

**Л. П. Величко**



# **ХІМІЯ**

Підручник для 11 класу  
загальноосвітніх навчальних закладів

**Академічний рівень**

*Рекомендовано Міністерством освіти і науки України*

КИЇВ  
«ОСВІТА»  
2011

ББК 24.2я721  
В27

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

Наукову експертизу проводив  
Інститут органічної хімії НАН України  
Психолого-педагогічну експертизу проводив  
Інститут педагогіки НАПН України

**Величко Л. П.**

**В27** Хімія : підруч. для 11 кл. загальноосвіт. навч. закл. : акад. рівень.  
/ Л. П. Величко. — К. : Освіта, 2011. — 222 с.

ISBN 978-966-04-0832-6.

**ББК 24.2я721**

ISBN 978-966-04-0832-6

© Л. П. Величко, 2011  
© Видавництво «Освіта», 2011  
© Видавництво «Освіта», художнє  
оформлення, 2011


## ЗМІСТ

<i>До учнів</i> .....	5
§ 1. Повторення основних відомостей 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
<b>ВУГЛЕВОДНІ</b> .....	18
§ 4. Утворення хімічних зв'язків у органічних сполуках .....	18
§ 5. Гомологічний ряд метану .....	25
<i>Лабораторний дослід 1. Виготовлення моделей молекул алканів</i> .....	26
§ 6. Циклоалкани.....	39
§ 7. Гомологічний ряд етену.....	43
§ 8. Гомологічний ряд етину .....	52
§ 9. Виведення молекулярної формули газуватої речовини.....	57
§ 10. Бензен.....	58
§ 11. Хімічні засоби захисту рослин .....	65
§ 12. Взаємозв'язок і взаємоперетворення вуглеводнів.....	66
<b>ПРИРОДНІ ДЖЕРЕЛА ВУГЛЕВОДНІВ</b> .....	68
§ 13. Природний газ.....	69
§ 14. Нафта і продукти її переробки .....	71
§ 15. Кам'яне вугілля і продукти його переробки .....	79
<i>Лабораторний дослід 2. Ознайомлення зі зразками нафтопродуктів і продуктів коксування кам'яного вугілля</i> .....	81
§ 16. Вуглеводнева сировина й охорона довкілля .....	81
<i>Лабораторний дослід 3. Ознайомлення з різними видами палива</i> .....	83
<b>ОКСИГЕНОВМІСНІ СПОЛУКИ</b> .....	86
<b>СПИРТИ І ФЕНОЛ</b> .....	88
§ 17. Насичені одноатомні спирти.....	88
§ 18. Етиленгліколь. Гліцерол.....	99
<i>Лабораторний дослід 4. Взаємодія гліцеролу з купрум(II) гідроксидом</i> .....	100
§ 19. Фенол .....	104
<b>АЛЬДЕГІДИ І КАРБОНОВІ КИСЛОТИ</b> .....	108
§ 20. Альдегіди .....	108
<i>Лабораторний дослід 5. Окиснення етаналю купрум(II) гідроксидом</i> .....	110
<i>Лабораторний дослід 6. Окиснення етаналю аргентум(I) оксидом</i> .....	110
<i>Лабораторний дослід 7. Окиснення спирту до альдегіду</i> .....	111
§ 21. Насичені одноосновні карбонові кислоти.....	113
<i>Лабораторний дослід 8. Дія етанової кислоти на індикатори</i> .....	116
<i>Лабораторний дослід 9. Взаємодія етанової кислоти з магнієм</i> .....	117
<i>Лабораторний дослід 10. Взаємодія етанової кислоти з лугом</i> .....	117
§ 22. Окремі представники карбонових кислот .....	118
<b>ЕСТЕРИ</b> .....	123
§ 23. Естери. Жири. Мило .....	123
<i>Лабораторний дослід 11. Розчинність жирів</i> .....	127
<i>Лабораторний дослід 12. Доведення ненасиченого характеру рідких жирів</i> .....	127

<i>Лабораторний дослід 13. Порівняння властивостей мила і синтетичного мийного засобу</i> .....	131
§ 24. Спектральні методи встановлення структури органічних сполук .....	133
<b>ВУГЛЕВОДИ</b> .....	136
§ 25. Глюкоза .....	137
<i>Лабораторний дослід 14. Взаємодія глюкози з купрум(II) гідроксидом</i> .....	138
§ 26. Сахароза .....	141
§ 27. Крохмаль .....	143
<i>Лабораторний дослід 15. Відношення крохмалю до води</i> .....	144
<i>Лабораторний дослід 16. Взаємодія крохмалю з йодом</i> .....	145
§ 28. Целюлоза (клітковина) .....	146
<b>НІТРОГЕНОВМІСНІ СПОЛУКИ</b> .....	150
§ 29. Аміни. Анілін .....	152
§ 30. Амінокислоти .....	159
§ 31. Білки .....	162
<i>Лабораторний дослід 17. Кольорові реакції білків</i> .....	165
§ 32. Нуклеїнові кислоти .....	167
<b>СИНТЕТИЧНІ ВИСОКОМОЛЕКУЛЯРНІ СПОЛУКИ</b> .....	172
§ 33. Загальна характеристика полімерів. Пластичні маси .....	174
<i>Лабораторний дослід 18. Дослідження властивостей термопластичних полімерів</i> .....	180
§ 34. Синтетичні каучуки .....	181
<i>Лабораторний дослід 19. Порівняння властивостей каучуку і гуми</i> .....	183
§ 35. Синтетичні волокна .....	184
<i>Лабораторний дослід 20. Відношення синтетичних волокон до розчинів кислоти і лугу</i> .....	185
§ 36. Розмаїття органічних речовин, взаємозв'язок між ними .....	186
§ 37. Хімія: наука для XXI століття .....	189
<b>Практичні роботи</b> .....	195
<i>Практична робота 1. Виявлення Карбону, Гідрогену і Хлору в органічних речовинах</i> .....	195
<i>Практична робота 2. Властивості етанової кислоти</i> .....	196
<i>Практична робота 3. Розв'язування експериментальних задач</i> .....	197
Відповіді до додаткових завдань .....	198
<b>Додатки</b> .....	199
Додаток 1. Якісні реакції на деякі органічні речовини .....	199
Додаток 2. Число ізомерів алканів .....	203
Додаток 3. Відносні молекулярні маси (округлені) деяких органічних речовин .....	204
Додаток 4. Розчинність основ, кислот, амфотерних гідроксидів і солей у воді .....	205
Додаток 5. Видатні відкриття в галузі органічної хімії ( <i>синхроністична таблиця</i> ) .....	206
Іменний покажчик .....	218
Предметний покажчик .....	219

## 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 цікавих 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.

До тексту параграфів вміщено прописи лабораторних дослідів, що проводяться під час засвоєння нових знань; окремо наведено прописи практичних робіт, у ході яких ви матимете змогу застосувати здобуті знання й уміння.

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!

Автор

## § 1. ПОВТОРЕННЯ ОСНОВНИХ ВІДОМОСТЕЙ 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 здатні 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, цемент; Б каучук, капрон, поліетилен, соняшникова олія; В вовна, целюлоза, гас, амоніак; Г ацетилен, нафтаген, вольфрам, оцтова кислота.



7. Укажіть предмети, що виготовлені з органічних речовин.

А Книжка; Б грифель олівця; В кулька кулькової ручки; Г хімічний стакан; Ґ підшва кросівок; Д джинси; Е водопровідний кран.

8. Назвіть інші предмети, що, на вашу думку, виготовлені з органічних речовин.

9. Як змінилася б ваша класна кімната (хімічний кабінет), якби зникли всі матеріали органічного походження?

- Органічні речовини добувають з 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 речовин у природі. Який висновок можна зробити?

14. Наведіть власний приклад взаємозв'язку неорганічних та органічних речовин.

- Метан — найпростіша органічна сполука.

15. Складіть молекулярну і 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 ацетилену. Де використовують ці реакції?

- Функціональні групи визначають властивості речовин.

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

- Крохмаль, целюлоза, білки — природні полімери.

21. Схарактеризуйте біологічне значення цих сполук.

- Поліетилен — синтетичний полімер.

22. 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 роль теорії в системі наукових знань;
- засвоїти терміни: *ізомерія*, *взаємний вплив атомів у молекулі*, *структурна формула*.

### § 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, які 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 виділяти 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 впливом «життєвої сили». Такі погляди гальмували розвиток органічної хімії, і до середини XIX ст. синтетичні методи в цій галузі не розвивалися.

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



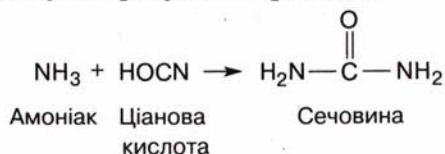
**Фрідріх Велер**

(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.



Сечовину було добуто в результаті реакції:



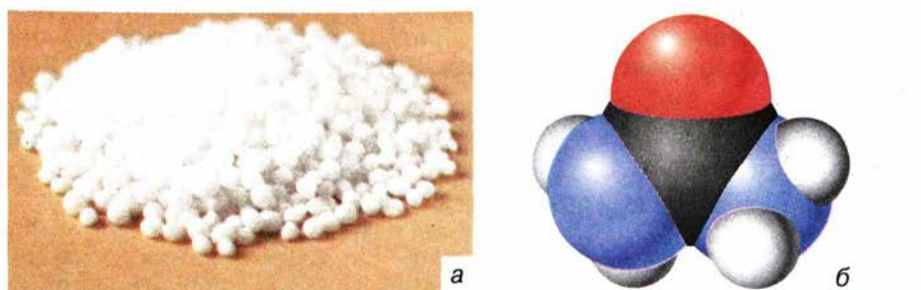
Сечовина належить до речовин тваринного походження і є продуктом білкового обміну в організмі (мал. 1, 2). У листі до Берцеліуса Велер написав, що може робити сечовину, не потребуючи для цього ні нирок, ні живої істоти взагалі, чи то людини, чи собаки. Це повідомлення стало науковою сенсацією.

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 кислоту.

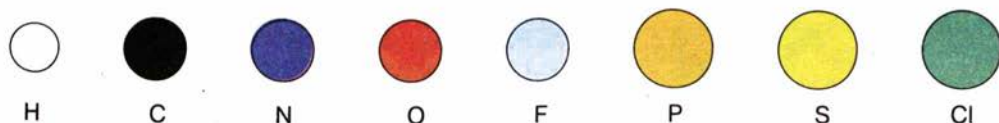
У 1854 р. французький учений П. Е. М. Бертло вперше синтезував жироподібну речовину, а в 1861 р. російський учений О. М. Бутлеров — цукристу речовину. Серед авторів перших синтезів органічних речовин є й український учений, академік Іван Якович Горбачевський. У 1882 р. він синтезував сечову (уреатну) 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.



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



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

**ТЕОРІЯ — ВИЩА ФОРМА НАУКОВИХ ЗНАТЬ.** Наука як система знань з певної галузі відображає дійсність у різних формах та на різних рівнях. До емпіричного (від грец. *емпірія* — досвід) рівня пізнання належать спостереження, експеримент, опис, які ви використовуєте під час лабораторних досліджень. На теоретичному (від грец. *теорія* — розгляд, дослідження) рівні мають місце узагальнення й пояснення того, що спостерігається, розкриття внутрішніх взаємозв'язків різних явищ.

Із курсів фізики, біології, математики вам відомі різні форми вираження наукових знань: теорії, закони, правила, аксіоми, постулати тощо. Теорія є вищою, найскладнішою та найдосконалішою формою наукового знання. До її складу можуть входити і закон, і правила, і принципи, вона передбачає наявність наслідків. Наприклад, в основі теорії відносності лежить принцип відносності, а наслідком, що випливає з цієї теорії, є сповільнення плину подій у разі швидкостей, наближених до швидкості світла.

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

У першій половині XIX ст. органічна хімія розвивалася емпіричним шляхом, тобто накопичувалися експериментальні факти, що їх було отримано під час виділення органічних речовин і вивчення їх якісного і кількісного складу, фізичних і хімічних властивостей. Як вам уже відомо з курсів біології та неорганічної хімії, сукупність наукових фактів на певному етапі потребує їх упорядкування за певними ознаками, або класифікації. Такі спроби робилися і щодо органічних сполук, пропонувалися різні теорії. Проте вони проіснували недовго, оскільки згідно з ними не можна було об'єктивно пояснити нові дослідні дані. Наприклад, було добуто сполуки, що мають один і той самий хімічний склад, але різні властивості (так звані *ізомери*). Тогочасна наука не пояснювала причини цього явища.

**ТЕОРІЯ ХІМІЧНОЇ БУДОВИ ОРГАНІЧНИХ СПОЛУК О. М. БУТЛЕРОВА.** У середині XIX ст. в органічній хімії виникли суперечності між накопиченими фактами і теоретичними уявленнями, на основі яких можна було б пояснити ці факти. У 1835 р. Ф. Велер у листі до Я. Берцеліуса

### 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 справедливність. 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.

писав: «Органічна хімія може нині кого завгодно звести з розуму. 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.

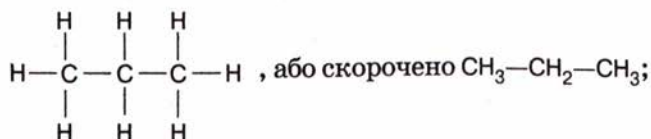
Проте, як засвідчує історія науки, для створення теорії недостатньо одних лише передумов. Потрібні нові ідеї, на основі яких можна будувати цілісну теорію. Які ж наукові ідеї було покладено О. М. Бутлеровим в основу нової теорії?

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.

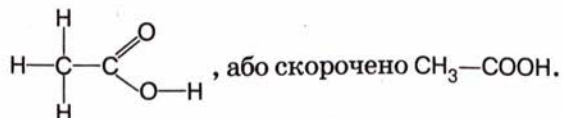
Наявність хімічної будови означає, що атоми в молекулі розміщуються не безладно, а в певному порядку згідно з їх валентністю.

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

Наприклад, пропан складу  $C_3H_8$  має структурну формулу



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  $H_2O$ , гідроген хлориду  $HCl$  і метану  $CH_4$ . Ці речовини містять елемент Гідроген, однак він виявляє різні властивості: у гідроген хлориді легко заміщується на металічний елемент, у воді заміщується лише на активний металічний елемент, у метані не заміщується на

металічний елемент. Гідроген по-різному поводить у 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 впливають один на одного.

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

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

Це положення встановлює закономірний зв'язок між складом, хімічною будовою і властивостями речовини і є одним із найважливіших законів хімії — **законом залежності властивостей речовин від їх складу і будови**.

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



### Завдання для самоконтролю.....

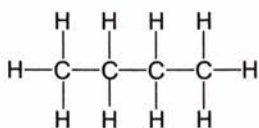
1. Наведіть приклади наукової класифікації, відомі вам з курсів біології та неорганічної хімії.
2. Наведіть приклади теорії, закону, постулату, гіпотези, аксіому з різних галузей знань.
3. Хто і коли вперше синтезував органічну речовину?
4. Поясніть значення перших синтезів органічних речовин для розвитку органічної хімії.
5. Схарактеризуйте положення, що склалося в органічній хімії у середині XIX ст.
6. Що таке хімічна будова органічних речовин?
- 7\*. Хімічну будову речовини можна схарактеризувати:
  - А молекулярною формулою;
  - Б молекулярною масою;
  - В структурною формулою.
8. Яка формула дає більше інформації про молекулу речовини — молекулярна чи структурна? Дайте докладні пояснення.
9. Поясніть, як ви розумієте взаємний вплив атомів у молекулі.

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

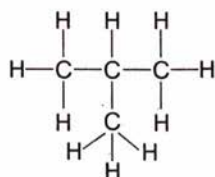
**ІЗОМЕРІЯ.** На основі теорії хімічної будови було пояснено деякі наукові факти, що не піддавалися тлумаченню, зроблено важливі наукові передбачення. Насамперед це стосується пояснення причин уже згадуваної ізомерії. У чому ж суть цього явища? Звернемося до структурних формул органічних сполук, які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

\* У цьому та подібних завданнях треба обрати правильну відповідь із кількох наведених.

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



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



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

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

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

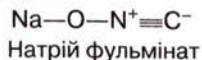
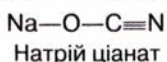
Для пентану складу  $C_5H_{12}$  можливі три варіанти будови, тобто такому складу відповідають три різні речовини.

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

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

Ми розглянули приклади так званої *структурної ізомерії*, зумовленої будовою карбонового скелета молекули. Далі ви ознайомитеся з іншими видами ізомерії.

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



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 і 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. Це положення покладено в основу створення речовин з необхідним комплексом технічних, біологічних та інших характеристик, наприклад барвників, полімерів, лікарських засобів тощо.

**РОЗВИТОК ТЕОРІЇ ХІМІЧНОЇ БУДОВИ.** Наукова теорія не є незмінною. Важливою особливістю справді наукової теорії є те, що ця форма знань здатна розвиватися разом з наукою. Часто система теоретичних знань, що склалися на певному історичному етапі, повністю або частково відкидалася у процесі розвитку науки. В історії хімії існувало багато теорій, які не витримали випробування часом і були спростовані, — віталістична теорія чи теорія флогістону. Щодо теорії хімічної будови органічних сполук, то її справедливність доведено подальшим розвитком науки.

У 70-х роках XIX ст. в органічній хімії виявили деякі випадки ізомерії, які не можна було пояснити лише різною хімічною будовою речовин. Пояснити явище — означає встановити його причину. Часом це можна зробити, користуючись наявними теоретичними знаннями, але 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 справедливність 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 основі найновіших на той час досягнень фізики було розкрито електронну природу хімічних зв'язків. Хімічна будова, структурні формули речовин наповнилися електронним змістом, з'ясувалася електронна сутність взаємного впливу атомів у молекулах.

Розвиток науки розширив поняття «будова органічних речовин». Якщо раніше розглядалася лише хімічна будова, 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.**

◆ Пригадайте, як змінилося формулювання періодичного закону Д. І. Менделєєва у зв'язку з розвитком науки.

Якщо теорія підтверджується практикою, то вона не відкидається у процесі поглиблення наукових знань, а включається до змісту нових теорій. Такий приклад вам відомий з фізики і стосується співвідношення теорії відносності й законів класичної механіки. Коли виявилось, що тіла, які рухаються зі швидкістю, наближеною до швидкості світла, не підлягають законам класичної механіки і виникла потреба пояснити це, було

створено теорію відносності й релятивістську механіку. При цьому класичну механіку не відкинуто, її положення справджуються за умови, що швидкості тіл значно менші від швидкості світла. Інший приклад — синтетична теорія еволюції, що інтегрувала теорії класичної і молекулярної генетики та природного добору.

Класична теорія хімічної будови — лише етап у розвитку теоретичних поглядів. 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 в сучасному трактуванні.
6. Схарактеризуйте значення теорії хімічної будови органічних сполук.



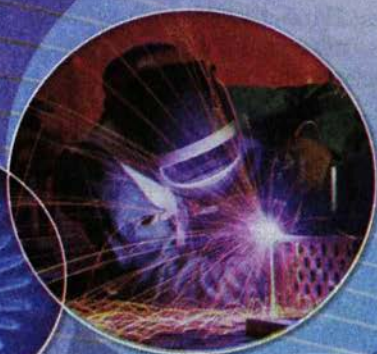
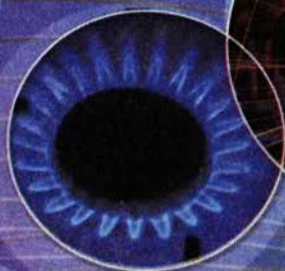
### Додаткові завдання.....

1. Чи можна стверджувати, що органічна хімія належить до молодих наук порівняно з:
  - А** астрономією; **Б** ботанікою; **В** інформатикою; **Г** генетикою?
2. Які нові наукові ідеї запропонував О. М. Бутлеров?
3. Що в законі Бутлерова є функцією, а що — аргументом?
4. Як теорія хімічної будови пояснює явище ізомерії?
5. Назвіть спільні та відмінні ознаки ізомерів.
6. Кожній сполуці відповідає лише одна хімічна формула. Чи можна стверджувати, що певній хімічній формулі відповідає тільки одна сполука? Для обґрунтування відповіді наведіть приклади органічних та неорганічних сполук.
7. Який зміст вкладає сучасна наука в поняття «будова речовини»?
8. Що означає схарактеризувати органічну речовину з погляду теорії будови?
9. Чи «працює» закон Бутлерова для неорганічних сполук? Наведіть приклади.
10. Що, на вашу думку, відбувається з науковою теорією, якщо вона не розвивається разом із наукою? 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, сформулював закон залежності властивостей органічних речовин від складу і хімічної будови їхніх молекул.
- Хімічну будову речовин можна наочно відтворити за допомогою структурних формул.
- Згідно із законом Бутлерова кожна речовина має властиву тільки їй хімічну будову. Отже, ізомерія — це наслідок, що випливає із цього закону.
- Закон Бутлерова і теорія хімічної будови набули розвитку завдяки просторовим і електронним уявленням про будову речовин.
- Сучасна теорія будови органічних речовин розглядає хімічну, просторову та електронну будову в єдності.

# ВУГЛЕВОДНІ







✓ АЛКАНИ



✓ ЦИКЛОАЛКАНИ



✓ АЛКЕНИ



✓ АЛКІНИ



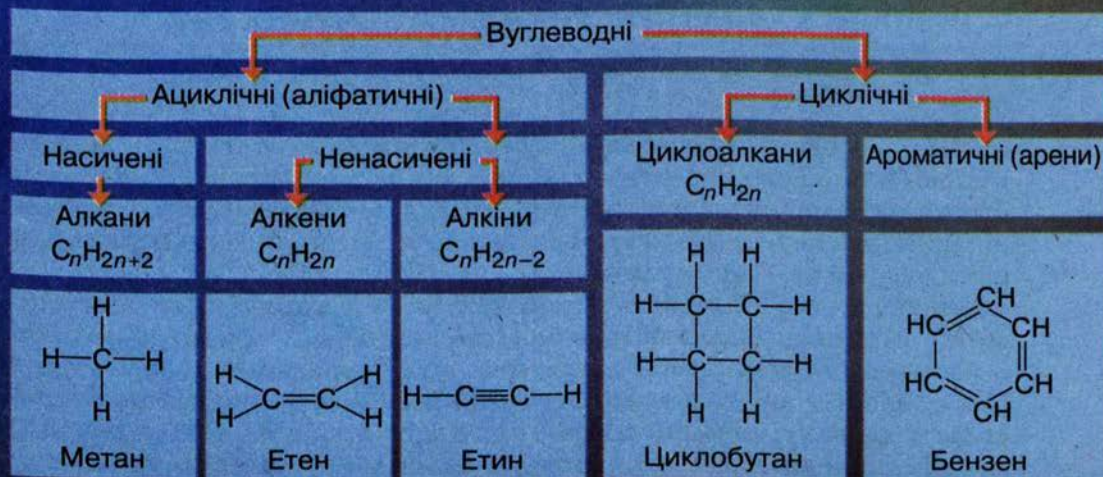
✓ АРЕНИ



✓ ПРИРОДНІ  
ДЖЕРЕЛА  
ВУГЛЕВОДНІВ

Щоб упорядкувати знання 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 функціональних груп. 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. А вуглеводні етан, етилен, ацетилен 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.



## 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;
- схарактеризувати ковалентні зв'язки;
- пояснити утворення простих і кратних карбон-карбонових зв'язків, електронну будову сполук;
- описати фізичні властивості сполук;
- пояснити реакційну здатність вуглеводнів;
- записати рівняння реакцій окиснення, заміщення, приєднання, розкладу, ізомеризації;
- пояснити механізм реакцій галогенування алканів і приєднання до алкенів, методи добування вуглеводнів;
- розповісти про застосування вуглеводнів;
- засвоїти терміни: *алкани, циклоалкани, алкени, алкіни, ацени, номенклатура, конформація, гібридизація електронних орбіталей,  $\sigma$ -зв'язок,  $\pi$ -зв'язок, піроліз, крекінг, радикал, (цис-, транс-) ізомерія*;
- виявити на досліді наявність Карбону, Гідрогену, Хлору в органічних сполуках, кратного зв'язку в молекулі.

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 впродовж навчання. Та спершу розглянемо, як утворюються карбон-карбонові зв'язки в органічних сполуках.

### § 4. УТВОРЕННЯ ХІМІЧНИХ ЗВ'ЯЗКІВ У ОРГАНІЧНИХ СПОЛУКАХ

#### ОСНОВНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ КОВАЛЕНТНИХ ЗВ'ЯЗКІВ

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

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

Енергію, що виділяється під час утворення зв'язку між окремими атомами, називають *енергією зв'язку*. Її можна розглядати і як енергію, яку треба затратити для розривання цього зв'язку. Отже, енергія зв'язку може бути мірилом його міцності: чим більша енергія зв'язку, тим він міцніший. Енергія зв'язку C—H у молекулі метану становить 411 кДж/моль, а зв'язку N≡N у молекулі азоту — 946 кДж/моль, отже, останній розірвати важче.

