

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

**Методичні вказівки**  
для дистанційного навчання  
з дисципліни «Хімія»  
для слухачів підготовчого відділення  
Частина 4

Одеса 2020

Методичні вказівки для дистанційного навчання з дисципліни «Хімія» для слухачів підготовчого відділення. Частина 4

/Чокан Л.О. – Одеса: ОДЕКУ, 2020 – с.55

## ЗМІСТ

ПЕРЕДМОВА.....	4
ТЕМА 1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ОРГАНІЧНОЇ ХІМІЇ.....	5
ТЕМА 2. ВУГЛЕВОДНІ. АЛКАНИ.....	12
ТЕМА 3. ЦИКЛОАЛКАНИ.....	24
ТЕМА 4. АЛКЕНИ.....	28
ТЕМА 5. АЛКАДІЄНИ.....	35
ТЕМА 6. АЛКІНИ.....	39
ЛІТЕРАТУРА.....	55

## ПЕРЕДМОВА

Органічна хімія в наш час переживає період швидкого розвитку в усіх її галузях, а разом з тим значно зростає обсяг знань.

Методичні вказівки для дистанційного навчання з дисципліни «Хімія» для слухачів підготовчого відділення, частина 4 складаються з розділу «Вуглеводні», який є складовою частиною «Органічної хімії».

Розділ складається з наступних тем:

Тема 1 «Теоретичні основи органічної хімії»;

Тема 2 «Вуглеводні. Алкани»;

Тема 3 «Циклоалкани»;

Тема 4 «Алкени»;

Тема 5 «Алкадієни»;

Тема 6 «Алкини».

Враховуючи труднощі для слухачів підготовчого відділення, які працюють над курсом органічної хімії самостійно, кожна тема присвячена окремому класу органічних сполук, де вказана будова типових представників, особливості номенклатури та ізомерії, фізичні властивості, методи одержання, хімічні властивості й основні механізми реакцій.

Після детального вивчення теоретичного матеріалу слухачі зможуть виконати тестові завдання для самоконтролю.

Контроль самостійної роботи слухачів заочної форми навчання полягає у використанні дистанційних методів, які передбачають застосування сучасних інформаційно-комунікаційних засобів організації контролю, а саме:

- поетапне відправлення слухачем підготовчого відділення виконаних завдань контрольної роботи та отримання зауважень від викладача в режимі «оф-лайн» скрізь мережу Інтернет;

- виконання завдань самостійної роботи безпосередньо в режимі «он-лайн» скрізь мережу Інтернет за допомогою «Moodle»;

- спілкування (консультації) викладача зі слухачем в режимі «оф-лайн» і «он-лайн» скрізь Інтернет у заздалегідь визначені дати та години, що може передбачати як відповіді на запитання слухачів щодо окремих тем, пунктів завдань, так і сумісне обговорення найбільш складних тем теоретичного матеріалу, контрольних робіт, тощо.

У випадку, якщо слухач має накопичену суму балів поточного контролю менше 60% від максимально можливої суми – 100 балів, він не допускається до підсумкового контролю.

Форма підсумкового контролю – іспит.

## ТЕМА 1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ОРГАНІЧНОЇ ХІМІЇ

Органічна хімія – це розділ хімії, що вивчає сполуки карбону, їхні властивості, перетворення та методи добування.

Головне завдання органічної хімії сформував ще 1853 року Ш. Жерар: добування органічних речовин поза життєдіяльності організмів.

Сьогодні кількість відомих органічних сполук сягає понад 20 мільйонів, кожного року отримують ще тисячі органічних сполук (для порівняння-неорганічних сполук відомо близько 650 тис.). Це пояснюється не тільки тим, що хіміки наполегливо та інтенсивно займаються синтезом та дослідженням органічних сполук, але й по-перше унікальною здатністю карбону утворювати сполуки, що містять велику кількість атомів цього елемента, які сполучені в ланцюги(лінійні, розгалужені) та цикли.

По-друге, органічні сполуки мають дуже велике значення через їх широке практичне використання. Світ, що нас оточує, побудований з органічних речовин-це продукти харчування, паливо, одяг, ліки, барвники, миючі засоби та багато чого іншого. Крім того, органічні сполуки незамінні у процесах життєдіяльності організмів.

По-третє, властивості та реакційна здатність більшості органічних сполук істотно відрізняються від неорганічних сполук, тому й методи дослідження їх також відрізняються.

Незважаючи на велике різноманіття, органічні сполуки мають певні спільні властивості: складаються з атомів карбону, гідрогену, часто містять нітроген, кисень, хоча можуть містити атоми й інших елементів:

- Атоми карбону у молекулах орган. Речовин сполучаються один з одним, утворюючи ланцюги(прямі або нерозгалужені, розгалужені, замкнені);

- Між атомами в молекулах переважно неполярні або слабополярні ковалентні зв'язки;

- Більшість мають молекулярну будову, тому для них характерні порівняно низькі температури плавлення й кипіння;

- Більшість не розчиняються у воді, є леткими рідинами або легкоплавкими твердими речовинами, багато з них газуваті за звичайних умов;

- Розчинні у воді органічні сполуки зазвичай є неелектролітами;

- Під час нагрівання вище за 300° C зазвичай розкладаються;

- Реакції органічних речовин здебільшого відбуваються повільніше, серед них багато оборотних;

- Майже всі органічні речовини згоряють утворюючи карбон(IV) оксид і воду.

Для вивчення органічних речовин зручно класифікувати їх за будовою або властивостями, подібно до того, як класифікують неорганічні речовини.

За елементним складом серед органічних сполук можна виділити три великі групи:

- Вуглеводні сполуки – речовини, що складаються тільки з атомів карбону й гідрогену(представники: насичені, ненасичені ароматичні вуглеводні);

- Оксигеновмісні сполуки – речовини, молекули яких окрім карбону й гідрогену містять атоми оксигену(представники: спирти, карбонові кислоти, жири, вуглеводи)

- Нітрогеновмісні сполуки – органічні речовини, у молекулах яких наявні атоми карбону й гідрогену, оксигену та нітрогену(представники: амінокислоти, білки).

У молекулах деяких органічних сполук містяться певні групи атомів, що є характерними для всіх сполук цього класу, їх називають характеристичними(або функціональними), вони зумовлюють характерні властивості органічних сполук.

