реакції доводять, що фенол має кислотні властивості?
4. У чому полягає вплив гідроксильної групи на бензенове ядро (порівняйте з бензеном)?
5. Поясніть вплив бензенового ядра на гідроксильну групу (порівняйте з метанолом).

### Додаткові завдання

1. Схарактеризуйте подібні хімічні властивості фенолу й одноатомних спиртів. До якого типу реакцій належить реакція фенолу з лугом?
2. У трьох пробірках містяться етанол, гліцерол, розчин фенолу. Як розрізнити вміст пробірок за фізичними властивостями цих сполук?
3. До розчину натрій феноляту обережно по краплинах добавляють розчин сульфатної кислоти. Розчин каламутніє. Чому? Складіть рівняння реакції.
4. Обчисліть масу трибромфенолу, що утвориться в результаті бромовання фенолу масою 235 г, в якому масова частка домішок становить 20 %.
5. Розчином фенолу обробляють залізничні шпали завдяки його
  - А кислотним властивостям
  - Б характерному запаху
  - В антисептичним властивостям
  - Г здатності окиснюватися на повітрі
6. Користуючись додатковою літературою, підготуйте стисле повідомлення про вплив фенолу на довкілля.