Проте атоми можуть зближуватися до певної межі, бо далі зростають сили відштовхування між їх ядрами. Відстань між ядрами, що відповідає мінімуму енергії молекули, визначає **довжину ковалентного зв'язку**. У молекулі метану довжина зв'язку С—Н становить 0,109 нм, а зв'язку С—С в молекулі етану — 0,154 нм.

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

Відомо, що ковалентні зв'язки бувають полярні й неполярні. Перші утворюються між атомами, що різняться своєю електронегативністю. Чим більша ця різниця, тим більша **полярність** ковалентного зв'язку.

Полярність зв'язку характеризують значенням дипольного моменту: чим воно більше, тим полярніший зв'язок.

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



Атоми Карбону і Гідрогену мають близькі значення електронегативності, тому зв'язок С—Н слабкополярний. Однак молекула метану загалом неполярна, оскільки полярність зв'язків урівноважується їх симетричною тетраедричною спрямованістю.

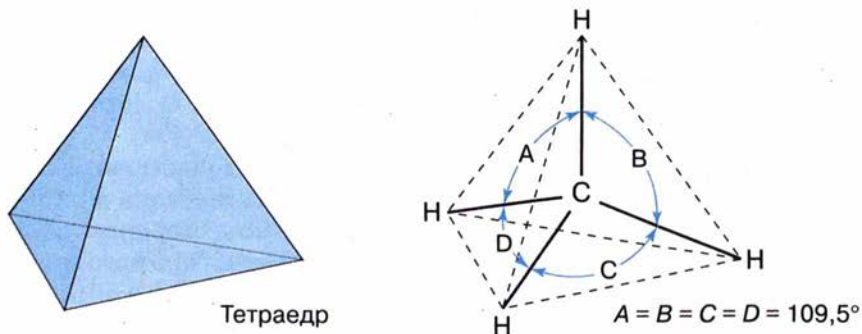
З ще однією характеристикою ковалентних зв'язків ви ознайомитеся нижче — це **просторова напрямленість**.

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

Таблиця 1

**Довжина, енергія та дипольний момент деяких ковалентних зв'язків**

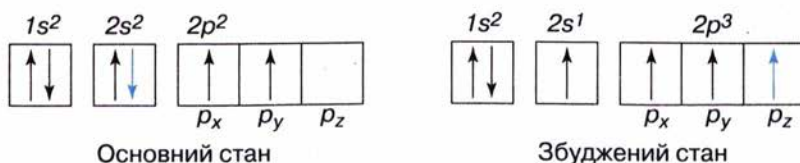
Зв'язок	Довжина, нм	Енергія, кДж/моль	Дипольний момент, D	Зв'язок	Довжина, нм	Енергія, кДж/моль	Дипольний момент, D
H—H	0,074	454	0	C—F	0,140	439	1,39
O—H	0,096	460	1,51	C—Cl	0,176	331	1,47
C—H	0,109	411	0,40	C—Br	0,194	285	1,42
C—O	0,143	351	0,70	C—C	0,154	348	0
C=O	0,121	711	2,40	C=C	0,134	614	0
C—N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



Мал. 3. Тетраедрична будова молекули метану

**ПРОСТИЙ С—С-ЗВ'ЯЗОК.** Молекула метану  $\text{CH}_4$  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).

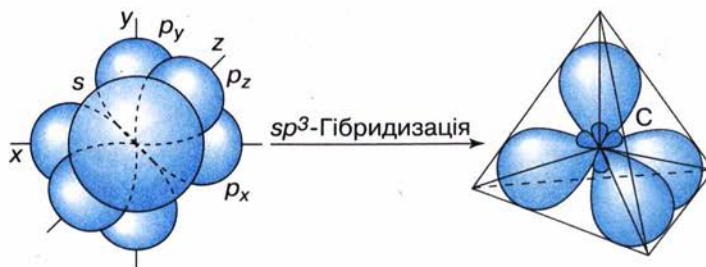


Мал. 4. Електронна конфігурація атома Карбону

У результаті переміщення одного  $2s$ -електрона на вільну  $2p$ -орбіталь атом має чотири неспарених електрони, здатних утворювати ковалентні зв'язки. Проте  $s$ - і  $p$ -електронні орбіталі мають різну форму: перші — форму кулі, другі — форму гантелі (об'ємної вісімки). Очевидно, внаслідок перекривання цих електронних орбіталей атома Карбону із  $s$ -електронними орбітальями атомів Гідрогену мали б утворитися нерівноцінні зв'язки С—Н. Однак відомо, що в молекулі метану всі зв'язки однакові, тобто утворені однаковими електронними орбітальями.

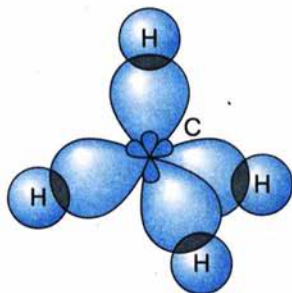
Для пояснення такої суперечності було запропоновано *гіпотезу гібридизації електронних орбіталей*. Згідно з цією гіпотезою в момент утворення молекули (залежно від умов реакції) одна  $s$ - і певна кількість  $p$ -електронних орбіталей атома Карбону гібридизуються (змішуються) і в результаті утворюються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

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

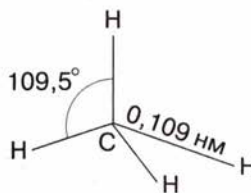


Мал. 5. Схема утворення  $sp^3$ -гібридних електронних орбіталей атома Карбону

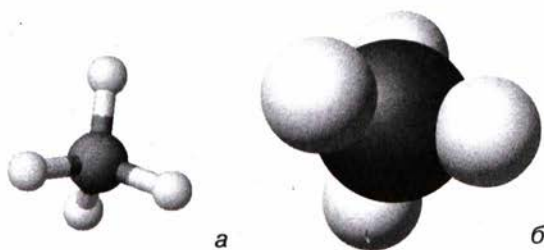
Описана форма електронних орбіталей атома Карбону забезпечує їх максимальне перекривання з електронними орбіталями атомів Гідрогену, що супроводжується утворенням так званих  $\sigma$ -зв'язків (мал. 6, 7).



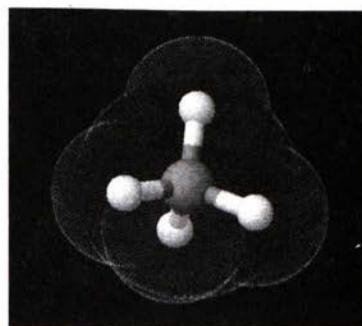
Мал. 6. Схема утворення  $\sigma$ -зв'язків у молекулі метану



Мал. 7. Геометрія молекули метану



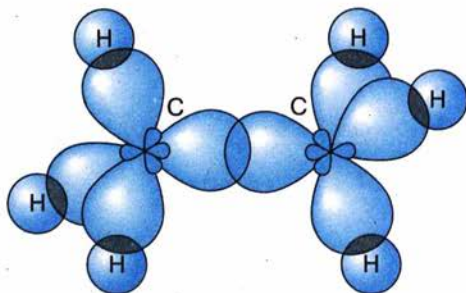
Мал. 8. Кулестержнева (а) й масштабна (б) моделі молекули метану



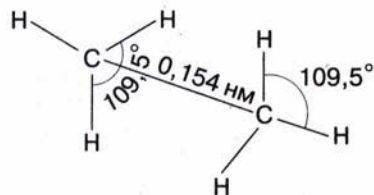
Мал. 9. Комп'ютерна модель молекули метану

- ◆ Пригадайте, які існують види моделей молекул. Які з них більше відповідають реальним молекулам?
- ◆ Розгляньте кулестержневу (а) й масштабну (б) моделі молекули метану (мал. 8). Порівняйте їх з комп'ютерною моделлю (мал. 9).

У молекулі етану  $C_2H_6$  обидва атоми Карбону перебувають у стані  $sp^3$ -гібридизації й утворюють  $\sigma$ -зв'язки між собою і атомами Гідрогену (мал. 10, 11).

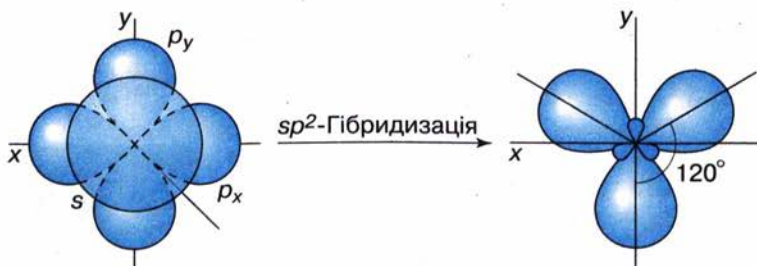


Мал. 10. Схема утворення  $\sigma$ -зв'язків у молекулі етану



Мал. 11. Геометрія молекули етану

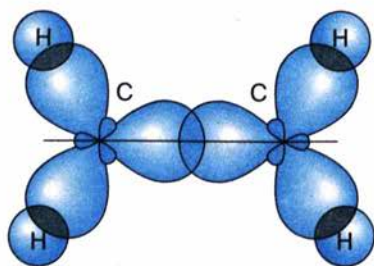
**ПОДВІЙНИЙ С=С-ЗВ'ЯЗОК.** Щоб з'ясувати природу подвійного зв'язку, знову звернемося до електронної будови атома Карбону в збудженому стані (див. мал. 4). Згідно з гіпотезою гібридизації в момент утворення молекули етену (етилену)  $\text{H}_2\text{C}=\text{CH}_2$   $s$ -електронна орбіталь атома Карбону гібридизується з двома  $p$ -електронними орбітальми, в результаті чого утворюються три нові  $sp^2$ -гібридні електронні орбіталі (мал. 12). Якщо уявити ядро атома Карбону в центрі трикутника, то  $sp^2$ -гібридні орбіталі напрямлені до його вершин, кут між ними становить  $120^\circ$ .



Мал. 12. Схема утворення  $sp^2$ -гібридних електронних орбіталей атома Карбону

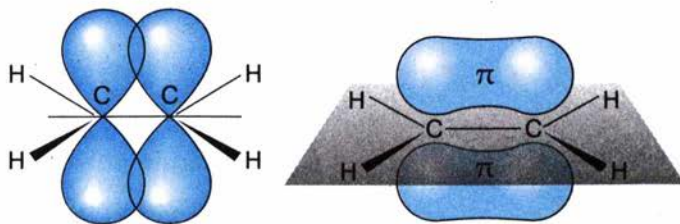
Гібридні електронні орбіталі двох атомів Карбону, перекриваючись, утворюють  $\sigma$ -зв'язок (мал. 13).

Негібридні  $p$ -електронні орбіталі двох атомів Карбону, перекриваючись, утворюють так званий  $\pi$ -зв'язок. Оскільки  $p$ -електронні орбіталі мають форму об'ємних вісімок, то перекривання відбувається над і під віссю  $\sigma$ -зв'язку (мал. 14). Отже, між атомами Карбону в молекулі етену утворюється подвійний зв'язок: один  $\sigma$ -, другий —  $\pi$ -зв'язок.

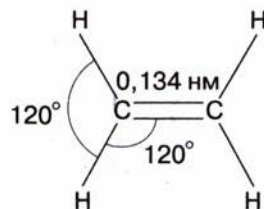


Мал. 13. Схема утворення  $\sigma$ -зв'язків у молекулі етену

Порівнюючи характеристики простого і подвійного зв'язків між атомами Карбону (див. табл. 1), можна помітити, що енергія подвійного зв'язку (614 кДж/моль) більша за енергію



Мал. 14. Схема перекривання  $p$ -електронних орбіталей і утворення  $\pi$ -зв'язку в молекулі етену



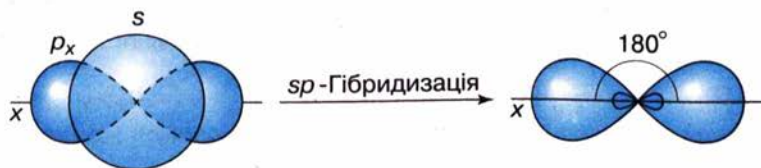
Мал. 15. Геометрія молекули етену

простого зв'язку (348 кДж/моль), але менша за його подвоєну енергію. Очевидно, що енергія  $\pi$ -зв'язку менша за енергію  $\sigma$ -зв'язку і становить:  $614 - 348 = 266$  (кДж/моль).  $\pi$ -Зв'язок менш міцний, оскільки його електронна густина зосереджена не між атомними ядрами, а вище і нижче від них. Просторово  $\pi$ -зв'язок доступніший для реагентів, під їх дією він поляризується і розривається.

Довжина подвійного карбон-карбонового зв'язку в молекулі етену (0,134 нм) менша, ніж у молекулі етану, оскільки в утворенні подвійного зв'язку беруть участь чотири електрони (по два від кожного атома Карбону), а простого — тільки два електрони. Позитивно заряджені ядра атомів Карбону в етені зв'язуються міцніше, ніж у молекулі етану, бо між ними містяться електрони, що мають більший сумарний негативний заряд (мал. 15).

**ПОТРІЙНИЙ С=C-ЗВ'ЯЗОК.** Розглянемо електронну природу потрійного зв'язку. Згідно з гіпотезою гібридизації атоми Карбону в молекулі етину (ацетилену)  $\text{HC}\equiv\text{CH}$  перебувають у стані  $sp$ -гібридизації. Це означає, що  $s$ -електронна орбіталь «змішується» з однією із трьох  $p$ -електронних орбіталей з утворенням двох  $sp$ -гібридних електронних орбіталей, а дві інші  $p$ -електронні орбіталі залишаються негібридними (мал. 16).

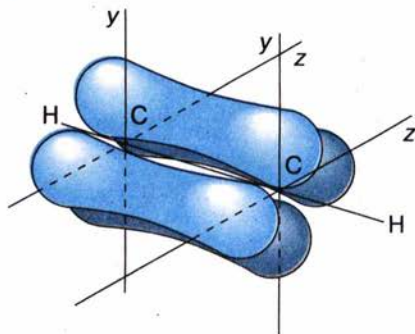
$sp$ -Гібридні електронні орбіталі двох атомів Карбону, перекриваючись, утворюють  $\sigma$ -зв'язок між собою та з атомами Гідрогену (мал. 17). Валентний кут у цьому разі становить  $180^\circ$ .



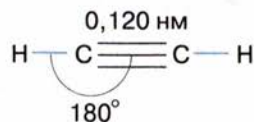
Мал. 16. Схема утворення  $sp$ -гібридних електронних орбіталей атома Карбону



Мал. 17. Схема утворення  $\sigma$ -зв'язків у молекулі етину



Мал. 18. Схема утворення  $\pi$ -зв'язку в молекулі етину



Мал. 19. Геометрія молекули етину

За рахунок перекривання негібридних  $p$ -електронних орбіталей утворюються два  $\pi$ -зв'язки (мал. 18). Ділянки перекривання  $p$ -електронних орбіталей лежать поза віссю  $\sigma$ -зв'язку. Електронна густина двох  $\pi$ -зв'язків зливається, набуваючи циліндричної форми, всередині якої зосереджується  $\sigma$ -зв'язок.

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

Геометрію молекули етину наведено на мал. 19. Довжина потрійного зв'язку (0,120 нм) менша порівняно з подвійним, а його енергія — більша (839 кДж/моль).



### Завдання для самоконтролю

1. На які групи поділяють вуглеводні? За якими ознаками?
2. Які електронні орбіталі беруть участь у  $sp^3$ -гібридизації?
3. Назвіть основні характеристики ковалентних зв'язків.
4. Ковалентний зв'язок тим міцніший, чим:
  - А** менша його довжина;
  - Б** більша його довжина;
  - В** більша його енергія;
  - Г** менша його енергія.
5. Чи можна вважати енергію хімічного зв'язку мірилом його міцності? Відповідь поясніть.
6. Зв'язки C—H слабкополярні, а молекула метану неполярна. Поясніть це.



### Додаткові завдання

1. Поясніть рівноцінність хімічних зв'язків у молекулі метану, спираючись на гіпотезу гібридизації.
2. Чи можна застосовувати до йонного зв'язку характеристику «напрямленисть»?
3. Як, на вашу думку, треба змінити склад молекули метану, щоб утворилася полярна молекула?
4. Поясніть причину достатньо високої стійкості молекули азоту.



## § 5. ГОМОЛОГІЧНИЙ РЯД МЕТАНУ

**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*.

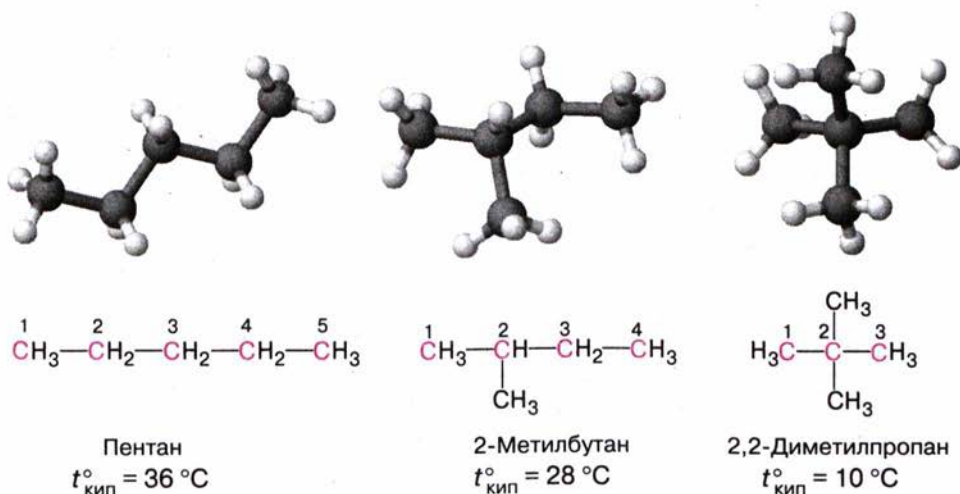
Загальна формула алканів —  $C_nH_{2n+2}$ .

◆ Складіть формулу алкану, що 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. 2).

**БУДОВА МОЛЕКУЛ.** Розгляньте самостійно це питання, використовуючи матеріал попереднього параграфа. Намалюйте схематично геометрію молекули пропану.

**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. 20).



Мал. 20. Структурні формули й моделі молекул ізомерів пентану

## Характеристики алканів

Назва	Формула		Температура, °С		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

## Лабораторний дослід 1.

## Виготовлення моделей молекул алканів

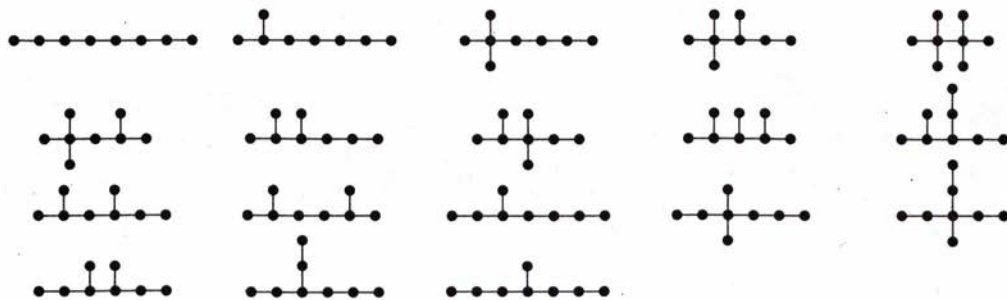
Д о с л і д А. Моделі ізомерів пентану.

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

Для складання моделі молекули пентану C<sub>5</sub>H<sub>12</sub> знадобиться пластилін двох кольорів. Виготовте п'ять кульок одного кольору більшого діаметра (атоми Карбону) і дванадцять кульок іншого кольору і меншого діаметра (атоми Гідрогену). З'єднайте між собою за допомогою сірників (хімічні зв'язки) кульки більшого діаметра, потім приєднайте до них кульки меншого діаметра, пам'ятаючи про чотири-валентність атомів Карбону.

Змініть послідовність сполучення атомів Карбону і приєднайте до них атоми Гідрогену. Ви переконаєтеся, що атоми можуть сполучатися в послідовності, якій відповідають структурні формули, наведені на мал. 20.

Зі зростанням кількості атомів Карбону в молекулі зростає число можливих ізомерів. Якщо для бутану C<sub>4</sub>H<sub>10</sub> існують два ізомери, для пентану C<sub>5</sub>H<sub>12</sub> — три, то для декану C<sub>10</sub>H<sub>22</sub> їх 75, а для ейкозану C<sub>20</sub>H<sub>42</sub> — 366 319 ізомерів.



Мал. 21. Схематична будова молекул ізомерів октану

На мал. 21 зображено схеми «скелетів» ізомерів октану C<sub>8</sub>H<sub>18</sub>. Складіть за цими схемами структурні формули.

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

Історично склалося, що для багатьох органічних сполук використовують традиційні, так звані *тривіальні* назви (від лат. *trivialis* — звичайний, буденний), які не підлягають жодним правилам і які можна лише запам'ятати. Наукові (*систематичні*) назви органічних речовин, 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<sub>n</sub>H<sub>2n+1</sub>. Приклади найпростіших з них наведено в таблиці 3.

*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-*.

## 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

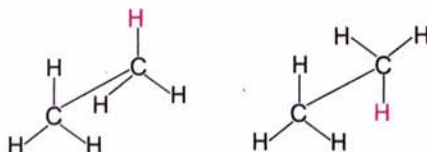
Сполука, формула якої  ${}^1CH_3-{}^2\underset{\underset{CH_3}{|}}{C}H-{}^3\underset{\underset{CH_2}{|}}{C}H-{}^4CH_2-{}^5CH_3$ , називається 2-метил-3-етилпентаном.

**КОНФОРМАЦІЯ.** Для подальшого вивчення будови алканів скористаємося моделями їх молекул.

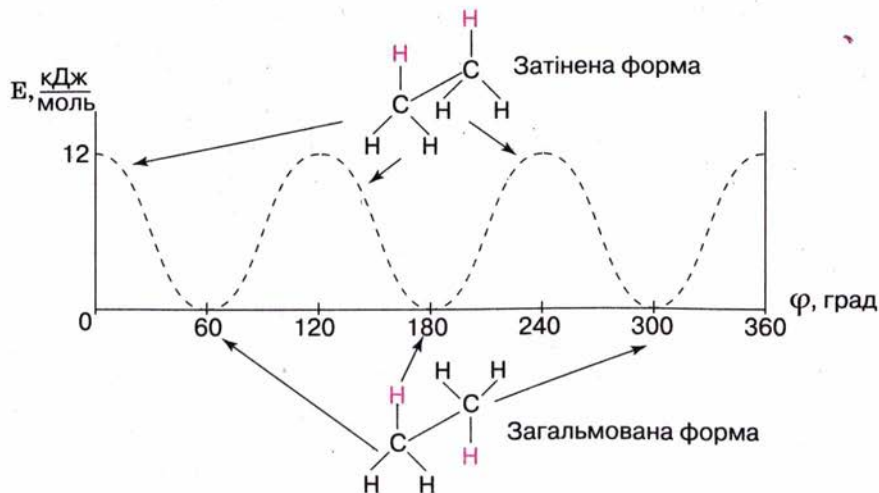
Дослід Б. Модель молекули етану.

Для складання моделі молекули *етану*  $C_2H_6$  також знадобиться пластилін двох кольорів. Виготовте дві кульки одного кольору більшого діаметра (атоми Карбону) і шість кульок іншого кольору і меншого діаметра (атоми Гідрогену). З'єднайте між собою за допомогою сірників (хімічні зв'язки) кульки більшого діаметра, потім приєднайте до них кульки меншого діаметра, пам'ятаючи про чотиривалентність атомів Карбону.