За наявності характеристичних груп розрізняють такі класи органічних речовин:

- Вуглеводні: характеристичні групи відсутні;

- Спирти, у молекулах яких наявна гідроксильна група – OH;

- Кетони, у молекулах яких наявна карбонільна група  $\text{>C=O}$ ;

- Альдегіди, у молекулах яких наявна альдегідна група  $\text{C}=\text{O}$ ;  
|  
H

- Карбонові кислоти, у молекулах яких наявна карбоксильна група -COOH;

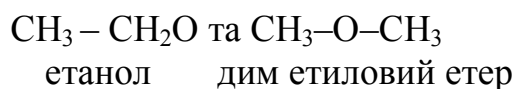
- Нітросполуки, у молекулах яких наявна нітрогрупа -NO<sub>2</sub>;

- Аміни, у молекулах яких наявна аміногрупа -NH<sub>2</sub>;

- Амінокислоти – молекули містять карбоксильну –COOH й аміногрупи -NH<sub>2</sub>.

Тобто до складу молекул органічних сполук можуть входити двічі більше однакових або різних функціональних груп, такі сполуки називають поліфункціональними.

Щоб описати структуру молекули, використовують різні хімічні формули: емпіричні, молекулярні та структурні. Молекулярна (брутто-формула) позначає, які атоми, в якій кількості входять до складу молекули: C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>, CH<sub>4</sub>O, тобто відображає кількісний та якісний склад. Однак молекулярна формула не відображає будову молекули, наприклад, етанол і дим етиловий етер мають однакову молекулярну формулу C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>O, але різні структурні формули і зовсім різні хімічні властивості:

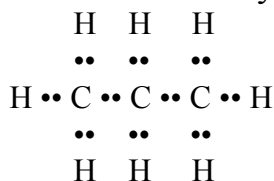


Структурні формули етанолу і дим етилового етеру окрім кількісного складу молекул відображено послідовність сполучення атомів, вона різна.

Під час складання структурних формул вуглеводнів спочатку зображують ланцюг з атомів карбону, потім дописують атоми Гідрогену так, щоб кожний атом карбону утворював по чотири хімічні зв'язки(оскільки карбон в органічних сполуках завжди чотиривалентний).



Іноді застосовується скорочений метод написання структурних формул  $\text{CH}_3 - \text{CH}_2 - \text{CH}_3$ . Є електронні формули: у таких формулах кожна спільна електронна пара ковалентного зв'язку позначена двома крапками:



В органічній хімії використовують три види формул: молекулярні, структурні та електронні.

Основні теоретичні положення та експериментальні результати з органічної хімії узагальнив та сформулював у вигляді положень(постулатів). Олександр Михайлович Бутлеров. Ці постулати, що сьогодні називають теорією будови органічних сполук. Розглянемо її.

### **Перший постулат. Хімічна будова.**

Атоми в молекулі сполучені в певній послідовності відповідно до їхньої валентності. Карбон у молекулах органічних сполук завжди чотиривалентний.

Згідно з цим постулатом, у молекулі існує чіткий порядок сполучення атомів. Кожній речовині відповідає певна хімічна будова, характерна для абсолютно всіх її молекул.

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

### **Другий постулат. Реакційна здатність сполук.**

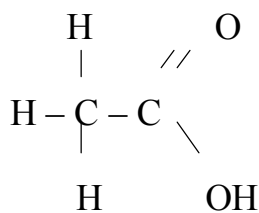
Атоми чи групи атомів у молекулах взаємно впливають на одного безпосередньо або через інші атоми. Хімічна реакційна здатність певних

груп атомів суттєво залежить від їх хімічного оточення, тобто з якими атомами чи групами атомів сполучені ці групи.

Цей постулат пояснює, що хімічні властивості речовини залежать не тільки від того, атоми яких елементів містяться у складі сполуки, але й від порядку їх сполучення.

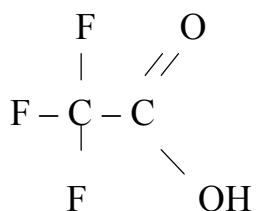
Дослідним шляхом було встановлено вплив наявності певних атомів чи груп атомів у молекулі на реакційну здатність речовин.

Наприклад, якщо взяти станову кислоту, вона виявляє хімічні властивості слабких кислот.



етанова (оцетова) кислота

Якщо ж три атоми Гідрогену в молекулі етанової кислоти замінити на атоми Флуору, то сила кислоти зростає й вона стає кислотою середньої сили:



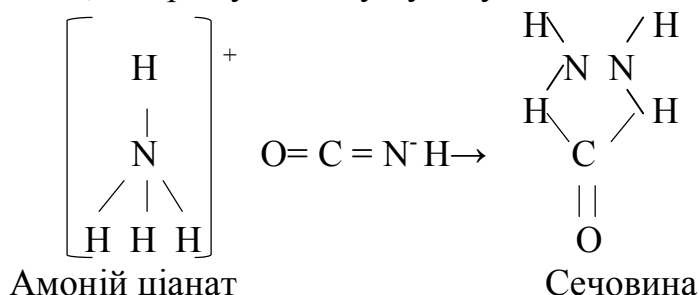
трифлуоретанова кислота (кислота середньої сили)

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

### Третій постулат. Ізомерія.

Деякі речовини мають однакову молекулярну формулу (однаковий якісний і кількісний склад), але різну хімічну будову, тому мають різні властивості. Таке явище називають ізомерією, а речовини – ізомерами.

Розвиток органічної хімії почався з досліду Ф. Велера, коли він з неорганічної речовини амоній ціанату  $\text{NH}_4\text{NCO}$  одбув органічну сечовину  $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$ . У цьому досліді Велер був першим, хто спостерігав явище ізомерії, оскільки амоній ціанат та сечовина мають однаковий елементний склад  $\text{N}_2\text{H}_4\text{CO}$ , але різну хімічну будову:

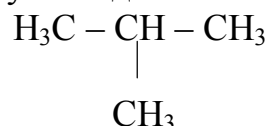




Виявилося, що явище ізомерії є досить поширеним, це згодом було експериментально підтверджено. Берцеліус запровадив термін «ізомери». Саме Бутлеров не лише пояснив існування ізомерії, а й спрогнозував існування різних ізомерів та вперше одержав деякі з них. Він синтезував передбачений ним ізомер бутану –  $C_4H_{10}$  – ізобутан. Із чотирьох атомів Карбону можна скласти не тільки нерозгалужений карбоновий ланцюг, а й розгалужений, кожному з них відповідає свій вуглеводень:



нормальний бутан  
(н – бутан)