Зверніть увагу, що групи атомів  $CH_3$  можна вільно обертати навколо зв'язку  $C-C$ , при цьому можлива безліч взаємних положень атомів Гідрогену, зокрема такі:



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



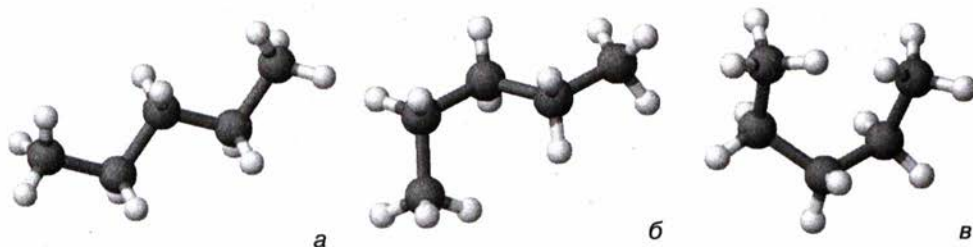
Мал. 22. Залежність потенціальної енергії молекули етану від взаємного розміщення етильних груп

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

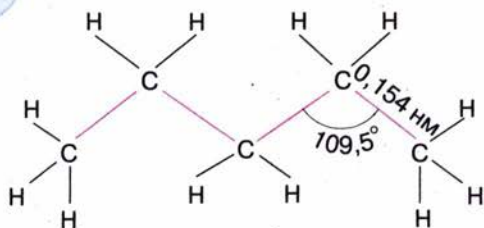
За низьких температур молекули перебувають в енергетично найвигіднішому стані, або, інакше кажучи, в *найстабільнішій конформації*. Для етану найстабільнішою (з мінімумом енергії) вважають ту форму, в якій атоми Гідрогену найвіддаленіші один від одного, відштовхування між ними є найменшим, а взаємодія — мінімальною. Цю форму називають *загальмованою*. Найменш імовірну (з максимумом енергії) форму молекули етану називають *затіненою* (мал. 22).

#### Д о с л і д В. Модель молекули пентану.

Складіть модель молекули пентану  $C_5H_{12}$ . Переконайтеся, що ланцюг карбовоних атомів може набувати різних просторових форм унаслідок вільного обертання навколо  $\sigma$ -зв'язків (мал. 23). Енергетично найвигіднішою конформацією є зигзагоподібна, оскільки в цьому разі атоми максимально віддалені один від одного (мал. 23, а).



Мал. 23. Моделі конформацій молекули пентану:  
а — зигзагоподібна; б — нерегулярна; в — клешнеподібна



Мал. 24. Геометрія молекули пентану

Зверніть увагу, що під час конформаційних переходів порядок сполучення атомів у молекулі не змінюється, сталими залишаються й такі її параметри, як валентний кут, довжина зв'язків (мал. 24).

Оскільки існування конформацій пов'язане з енергетичними характеристиками сполук, знання про них, їхню структуру мають значення для

пояснення реакційної здатності речовин, механізмів реакцій тощо. Конформації позначаються на властивостях полімерів, функціонуванні біологічно активних речовин, таких як білки та нуклеїнові кислоти.

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

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

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

На використанні фізичних властивостей речовин ґрунтується багато промислових процесів, зокрема перегонка нафти, тобто розділення її на компоненти за температурами кипіння. Розділення або очищення речовин перекристалізацією з розчину залежить від їх розчинності в різних розчинниках, у тім числі у воді.

У шкільному курсі хімії розглядають такі характеристики речовин, як температури плавлення і кипіння, густина, розчинність, згодом ви ознайомитеся зі спектральними характеристиками. Останні широко використовують для ідентифікації (від лат. *identicus* — тотожний та *ficatio* — здійснювання, ототожнення, прирівнювання) речовин.

Фізичні властивості речовин залежать від їхньої будови. Розглянемо, як вона позначається на температурах плавлення і кипіння.

Щоб розплавити речовину, треба зруйнувати її кристалічну структуру. Як вам відомо, органічні сполуки утворюють переважно молекулярні кристали, структурними одиницями яких є молекули. Між ними діють незначні міжмолекулярні сили. Вони легко руйнуються внаслідок нагрівання. Тому органічні речовини молекулярної будови плавляться за порівняно низьких температур на відміну від неорганічних сполук йонної будови. Згідно із законом Кулона в йонних кристалах структурні одиниці утримуються набагато більшими за

значенням міжйонними силами, отже, треба затратити більше енергії, щоб подолати їх і розплавити речовину.

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

Чим довший карбоновий ланцюг молекули, тим більше сумарне притягання між такими молекулами і тим важче його подолати під час нагрівання цієї речовини. Звернувшись до наведених у таблиці 2 фізичних констант алканів, можна помітити, що зі збільшенням кількості атомів Карбону в молекулі зростають температури плавлення і кипіння цих речовин. Перші чотири речовини за стандартних умов — гази. Далі йдуть рідини, а починаючи з вуглеводню складу  $C_{18}H_{38}$  (у таблиці 2 не наведено) — тверді речовини. Від пентану в кожного наступного члена ряду температури кипіння зростають на 20—30 °С.

Насичені вуглеводні нормальної будови мають вищі температури кипіння порівняно з їхніми ізомерами розгалуженої будови. Це загальне правило для всіх органічних сполук, а пояснюється воно тим, що сполуки нормальної будови мають щільнішу «упаковку» кристала. Щоб його зруйнувати (розплавити), потрібна більша енергія, отже, й вища температура.

♦ Зробіть припущення щодо причини такої залежності.

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

Пропан і бутан легко скраплюються за підвищеного тиску.

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

Газуваті й тверді алкани не мають запаху, 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 добавлянням спеціальних речовин — меркаптанів.

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

Основне природне джерело насичених вуглеводнів — нафта.

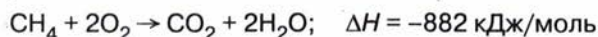
**ХІМІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ.** За звичайних умов алкани **хімічно інертні**, не взаємодіють з кислотами, лугами, з таким сильним окисником, як калій перманганат. У цьому можна переконатися на досліді, діючи на різні насичені вуглеводні розчинами названих речовин. Якщо метан пропускати крізь розчин калій перманганату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

Низька реакційна здатність алканів зумовлена порівняно високою енергією зв'язків C—C і C—H (відповідно 348 і 411 кДж/моль). Для розриву цих зв'язків та ініціювання реакції за їх участю потрібні

досить жорсткі умови, наприклад висока температура, наявність катализатора, 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. 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 налита в циліндр, стає каламутною. Отже, внаслідок згоряння метану виділяються вода і вуглекислий газ:



Характер горіння алканів залежить від їх складу. Вищі алкани (ті, що мають високі молекулярні маси) горять кіптявим полум'ям. Запалимо у 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. Пам'ятайте, що ознакою неповного окиснення метану в побутових газових приладах є жовте забарвлення полум'я, якого йому надають розжарені часточки вуглецю.

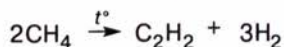
◆ Пригадайте дію чадного газу на організм людини. Яким чином можна вберегтися від отруєння ним?

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

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

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

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



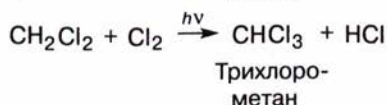
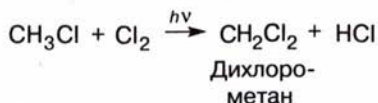
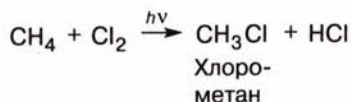
Етин (ацетилен)



Розщеплення сполук під дією нагрівання називають *піролізом* (від грец. *nip* (*nipos*) — 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 участю водню). Залежно від умов крекінг алканів супроводжується відщепленням водню, утворенням нижчих вуглеводнів, ізомеризацією, циклізацією тощо. Про все це ви дізнаєтеся під час вивчення процесів переробки нафти.

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



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

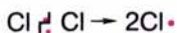
**Механізм реакції галогенування.** Для того щоб керувати хімічною реакцією, впливати на її результат, вихід продуктів та умови їх утворення, треба знати, яким шляхом ця реакція відбувається, які має стадії, як впливають на неї зовнішні чинники. Такий опис хімічної реакції називають *механізмом реакції*.

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

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

**Перша стадія: ініціювання реакції.**

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



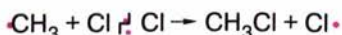
Ці частинки, які називають **радикалами**, є дуже реакційноздатними.

Друга стадія: *розвиток ланцюга*.

Унаслідок зіткнення з молекулою метану радикал відщеплює від неї атом Гідрогену, при цьому утворюється новий радикал, що має неспарений електрон, — *метил*:



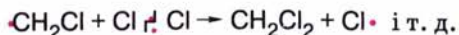
Стикаючись із молекулою хлору, метильний радикал відщеплює від неї атом Хлору, утворюючи молекулу хлорометану. Натомість залишається радикал Хлору:



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

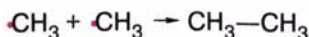


Ланцюг може розвиватися далі:



Третя стадія: *обривання ланцюга*.

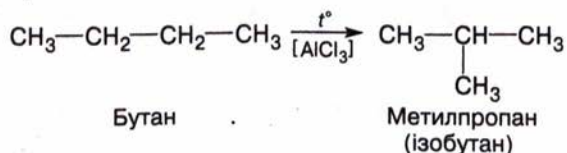
У разі зіткнення радикалів між собою ланцюг обривається:



Реакція припиняється, коли зникають усі вільні радикали.

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

**Реакція ізомеризації**. Під дією підвищеної температури та за наявності каталізатора алкани здатні до **ізомеризації**:



Реакція ізомеризації має значення для добування потрібних сортів пального. Про це ви дізнаєтеся згодом.



**Євген Олексійович Шілов**

(1893—1970)

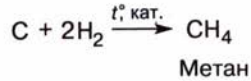
Український хімік, академік, працював у Інституті органічної хімії АН України. Вивчав механізми органічних реакцій, зокрема галогенування. Досліджував також питання теорії і практики вибілювання рослинних волокон.

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

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

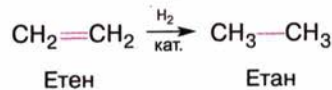


Нагріванням вуглецю з воднем можна синтезувати метан:

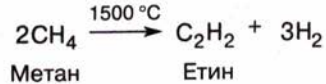


◆ Чому, на вашу думку, ця реакція становить теоретичний інтерес?

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



**ЗАСТОСУВАННЯ.** *Метан* — не лише паливо з великою тепловою здатністю, а й цінна хімічна сировина. З метану добувають вуглець (сажу) для виготовлення гуми, друкарських фарб. Також з метану добувають етин (ацетилен):



Так само, як і метан, цінними продуктами є *пропан і бутан* — газ, що легко скраплюється (мал. 25).

Ці газид є вихідними речовинами для синтезу багатьох органічних речовин.



Мал. 25. Резервуар для зберігання скрапленого природного газу

З курсу хімії 9 класу вам відомо, що метан — основна складова біогазу, який є продуктом розкладу й бродіння органічних залишків. Установки 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. Складіть 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.

Про застосування інших алканів ви дізнаєтеся під час вивчення переробки нафти.

### Висновки

- Ковалентні зв'язки характеризуються просторовою напрямленістю, довжиною, енергією, полярністю.
- Основні параметри молекул алканів:  
тип гібридизації електронних орбіталей атомів Карбону —  $sp^3$ ;  
вид зв'язків —  $\sigma$ -зв'язки;  
довжина зв'язку C—C — 0,154 нм;  
енергія зв'язку C—C — 348 кДж/моль;  
валентний кут —  $109,5^\circ$ .
- Алканам властива структурна ізомерія, зумовлена будовою карбонового скелета.
- Молекули алканів можуть існувати в різних конформаціях, зумовлених обертанням атомів навколо C—C-зв'язків. Найімовірніша форма карбонового ланцюга — зигзагоподібна.
- Загальна формула насичених вуглеводнів (алканів, парафінів) —  $C_nH_{2n+2}$ .
- В основу систематичної номенклатури алканів покладено назви сполук нормальної будови.
- Алкани — неполярні або слабкополярні сполуки, нерозчинні у воді. Температури плавлення і кипіння алканів зростають пропорційно зростанню їхніх молекулярних мас.
- Завдяки значній міцності C—C-зв'язків алкани хімічно стійкі за стандартних умов.
- За певних умов алкани вступають у реакції трьох типів: окиснення, розкладу, заміщення.
- Алкани горять з утворенням вуглекислого газу і води.
- Реакції заміщення в алканів відбуваються за радикальним механізмом.
- Природними джерелами алканів є корисні копалини: природний газ, нафта, кам'яне вугілля.



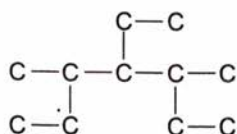
### Завдання для самоконтролю

1. Перелічіть параметри молекул алканів.
2. Що є причиною ізомерії алканів?  
**А** Електронегативність атомів Карбону;  
**Б** довжина карбонового ланцюга;  
**В** структура карбонового ланцюга;  
**Г** конформації молекул.
3. Складіть формули ізомерів гексану та назвіть їх за систематичною номенклатурою.

4. Яка конформація етану є енергетично найвигіднішою? Чому?
5. Поясніть, чому карбоновий ланцюг вуглеводнів набуває зигзагоподібної форми.
6. З якою метою вивчають фізичні властивості речовин?
7. Перелічіть характерні фізичні властивості алканів.
8. За допомогою яких хімічних проб можна довести хімічну стійкість алканів?
9. У чому полягають особливості реакцій горіння алканів різного складу? Чим вони зумовлені?
10. Що таке повне і часткове окиснення вуглеводнів? Наведіть приклади.
11. Що таке механізм реакції? З якою метою вивчають механізми реакцій?
12. Поясніть механізм реакції хлорування метану.
13. Обґрунтуйте застосування алканів їхніми хімічними властивостями.
14. Яких правил безпеки слід дотримувати під час використання в побуті метану та інших алканів?

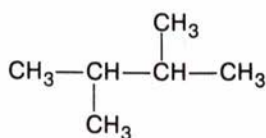
### Додаткові завдання

1. Доведіть на моделях, що зигзагоподібна форма карбонового ланцюга є просторово найвигіднішою.
2. Позначте назву алкана з такою будовою карбонового скелета:

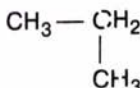


- А** гептан;  
**Б** 4-етил-3,5-диметилгептан;  
**В** 3-бутил-4-метилгептан;  
**Г** пентадекан.

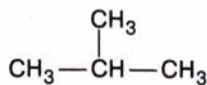
3. Позначте ізомери серед наведених сполук.  
**А** 2, 7; **Б** 3, 5; **В** 1, 6; **Г** 2, 3.



(1)



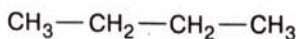
(2)



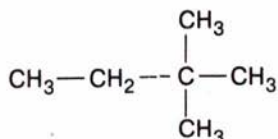
(3)



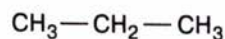
(4)



(5)



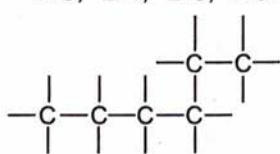
(6)



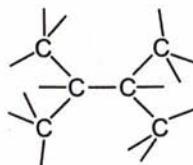
(7)

4. За даними таблиці 2 (с. 26) накресліть графік залежності температур кипіння алканів нормальної будови від кількості атомів у молекулі. Який характер має ця залежність — монотонний чи періодичний?
5. Продовжіть графік штриховою лінією. Яку температуру кипіння можна припустити для сполуки складу  $\text{C}_{15}\text{H}_{32}$ ?  
**А** 180—190 °С; **Б** 190—220 °С; **В** 220—250 °С; **Г** 250—270 °С.
6. Складіть формули двох ізомерних алканів, які є газами і мають густину за воднем 29.
7. Якого об'єму кисень треба затратити для спалювання суміші газів об'ємом 1 м<sup>3</sup>, що складається з 75 % метану та 25 % етану?

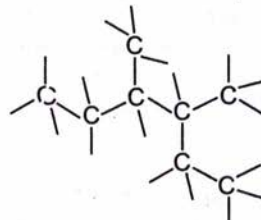
8. Позначте число сполук, яким належать карбонові скелети.  
**А 3; Б 4; В 5; Г 6.**



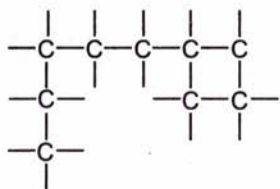
(1)



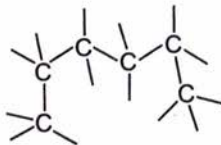
(2)



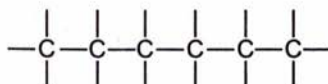
(3)



(4)



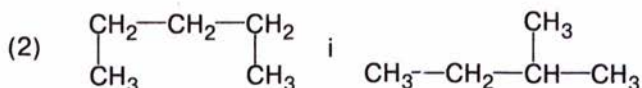
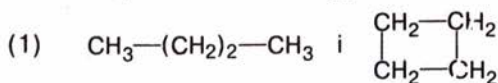
(5)



(6)

Складіть молекулярні формули цих сполук. Назвіть ізомери.

9. Спалили речовини такої будови:



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

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

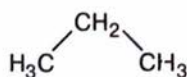
**А  $2,5 \text{ м}^3$ ; Б  $5 \text{ м}^3$ ; В  $10 \text{ м}^3$ ; Г  $20 \text{ м}^3$ .**

11. Поясніть, чому метан є хімічно найстійкішим з алканів.

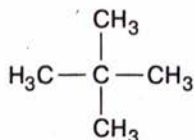
12. Поясніть, чому саме ультрафіолетове випромінювання ініціює реакцію хлорування метану. Енергія зв'язку  $\text{Cl}-\text{Cl}$  становить  $243 \text{ кДж/моль}$ , енергія одного кванта ультрафіолетового світла становить  $396 \text{ кДж/моль}$ , інфрачервоного світла —  $3,96 \text{ кДж/моль}$ .

13. Позначте гомологи серед наведених сполук.

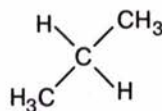
**А 1, 5, 6; Б 1, 3; В 3, 4; Г 2, 4.**



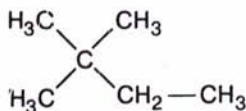
(1)



(2)



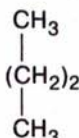
(3)



(4)

 $\text{C}_2\text{H}_6$ 

(5)



(6)

14. Спалили алкан кількістю речовини 0,1 моль; добули вуглекислий газ (0,5 моль) і воду (0,6 моль). Формула алкану:  
 А  $\text{CH}_4$ ; Б  $\text{C}_2\text{H}_6$ ; В  $\text{C}_4\text{H}_{10}$ ; Г  $\text{C}_5\text{H}_{12}$ .
15. Для спалювання суміші метану і пропану об'ємом  $10 \text{ см}^3$  затратили кисень об'ємом  $41 \text{ см}^3$ . Склад суміші газів у відсотках становить:  
 А 50 % і 50 %; Б 30 % і 70 %; В 15 % і 85 %; Г 55 % і 45 %.
16. На основі даних таблиці 4 та враховуючи, що теплота згоряння вугілля (у перерахунку на чистий вуглець) становить  $394 \text{ кДж/моль}$ , поясніть, який продукт — метан чи вугілля — доцільніше (за масою) використовувати як паливо у побуті. Які переваги і недоліки цих видів палива?

Таблиця 4

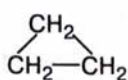
## Теплота згоряння вуглеводнів

Назва алкану	Формула	Теплота згоряння, кДж/моль	Назва алкану	Формула	Теплота згоряння, кДж/моль
Метан	$\text{CH}_4$	890	Пентан	$\text{C}_5\text{H}_{12}$	3536
Етан	$\text{C}_2\text{H}_6$	1560	Гексан	$\text{C}_6\text{H}_{14}$	4141
Пропан	$\text{C}_3\text{H}_8$	2220	Гептан	$\text{C}_7\text{H}_{16}$	4817
Бутан	$\text{C}_4\text{H}_{10}$	2878	Октан	$\text{C}_8\text{H}_{18}$	5474

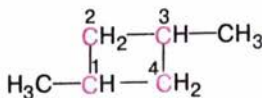


## § 6. ЦИКЛОАЛКАНИ

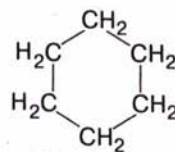
**СКЛАД І БУДОВА МОЛЕКУЛ.** Атоми Карбону в стані  $sp^3$ -гібридизації можуть сполучатися з утворенням не лише ланцюгових, а й циклічних молекул, наприклад:



Циклопропан



1,3-Диметилциклобутан

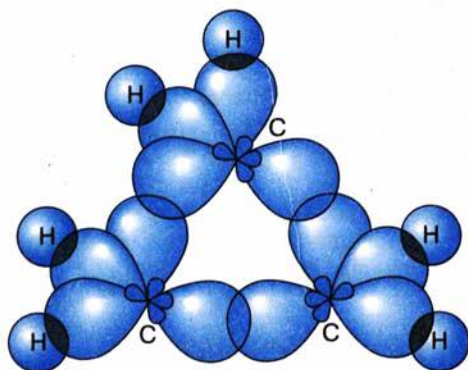


Циклогексан

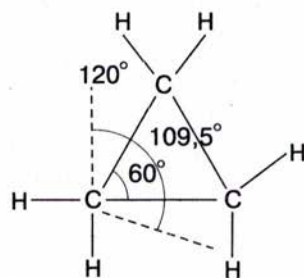
Ці сполуки належать до **циклоалканів**, або **циклопарафінів**. У їх молекулах міститься на два атоми Гідрогену менше, ніж у молекулах алканів; загальна формула циклоалканів  $\text{C}_n\text{H}_{2n}$ .

**Назви** циклоалканів утворюють від назв алканів з відповідною кількістю атомів Карбону з додаванням слова **цикло**. Перед назвою цифрою зазначають місце і назву замісників у алфавітному порядку.

Розглянемо будову молекули циклопропану, що має трикутну форму (мал. 26, 27). Оскільки кути в правильному трикутнику дорівнюють  $60^\circ$ , тобто менші від тетраедричного кута  $109,5^\circ$ , електронні хмари атомів Карбону, що перебувають у стані  $sp^3$ -гібридизації, не здатні перекриватися максимально й утворювати міцні С—С-зв'язки. Відхилення від тетраедричного кута створює в молекулі певне напруження,



Мал. 26. Схема утворення  $\sigma$ -зв'язків у молекулі циклопропану



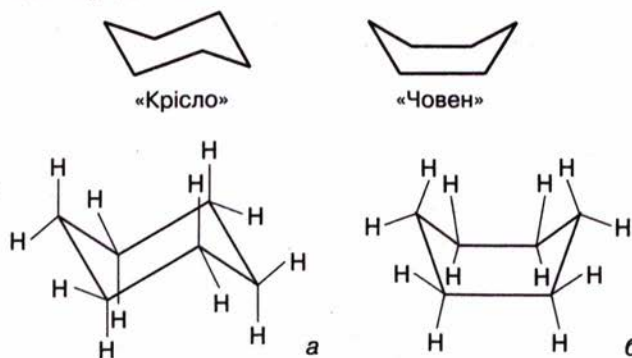
Мал. 27. Геометрія молекули циклопропану

внаслідок чого молекула циклопропану нестійка. Це напруження дістало назву *кутового*, або *байєрівського*, *напруження* за іменем німецького хіміка А. Байєра — автора так званої теорії напруження циклів (1885 р.).

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

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

Виходить, що вчений помилявся? Так, і помилка полягала в тому, що Байєр вважав усі цикли плоскими. Сучасна наука довела, що плоскою є лише молекула циклопропану, інші ж циклоалкани існують у різних неплюсних конформаціях, що утворюються внаслідок обертання атомів навколо С—С-зв'язків. При цьому зберігаються валентні кути  $109,5^\circ$  і довжини зв'язків  $0,154$  нм. Для циклогексану припускають існування конформацій «крісло» і «човен». Такі назви вони дістали через подібність до форм цих предметів.



Мал. 28. Конформації циклогексану: а — «крісло»; б — «човен»



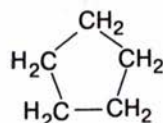
Теоретичні обчислення засвідчують, що форма «човен» має більшу енергетичну напруженість порівняно з формою «крісло», тому можна стверджувати, що для циклогексану переважною є конформація «крісло» (мал. 28).

Для циклопентану енергетично найвигіднішою є форма «конверт»:

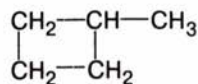


«Конверт»

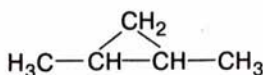
**ІЗОМЕРІЯ** циклоалканів зумовлена розміром циклу і будовою бічних відгалужень. Наприклад, складу  $C_5H_{10}$  відповідають такі ізомерні циклопарафіни:



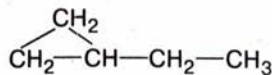
Циклопентан



Метилциклобутан

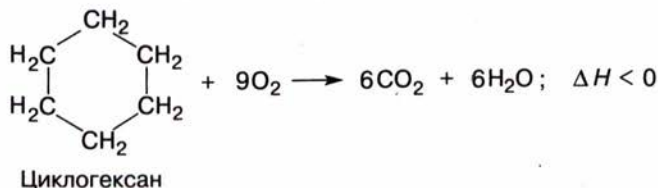


Диметилциклопропан



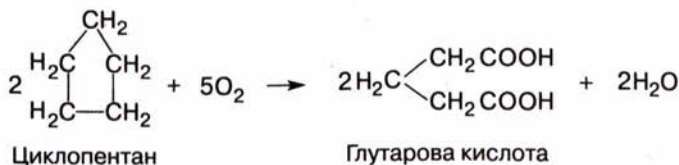
Етилциклопропан

**ХІМІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ.** Реакції повного і часткового окиснення. Подібно до алканів циклоалкани **горять**, утворюючи вуглекислий газ і воду:



Циклогексан

У результаті реакції **часткового окиснення** утворюються оксигеновмісні органічні сполуки:

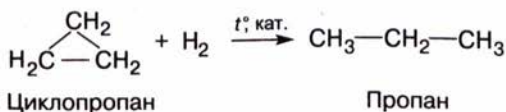


Циклопентан

Глутарова кислота

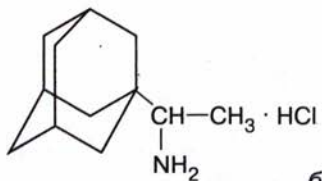
**Реакція приєднання.** Циклопропан і циклобутан, молекули яких є найменш стійкими, вступають у реакції приєднання водню з розкриванням циклу.