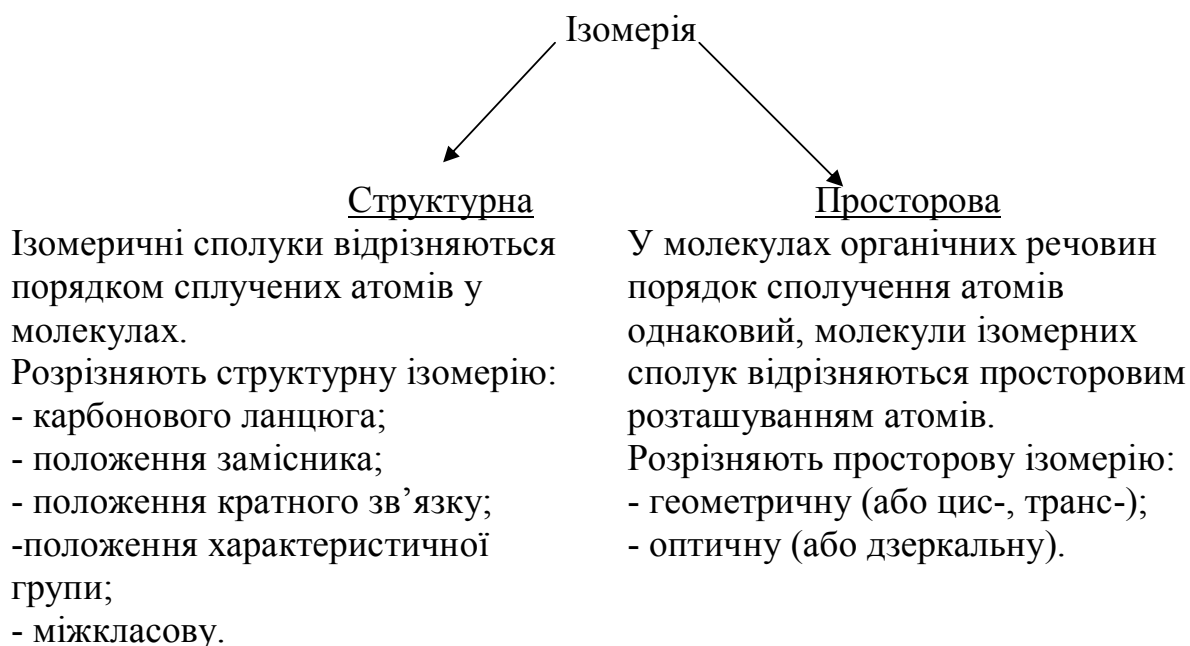


2-метилпропан  
ізобутан

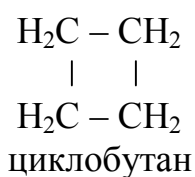
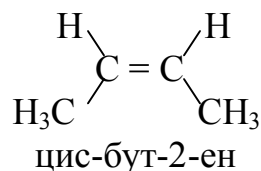
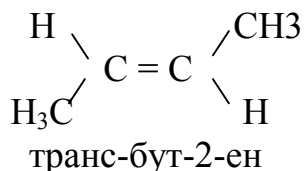
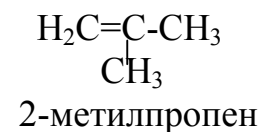
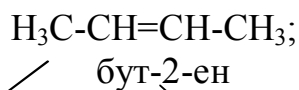
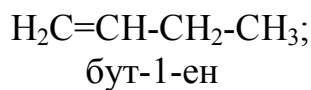
Порівнявши структурні формули нормального бутану й ізобутану, бачимо, що обидві речовини мають однакову молекулярну формулу –  $C_4H_{10}$ , але відрізняються порядком сполучення атомів карбону, тому їхні властивості помітно відрізняються. Так, за однакової молекулярної маси в нормального бутану температура кипіння  $-0,5^\circ C$ , а в ізобутану  $-11,7^\circ C$ , також є відмінності в хімічних властивостях: у реакцію бромовання ізобутан вступає набагато активніше за нормальний бутан.

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

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



Наприклад, молекулярній формулі  $C_4H_8$  відповідає шість структурних формул:



#### Четвертий постулат. Синтез речовин

Знаючи властивості речовин, вивчаючи продукти хім. реакцій можна встановити хімічну будову молекул. Можна синтезувати речовину із заданою будовою.

Одним із перших методів дослідження хімічної будови речовин був аналіз. Аналіз у хімії це метод, за якого речовину піддають розкладу і встановлюють її хімічну будову шляхом дослідження продуктів хімічних перетворень.

Аналізом, наприклад, було встановлено, що білки складаються із залишків молекул амінокислот, оскільки саме ці кислоти утворюються під час розкладу(гідролізу) білків.

Якщо під час аналізу було припущено певну будову речовини, то довести свої висновки можна зворотним методом – синтезом. Синтез – у хімії це метод сполучення молекул певних речовин шляхом хімічних реакцій у нову речовину з необхідною хімічною будовою.

Одним із найяскравіших прикладів доведення хімічної будови сполук є синтез ціанокобаламіну (вітамін В12), хімічна будова якого найскладніша серед усіх вітамінів (рис. 1)

Роберт Вудворд разом із групою з близько 100 співробітників і студентів протягом 11 років розробляли план синтезу, що складався з майже 100 стадій послідовних хімічних реакцій.

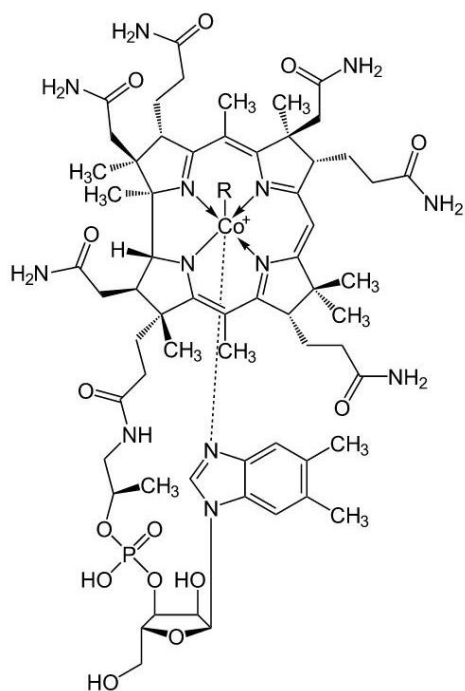


Рис. 1. Хімічна будова ціанокобаламіну (втаміну В<sub>12</sub>).

Сьогодні метод синтезу використовують також для одержання нових речовин. Спочатку визначають, які цінні властивості має виявляти нова речовина. Після цього припускають, якою може бути її будова, розробляють план синтезу і проводять власне експеримент. Після одержання нової речовини перевіряють її властивості відповідно до прогнозованих та роблять висновок щодо подальшого її використання. У хімічних лабораторіях по всьому світу щороку синтезують близько 100 тисяч нових органічних сполук, які використовують як нові лікарські засоби, барвники, флуоресцентні речовини, наноструктури та молекулярні машини тощо.