У результаті реакції «знімається» напруження в циклі й утворюється стійка молекула алкану:



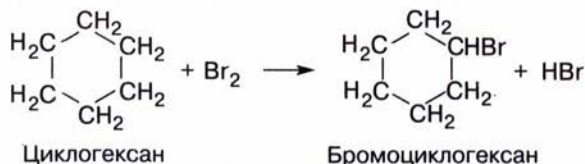
Циклопропан

Пропан



Мал. 29. Структури адамантану (а) та ремантадину (б)

**Реакція заміщення.** Подібно до алканів циклоалкани зі стійкими циклами, такі як циклопентан і циклогексан, вступають у реакції заміщення (галогенування, нітрування):



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

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

Джерелом добування інших циклоалканів у лабораторії є *органічний синтез*.

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

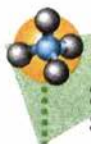
*Циклопентан* застосовують у промисловості як розчинник та в органічному синтезі.

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

Три циклогексанових кільця у формі «крісла» утворюють молекулу *адамантану* (мал. 29, а). Похідні цієї сполуки чинять противірусну дію, і тому їх використовують у фармації. Зокрема, це відомий протигрипозний засіб *ремантадин* (мал. 29, б). У його промисловій розробці брали участь українські вчені-хіміки.

## Висновки

- Циклоалкани — насичені вуглеводні циклічної будови.
- Загальна формула циклоалканів —  $\text{C}_n\text{H}_{2n}$ .
- Циклоалканам властива структурна ізомерія, зумовлена розміром циклу і будовою бічного відгалуження.
- Стійкість молекул циклоалканів залежить від будови циклів.
- Для циклогексану енергетично найвигіднішою є конформація «крісло».
- Менш стійкі цикли вступають у реакції приєднання, стійкіші — в реакції заміщення.
- Природним джерелом п'яти- і шестичленних циклоалканів є нафта.



## Завдання для самоконтролю

1. Поясніть назву «циклоалкани».
2. Наведіть загальну формулу циклоалканів.
3. Наведіть структурні формули кількох ізомерів циклогексану.

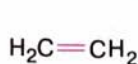
- Опишіть будову молекули циклогексану. Яка конформація є переважною для цієї молекули?
- У чому полягала помилка А. Байєра?
- Які реакції характерні для п'яти- і шестичленних циклоalkanів?
- Що таке нафтени?
- Схарактеризуйте значення циклоalkanів та їхніх похідних для медицини.

### Додаткові завдання

- Поясніть причину стійкості (або нестійкості) молекул циклоalkanів.
- Як будова молекул циклоalkanів позначається на хімічних властивостях цих сполук?
- Порівняйте хімічні властивості алканів і циклоalkanів.
- Чому саме нафтени трапляються в природі у вільному стані?
- У вуглеводні масова частка Гідрогену становить 14,3 %, густина пари за воднем — 21. Щодо цієї сполуки правильними є твердження:  
**А** приєднує водень; **Б** існує в конформаціях «човен» і «крісло»;  
**В** атоми Карбону перебувають у стані  $sp^3$ -гібридизації; **Г** є першим членом гомологічного ряду.

## § 7. ГОМОЛОГІЧНИЙ РЯД ЕТЕНУ

**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)  $C_2H_4$  (мал. 30):



Структурна  
формула



Електронна  
формула

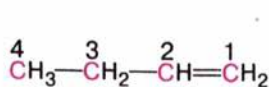


Мал. 30. Модель молекули етену

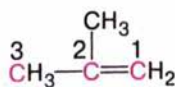
Етен започатковує гомологічний ряд **алкенів**. Загальна формула ряду —  $C_nH_{2n}$ . У таблиці 5 наведено константи вуглеводнів ряду етену нормальної будови.

**БУДОВА МОЛЕКУЛ.** Розгляньте самостійно це питання, використовуючи матеріал § 4. Намалюйте схематично геометрію молекули пропену.

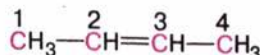
**ІЗОМЕРІЯ.** Алкенам властива *структурна ізомерія* карбонового скелета і положення кратного зв'язку:



Бут-1-ен

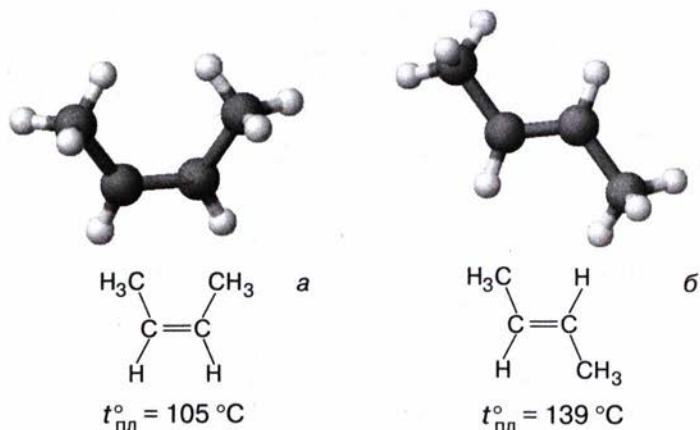


2-Метилпроп-1-ен



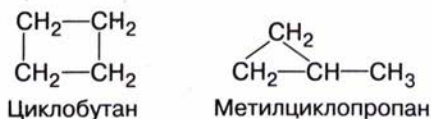
Бут-2-ен

Загальна формула алкенів збігається із загальною формулою циклоalkanів, тобто ці групи вуглеводнів мають однаковий склад, але різну будову, а значить, є ізомерами. Такий особливий вид структурної



Мал. 31. Моделі просторових ізомерів бут-2-ену:  
а — цис-ізомер; б — транс-ізомер

ізомерії називають *міжгруповою ізомерією*. Отже, до структурних ізомерів бутену належать і циклобутан, і метилциклопропан:



Для етенових вуглеводнів характерний ще один вид ізомерії, з яким ви досі не стикалися. Розглянемо його на прикладі молекули бут-2-ену. На моделях ви можете переконатися, що можливі два варіанти будови молекули залежно від просторового розміщення атомів (мал. 31). Два вуглеводневі радикали розміщуються з одного або різних боків від подвійного зв'язку.

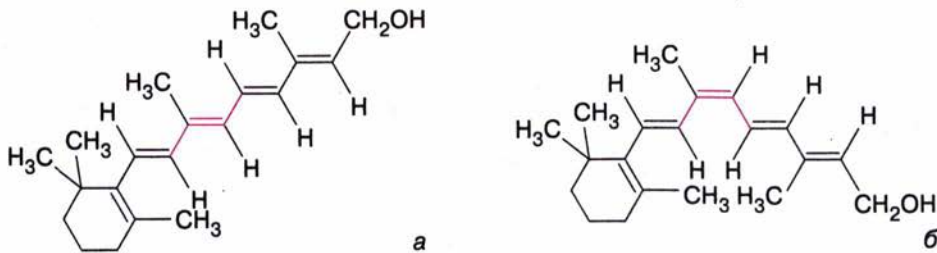
Щоб першу структуру перетворити на другу, треба повернути атоми Карбону навколо подвійного зв'язку. Оскільки електронна густина  $\pi$ -зв'язку зосереджена над і під площиною молекули, то таке обертання неможливе без розриву зв'язку, тобто без додаткової затрати енергії. Отже, навколо подвійного зв'язку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

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

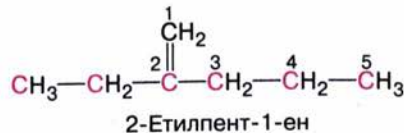
*Цис-, транс-ізомерія* можлива в тому разі, якщо біля атомів Карбону, сполучених подвійним зв'язком, є різні замісники.

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

*Цис-, транс-ізомерія* відіграє важливу роль у природі. Деякі біологічно важливі речовини виявляють свої функції, перебуваючи в якійсь одній формі — *цис-* або *транс-*. Наприклад, вітамін А є *транс-ізомером* (мал. 32, а).

Мал. 32. Вітамін А належить до *транс*-ізомерів (а)

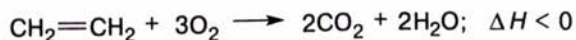
**НОМЕНКЛАТУРА.** За правилами систематичної номенклатури назви алкенів утворюють від назв алканів заміною суфікса *-ан* на *-ен*. Насамперед треба визначити найдовший карбоновий ланцюг, у якому є подвійний зв'язок, і пронумерувати атоми з кінця, ближчого до подвійного зв'язку; перед назвою цифрою позначити місця замісників і їхні назви в абетковому 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. 5). Алкени розгалуженої будови мають нижчі температури плавлення порівняно зі сполуками нормальної будови.

Пригадайте фізичні властивості алканів і поясніть причину цього явища.

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

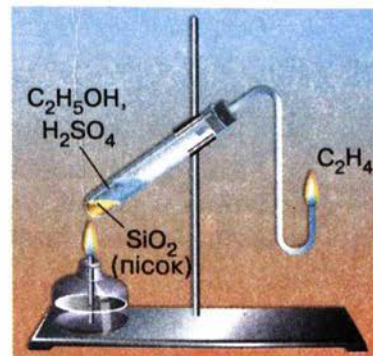


Добудемо етен за допомогою приладу, зображеного на мал. 33.

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'ясували, виконуючи дослід з розчином калій перманганату. На відміну від алканів алкени виявляють значну активність у цій реакції, в чому можна переконатися на досліді.

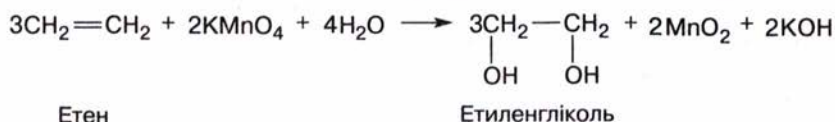


Мал. 33. Прилад для добування етену в лабораторії

## 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

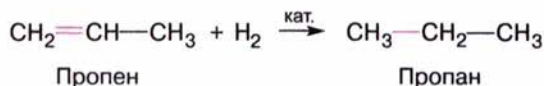
Пропустимо етен крізь розчин калій перманганату: фіолетове забарвлення зникає, тому що відбувається реакція **часткового окиснення** етену:



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

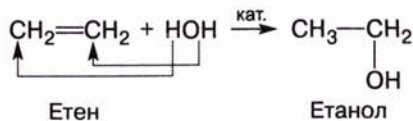
Оскільки подвійний зв'язок є комбінацією міцнішого  $\sigma$ -зв'язку та слабшого  $\pi$ -зв'язку, то під час реакцій насамперед розривається  $\pi$ -зв'язок. Він доступніший для реагентів, бо його електронна густина зосереджена не між ядрами атомів Карбону, а над і під площиною молекули.

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



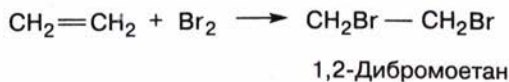
Реакцію приєднання атомів Гідрогену називають реакцією **гідрювання** (гідрогенізації).

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



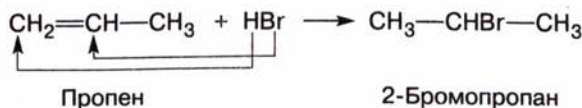
Реакцію приєднання води до речовини називають реакцією **гідратації**.

Хлор і бром приєднуються за місцем подвійного зв'язку з утворенням галогенопохідних алканів. Пропустимо етен крізь розчин бромної води — забарвлення бромну зникає:

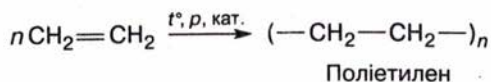


Цю реакцію також використовують для *аналітичного виявлення* ненасичених вуглеводнів.

Алкени реагують з гідроген галогенідами, утворюючи галогенопохідні сполуки:



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

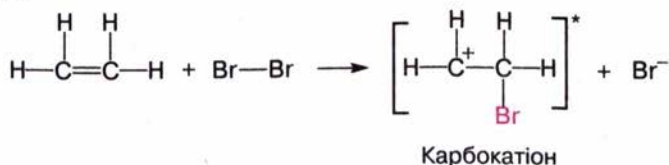


Пригадайте з курсу хімії 9 класу означення реакції полімеризації.

**Механізм реакції приєднання за місцем подвійного зв'язку.** Реакцію приєднання галогену до етену можна розглядати як двостадійну. На першій стадії відбувається електростатична взаємодія між молекулою галогену та електронною хмарою  $\pi$ -зв'язку. Внаслідок цього зв'язок  $\text{Hal}-\text{Hal}$  розривається з утворенням йонів:

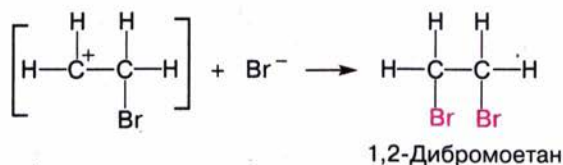


Позитивно заряджений йон Бромну приєднується до одного з атомів Карбону і відтягує на себе електронну густину  $\text{C}=\text{C}$ -зв'язку. У результаті сусідній атом Карбону заряджається позитивно, утворюється так званий **карбокатион**:



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

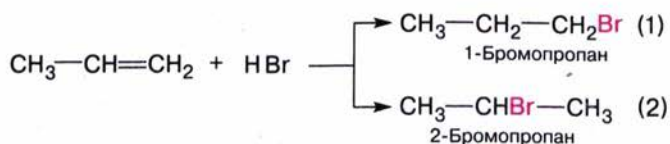
На другій стадії карбокатион взаємодіє з негативно зарядженим йоном Брому, при цьому утворюється кінцевий продукт реакції:



Отже, реакція приєднання до алкенів відбувається у два етапи, за **йонним механізмом**.

♦ Поясніть механізм приєднання полярної молекули гідроген галогеніду до етену.

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



У результаті дослідження подібних реакцій російський хімік В. В. Марковников (1869 р.) сформулював правило, згідно з яким *у разі приєднання гідроген галогенідів до несиметричних алкенів атом Гідрогену приєднується за місцем подвійного зв'язку до того атома Карбону, який сполучений з більшою кількістю атомів Гідрогену*. Цю закономірність названо **правилом Марковникова**. Отже, з пропеном реакція приєднання гідроген броміду відбувається за схемою (2).

Пояснити дію правила Марковникова можна з позицій взаємного впливу атомів у молекулі. Під впливом подвійного зв'язку метильна група  $-\text{CH}_3$  відштовхує від себе електрони  $\sigma$ -зв'язку. В результаті вздовж ланцюга спряжених між собою  $\sigma$ - і  $\pi$ -зв'язків електронна



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

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

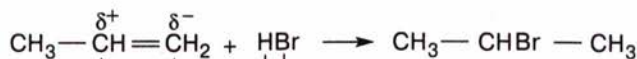


густина рухливого  $\pi$ -зв'язку зміщується до більш гідрогенізованого атома Карбону, на якому виникає частковий негативний заряд; подвійний зв'язок поляризується:



Зміщення  $\pi$ -електронів прийнято показувати зігнутою стрілкою.

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



2-Бромпропан

Згідно з правилом Марковникова відбувається і приєднання води до алкенів.

Складіть схему цієї реакції для пропену.

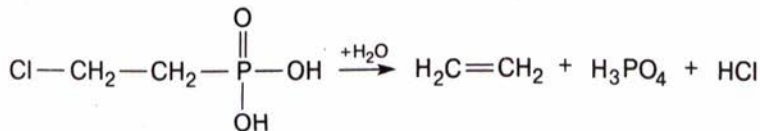
**ЗАСТОСУВАННЯ.** З алкенів добувають багато різних продуктів. Це насамперед поліетилен і поліпропілен, що їх використовують у виробництві пластмас, а останні — при виготовленні виробів для потреб промисловості й побуту.

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

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

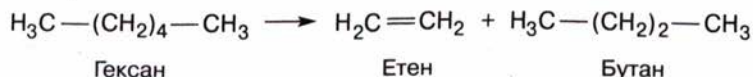
Етен використовують для прискорення досягання овочів і фруктів. Достатньо 0,08 мл етену, щоб протягом 24 год перетворити 1 кг зелених помідорів на червоні.

Є сполуки, здатні 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:



Етрел

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



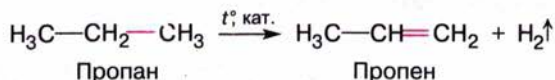
Гексан

Етен

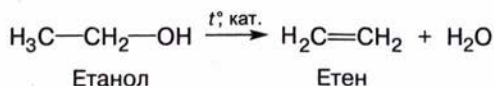
Бутан

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

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



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



## Висновки

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



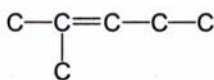
## Завдання для самоконтролю.....

1. Поясніть утворення подвійного  $\text{C}=\text{C}$ -зв'язку.
2. Порівняйте характеристики простого і подвійного зв'язків. Чи є подвійний зв'язок сумою двох простих? Відповідь поясніть.
3. Чи можливе вільне обертання атомів (груп атомів) навколо подвійного зв'язку? До чого це приводить?
4. Складіть структурні формули *цис*-, *транс*-ізомерів для сполуки  $\text{ClCH}=\text{CHCl}$ .
5. Скільком речовинам відповідає формула  $\text{C}_5\text{H}_{10}$ ? Складіть структурні формули, назвіть сполуки.
6. Наведіть рівняння реакцій, за допомогою яких виявляють подвійні зв'язки.

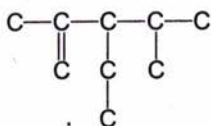
7. Які реакції характерні для алкенів? Складіть рівняння реакцій.
8. Для аналітичного визначення алкенів використовують розчин: **А** бромоводню; **Б** бромної води; **В** калій перманганату; **Г** сульфатної кислоти.
9. За яким механізмом відбуваються реакції приєднання до алкенів? Відповідь поясніть.
10. Поясніть правило Марковникова.
11. Назвіть найважливіші галузі застосування алкенів.

### Додаткові завдання

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



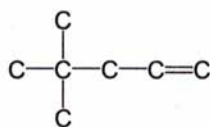
(1)



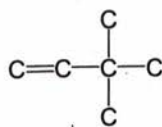
(2)



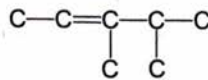
(3)



(4)



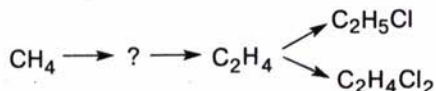
(5)



(6)

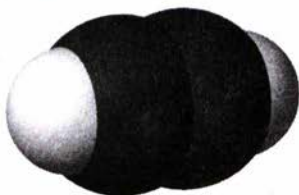
Назвіть сполуки.

2. Серед наведених у попередньому завданні сполук ізомерами є: **А** 3, 5; **Б** 1, 2; **В** 4, 6; **Г** 1, 3.
3. Порівняйте хімічну активність алканів і алкенів. Зробіть висновок.
4. Як зміниться просторова будова молекули етену в результаті його гідрування?
5. Поясніть механізм приєднання молекули води до пропену згідно з правилом Марковникова.
6. Яке положення теорії будови органічних сполук підтверджує правило Марковникова?
7. Запропонуйте спосіб добування етену з метану.
8. Складіть рівняння реакцій, що відбуваються за схемою:



9. Правильним є твердження, що: **А** циклобутан — ізомер бут-1-ену; **Б** енергія подвійного зв'язку менша за енергію одинарного; **В** енергія  $\pi$ -зв'язку менша за енергію  $\sigma$ -зв'язку; **Г** геометрична ізомерія — один із видів просторової ізомерії; **Г** алкенам властиві реакції заміщення; **Д**  $\pi$ -зв'язок — донор електронів; **Е** реакція приєднання бромиду до етену відбувається за радикальним механізмом; **Є** із пропену можна добути пропан за допомогою реакції дегідрування.
10. Обґрунтуйте галузі застосування етену його хімічними властивостями.
11. Спалили вуглеводень (0,2 моль), отримали вуглекислий газ (17,6 г) і воду (7,2 г). Визначте формулу вуглеводню.

## § 8. ГОМОЛОГІЧНИЙ РЯД ЕТИНУ



Мал. 34. Модель молекули етину

**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 ненасиченіший характер цієї сполуки. Атоми Карбону сполучені в молекулі етину потрійним зв'язком:



Модель молекули етину зображено на мал. 34.

У таблиці 6 наведено константи вуглеводнів ряду етину нормальної будови.

**БУДОВА МОЛЕКУЛ.** Електронну природу потрійного зв'язку розглянуто в § 4. У молекулі етину між атомами Карбону існує потрійний зв'язок, що є поєднанням одного  $\sigma$ - і двох  $\pi$ -зв'язків. Довжина потрійного зв'язку (0,120 нм) менша порівняно з подвійним, а його енергія — більша (839 кДж/моль).

Таблиця 6

## Характеристики алкінів

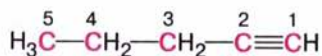
Назва	Формула		Температура, °С	
	молекулярна	скорочена структурна	плавлення	кипіння
Етин	$C_2H_2$	$HC \equiv CH$	-81	-83,8
Пропін	$C_3H_4$	$HC \equiv C - CH_3$	-102,7	-23,2
Бут-1-ин	$C_4H_6$	$HC \equiv C - CH_2 - CH_3$	-126	-8,6
Бут-2-ин	$C_4H_6$	$H_3C - C \equiv C - CH_3$	-32	27
Пент-1-ин	$C_5H_8$	$HC \equiv C - (CH_2)_2 - CH_3$	-98	40
3-Метилпроп-1-ін	$C_5H_8$	$\begin{array}{l} H_3C \\ \diagdown \\ CH - C \equiv CH \\ \diagup \\ H_3C \end{array}$	—	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

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

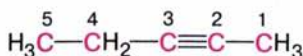
Намалюйте схематично геометрію молекули пропіну.

Етин започатковує гомологічний ряд **алкінів**. Загальна формула сполук —  $C_nH_{2n-2}$ .

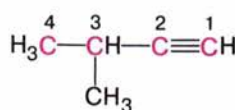
**ІЗОМЕРІЯ, НОМЕНКЛАТУРА.** Алкінам властива **структурна ізомерія** карбонового скелета і положення кратного зв'язку. Наприклад, для сполуки складу  $C_5H_8$  можливі такі ізомери:



Пент-1-ин



Пент-2-ин



3-Метилбут-1-ин

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

Оперуючи структурними формулами та моделями, з'ясуйте, чи можлива **цис-, транс-**ізомерія алкінів.

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

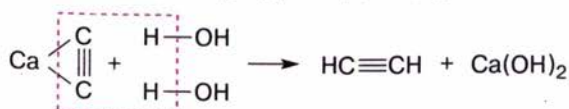
**ФІЗИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ.** Етин — безбарвний газ, має слабкий фруктовий запах, малорозчинний у воді, трохи легший за повітря. Неприємний запах, що поширюється під час добування етину з кальцій карбідом, належить зовсім не цьому газу, а домішкам сірководню і фосфінів, що утворюються як побічні продукти.

Фізичні властивості гомологів етину закономірно змінюються зі зростанням кількості атомів Карбону в їхніх молекулах (див. табл. 6).

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

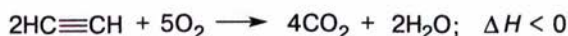
**ХІМІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ.** Реакції повного і часткового окиснення. Як і інші вуглеводні, алкіни **горять** з утворенням карбон(IV) оксиду та води й виділенням великої кількості теплоти.

Добудемо етин, скориставшись приладом, зображеним на мал. 35. Етин утворюється в результаті взаємодії кальцій карбідом з водою за реакцією:



Мал. 35. Добування етину в лабораторії

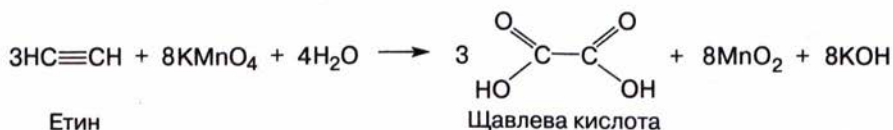
Підпалимо етин біля газовідвідної трубки — газ горітиме кіптявим полум'ям:



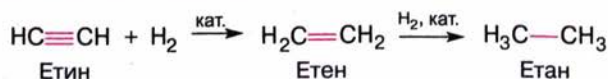
Пригадайте з вивченого в 9 класі, як можна пояснити утворення кіптявого полум'я під час горіння етину.