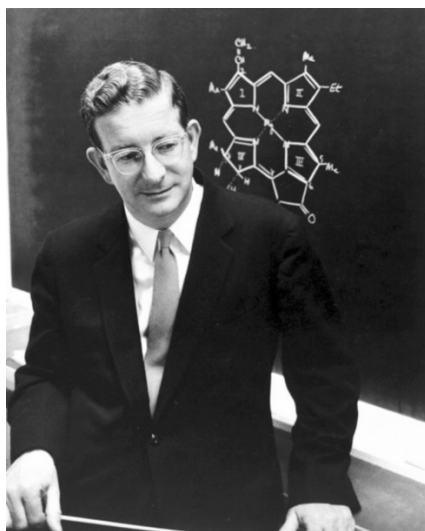


Рис. 2. Роберт Бернс Вудворд

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

Усі класи органічних сполук знаходяться у взаємозв'язку. Ще більше пов'язані один з одним представники одного класу, їх називають гомологами (від грецького-homolog-подібний). Гомологи утворюють гомологічний ряд.

Гомологічний ряд – це ряд органічних сполук з однотипною структурою, де кожний наступний член ряду відрізняється від попереднього на одну або декілька груп атомів –  $\text{CH}_2$  – (гомологічну різницю).

Гомологи мають схожі хімічні властивості, їх фізичні властивості змінюються закономірно. Для одержання гомологів використовують єдині методи. Тобто, у представників одного гомологічного ряду багато спільного.

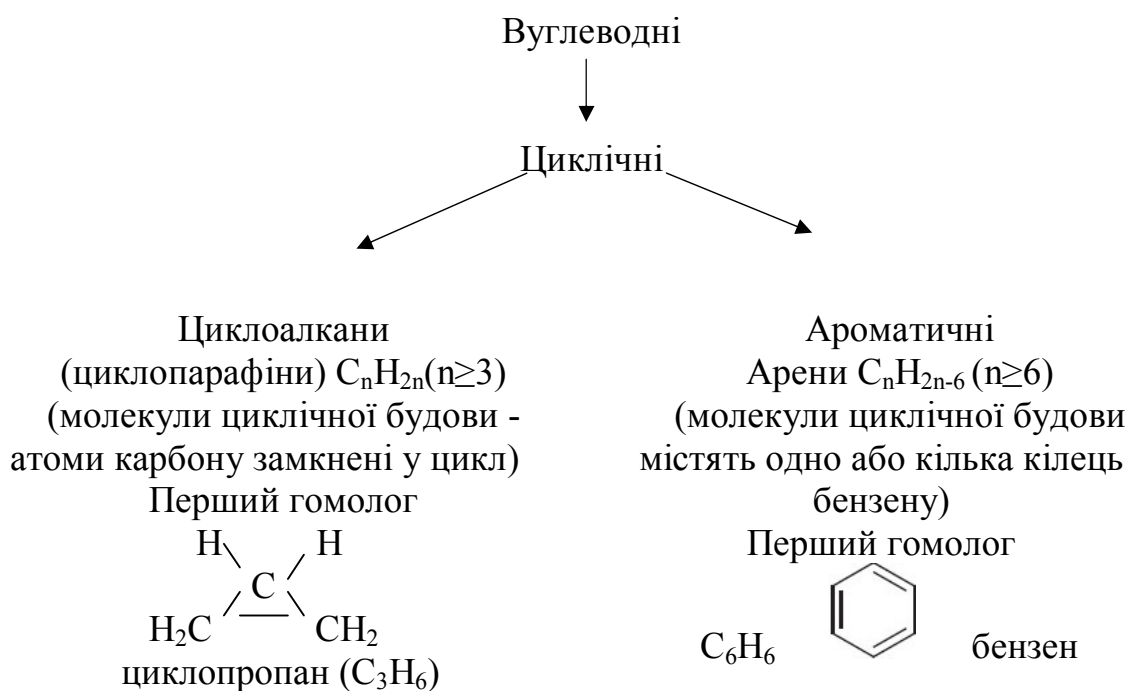
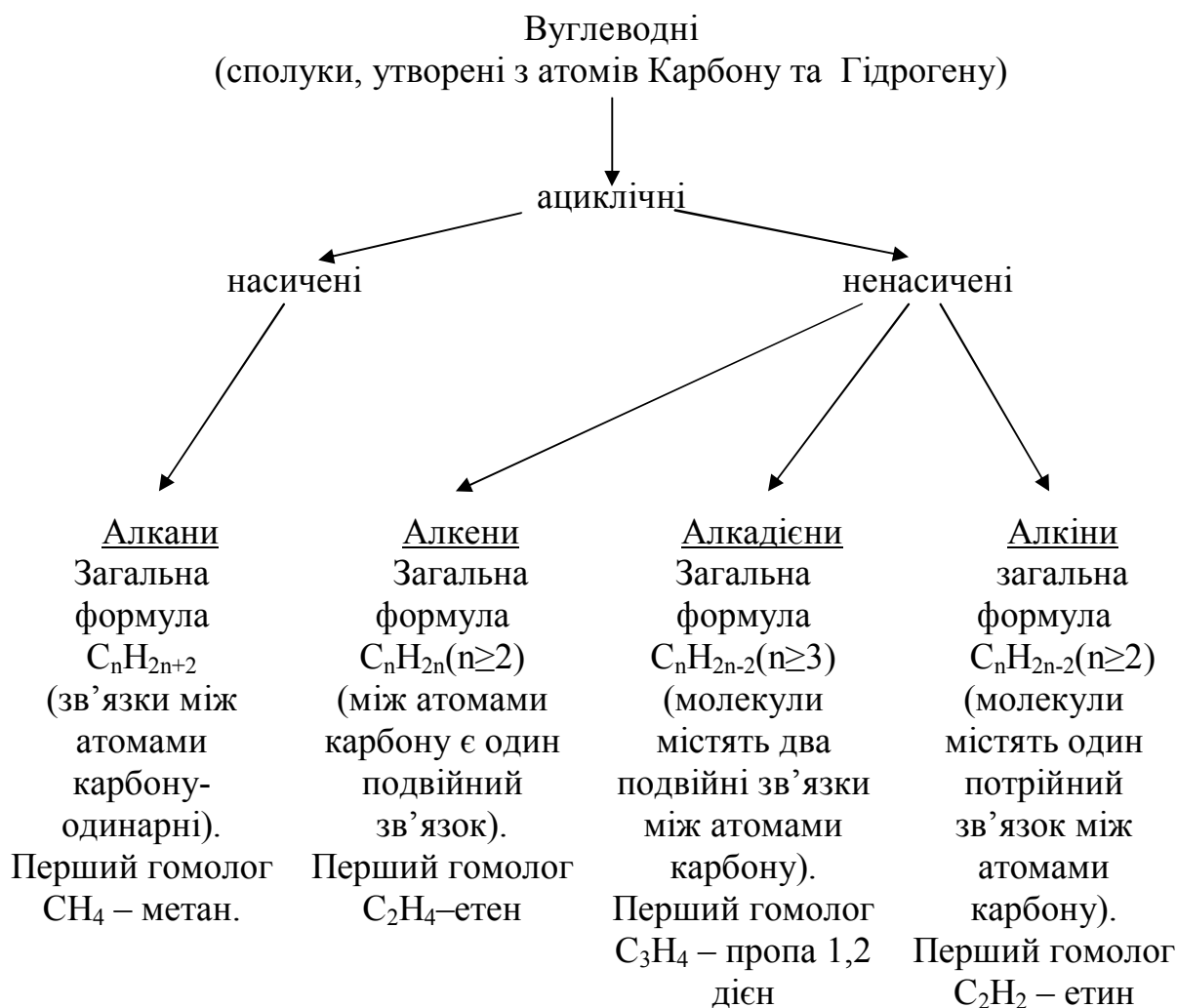
## ТЕМА 2. ВУГЛЕВОДНІ. АЛКАНИ