Для повного згорання 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:



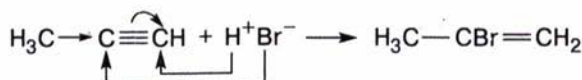
**Реакції приєднання.** Алкізи вступають у реакції приєднання за місцем кратного зв'язку. За наявності каталізатора вони приєднують водень, відновлюючись при цьому до алканів. Як проміжні продукти утворюються відповідні алкени:



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



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



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

**Реакції заміщення.** Порівняно з алкенами хімічна поведінка алкінів має особливості, зумовлені електронною будовою молекул. Зв'язок C—H у молекулах з кінцевим потрійним зв'язком виявляється настільки поляризованим, що може розриватися з утворенням протона:



Такі сполуки виявляють слабкі кислотні властивості й здатні вступати в реакції заміщення, зокрема заміщувати атом Гідрогену на метал. Наприклад, ацетилен у реакції з амоніаковим розчином аргентум(I) оксиду утворює аргентум(I) ацетиленід  $\text{Ag}-\text{C}\equiv\text{C}-\text{Ag}$ :



Цікаво, що кальцій карбід також належить до ацетиленідів.

Утворення аргентум(I) ацетиленіду білого кольору та купрум(I) ацетиленіду  $\text{Cu}-\text{C}\equiv\text{C}-\text{Cu}$  червоно-бурого кольору є *характерною реакцією* на ацетилен. Купрум та аргентум ацетиленіди вибухають від удару або нагрівання.

**ЗАСТОСУВАННЯ.** Найважливішим серед алкінів є *етин* (ацетилен). Унаслідок високої питомої теплоти згоряння ацетилен використовують для газового різання і зварювання металів. З цією метою ним наповнюють спеціальні балони. Ацетиленово-кисневе полум'я має температуру 2800 °С і легко плавить сталь (мал. 36).

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  $\text{H}_2\text{C}=\text{CH}-\text{O}-\text{CO}-\text{CH}_3$ ) 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 карбиду* і *води*.



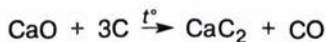
Донедавна саме так добували ацетилен і в промисловості.



Мал. 36. Для ацетиленокисневого зварювання(а) використовують спеціальне обладнання (б)

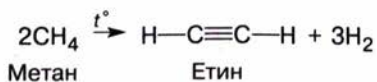
- ♦ Якщо ви спостерігали цю реакцію під час спорудження чи ремонту будівель, опишіть (усно) апарати, в яких вона відбувається. Порівняйте цей спосіб з лабораторним способом добування ацетилену.

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



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

Економічно вигідніше добувати ацетилен з метану нагріванням його до температури  $1500^\circ\text{C}$  піролізом (від грец. *пиро* — вогонь і *ліз* — розпад). Реакція відбувається за схемою:



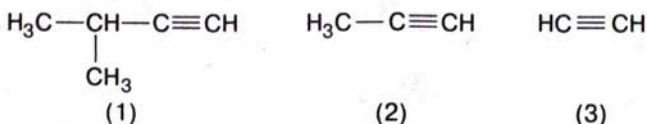
## Висновки

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



## Завдання для самоконтролю

1. Поясніть утворення *sp*-гібридних електронних орбіталей атома Карбону.
2. Поясніть утворення потрійного зв'язку в молекулі етину.
3. 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?
  - Правильним є твердження, що:  
**A** потрійний зв'язок є сумою трьох одинарних; **B** кальцій карбід пахне ацетиленом; **B** зв'язки C—H у молекулі етину належать до  $\sigma$ -зв'язків; **Г** алкіни горять кіптявим полум'ям; **Г** алкіни й алкени — ізомери; **Д** алкінам властива цис-, транс-ізомерія; **Е** алкіни — насичені вуглеводні.

### Додаткові завдання

- Порівняйте будову молекул етену й етину.
- Як змінюватиметься геометрія молекули етину в результаті його поступового гідрування?
- Наведіть структурні формули і назви ізомерів складу  $C_6H_{10}$ .
- Чим різняться між собою реакції приєднання в алкенів і алкінів? Наведіть приклади.
- Поясніть причину появи слабких кислотних властивостей в етину.
- Обґрунтуйте галузі застосування ацетилену його хімічними властивостями.
- Схарактеризуйте способи добування ацетилену з погляду їх економічності.

## § 9. ВИВЕДЕННЯ МОЛЕКУЛЯРНОЇ ФОРМУЛИ ГАЗУВАТОЇ 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:

$$M_r(\text{речовини}) = 2D_{H_2} = 32D_{O_2} = 29D_{\text{пов.}}. \quad (4)$$

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

$$w(\text{C}) = 80 \% = 0,8$$

$$D_{\text{H}_2} = 15$$

$$n(\text{C}) = ? \quad n(\text{H}) = ?$$

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

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

За формулою (2) визначимо кількість атомів Карбону і 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 припадають шість атомів Гідрогену. Формула вуглеводню —  $\text{C}_2\text{H}_6$ , відносна молекулярна маса — 30.

**Відповідь:** формула вуглеводню —  $\text{C}_2\text{H}_6$ .

**II 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 карбонових і гідрогенових атомів 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 припадають 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 —  $\text{C}_2\text{H}_6$ .

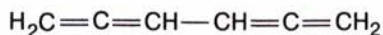


## § 10. БЕНЗЕН

**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.

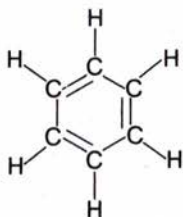
Будова молекули бензену багато років становила теоретичну проблему, жодна із запропонованих структурних формул не відповідала властивостям речовини, що спостерігалися вченими в лабораторії.

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



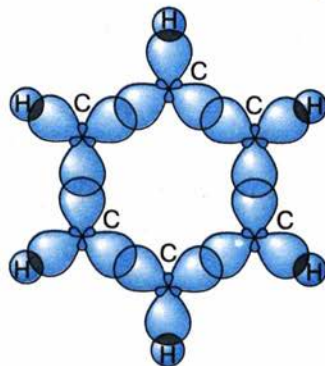
Але ці формули виявляються неприйнятними, оскільки хімічні властивості бензену свідчать про рівноцінність атомів Карбону, а в наведених формулах одні атоми зв'язані простими, інші — кратними зв'язками.

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:



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

Реальну будову бензену було пояснено на основі електронної теорії. Згідно із сучасними уявленнями молекула бензену є плоским правильним шестикутником, у вершинах якого розміщуються атоми Карбону, що перебувають у стані  $sp^2$ -гібридизації. Кожен атом утворює по три  $\sigma$ -зв'язки (два — із сусідніми атомами Карбону і один — з атомом Гідрогену) за рахунок гібридних електронних орбіталей (мал. 37). Негібридні  $p$ -електронні орбіталі сусідніх атомів Карбону, перекриваючись між собою з обох боків, утворюють спільну  $\pi$ -електронну систему, густина якої локалізована над і під площиною молекули (мал. 38, 39). У цьому разі кажуть



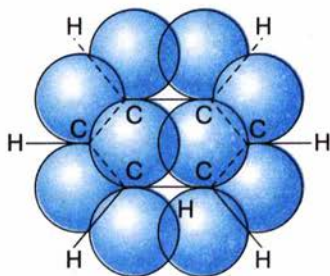
Мал. 37. Схема утворення  $\sigma$ -зв'язків у молекулі бензену



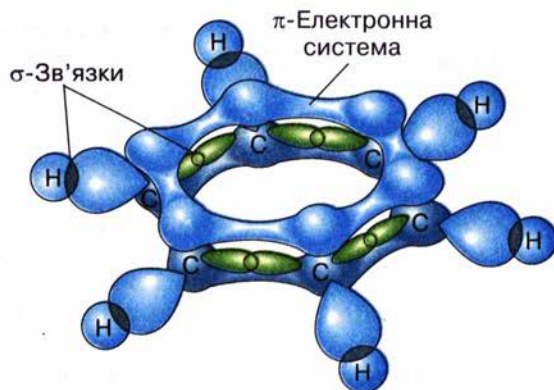
### Фрідріх Август Кекуле

(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.



Мал. 38. Схема перекривання  $p$ -електронних орбіталей у молекулі бензену



Мал. 39. Схема утворення  $\pi$ -електронної системи в молекулі бензену

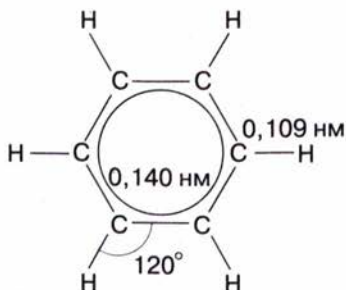
про *спряжену  $\pi$ -електронну систему*, в якій електронна густина рівномірно розподілена (делокалізована) між усіма атомами Карбону. Завдяки цьому  $C-C$ -зв'язки вирівняно, їхня довжина є проміжною між довжинами простих і подвійних зв'язків і становить  $0,140$  нм (їх називають *полуторними* і позначають  $C\text{---}C$ ). Енергія зв'язків дорівнює  $412$  кДж/моль. Валентний кут у молекулі бензену становить  $120^\circ$  (мал. 40, 41).

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

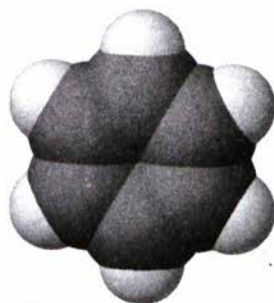


**ФІЗИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ.** За стандартних умов бензен — безбарвна рідина з характерним запахом, температурою кипіння  $80^\circ\text{C}$ , практично нерозчинна у воді, але водночас є розчинником багатьох органічних речовин. У цьому можна переконатися на досліді.

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



Мал. 40. Геометрія молекули бензену



Мал. 41. Модель молекули бензену

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

**ХІМІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ.** Реакції бензену зумовлено наявністю  $\pi$ -електронної системи, що стабілізує ядро.

**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:



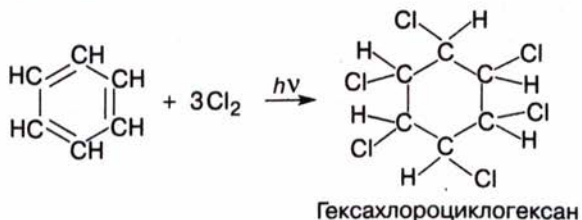
Пригадайте характер горіння метану, етену, етину. В чому полягали відмінності цих реакцій?

Оскільки у складі молекули бензену вміст Карбону значний, 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 згоряє повністю.

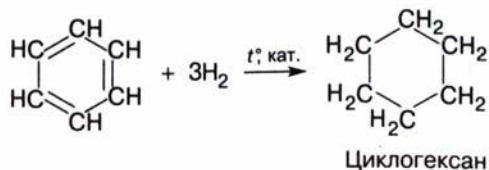
**Реакції приєднання.** Зважаючи на формальну ненасиченість складу бензену, можна припустити, що йому властиві реакції приєднання, наприклад брому.

У пробірку з бензеном добавимо 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:

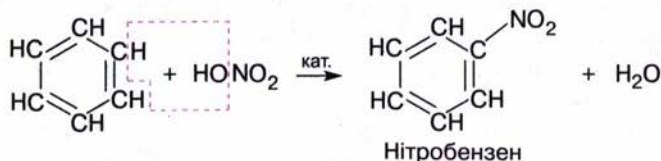


Приєднання водню до бензену відбувається за підвищених температури і тиску та наявності каталізатора. У результаті реакції утворюється циклогексан:

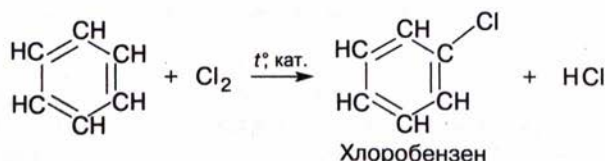


**Реакції заміщення.** Бензен легко вступає в реакції заміщення. До таких реакцій належать реакції нітрування, галогенування та інші.

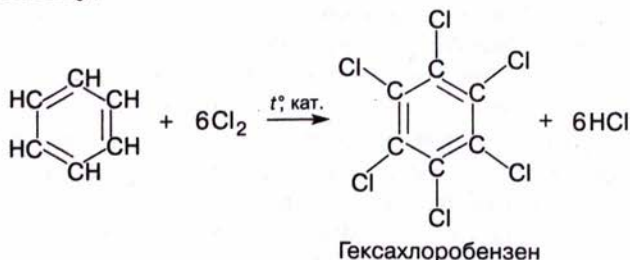
Нітрування бензену відбувається під дією суміші нітратної та сульфатної кислот — так званої *нітрувальної суміші*:



Галогенування бензену за типом заміщення відбувається під дією каталізатора:



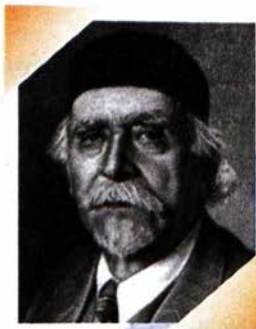
Можуть заміщуватися усі шість атомів Гідрогену з утворенням гексахлоробензену:



Отже, 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.

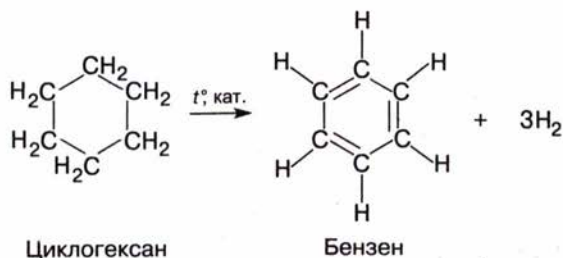
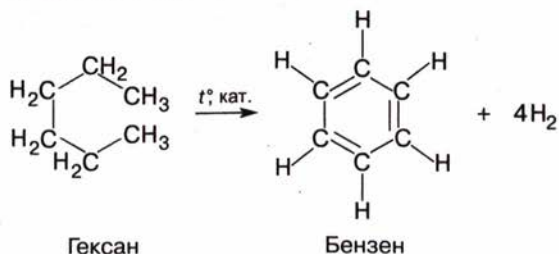
Бензен добувають також з *нафтопродуктів* за допомогою процесів *ароматизації*, тобто перетворення неароматичних сполук на



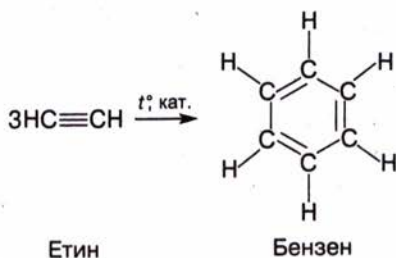
**Микола Дмитрович Зелінський**  
(1861—1953)

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 тім числі бензен з етину. Винайшов вугільний протигаз.

ароматичні, наприклад дегідуванням гексану і циклогексану за наявності каталізатора. Процес одночасного дегідування і циклізації називають *дегідроциклізацією*:



Цікавим є спосіб добування бензену, запропонований М. Д. Зелінським, згідно з яким етин пропускають над активованим вугіллем 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.
- Зв'язки між атомами Карбону рівноцінні; вони є проміжними між простими і подвійними.
- Основні параметри молекули бензену: гібридизація електронних орбіталей атомів Карбону —  $sp^2$ ; види зв'язків —  $\sigma$ - і  $\pi$ -, наявність спряженої  $\pi$ -електронної системи; енергія зв'язків  $\text{C}\equiv\text{C}$  — 412 кДж/моль;

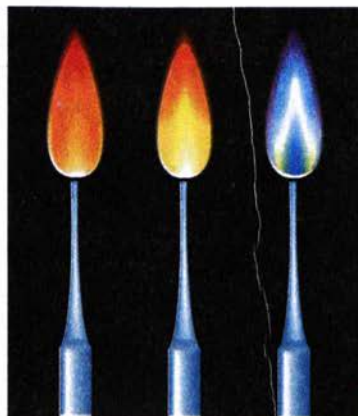
довжина зв'язків  $C \cdots C$  — 0,140 нм;  
валентний кут —  $120^\circ$ .

- $\pi$ -Електронна система стабілізує бензенове ядро.
- Реакційна здатність бензену вища, ніж насичених вуглеводнів, але нижча, ніж ненасичених вуглеводнів.
- 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. Поясніть умовність формули Кекуле для бензену.
3. За хімічними властивостями бензен належить ні до насичених, ні до ненасичених вуглеводнів. Чому?
4. Стійкість бензенового ядра проти окисників пояснюється:
  - А** високим вмістом Карбону в молекулі;
  - Б** електронною будовою молекули;
  - В** агрегатним станом бензену;
  - Г** наявністю подвійних зв'язків.
5. На мал. 42 зображено полум'я бензену, метану й етену. Яке зображення відповідає кожній з речовин? Відповідь поясніть.
6. Чи знебарвлює бензен бромну воду? Поясніть чому.
7. Які реакції характерні для бензену? Складіть рівняння реакцій.
8. 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.
9. Які з наведених сполук належать до насичених, ненасичених, ароматичних:  $C_6H_{12}$ ,  $C_6H_6$ ,  $C_6H_5Cl$ ,  $C_6H_{14}$ ,  $C_6H_5NO_2$ ?



Мал. 42. Полум'я вуглеводнів



### Додаткові завдання.....

1. Як зміниться хімічна, електронна і просторова будова молекули бензену в результаті його гідрування?
2. Чи повністю відповідає формула Кекуле хімічним властивостям бензену?
3. Поясніть вплив умов на перебіг реакції бензену з хлором.
4. Зробіть висновок про реакційну здатність бензену порівняно з насиченими і ненасиченими вуглеводнями.
5. Складіть рівняння послідовних перетворень: вугілля на бензен; метану на нітробензен.
6. У результаті нітрування бензену, що утворився дегідруванням гексану масою 86 г з виходом 50 %, добули нітробензен масою 98,4 г. Обчисліть вихід нітробензену.



## § 11. ХІМІЧНІ ЗАСОБИ ЗАХИСТУ РОСЛИН

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

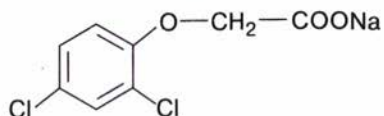
З'ясуйте за словником значення термінів: *гербіциди, зооциди, фунгіциди, інсектициди*.

Якщо суміш бензену і хлору освітити ультрафіолетовим (УФ) промінням, то атоми Хлору приєднуються до бензенового ядра з утворенням сполуки гексахлороциклогексану  $C_6H_6Cl_6$ , що має промислову назву *гексахлоран* (див. с. 61).

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

Продукт заміщення шести атомів Гідрогену в бензені на атоми Хлору — *гексахлоробензен*  $C_6Cl_6$  — використовують для протруювання (зnezараження) насіння зернових культур перед висіванням у ґрунт (див. с. 62).

Серед засобів захисту рослин є речовини, що належать до різних класів органічних сполук. Наприклад, для знищення бур'янів у посівах зернових культур використовують *натрієві солі: трихлороетанової кислоти*  $CCl_3COONa$ , *2,2-дихлоропропанової кислоти*  $CH_3CCl_2COONa$  та *2,4-дихлорофеноксиетанової кислоти* (технічна назва 2,4-Д):



2,4-Д

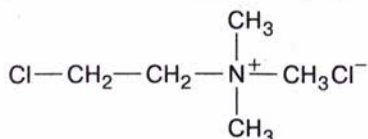
Для зnezараження зерносовищ і проти шкідника винограду філоксери використовують хлоропохідну сполуку *1,2-дихлороетан*  $Cl-CH_2-CH_2-Cl$ . Як пестицид застосовують *гексахлоробутадиєн*  $Cl_2C=CCl-CCl=CCl_2$ .



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

Український хімік-органік, академік. Працював у Дніпропетровському металургійному інституті, очолював Інститут органічної хімії АН України. Основні наукові праці стосуються хімії фосфор- та сульфурорганічних сполук. Низку добутих під його керівництвом речовин використовують у сільському господарстві як пестициди.

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



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



### Завдання для самоконтролю.....

1. Яких правил безпеки слід додержувати, використовуючи різні хімічні засоби в побуті?
2. Чому, на вашу думку, не слід використовувати на присадибних ділянках несертифіковані хімічні засоби захисту рослин?
3. Як отрутохімікат використовують сполуку  $\text{Cl}_2\text{C}=\text{CCl}-\text{CCl}=\text{CCl}_2$ . Як, на вашу думку, реагуватиме ця сполука з воднем? Напишіть рівняння реакції.
4. Схарактеризуйте значення хімічних засобів захисту рослин для сільського господарства. Які речовини використовують з цією метою у вашій місцевості?

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

◆ Наведіть 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 гідрування і дегідрування).

◆ Наведіть приклади таких реакцій.

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

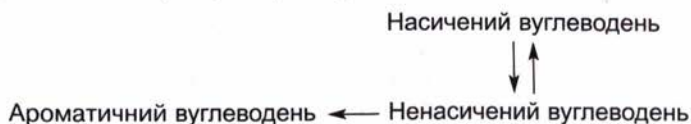
Складіть рівняння цих хімічних перетворень.

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

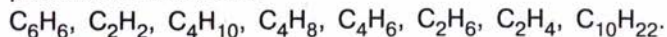


### Завдання для самоконтролю.....

- Складіть формули ізомерів та кількох гомологів бутану.
- Напишіть рівняння реакцій за схемою:



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

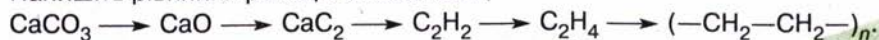


- Наведені речовини



**А** гомологи; **Б** ізомери; **В** ні ізомери, ні гомологи.

- Напишіть рівняння реакцій за схемою:



Зробіть висновок про взаємозв'язок неорганічних та органічних речовин.

## ПРИРОДНІ ДЖЕРЕЛА ВУГЛЕВОДНІВ



Наприкінці вивчення теми ви зможете:

- назвати природні джерела вуглеводнів, їхній хімічний склад;
- пояснити суть основних процесів переробки нафти й кам'яного вугілля: перегонки, крекінгу, коксування;
- описати продукти переробки нафти і кам'яного вугілля;
- схарактеризувати детонаційну стійкість бензину;
- розкрити вплив вуглеводнів на довкілля;
- засвоїти терміни: *супутній нафтовий газ, нафтова фракція, ректифікація, крекінг, коксування, коксовий газ, кам'яновугільна смола.*

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

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

Неважко зрозуміти, що доцільніше піддавати нафту, вугілля і газ хімічній переробці, ніж спалювати їх у котельнях, двигунах, промислових і побутових печах тощо.

♦ Які альтернативні джерела енергії вам відомі?

Існують різні погляди на походження горючих копалин. Як вважають прихильники теорії органічного походження, поклади утворилися із решток вимерлих рослинних і тваринних організмів, що перетворилися на суміші вуглеводнів у товщі Землі під дією бактерій, високих тиску і температури.

Згідно з теорією мінерального (вулканічного) походження нафти, природного газу та кам'яного вугілля на первісній стадії формування планети Земля метали сполучалися з вуглецем з утворенням карбідів. У результаті реакції карбідів з водою (водяною парою) в надрах планети виділялися газуваті вуглеводні, зокрема метан і етин, а під дією нагрівання, радіації та каталізаторів із цих сполук утворювалися інші сполуки, що входять до складу нафти. У верхніх шарах літосфери рідкі нафтові компоненти випаровувалися, рідина загусала, перетворювалася на асфальт і далі — на вугілля.

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

- ◆ Назвіть найбільші у світі родовища горючих корисних копалин. Покажіть їх на мапі.

## § 13. ПРИРОДНИЙ ГАЗ

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

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

Полум'я природного газу, що пробивається з-під землі, можна спостерігати в наш час на горі Янарташ у Греції (мал. 43).

- ◆ Пригадайте, що таке болотний газ, рудниковий газ.
- ◆ На теренах України є родовища природного газу. Назвіть їх.

У товщі земної кори природний газ перебуває у стисненому стані. Крізь свердловини газ під тиском виходить на поверхню. Спрямувавши газ у газопровід, його можна транспортувати на великі відстані (мал. 44).

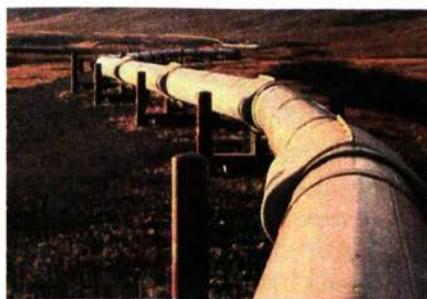
З газопроводів газ потрапляє на заводи і в житлові приміщення, де його використовують як паливо. В Україні триває газифікація населених пунктів. Використання газу в побуті замість дров і кам'яного вугілля є поступом, хоча при цьому також згоряють цінні речовини.