**Вуглеводні** – складні органічні речовини, до складу яких входять атоми лише двох елементів – карбону та гідрогену, їх склад можна виразити загальною формулою,  $\text{C}_x\text{H}_y$ . Це досить поширені сполуки, Природний газ, нафта, продукти її переробки (газ, бензин, мазут, керосин тощо) складаються з вуглеводнів.

Основними природними джерелами вуглеводнів є нафта, кам'яне та буре вугілля, природний газ, сланці, торф. Запаси цих корисних копалин на Землі обмежені. Головним чином вони використовуються як паливо (двигуни внутрішнього згорання, теплові електростанції, котельні) і лише незначна частина – як сировина в хімічній промисловості. Найважливішим завданням сучасної науки є пошук і розробка альтернативних джерел енергії, що дозволять більш раціонально використовувати природні джерела вуглеводнів.

Вуглеводні класифікують з урахуванням двох структурних ознак, що визначають властивості цих сполук:

- Будови карбонового ланцюга (карбонового скелета);
- Наявності у ланцюзі одинарного, подвійного, потрійного ковалентних зв'язків.



**Алкани** – це насичені вуглеводні, в яких атоми карбону зв’язані між собою одинарними  $\sigma$ -зв’язками й утворюють незамкнений ланцюг. Решта зв’язків також одинарні, але ними атоми карбону сполучаються з атомами гідрогену, звідси й інша назва-насичені вуглеводні.

Найпростішим представником насичених вуглеводнів є метан  $\text{CH}_4$ . Склад молекул усіх представників гомологічного ряду алканів відображає загальна формула  $\text{C}_n\text{H}_{2n+2}$ , де  $n$  – число атомів Карбону. Характерним у назві всіх алканів є наявність суфікса -ан.

Атоми у молекулах алканів сполучені ковалентними зв’язками. Зв’язок С-Н малополярним, тому що Карбон і Гідроген близькі за електронегативністю (2,5 у Карбону і 2,1 у Гідрогену).

Просторова будова алканів (взаємне розташування атомів карбону у просторі) – тетраедрична. Це зумовлено просторовою орієнтацією р-орбіталей атомів Карбону, оскільки сферична s-орбіталь атома Гідрогену позбавлена визначеної спрямованості. Всі зв’язки С-Н у молекулі метану рівноцінні – таке можливо лише за умови, якщо енергії одного s- і трьох р-електронів вирівнюються, тобто утворюються чотири однакові за формою орбіталі, де перебувають ці електрони. Змінені орбіталі називають гібридизованими.

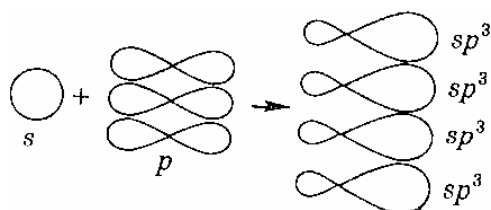


Рис. 3. Гібридизовані орбіталі

Процес вирівнювання електронів за енергією, а їхніх орбіталей – за формою й розміщенням у просторі називають гібридизацією.

Позначення кожної гібридизованої орбіталі у алканів  $sp_3$ , воно складається із розначень та кількості вихідних орбіталей. Чотири гібридизовані орбіталі атома Карбону максимально віддалені одна від одної й розміщені під кутами  $109^\circ 28'$ . У молекулі метану  $sp_3$  – орбіталі атома Карбону перекриваються із s-орбіталями атомів Гідрогену.

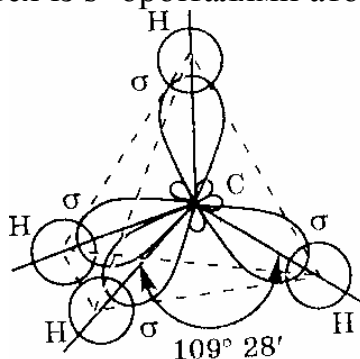


Рис. 4. Орбіталі

### Фізичні властивості алканів.

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

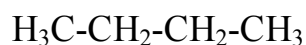
За звичайних умов перші чотири члени гомологічного ряду алканів – метан, етан, пропан, бутан – гази за нормальних умов, наступні одинадцять (від  $C_5H_{12}$  до  $C_6H_{14}$ ) – рідини, алкани з більшим числом атомів Карбону (більш шістнадцяти) – тверді речовини. Як відомо, зі збільшенням числа атомів Карбону в гомологічному ряді спостерігається закономірна зміна фізичних властивостей гомологів: підвищуються температури кипіння і плавлення, збільшується густина, що веде до зміни агрегатного стану речовин.

Газоподібні алкани безбарвні, без запаху і погано розчиняються у воді. Рідкі – також безбарвні, погано розчинні у воді, мають запах бензину або квіткові запахи, їх густина менша 1, тобто вони легші за воду. Тверді алкани білого кольору, жирні на дотик і теж не розчиняються у воді та легші за неї.

Таблиця 1

№	Алкан	Формула	Кількість ізомерів	$T_{пл.}, ^\circ C$	$T_{кип.}, ^\circ C$
1	Метан	$CH_4$	1	-182,5	-161,5
2	Етан	$C_2H_6$	1	-173,5	-88,6
3	Пропан	$C_3H_8$	1	-187,7	-42,7
4	Бутан	$C_4H_{10}$	2	-138,3	-0,5
5	Пентан	$C_5H_{12}$	3	-129,7	+36,7
6	Гексан	$C_6H_{14}$	5	-95,3	+68,7
7	Гептан	$C_7H_{16}$	9	-90,6	+98,4
8	Октан	$C_8H_{18}$	18	-56,8	+125,7
9	Нонан	$C_9H_{20}$	35	-53,5	+150,8
10	Декан	$C_{10}H_{22}$	75	-29,6	+174,1

**Ізомерія та номенклатура алканів.** Перші три представники гомологічного ряду алканів не мають ізомерів. Починаючи з бутану ( $C_4H_{10}$ ), в усіх представників гомологічного ряду спостерігається явище ізомерії. Ізомерія алканів зумовлена ізомерією карбонового ланцюга (прямий, розгалужений) та ізомерією замісників (радикалів). Згідно з валентністю карбону у ланцюзі з чотирьох атомів існує два варіанти їх сполучення (2 ізомери):



Н-бутан



2-метилпропан (ізобутан)

При незначному збільшенні числа атомів Карбону у молекулі кількість ізомерів стрімко зростає.

Дуже важливо, щоб кожна хімічна речовина мала своє власне «ім'я», із цією метою хіміки розробили спеціальну систему правил-номенклатуру (номенклатура – це мова хімії, що використовується для передачі будови речовин їхніми назвами). Ці правила називають систематичною номенклатурою, вони розроблені товариством IUPAC (українською «юпак»), ними користуються хіміки всього світу. Поряд із систематичними назвами сполук часто використовують і традиційні (тривіальні) назви. Тривіальні назви можуть бути пов'язані з характерною властивістю речовини, способом її одержання, природним джерелом, галуззю застосування тощо, але не відображають її будови. Так, тривіальні назви метану – «болотний або рудниковий газ».

За систематичною номенклатурою всі алкани розглядаються як похідні метану, утворені заміщенням атомів карбону в його молекулі на відповідні радикали.

Радикали – це частинки, які володіють вільними одиницями валентності. Назва одновалентного радикала походить від назви відповідного вуглеводню, при цьому закінчення змінюється з -ан на -ил або -іл:  $\text{CH}_4$  – метан,  $\text{CH}_3$  – метил,  $\text{C}_2\text{H}_6$  – етан,  $\text{C}_2\text{H}_5$  – етил,  $\text{C}_3\text{H}_8$  – пропан,  $\text{C}_3\text{H}_7$  – пропіл, тощо.

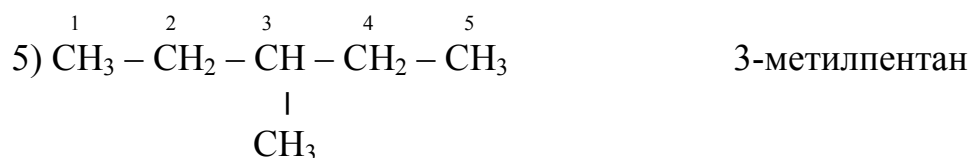
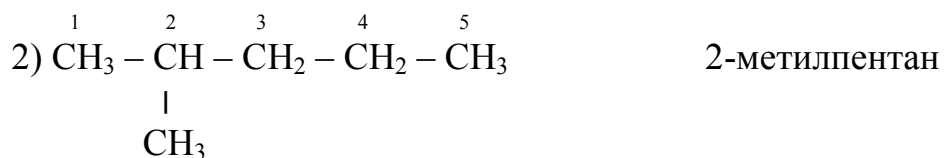
Для алканів характерна ізомерія карбонового ланцюга. Щоб дати назву алкану за номенклатурою IUPAC, треба:

- 1) обрати найдовший ланцюг атомів Карбону;
- 2) пронумерувати його, починаючи з того боку, до якого ближче розгалуження;
- 3) цифрою вказати номер атома С, біля якого стоїть замісник, потім назвати цей радикал;
- 4) якщо у молекулі є декілька замісників, то перераховувати їх слід у алфавітній послідовності;
- 5) якщо замісників не один, але всі вони однакові, то їх кількість треба вказати за допомогою префіксів: ди – два, три – три, тетра – чотири, пента – п'ять, гекса – шість;
- 6) після того, як усі замісники названі, треба дописати назву того алкану, кількість атомів Карбону у молекулі якого відповідає кількості пронумерованих атомів С у даній молекулі.

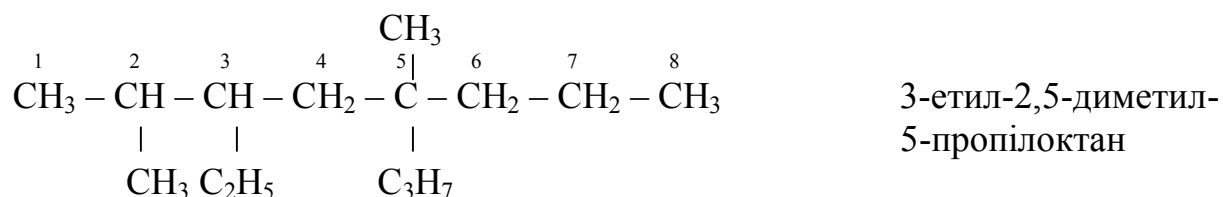
**Приклад 1.** Написати можливі ізомери гексану  $\text{C}_6\text{H}_{14}$ .

- 1)  $\overset{1}{\text{CH}_3} - \overset{2}{\text{CH}_2} - \overset{3}{\text{CH}_2} - \overset{4}{\text{CH}_2} - \overset{5}{\text{CH}_2} - \overset{6}{\text{CH}_3}$  н. гексан (нормальний гексан, нерозгалужений)





**Приклад 2.** Дати назву речовині.



<sup>1</sup>C – первинний атом Карбону (зв'язаний з одним атомом C).

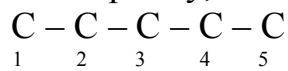
<sup>4</sup>C – вторинний атом Карбону (зв'язаний з двома атомами C).

<sup>2</sup>C – третинний атом Карбону (зв'язаний з трьома атомами C).

<sup>5</sup>C – четвертинний атом Карбону (зв'язаний з чотирма атомами C).

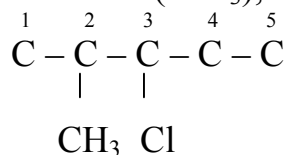
**Приклад 3.** Скласти формулу 2-метил-3-хлорпентану.

1) пентан містить 5 атомів Карбону, записати їх ланцюгом

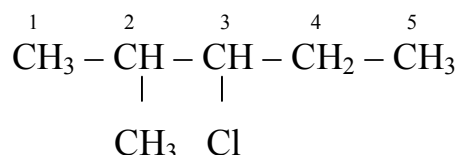


2) пронумерувати  $\text{C} - \text{C} - \text{C} - \text{C} - \text{C}$

3) біля <sup>2</sup>C стоїть радикал метил (-CH<sub>3</sub>), біля <sup>3</sup>C – хлор (-Cl)



4) дописати кожному атому C стільки атомів H, щоб валентність кожного атома Карбону дорівнювала 4.