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

Природний газ широко використовують у промисловості. У доменних печах метан згоряє до вуглекислого газу, який, реагуючи з кок-



Мал. 43. Полум'я природного газу в природних умовах



Мал. 44. Ділянка газопроводу

сом, утворює карбон(II) оксид, останній відновлює оксиди Феруму. Під час виробництва сталі мартенівським способом природний газ використовують як джерело теплоти. З цієї самою метою його застосовують й у скловарних печах.

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

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

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

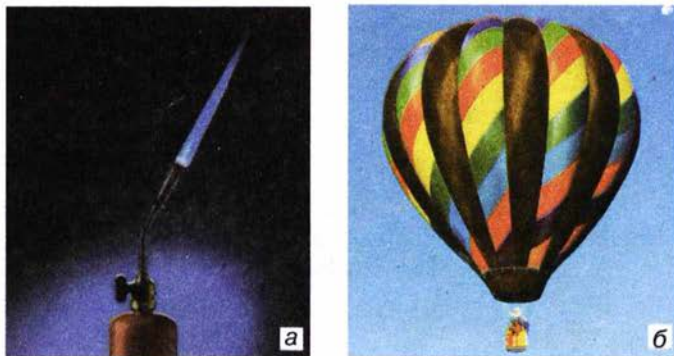
**СУПУТНИЙ НАФТОВИЙ ГАЗ.** Є поклади природного газу, що залягає разом із нафтою і разом із нею виходить на поверхню із свердловин. Це так званий супутній нафтовий газ. Він є сумішшю легких вуглеводнів, хоча на відміну від природного газу містить менше метану — до 40 % і більше — його гомологів та інших газів (табл. 7).

Таблиця 7

**Склад і галузі застосування природного і супутнього нафтового газів**

Горючі копалини	Склад, %		Галузь застосування
	Метан	Гомологи метану та інші гази	
Природний газ	80—98	2—20	Паливо для мартенівських, доменних, скловарних печей, побутових потреб; вихідна сировина для добування етину, водню, сажі, галогенопохідних
Супутній нафтовий газ	30—40	60—70	Газовий бензин (пентан, гексан) — добавка до бензинів Пропан-бутанова суміш — паливо Сухий газ (метан) — паливо, сировина для органічного синтезу

Суміш газів розділяють і використовують як паливо і як хімічну сировину. Суміш пропану і бутану скраплюють і зберігають під тиском у балонах (мал. 45). Це дає змогу транспортувати газ у місця, що не під'єднані до мережі газопроводів. Японія, що не має власних родовищ природного газу, 90 % необхідної його кількості отримує в скрапленому вигляді.



Мал. 45. Використання скрапленого природного газу:  
а — горіння балонного газу; б — повітрям, нагрітим унаслідок спалювання газу, наповнюють повітряні кулі

### Завдання для самоконтролю.....

1. Які родовища горючих корисних копалин в Україні вам відомі? Покажіть їх на мапі.
2. До складу природного газу входять:  
**А** метан; **Б** етилен; **В** гексан; **Г** етан.
3. Наведіть хімічні рівняння, що підтверджують використання природного газу.
4. Для спалювання суміші пропану і бутану об'ємом 20 л (н. у., об'ємне співвідношення газів 1:1) затрачається повітря об'ємом:  
**А** 100 л; **Б** 143,75 л; **В** 575 л; **Г** 20 л.  
Вважайте, що об'ємна частка кисню в повітрі становить 20 %.
5. Яких запобіжних заходів слід уживати під час користування природним газом у побуті?

## § 14. НАФТА І ПРОДУКТИ ЇЇ ПЕРЕРОБКИ

**СКЛАД І ВЛАСТИВОСТІ НАФТИ.** За фізичними властивостями нафта — це густа оліїста рідина зі специфічним запахом, темно-бурого чи чорного кольору, легша за воду і не розчинна в ній. Нафта різних родовищ різниться за складом, густиною, кольором, запахом тощо.

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

Нафта відома людям здавна. Її почали використовувати близько 5000 років тому в місцях, де вона просочувалася на поверхню ґрунту. Горючість нафти помітити було неважко, тому й застосовували її переважно як паливо, для освітлення, а також як мастило. Сирою нафтою обробляли днища кораблів з метою гідроізоляції. Нафтопродукти використовувала стародавня медицина у вигляді мазей, для бальзамування мумій тощо. Стародавні шумери застосовували нафтовий бітум як будівельний матеріал, у Китаї нафту використовували з військовою метою.

Нафта була складовою відомого в стародавні часи так званого грецького вогню, що займався від контакту з водою і спалив не один військовий корабель. Погасити цей вогонь можна було тільки піском (мал. 46).



Мал. 46. Грецький вогонь у дії (з візантійської хроніки XI ст.)

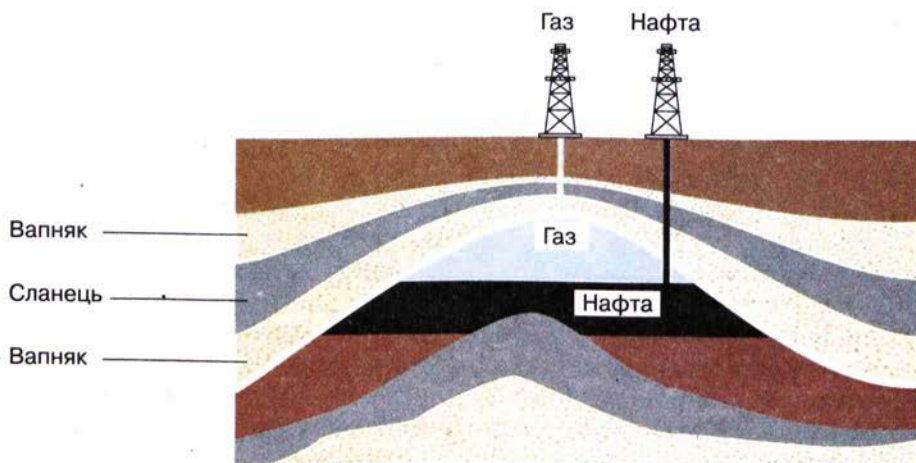
♦ Як ви думаєте, чому? Пригадайте умови гасіння полум'я.

Нафту видобувають із надр Землі через свердловини (мал. 47). Іноді під час буріння вона спершу викидається на поверхню під тиском, потім у свердловину закачують повітря, вуглекислий газ чи воду, за допомогою яких нафта витискується (мал. 48). З районів видобутку до місць переробки нафту транспортують суходелом (у залізничних цистернах), морем чи річкою (у танкерах) або перекачують по нафтопроводах.

Запаси нафти є не лише на суходолі, а й під морським дном. Бурові нафтові установки в морі встановлюють на спеціальних платформах (мал. 49).

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

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



Мал. 47. Геологічний розріз нафтоносної місцевості





Мал. 48. Видобування нафти біля м. Борислава Львівської області



Мал. 49. Видобування нафти з платформи в морі

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

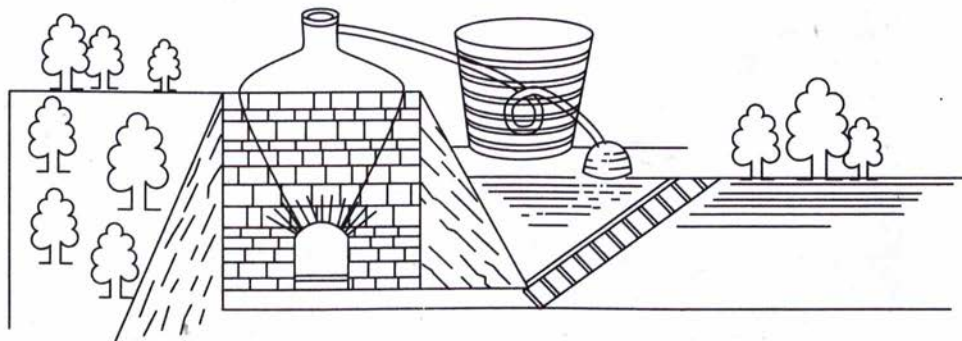
Цей процес можна відтворити в лабораторії. Нагріємо нафту в колбі з приєднаним водяним холодильником (мал. 50). При цьому низькокиплячі її компоненти переходять у газуватий стан, охолоджуються, конденсуються. Подальшим нагріванням до вищої температури можна виділити іншу фракцію і т. д.

На виробництві перегонку нафти здійснюють в установці безперервної дії, що складається з печі для нагрівання сирової нафти, ректифікаційної колони (від лат. *rectificatio* — випрямлення) і холодильника (мал. 51, 52).

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

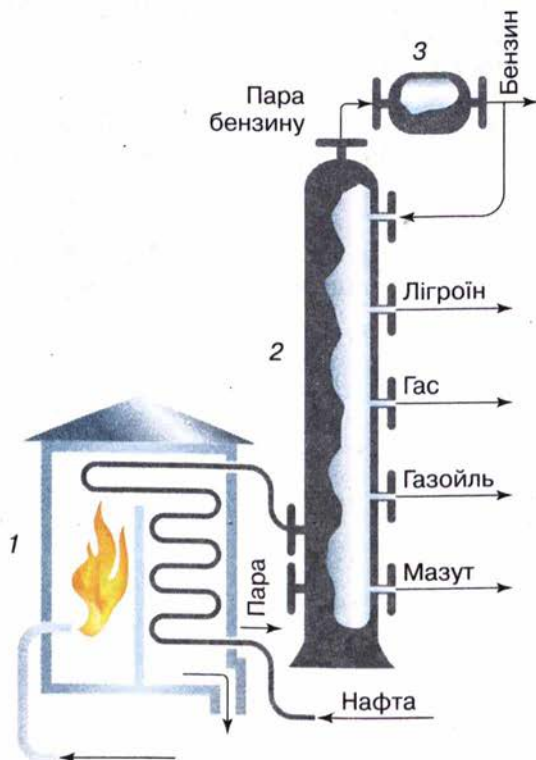


Мал. 50. Перегонка нафти в лабораторії



Мал. 51. Схема нафтопереробної установки (1823 р., Росія)

Нафта нагрівається, проходячи змієвиком, розміщеним у печі, яка опалюється мазутом або газом. Після цього рідину (частково в суміші з паром) направляють до сталеві ректифікаційної колони (мал. 52, 53). Усередині цієї колони розміщено декілька десятків полиць, або так званих тарілок, — це горизонтальні перегородки з отворами (мал. 54).



Мал. 52. Схема промислової установки для перегонки нафти:  
1 — піч; 2 — ректифікаційна колони;  
3 — холодильник



Мал. 53. Промислові ректифікаційні колони

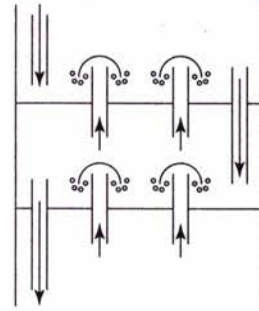
Нафтові фракції випаровуються, проходять крізь отвори вгору колони, де охолоджуються й конденсуються, причому менш леткі — на нижніх тарілках, а більш леткі — на верхніх. Отже, залежно від температур кипіння на різних рівнях скраплюються різні нафтові фракції і відразу ж відводяться з колони по трубах.

Важка фракція — мазут — містить багато цінних речовин, тому його переробляють додатково у вакуумних установках. Зниження тиску дає змогу проводити перегонку мазуту за значно нижчої температури і тим самим запобігти розкладу речовин. Урешті-решт залишається гудрон, що є цінним будівельним матеріалом (табл. 8).

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

Разом із тим є способи переробки нафти, під час яких відбуваються хімічні реакції зі зміною складу і будови компонентів нафти. Ці способи ми розглянемо нижче.

**КРЕКІНГ НАФТОПРОДУКТІВ.** Серед продуктів перегонки нафти в минулому столітті в побуті найширше використовували гас: для освітлення (гасові лампи), приготування їжі (примуси). Потім його було замінено в багатьох випадках на електроенергію і природний газ. Водночас розвиток автомобільної промисловості потребував усе більшої кількості пального для двигунів. Зрослі потреби не задовольнялися перегонкою нафти, в результаті якої залишається значна частина продуктів з високими температурами кипіння. Проблему було розв'язано завдяки



Мал. 54. Схема будови ректифікаційної колони

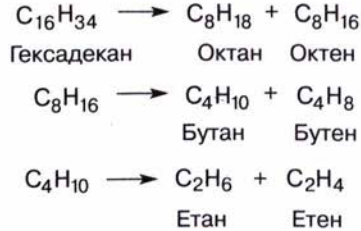
Таблиця 8

### Продукти перегонки нафти

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

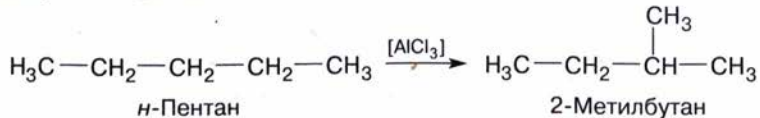
переробці висококиплячих фракцій на низькокиплячі, що становлять основу атомобільного пального.

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



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

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



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

**ЗАСТОСУВАННЯ НАФТОПРОДУКТІВ.** Нафта відіграє надзвичайно велику роль у житті людства, в розвитку цивілізації. Насамперед це одне з найпотужніших і найпоширеніших джерел енергії, що вивільняється внаслідок спалювання нафтопродуктів. Крім того, хімічною переробкою з нафти добувають безліч речовин, що їх використовують, без перебільшення, скрізь, куди поглянемо.

У результаті хімічної переробки чорна оліїста рідина перетворюється на волокна і пластмаси, запашні й вибухові речовини, ліки і барвники. Недаремно нафту називають «чорним золотом». Чим глибша переробка нафти, тим більше корисних продуктів можна добути з неї.

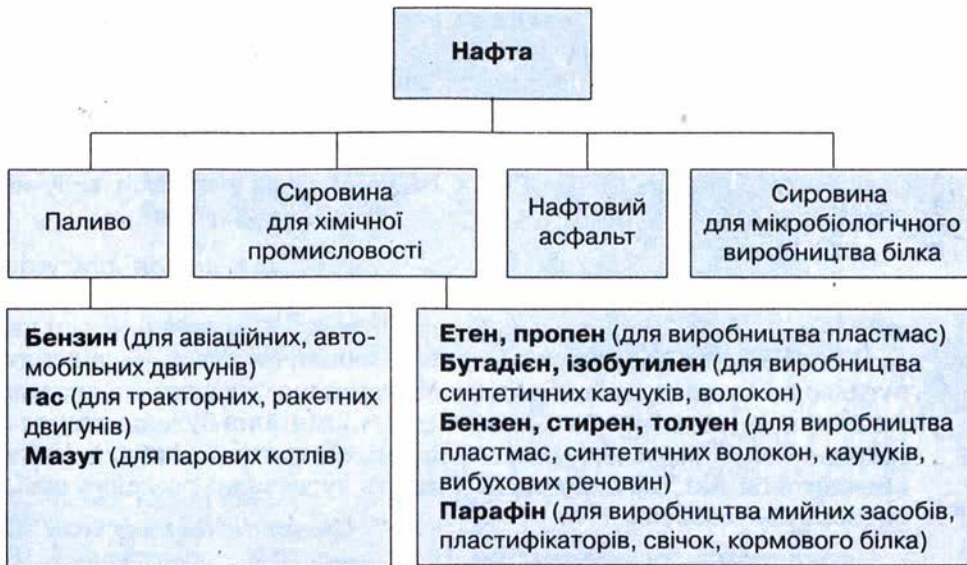
Галузь промисловості, що займається переробкою нафтопродуктів, називають **нафтохімією** (мал. 55).

♦ Схарактеризуйте застосування нафтопродуктів за схемою 1.

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

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

## Застосування нафтопродуктів



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

У промисловості розроблено технологію виробництва рідкого пального з вугілля. Під час Другої світової війни в Німеччині, яка не має власних джерел нафти, саме з вугілля виробляли пальне, мастила тощо. Проте поки що використання цього методу є економічно недоцільним.

На думку фахівців, проблема переробки кам'яного вугілля на пальне неодмінно постане перед промисловістю України, в якій недо-



Мал. 55. Загальний вигляд сучасного нафтопереробного заводу





Мал. 57. Автозаправна станція

### Завдання для самоконтролю.....

1. Чи має нафта хімічну формулу? Чому?
2. Який хімічний склад нафти?
3. Які властивості нафти зумовили її використання в стародавні часи?
4. Назвіть основні нафтові фракції.
5. За якою властивістю речовин, що входять до складу нафти, її розділяють на фракції?
6. Яка властивість речовин лежить в основі крекінгу нафти?
7. Які технічні винаходи сприяли зростанню видобутку і широкому використанню нафти?
8. Назвіть дві основні галузі застосування нафти.
9. У чому полягає сенс відомого висловлювання Д. І. Менделєєва про те, що спалювати природне паливо все одно, що палити асигнаціями?
10. Складіть розповідь про використання метану й водню у двигунах автомобілів.

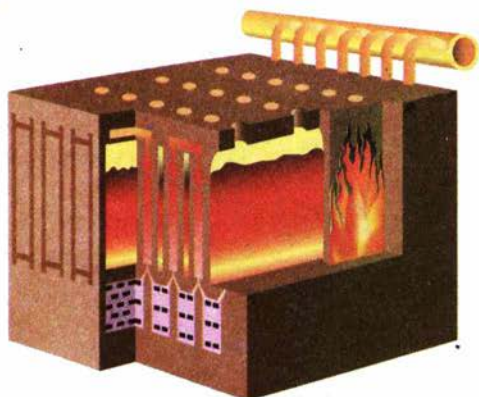
## § 15. КАМ'ЯНЕ ВУГІЛЛЯ І ПРОДУКТИ ЙОГО ПЕРЕРОБКИ

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

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

Унаслідок нагрівання кам'яного вугілля в коксовій печі до 1000 °С без доступу повітря воно перетворюється на **кокс**. Цей продукт на 96—98 % складається з вуглецю. Основні галузі його застосування — металургія та хімічна промисловість.

Пригадайте, які процеси відбуваються з коксом у доменній печі.



Мал. 58. Схема будови коксової печі

Коксова піч побудована з довгих вузьких камер, розділених вертикальними опалювальними каналами. У камеру через верхні отвори завантажують подрібнене вугілля (мал. 58). Кілька десятків таких камер утворюють батарею коксових печей. В опалювальних каналах камер згорає газувате паливо, нагріваючи вугілля до температури розкладу. Кокс утворюється у вигляді «коксового пирога», що «випікається» протягом 14 год. Після цього він виштовхується з камери, а в неї завантажують нову порцію вугілля.

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

Схема 2

### Продукти коксування кам'яного вугілля



Кам'яновугільна смола є багатим джерелом різноманітних речовин: з неї їх виділено близько 500. Шляхом переробки та хімічної обробки кам'яновугільної смоли добувають ароматичні вуглеводні: толуен, нафтаген, піридин, антрацен, феноли, інші цінні речовини.

Кам'яновугільну смолу й коксовий газ переробляють на коксохімічних заводах.

У розвитку органічної хімії кам'яновугільна смола відіграла особливу роль. Як джерело хімічних сполук кам'яне вугілля почали використовувати раніше, ніж природний газ і нафту. На основі продуктів, виділених із кам'яновугільної смоли, виникли цілі галузі хімічної промисловості — виробництво синтетичних барвників, лікарських засобів, засобів захисту рослин, вибухових речовин тощо.



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



### Лабораторний дослід 2.

### Ознайомлення зі зразками нафтопродуктів і продуктів коксування кам'яного вугілля

Розгляньте видані вам колекції продуктів переробки нафти і продуктів коксування кам'яного вугілля. Опишіть (усно) їх зовнішній вигляд. Що ви можете сказати про застосування цих речовин?



### Завдання для самоконтролю.....

1. Який хімічний склад кам'яного вугілля?
2. Схарактеризуйте продукти коксування кам'яного вугілля за схемою 2. Де їх використовують?
3. Як саме переробка кам'яного вугілля пов'язана з розвитком синтетичної органічної хімії?
4. Теплота згорання вугілля (у перерахунку на чистий вуглець) становить 394 кДж/моль, а бензину (октану) — 5 474 кДж/моль. Обчисліть, що вигідніше використовувати (за масою) як паливо: вугілля чи октан.



## § 16. ВУГЛЕВОДНЕВА СИРОВИНА Й ОХОРОНА ДОВКІЛЛЯ

Життя людини повсякчас пов'язане зі спалюванням горючих речовин у побуті, на транспорті, у промисловості. Крім очевидної користі застосування нафтопродуктів, вугілля і природного газу створює низку проблем щодо виживання людства. З'ясуємо це.

Тепловий баланс нашої планети підтримується завдяки тому, що вуглекислий газ і вода, які містяться в атмосфері, вбирають енергію сонячного випромінювання (інфрачервоні промені), а потім віддають її. Так на планеті зберігається теплота.

Вбирання і випромінювання енергії вуглекислим газом та іншими речовинами створює *парниковий ефект*. Можна стверджувати, що ми живемо в умовах парникового ефекту, і це відповідає нормальному стану атмосфери, комфортному для нас. Проте посилення цього ефекту може мати згубні наслідки, а саме: глобальне підвищення температури й у зв'язку з цим — зміна клімату.

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

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

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

Крім парникового ефекту в результаті переробки і використання горючих корисних копалин атмосфера забруднюється шкідливими речовинами, такими як карбон(II) оксид  $\text{CO}$  (унаслідок неповного згоряння пального у двигунах), сульфур(IV) оксид  $\text{SO}_2$  (утворюється із сірки, що міститься у вугіллі, бензині, поліметалічних рудах), метан  $\text{CH}_4$  (витікання газу), сірководень  $\text{H}_2\text{S}$  (виділяється під час переробки нафти), оксиди Нітрогену (утворюються під час високотемпературного горіння) та ін.

Усі ці речовини спричиняють *фотохімічний смог*, кислотні дощі тощо.

Фотохімічний смог (від англ. *smoke* — курити і *fog* — туман) утворюється в результаті реакцій, що відбуваються під впливом сонячного світла (фотохімічні реакції) (мал. 59). При цьому крім наявних у повітрі забруднювачів додатково утворюються нітроген(IV) оксид та озон. Останній реагує з вуглеводнями, що виділяються в повітря від неповного згоряння пального. У результаті утворюються сполуки, небезпечні для здоров'я людей і шкідливі для довкілля.

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

Крім того, під час згоряння пального утворюється дим, у якому містяться дрібні часточки вуглецю і твердих вуглеводнів, що не згоріли, а також сполуки Кадмію, Плюмбуму, Меркурію та інших елементів, надзвичайно шкідливі для здоров'я.

◆ Зважаючи на те, що атмосфера не знає кордонів, поясніть глобальні наслідки її забруднення.

Як можна позбутися забруднювачів довкілля, що утворюються в результаті використання палива? По-перше, можна ощадливо



Мал. 59. Фотохімічний смог над містом

використовувати ці продукти і тим самим зменшувати кількість шкідливих викидів. По-друге, можна вилучати з палива сірку ще до його використання. По-третє, створювати технологічні умови для повного згоряння вугілля в котельнях, на теплових електростанціях та бензину в двигунах автомобілів. По-четверте, можна вловлювати відходи згоряння палива за допомогою фільтрів. По-п'яте, можна замінити джерела енергії: замість енергії палива використовувати енергію Сонця, вітру, води, ядерну та геотермальну (мал. 60).



Мал. 60. Вітрові турбіни — альтернативне джерело енергії

♦ Які із зазначених чинників мають, на вашу думку, більше і менше значення? Розгляньте їх з погляду переваг і недоліків.



### Лабораторний дослід 3.

### Ознайомлення з різними видами палива

Розгляньте видану вам колекцію видів палива. Як класифікують види палива: за агрегатним станом; за походженням? Назвіть ці види. Які переваги і недоліки кожного виду? Схарактеризуйте види палива з погляду екології.



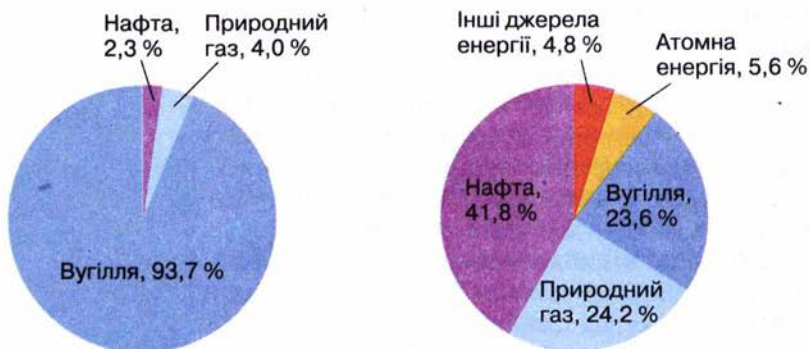
### Завдання для самоконтролю.....