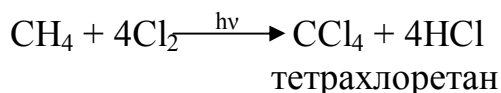
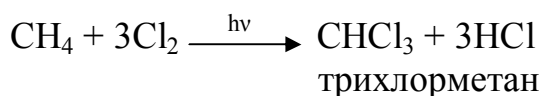
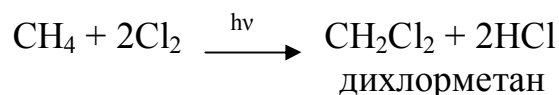
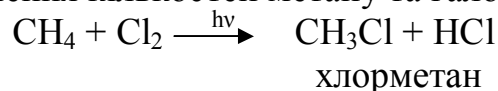
**Хімічні властивості алканів.** Через насичений характер ковалентних зв'язків атомів Карбону у молекулах алканів, вони є хімічно неактивними речовинами, для них неможливі реакції приєднання.

Для алканів характерні реакції заміщення, в яких атоми Гідрогену заміщується на атоми галогенів чи на окремі групи атомів.

1. Галогенування реакції взаємодії речовин з галогенами (хлором, бромом)

Галогенування алканів відбувається за умов освітлення, в темряві при нагріванні чи в присутності каталізатора.

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

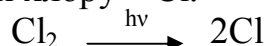


Реакція галогенування алканів є ланцюговою і протікає як ланцюг послідовних перетворень за участю вільних радикалів, тобто, механізм цієї реакції – радикальний.

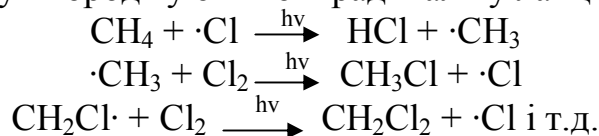
Теорію ланцюгових реакцій розробив радянський академік М. М. Семенов.

Механізм реакції галогенування:

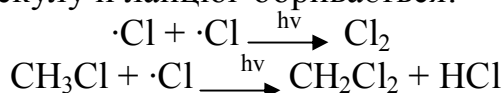
Перша стадія – зародження ланцюга – поява в реакційній суміші вільних радикалів. Під дією енергії світла у молекулі хлору неполярний ковалентний зв'язок Cl-Cl гомологічно (рівноцінно) руйнується й утворюються 2 вільні радикали хлору – Cl.



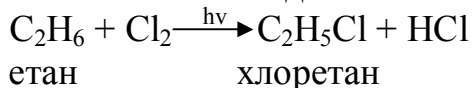
Друга стадія – ріст(розвиток) ланцюга. Вільні радикали взаємодіють з молекулами алкану і породжують нові радикали у ланцюгу перетворень:



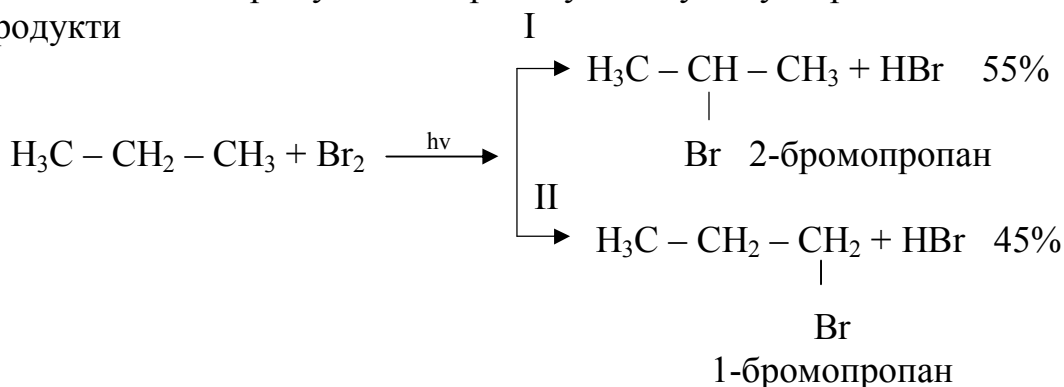
Третя стадія – розрив ланцюга – радикали, з'єднуючись один з одним, утворюють молекулу й ланцюг обривається:



Подібно до метану з галогенами взаємодіють й інші алкани:

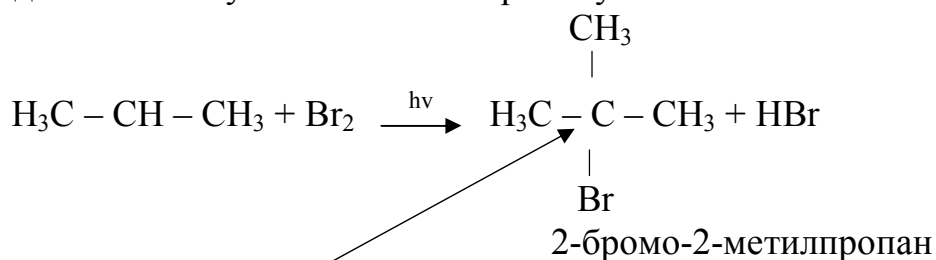


Під час бромовання пропану можуть утворитися два ізомерні продукти



В органічній хімії майже завжди реакції відбуваються в кількох паралельних напрямках, у результаті утворюється суміш різних продуктів реакції. Однак часто один із напрямків є переважним, отже, й у суміші продуктів реакції переважає одна речовина. У випадку бромовання пропану переважним є напрямком І з утворенням 2-бромпропану, а за напрямком II реакція майже не відбувається, тому 1-бромпропану в реакційній суміші значно менше за 2-бромпропан.

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

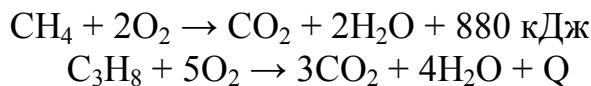


Під час галогенування переважно заміщуються атоми Гідрогену, сполучені з найменш гідрогенізованим атомом Карбону.

## 2. Горіння алканів.

Алкани при підпалюванні горять з видаленням значної кількості світла та тепла, а продуктами є вуглекислий газ та вода.

Наприклад,

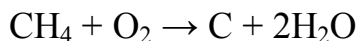


Нижчі гомологи алканів (метан, етан, пропан, бутан) утворюють з повітрям вибухонебезпечні суміші. Процес горіння вуглеводнів широко використовується для одержання енергії(двигуни внутрішнього згорання, теплові електростанції, у побуті – як пальне газових плит).

Якщо кисню не вистачає для повного горіння, утворюються продукти часткового окиснення: чадний газ CO (карбон (II) оксид), сажа.

Через неповне згорання вищі алкани горять на повітрі кіптявим полум'ям.

Горіння метану при нестачі кисню:



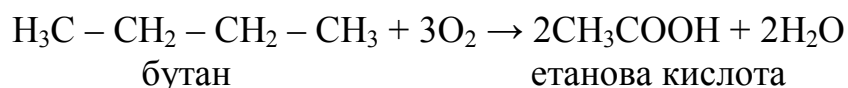
Ця реакція використовується у промисловості для одержання сажі з природного газу, що на 80-97% складається з вуглецю.