1. Пригадайте, як створюється парниковий ефект у теплиці. Порівняйте його з парниковим ефектом на планеті.
2. Як розширення площ зелених насаджень і вирубування лісів позначаються на парниковому ефекті?
3. Що таке фотохімічний смог?
4. Які речовини забруднюють довкілля внаслідок використання горючих копалин? Як можна запобігти шкідливим викидам у атмосферу?



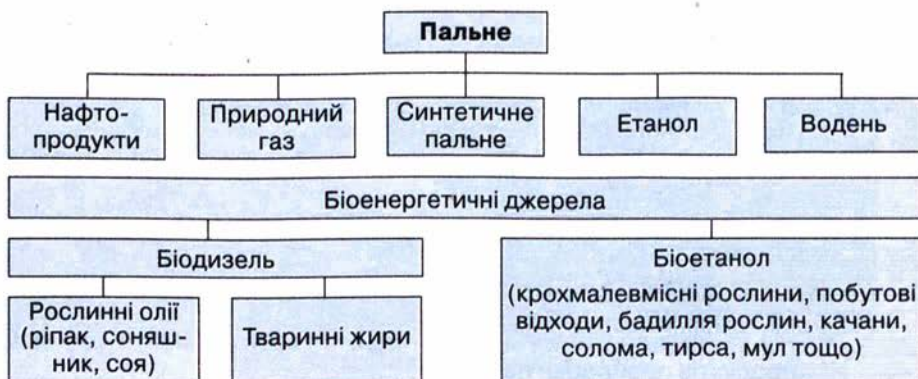
### Додаткові завдання.....

1. Природний газ, кам'яне вугілля, нафта належать до «енергохімічних ресурсів». Як ви розумієте цей термін?
2. Чому, на вашу думку, в побуті віддають перевагу паливу у вигляді кам'яного вугілля над дровами, природному газу — над вугіллям, електричному струму — над газом? Як це узгоджується з даними, наведеними на мал. 61?
3. Чому важливо знати походження нафти? Як це пов'язано з дефіцитом нафтопродуктів?
4. Як позначається густина нафти на екологічній безпеці під час її транспортування, зокрема, водним шляхом?
5. Чому, на вашу думку, можна добувати з нафти таку велику кількість речовин?
6. Які зміни відбулися в житті останніх поколінь у результаті використання продуктів переробки нафти?



Мал. 61. Частки різних джерел у загальній кількості енергії, яку споживає людство

- Природний газ — екологічно безпечніше паливе порівняно з бензином. Чому? Яке значення має його використання в автомобілях замість бензину?
- Які, на вашу думку, перспективи використання альтернативних джерел енергії?
- Поясніть значення екологічного контролю за роботою двигунів автомобілів.
- Коефіцієнт корисної дії автомобіля становить 25 % (тобто паливе використовується на 25 %). На що, на вашу думку, даремно затрачаються 75 % енергії пального?
- Для добування електроенергії на тепловій електростанції упродовж 1 год згоряє вугілля масою 1 т, у якому масова частка сірки становить 2,5 %. Яка маса сульфур(IV) оксиду потрапить в атмосферу протягом доби?
- Для вбирання сульфур(IV) оксиду в промисловості використовують вапно  $\text{CaO}$ . Яку масу цієї речовини треба взяти, щоб нейтралізувати сульфур(IV) оксид, що утворюється за умовою попередньої задачі?
- Поцікавтеся, звідки надходить паливо у вашу місцевість, з яких родовищ. Знайдіть їх на мапі.
- Сорти пального для дизельних двигунів характеризують так званими цетановими числами. Цетанове число 100 має вуглеводень цетан складу  $\text{C}_{16}\text{H}_{34}$ . З'ясуйте за довідниковою літературою, який ізомер цетану є еталоном дизельного пального.
- Розгляньте й проаналізуйте схему. Які існують альтернативні джерела виробництва пального? Користуючись додатковими джерелами інформації, підготуйте повідомлення про переваги й недоліки замінників традиційних видів пального.



16. Розгляньте таблицю 9 і проаналізуйте склад деяких видів палива.

Таблиця 9

**Склад деяких видів палива**  
(усереднені дані)

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

Дайте відповіді на запитання:

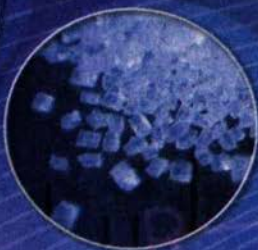
- які продукти утворюються в результаті спалювання палива різних видів;
- які складники палива спричиняють негативний вплив на довкілля;
- які переваги й недоліки використання різного палива?

Запропонуйте варіанти зменшення шкоди, що завдає спалювання горючих матеріалів.

За даними таблиці 9 складіть кілька запитань і розрахункових задач. Запропонуйте їх однокласникам.

17. «У Кіото лідери країн домовилися про скорочення викидів вуглеводу до 2010 року на 5,2 % порівняно з 1990 роком» (З газети). «Кошти, що їх планується використати для скорочення викидів вуглецю, могли б піти на фінансування наукових досліджень технологічних альтернатив» (там само). Знайдіть хімічні помилки в цих повідомленнях і запропонуйте своє формулювання.
18. Складіть самостійно загальні висновки до розділу «Природні джерела вуглеводнів» (за зразком рубрики «Висновки» до попередніх розділів).

# ОКСИГЕНОВМІСНІ СПОЛУКИ





## ✓ СПИРТИ І ФЕНОЛ



## ✓ АЛЬДЕГІДИ І КАРБОНОВІ КИСЛОТИ



## ✓ ЕСТЕРИ. ЖИРИ



## ✓ ВУГЛЕВОДИ

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 входять до складу мила та інших мийних засобів, ліків тощо. Знайомі вам з курсу хімії 9 класу терміни «спирт», «оцтова кислота», «естер», «олія», «цукор» — це назви оксигеновмісних органічних речовин. Саме їх та багато інших сполук ви докладно вивчатимете в цьому розділі органічної хімії.

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

**Оксигеновмісні органічні сполуки**

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

## СПИРТИ І ФЕНОЛ



Наприкінці вивчення теми ви зможете:

- назвати спирти за правилами номенклатури;
- скласти формули спиртів за їхніми назвами та назви — за формулами;
- скласти формули структурних ізомерів;
- 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: *первинні, вторинні, третинні спирти, діоли, тріоли, внутрішньо- й міжмолекулярна дегідратація, ректифікат, антифриз.*

## § 17. НАСИЧЕНІ ОДНОАТОМНІ СПИРТИ

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

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 триатомний 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

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

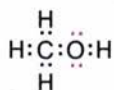
$\begin{array}{c} \text{CH}_2-\text{OH} \\ | \\ \text{CH}-\text{OH} \\ | \\ \text{CH}_2-\text{OH} \end{array}$   
Гліцерол



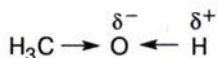
Залежно від того, з яким атомом Карбону сполучена гідроксигрупа — одно-, дво- чи тризаміщеним, — спирти поділяють на *первинні*, *вторинні* й *третинні*:



У зовнішньому електронному шарі атома Оксигену містяться шість електронів:  $2s^2 2p^4$ , з яких два утворюють зв'язки з атомами Карбону і Гідрогену, а чотири — дві вільні електронні пари. Наявність вільних електронних пар у атома Оксигену позначають в електронних формулах спиртів:



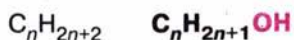
Зв'язок O—H поляризований, оскільки атом більш електронегативного Оксигену відтягує до себе електронну густину зв'язку. Внаслідок поляризації на атомі Гідрогену виникає частковий позитивний заряд, а на атомі Оксигену — частковий негативний:



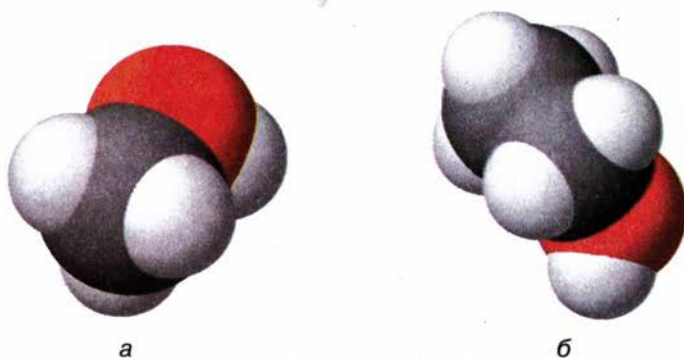
Полярність зв'язку впливає на властивості спиртів.

**ГОМОЛОГІЧНИЙ РЯД.** Метанол розпочинає гомологічний ряд насичених одноатомних спиртів. Константи гомологів наведено в табл. 10. Моделі молекул метанолу й етанолу зображено на мал. 62.

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**.



Мал. 62. Моделі молекул метанолу (а) та етанолу (б)

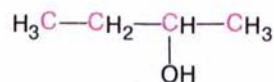
## Характеристики насичених одноатомних спиртів

Назва	Формула		Температура, °С		Густина, г/см <sup>3</sup>	Розчинність, г/100 г Н <sub>2</sub> O
	молекулярна	скорочена структурна	плавлення	кипіння		
Метанол	CH <sub>3</sub> OH	CH <sub>3</sub> —OH	-94,0	64,5	0,792	Необмежена
Етанол	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH	CH <sub>3</sub> —CH <sub>2</sub> —OH	114,0	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	-127,0	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	-52,0	157,0	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	-34,0	176,0	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	-17,0	194,0	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	-5,0	215,0	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	7,0	230,0	0,829	»

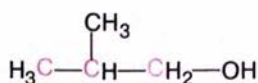
**ІЗОМЕРІЯ. НОМЕНКЛАТУРА.** Насиченим одноатомним спиртам властива *структурна ізомерія*, зумовлена будовою карбонового скелета і положенням гідроксильної групи. Для спирту складу C<sub>4</sub>H<sub>9</sub>OH можливі такі ізомери:



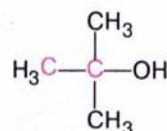
(1)



(2)



(3)

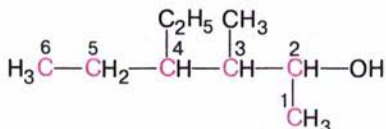


(4)

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 (с. 90). Визначте серед них первинний, вторинний і третинний спирти.

**ФІЗИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ. ВОДНЕВИЙ ЗВ'ЯЗОК.** Насичені одноатомні спирти — рідкі або кристалічні (вищі спирти) речовини, безбарвні, зі специфічним 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. 11).

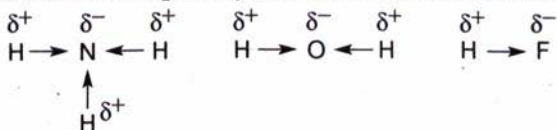
Таблиця 11

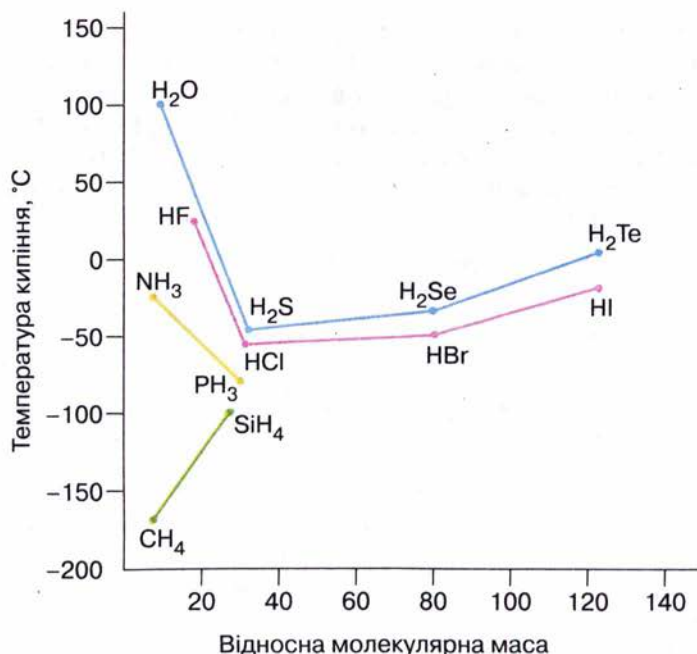
### Температури кипіння вуглеводнів і спиртів

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

Таку відмінність температур можна пояснити наявністю додаткової взаємодії між молекулами спирту. Щоб з'ясувати природу цієї взаємодії, звернемося до неорганічної хімії і розглянемо температури кипіння сполук Гідрогену з деякими елементами IV—VII груп Періодичної системи (мал. 63). 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 мають найвищі температури кипіння, тобто молекули цих сполук міцніше зв'язані між собою. Чому?

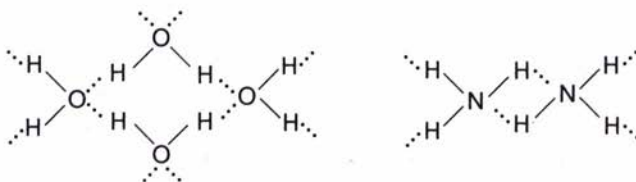
Зв'язки між атомами Гідрогену й електронегативними атомами N, O, F поляризовані, на атомах Гідрогену виникає частковий позитивний заряд:



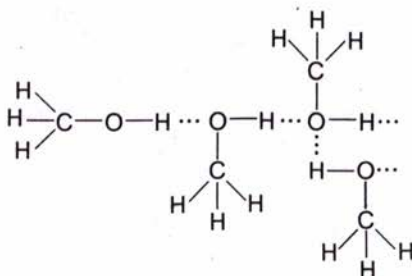


Мал. 63. Залежність температур кипіння сполук неметалічних елементів з Гідрогеном від їхньої відносної молекулярної маси

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



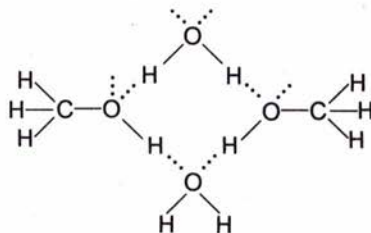
Так само утворюються водневі зв'язки між полярними молекулами спирту:



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

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

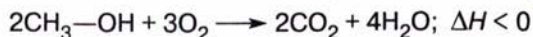
Внаслідок утворення водневих зв'язків між молекулами води і спиртів останні розчиняються у воді:



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

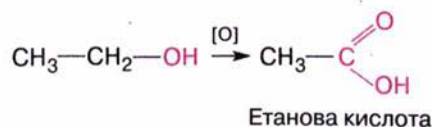
У цьому можна перекопатися на досліді. У чотири пробірки з водою добавимо метанол, етанол, бутанол, пентанол в однакових об'ємах. Спостерігаються повне розчинення перших двох спиртів і значно менша розчинність двох інших.

**ХІМІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ. Реакції повного і 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 несвітлого синюватого полум'я метанолу до кіптявого — пентанолу.



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

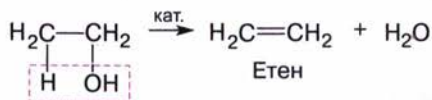
Частково окиснюють спирти калій дихромат або калій перманганат у кислому середовищі, при цьому утворюються карбонові кислоти:



**Реакції заміщення.** Оскільки електронна густина зв'язку  $\text{O} \leftarrow \text{H}$  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



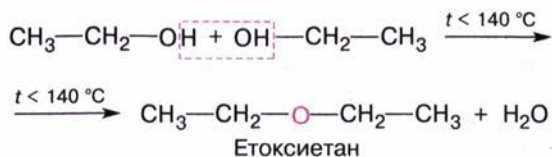
**Реакція дегідратації.** Перебіг цієї реакції визначається зовнішніми умовами. Якщо етанол нагрівати до температури понад  $170\text{ }^{\circ}\text{C}$  із сильною кислотою, наприклад концентрованою сульфатною, або пропускати пару спирту над каталізатором ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), то відбуватиметься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



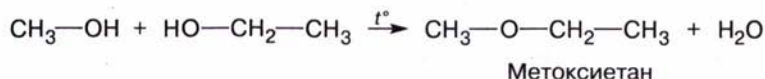
Складіть рівняння реакції дегідратації пропанолу. Назвіть речовину, що утворюється.

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

З етанолу утворюється *етоксиетан*:

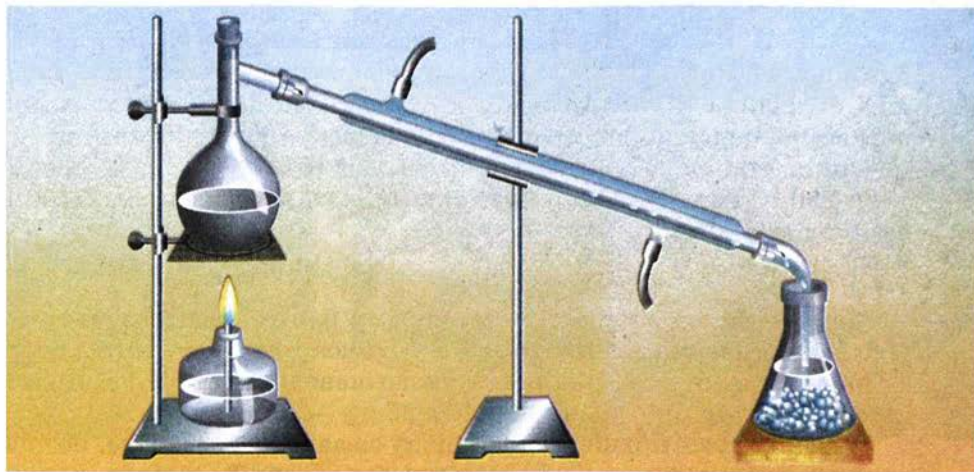


Якщо ж реагує суміш спиртів, наприклад метанолу та етанолу, то утворюється несиметричний етер — *метоксиетан*:

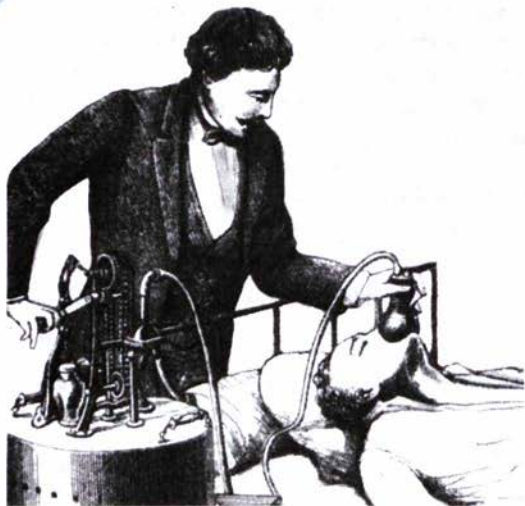


У результаті цієї реакції утворюються також два симетричних етери. Складіть відповідні рівняння реакцій.

Із середини XIX ст. етоксиетан (у медицині використовують термін «медичний ефір») відомий як засіб для знеболення (мал. 65). Першу операцію



Мал. 64. Добування бромоетану в лабораторії



Мал. 65. Анестезія медичним ефіром (1885 р.)

під ефірним наркозом провів бостонський хірург Дж. Уоррен у 1846 р. У воєнно-польовій хірургії його вперше застосував видатний російський хірург М. І. Пирогов.

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

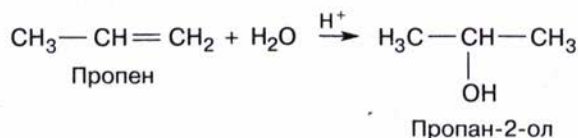
◆ Складіть формулу спирту, ізомерно-го етоксietану.

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



На практиці використовують водний розчин натрій гідроксиду або карбонату.

Спирти утворюються в результаті реакції *гідратації алкенів*:



Поширеним способом добування спиртів є *відновлення альдегідів*, про що ви дізнаєтеся згодом.

**ОКРЕМІ ПРЕДСТАВНИКИ.** **Метанол** (метиловий спирт) уперше був добутий Р. Бойлем у 1661 р., а вивчений лише в першій половині XIX ст. Найдавнішим методом добування метанолу є суха перегонка деревини (звідси походить його інша назва — деревний спирт).

Нині метанол добувають із синтез-газу (суміш  $\text{CO}$  і  $\text{H}_2$ ). За температури  $250\text{ }^\circ\text{C}$  і тиску 5 МПа та наявності каталізатора ( $\text{CuO}$ ,  $\text{ZnO}$ ) ці газы взаємодіють між собою:



Метанол використовують в органічному синтезі та як розчинник, переробляють на формальдегід, який є сировиною для виробництва пластмас.

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

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





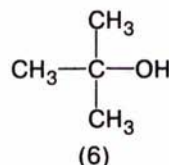
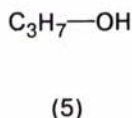
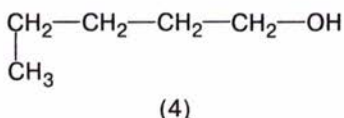
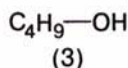
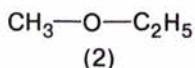
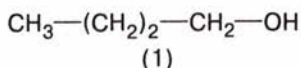
Етанол, призначений для технічних цілей, називається *денатуратом*. Цей продукт містить домішки, що змінюють запах, смак і колір етанолу і роблять його непридатним для споживання.

**Дія етанолу на організм.** З курсів хімії і біології ви вже знаєте про згубну дію алкоголю на організм людини, що призводить до важкого 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 група?
2. Які сполуки називають спиртами?
3. Поясніть електронну будову молекули метанолу.
4. Як позначається вплив атома Оксигену на розподіл електронної густини в молекулі спирту?
5. Чим зумовлена ізомерія насичених одноатомних спиртів? Наведіть приклади.
6. Поясніть причину аномально високої температури кипіння води.
7. Поясніть вплив водневих зв'язків на фізичні властивості спиртів.
8. Укажіть ізомери і гомологи серед наведених сполук.



- 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.

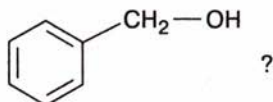
9. Наведіть рівняння хімічних реакцій спиртів, що відбуваються з розриванням зв'язків С—ОН і СО—Н.
10. Поясніть вплив умов на перебіг реакції дегідратації етанолу.
11. Складіть рівняння реакцій за схемою:



### Додаткові завдання

1. Скільком речовинам відповідає формула  $\text{C}_5\text{H}_{11}\text{O}$ ? Складіть їх структурні формули і дайте назви.
2. Етин — газ, гідроген цїанід — рідина (н. у.), хоча молекулярні маси цих сполук приблизно однакові. Поясніть це.
3. Які хімічні властивості етанолу підтверджують, що його формула  $\text{C}_2\text{H}_5-\text{OH}$ , а не  $\text{CH}_3-\text{O}-\text{CH}_3$ ?
4. Які етери можуть утворитися в результаті нагрівання суміші метанолу та етанолу із сульфатною кислотою?
5. Порівняйте властивості метанолу з властивостями води і метану. Зробіть узагальнювальний висновок.
6. Як трьома способами добути хлороетан? Складіть відповідні рівняння реакцій.

7. Які хімічні властивості, на вашу думку, матиме бензиловий спирт

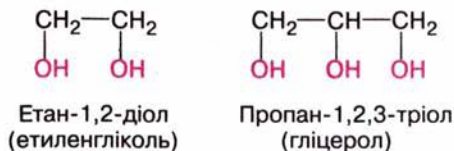


8. Напишіть рівняння послідовних перетворень: етанолу на етан; метану на метанол; вуглецю на метанол.  
 9. Внаслідок повного згоряння речовини масою 13,8 г утворилося 26,4 г вуглекислого газу і 16,2 г води. Визначте молекулярну формулу цієї речовини, якщо густина її пари за воднем дорівнює 23. Складіть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

## § 18. ЕТИЛЕНГЛІКОЛЬ. ГЛІЦЕРОЛ

**СКЛАД МОЛЕКУЛ.** Молекули спиртів можуть містити дві, три і більше гідроксильних груп біля різних атомів Карбону. Такі спирти називають відповідно *двоатомними*, *триатомними*, *багатоатомними* (коли таких груп понад три). Щодо двоатомних застосовують також загальну назву *гліколі*, а щодо триатомних — *гліцероли*. За систематичною номенклатурою двоатомні спирти називають *діолами*, триатомні — *тріолами*.

Найпростіший двоатомний спирт — **етиленгліколь**, триатомний — **гліцерол** (тривіальна назва — **гліцерин**):



На мал. 68 зображено модель молекули гліцеролу.

**ФІЗИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ.** Етиленгліколь і гліцерол — безбарвні в'язкі рідини, добре розчинні у воді. Особливістю цих та багатоатомних спиртів є солодкий смак, що посилюється зі збільшенням числа гідроксильних груп у молекулі. Ця властивість гліцеролу відбита в його назві, що походить від грецького 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 етиленгліколю.

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



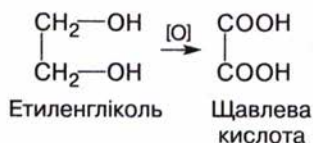
Мал. 68. Модель молекули гліцеролу

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

**Реакції повного і часткового окиснення.** Як й інші органічні речовини, етиленгліколь і гліцерол окиснюються 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.** Багатоатомні спирти вступають у реакцію заміщення з металічним *натрієм*. У пробірку з гліцеролом опустимо шматочок металічного натрію, нагріємо її вміст. Відбувається реакція з виділенням водню:



Наявність 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, яку використовують для їх виявлення, є реакція з купрум(II) гідроксидом з утворенням розчину синього кольору. Продукт реакції — сполука складної будови, яку ми не розглядаємо.

#### Лабораторний дослід 4.

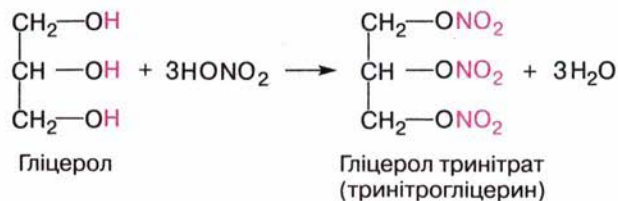
#### Взаємодія гліцеролу з купрум(II) гідроксидом

У пробірку налийте 1 мл розчину натрій або калій гідроксиду і додайте кілька крапель розчину купрум(II) сульфату. Утворюється блакитний осад купрум(II) оксиду. До осаду додайте гліцерол, суміш збовтайте. Що спостерігаєте?

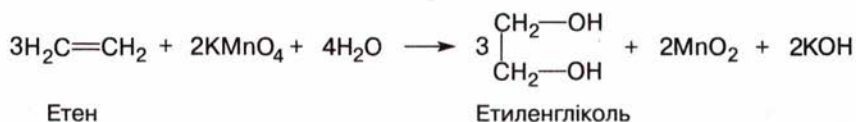
Взаємодією багатоатомних спиртів з *гідроген галогенідами* (HCl, HBr) можна добути галогенопохідні в результаті заміщення однієї або двох гідроксильних груп:



Багатоатомні спирти взаємодіють з *неорганічними кислотами*. Важливою є реакція гліцеролу з концентрованою нітратною кислотою (за наявності сульфатної кислоти). Продуктом реакції є гліцерол тринітрат (тринітрогліцерин):



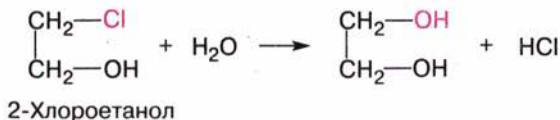
**ДОБУВАННЯ.** Одну з реакцій добування гліколів ви знаєте — це *окиснення етену* калій перманганатом:



Пригадайте, де використовують цю реакцію.

Гліцерол добувають *омиленням жирів* (див. с. 128).

Багатоатомні спирти, як і одноатомні, можна добути *гідролізом галогенопохідних*:



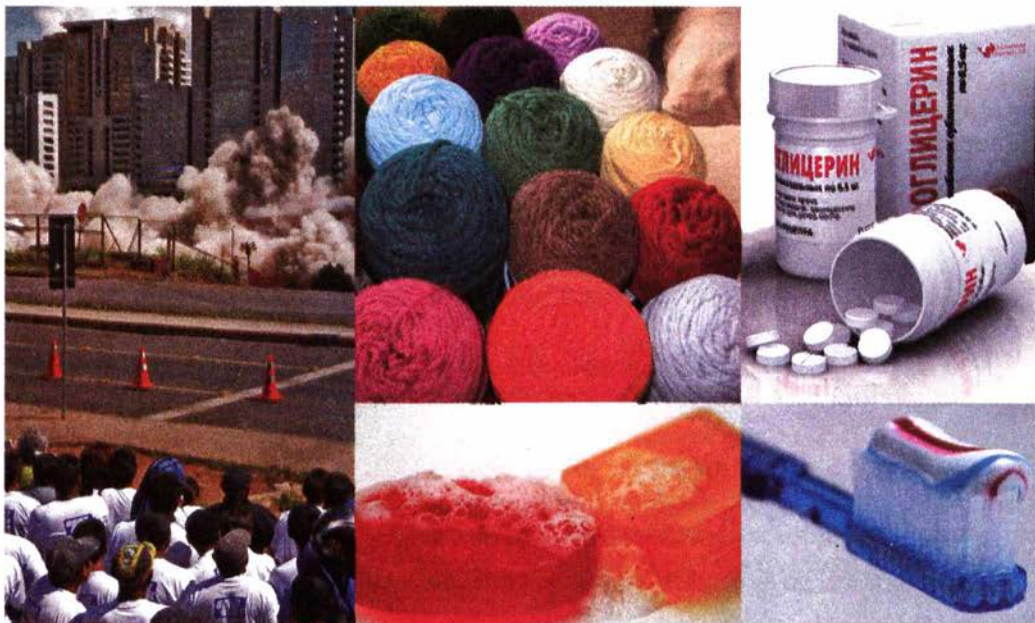
**ЗАСТОСУВАННЯ.** Суміш етиленгліколю з водою має низьку температуру замерзання, тому її використовують для виготовлення антифризу (від англ. *freeze* — замерзати) — рідини для охолодження двигунів, які працюють за низьких температур (мал. 69).

На відміну від гліцеролу етиленгліколь — дуже отруйна речовина, що спричиняє параліч дихальних шляхів, призводить до «вимикання» нирок. Протиотрутою етиленгліколю є етанол.

**Гліцерол** (гліцерин) широко застосовується (мал. 70) передусім завдяки своїй гігроскопічності. У парфумерії та фармації — як пом'якшувальний засіб або основа мазей, добавка до мила, зубної пасти (щоб запобігти їх висиханню); у харчовій промисловості — як добавка до напоїв, кондитерських виробів. Шкіряне виробництво й текстильна промисловість послуговуються гліцеролом для обробки пряжі й шкіри з метою їх пом'якшення та надання еластичності. Продукт нітрування



Мал. 69. Етиленгліколь — основна складова антифризу



Мал. 70. Застосування гліцеролу

гліцеролу — тринітрогліцерин — вибухова речовина, з якої виготовляють динаміт. А спиртовий розчин цієї сполуки має судинорозширювальну дію і під назвою «нітрогліцерин» використовується як ліки від серцевих захворювань.



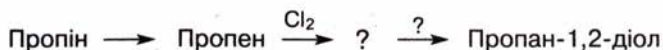
### Завдання для самоконтролю.....

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



### Додаткові завдання.....

1. Поясніть причину різноманітності сполук, що належать до класу спиртів.
2. Чи є гомологами етиленгліколь і гліцерол? Відповідь поясніть.
3. Яка сполука має, на вашу думку, більшу густину — етиленгліколь чи гліцерол? Відповідь поясніть. Для підтвердження свого припущення скористайтеся довідником.
4. Поясніть, чому пентанол малорозчинний у воді, а пентантріол — добре розчинна сполука.
5. Поясніть, у чому полягає вплив гідроксильних груп на реакції гліколів і тріолів.
6. Складіть рівняння реакцій за схемою:



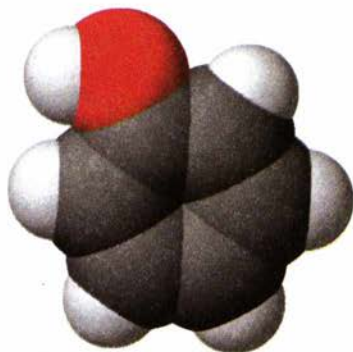
7. У результаті вибуху динаміту утворюється суміш вуглекислого газу, азоту, кисню і води, на які розкладається гліцерол тринітрат. Сума коефіцієнтів у рівнянні реакції розкладу становить:  
**А 34; Б 33; В 12.**
8. Трускавецька мінеральна вода «Юзя» містить гліцерол. Здавна місцеві дівчата вмивалися нею «для краси». На яких властивостях, на вашу думку, ґрунтується дія цієї води?

## Висновки

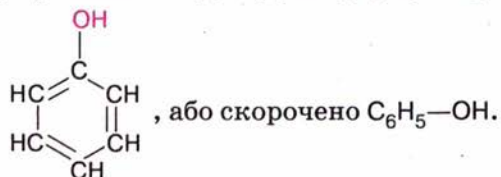
- Молекули спиртів містять функціональну гідроксильну групу, сполучену з вуглеводневим залишком. Багатоатомні спирти містять кілька таких груп біля різних атомів Карбону.
- Спирти — полярні сполуки. Електронна густина зв'язку  $\text{O}-\text{H}$  зміщена до більш електронегативного атома Оксигену.
- За хімічною будовою розрізняють первинні, вторинні й третинні спирти.
- Насиченим одноатомним спиртам властиві: структурна ізомерія, зумовлена будовою карбонового скелета, положенням гідроксильної групи; міжкласова ізомерія спирти — етери.
- Спирти мають вищі порівняно з вуглеводнями температури плавлення і кипіння, більшу густину внаслідок утворення водневих зв'язків між молекулами. У багатоатомних спиртів 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 альдегідів і карбонових кислот, а гліколи та тріоли окиснюються до багатофункціональних сполук.
- Спирти вступають у реакції заміщення з розривом зв'язку  $\text{O}-\text{H}$  (з металічним натрієм) або зв'язку  $\text{C}-\text{OH}$  (із гідроген галогенідами).
- Дегідратація насичених одноатомних спиртів відбувається, залежно від умов, з утворенням або алкенів, або етерів.
- Між вуглеводневою і гідроксильною групами спостерігається взаємний вплив. Порівняно з водою спирти менш енергійно взаємодіють з металічним натрієм, а порівняно з насиченими вуглеводнями — легше окиснюються.
- Багатоатомні спирти реагують за однією або кількома гідроксигрупами.
- Метанол і етанол, гліцерол і етиленгліколь 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.

## § 19. ФЕНОЛ

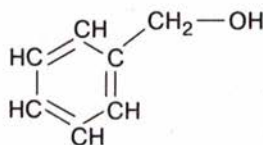
**СКЛАД І БУДОВА МОЛЕКУЛИ.** Якщо гідроксильна група сполучена безпосередньо з бензеновим ядром, то утворюється сполука **фенол**, представник класу **фенолів**. Структурна формула фенолу



Мал. 71. Модель молекули фенолу



Модель молекули фенолу наведено на мал. 71. 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 речовина, безбарвна, має характерний запах. У разі зберігання в нещільно закритому посуді внаслідок окиснення набуває рожевого кольору.

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

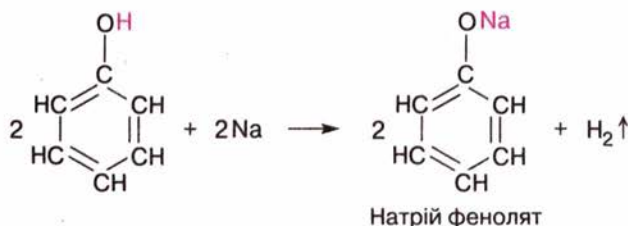
Помістимо пробірку з фенолом у посудину з гарячою водою: речовина розплавиться. У холодній воді фенол розчиняється погано. Але швидко розчиняється, якщо додати в пробірку з фенолом гарячої води.

**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*.

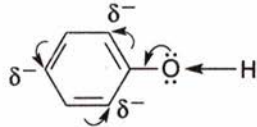
◆ Пригадайте, як взаємодіє етанол з металічним натрієм. Складіть рівняння реакції.

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:



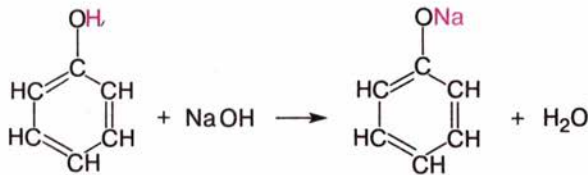


Отже, фенол реагує з *натрієм* так само, як спирти. Проте гідроксильна група у спиртах і фенолі зазнає впливу різних вуглеводневих груп: алкільної та ароматичної. У фенолі неподілена пара електронів атома Оксигену відтягується бензеновим ядром і взаємодіє з його  $\pi$ -електронною системою. У свою чергу, атом Оксигену відтягує до себе електронну густину зв'язку O—H:



Як наслідок, зв'язок O—H послаблюється, атом Гідрогену набуває рухливості більшої, ніж у спиртах. У цьому разі можна припустити, що фенол *виявлятиме властивості кислоти* сильніше порівняно зі спиртами.

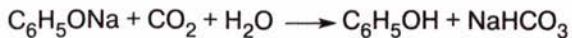
Справді, етанол не реагує з розчином лугу, а фенол вступає в цю реакцію як кислота, утворюючи фенолят:



Натрій фенолят

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 краплях розчин *лугу* — утвориться розчин феноляту. Крізь порцію феноляту в пробірці пропустимо вуглекислий газ — розчин знову стає каламутним, бо виділяється вільний фенол:



Отже, фенол — слабша 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:



2, 4, 6-Трибромфенол

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.

*Характерною реакцією фенолу, за якою його можна виявити серед інших речовин, є реакція з розчином ферум(III) хлориду. Внаслідок зливання розчинів речовин утворюється сполука фіолетового кольору. Її формулу не наводимо через складність будови.*

**ЗАСТОСУВАННЯ ФЕНОЛУ.** Фенол було виділено з кам'яно-вугільної 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, які було виявлено ще в другій половині XIX ст. Вони зумовлюють використання його розчину (5 %-го) для знезаражування приміщень, хірургічних інструментів, його додають 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 забруднює 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 O—H у гідроксильній групі, і фенол виявляє кислотні властивості.
- Фенол розпізнають за реакцією з ферум(III) хлоридом.
- Основне промислове джерело фенолу — кам'яновугільна смола.
- Фенол — антисептик, але він отруйний для людини.



## Завдання для самоконтролю.....

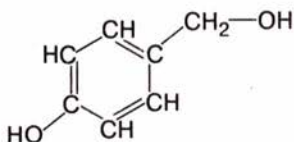
1. У чому полягає відмінність хімічної будови ароматичних спиртів і фенолів?
2. Поясніть розчинність фенолу у воді.
3. Які реакції доводять, що фенол має кислотні властивості?

- У чому полягає вплив гідроксильної групи на бензенове ядро (порівняйте з бензеном)?
- Поясніть вплив бензенового ядра на гідроксильну групу (порівняйте з метанолом).
- На якій властивості фенолу ґрунтується його застосування як антисептика?



### Додаткові завдання .....

- Схарактеризуйте подібні хімічні властивості фенолу й одноатомних спиртів. До якого типу реакцій належить реакція фенолу з лугом?
- У трьох пробірках містяться етанол, гліцерол, розчин фенолу. Як розрізнити вміст пробірок за фізичними і хімічними властивостями цих сполук?
- До розчину натрій феноляту обережно по краплях додають розчин сульфатної кислоти. Розчин каламутніє. Чому? Складіть рівняння реакції.
- Обчисліть масу трибромфенолу, що утвориться в результаті бромовання фенолу масою 235 г, в якому масова частка домішок становить 20 %.
- Позначте, в які реакції вступатиме речовина, що має будову



- А** з натрієм і натрій гідроксидом;  
**Б** тільки з натрієм;  
**В** тільки з натрій гідроксидом.  
 Складіть рівняння реакцій.
- Розчином фенолу обробляють залізничні шпали завдяки його:
    - А** кислотним властивостям;
    - Б** характерному запаху;
    - В** антисептичним властивостям;
    - Г** здатності окиснюватися на повітрі.
  - Користуючись додатковою літературою, підготуйте стисле повідомлення про вплив фенолу на довкілля.



## АЛЬДЕГІДИ І КАРБОНОВІ КИСЛОТИ

Наприкінці вивчення теми ви зможете:

- назвати альдегіди і карбонові кислоти за правилами номенклатури;
- скласти формули структурних ізомерів;
- описати фізичні властивості сполук, багатоманітність карбонових кислот;
- пояснити реакційну здатність альдегідів і карбонових кислот;
- пояснити електронну суть взаємного впливу атомів у молекулі карбонної кислоти;
- записати рівняння реакцій окиснення, відновлення, нейтралізації, естерифікації, дегідратації, гідратації етину за методом Кучерова;
- пояснити методи добування сполук;
- розповісти про їхнє застосування;
- класифікувати карбонові кислоти;
- засвоїти терміни: *альдегід, карбонільна група, альдегідна група, димер.*

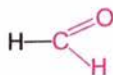
### § 20. АЛЬДЕГІДИ

**СКЛАД І БУДОВА МОЛЕКУЛ.** До класу альдегідів належать речовини, в молекулах яких функціональна *альдегідна група*

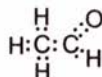
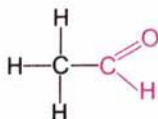
$\text{—}\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}\text{—H}$  сполучена з вуглеводневим залишком (у найпростішого альдегіду — з атомом Гідрогену).

Загальна формула альдегідів —  $\text{C}_n\text{H}_{2n+1}\text{CHO}$ , або  $\text{R—CHO}$ .

Порівняно зі спиртами у складі молекул альдегідів на два атоми Гідрогену менше. Це відбивається в назві «альдегіди», що походить від слів «алкоголь» і «дегідрування», тобто дегідрований алкоголь. Назва першого члена гомологічного ряду — **метаналь**, або формальдегід, або мурашиний альдегід:

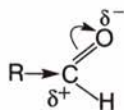


Наступний у гомологічному ряду — **етаналь**, або ацетальдегід, або оцтовий альдегід:



В альдегідній групі атом Карбону утворює подвійний зв'язок з атомом Оксигену. Цей зв'язок поляризований за рахунок відтягування

електронів до атома Оксигену як більш електро-негативного елемента. На ньому виникає частковий негативний заряд, а на атомі Карбону — частковий позитивний заряд:



Саме це визначає хімічну активність альдегідів.

**ИЗОМЕРІЯ, НОМЕНКЛАТУРА.** Альдегідам властива *структурна ізомерія* карбонового скелета.



Мал. 72. Модель молекули етаналю

◆ Складіть кілька формул структурних ізомерів альдегідів, наведених у табл. 12.

Систематичні **назви** альдегідів утворюють від назв алканів з відповідним числом атомів Карбону додаванням суфікса *-аль*.

Формули і назви деяких інших альдегідів наведено в табл. 12, модель молекули етаналю — на мал. 72.

Таблиця 12

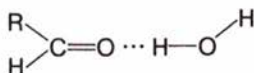
### Характеристики альдегідів

Назва		Структурна формула	Температура кипіння, °С
систематична	тривіальна		
Метаналь	Мурашиний альдегід (формальдегід)	$\text{H}-\text{C}(=\text{O})-\text{H}$	-21
Етаналь	Оцтовий альдегід (ацетальдегід)	$\text{CH}_3-\text{C}(=\text{O})-\text{H}$	21
Пропаналь	Пропіоновий альдегід	$\text{H}_3\text{C}-\text{H}_2\text{C}-\text{C}(=\text{O})-\text{H}$	49
Буганаль	Масляний альдегід	$\text{H}_3\text{C}-\text{H}_2\text{C}-\text{H}_2\text{C}-\text{C}(=\text{O})-\text{H}$	79

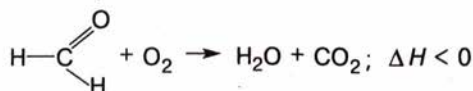
**ФІЗИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ.** Альдегіди — леткі рідини (метаналь — газ). Переважна більшість їх мають характерний запах. Температури кипіння цих сполук нижчі порівняно зі спиртами, що засвідчує відсутність міжмолекулярних водневих зв'язків.

Нижчі альдегіди, в яких переважає полярна частина над неполярною (вуглеводневою групою), добре розчинні у воді, інші — розчиняються в органічних розчинниках.

Між молекулами альдегідів і води утворюються водневі зв'язки:



**ХІМІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ.** Реакції повного і часткового окиснення. Альдегіди легко вступають у реакції окиснення. Повне окиснення (горіння) відбувається за схемою:



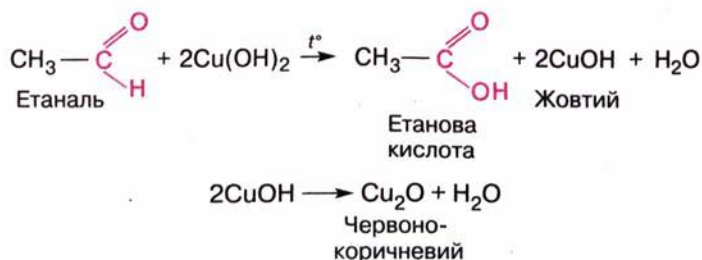
Часткове окиснення альдегіду можна провести за допомогою купрум(II) гідроксиду.



### Лабораторний дослід 5.

### Окиснення етаналю купрум(II) гідроксидом

У пробірці добуďte купрум(II) гідроксид, добавивши до кількох крапель розчину купрум(II) сульфату розчин натрій гідроксиду. До осаду, що утворився, добавте 1 мл етаналю, суміш нагрійте. У пробірці утворюється жовтий осад купрум(I) гідроксиду, що відразу розкладається на купрум(I) оксид червоного кольору і воду:



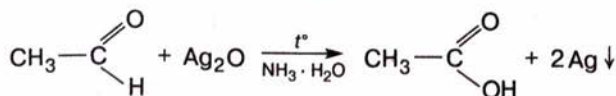
Окиснити альдегід можна й іншим реактивом — амоніаковим розчином аргентум(I) оксиду.



### Лабораторний дослід 6.

### Окиснення етаналю аргентум(I) оксидом

Ретельно вимийте пробірку содою і водою. Налийте в неї 1 мл амоніакового розчину аргентум(I) оксиду й обережно добавте кілька крапель етаналю. Нагрійте пробірку в стакані з гарячою водою. На стінках посудини осідає металічне срібло (мал. 73). Цю реакцію називають реакцією «срібного дзеркала»:



Проведені реакції *характерні* для альдегідів і використовуються з метою їх аналітичного визначення.

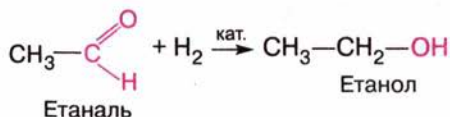
**Реакції приєднання.** Оскільки альдегідна група містить подвійний зв'язок, можна припустити, що альдегіди вступатимуть у реакцію приєднання за місцем цього зв'язку.



Мал. 73. У результаті реакції «срібного дзеркала» срібло утворює осад на стінках колби

- ♦ Для якої групи органічних речовин характерні реакції приєднання? Наведіть рівняння реакції гідратування.

Приєднуючи водень, етаналь перетворюється на етанол:



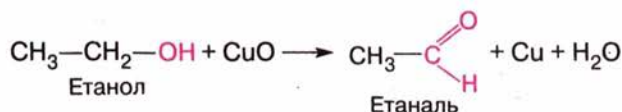
Отже, альдегіди відновлюються до спиртів. Крім того, спирт можна окиснити до альдегіду.



### Лабораторний дослід 7. Окиснення спирту до альдегіду

Мідний дріт розжарте у полум'ї спиртівки. Коли він вкриється мідною окалиною (CuO), опустіть його в пробірку з етанолом. Відчувається характерний запах етаналю.

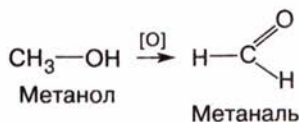
Зверніть увагу на колір мідного дроту — окалина відновилася до металічної міді:



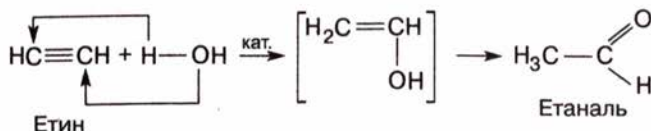
- ♦ Доповніть свої записи в темі «Спирти» інформацією про властивість спиртів окиснюватися до альдегідів, запишіть відповідне рівняння реакції.

Розглянуті реакції окиснення й відновлення важливі для здійснення взаємних перетворень речовин різних класів.

**ДОБУВАННЯ.** Загальний метод добування альдегідів — *окиснення первинних спиртів*. Метаналь утворюється в результаті окиснення метанолу, етаналь — окиснення етанолу:



Етаналь добувають також *гідратацією етину* за наявності катализатора — суміші сульфатної кислоти й меркурій(II) сульфату. Цю реакцію відкрив російський учений М. Г. Кучеров у 1881 р.:



Реакція відбувається через утворення проміжного продукту — вінілового спирту. Проте сполука з гідроксигрупою біля атома, сполученого подвійним зв'язком, нестійка, тому відбувається її ізомеризація в альдегід.