### 3. Реакції неповного окиснення алканів.

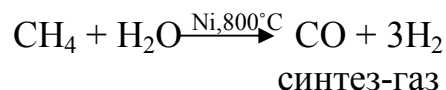
В органічній хімії реакції окиснення розглядаються як реакції, пов'язані з втратою органічною сполукою атомів Гідрогену і введенням до її складу атомів Оксигену. Ці процеси супроводжуються зміною ступенів окиснення атомів Карбону, тоді як значення валентності залишається незмінним – IV.

За кімнатної температури алкани стійки до дії сильних окисників, наприклад, калій перманганату(KMnO<sub>4</sub>).

Промислове значення має часткове окиснення киснем повітря алканів, карбоновий ланцюг яких налічує від 12 до 25 атомів Карбону. Продуктами такого окиснення є оксигеновмісні органічні речовини – спирти, альдегіди, карбонові кислоти, з яких потім виготовляють мило і мийні засоби, реакцію здійснюють за участю каталізатора – сполук Мангану та температурі 100-110° C. Наприклад, при неповному окисненні бутану руйнується зв'язок між другим та третім атомами Карбону й утворюється етанова кислота:



Важливе значення має реакція окиснення метану водяною парою, у результаті чого утворюється суміш карбон(II) оксиду й водню, що має назву «синтез-газ».

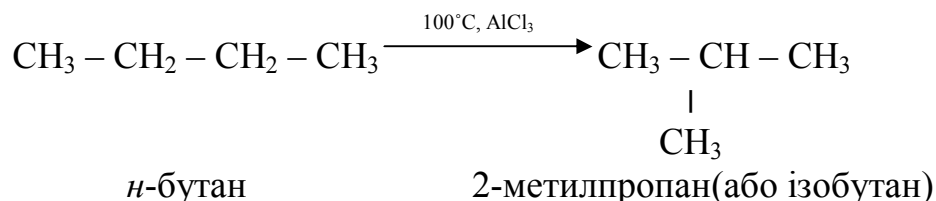


Синтез-газ є сировиною для одержання багатьох органічних речовин.

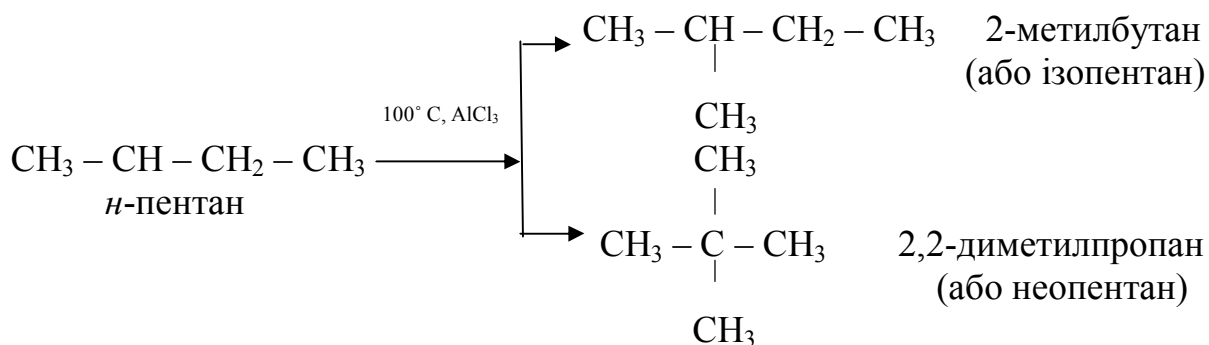
### 4. Ізомеризація.

Якщо у молекулах алканів міститься не менше чотирьох атомів Карбону, вони можуть ізомеризуватися.

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



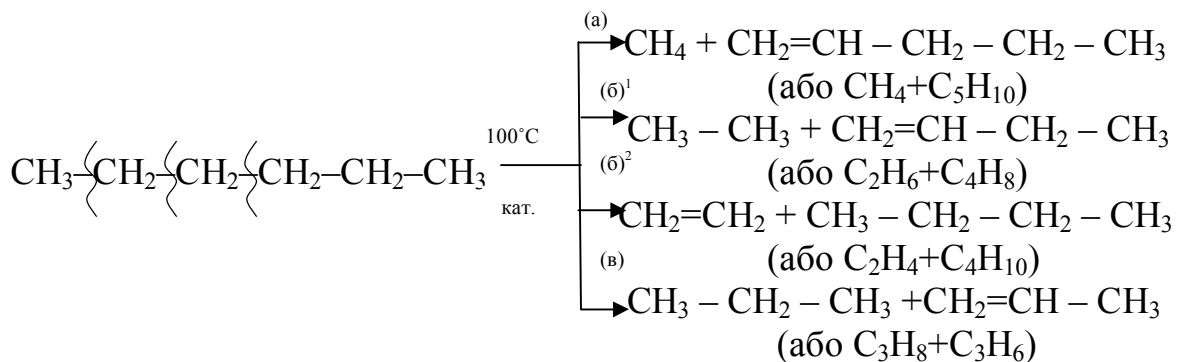
Ця властивість є яскравим прикладом органічних реакцій, у яких утворюється багато побічних продуктів. У *n*-пентану тільки два структурні ізомери й два продукти реакції в кінцевій суміші:



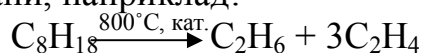
Але зі збільшенням карбонового ланцюга число можливих продуктів значно збільшується. У даному випадку це не є проблемою, оскільки ізомеризацію використовують тільки в промислових масштабах для підвищення октанового числа бензину(цей процес називають риформінгом). У цьому процесі головне – позбутися нерозгалужених алканів, оскільки їх наявність суттєво знижує якість бензину.

5. Термічний розклад (крекінг). Під час крекінгу (від англ. *to crack* – розщеплювати, ламати) відбувається розщеплення карбонових ланцюгів, завдяки чому з вищих алканів утворюються алкани з коротшим ланцюгом. На цій хімічній властивості алканів ґрунтується один зі способів переробки нафти. Оскільки сира нафта містить значну кількість вищих алканів, а в бензині містяться алкани з довжиною ланцюга переважно 5-10 атомів, то крекінг сприяє збільшенню виходу бензину під час переробки нафти (крекінг-бензин).

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



У разі нагрівання нафти до 700-900° С у продуктах реакції переважають нижчі алкани, наприклад:

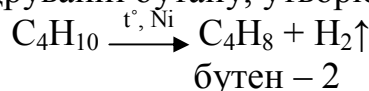


У суміші залишаються тільки найпростіші вуглеводні, переважно ненасичені.

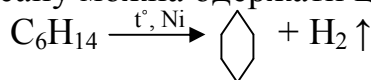
### 6. Дегідрування.

Реакції розкладання, що супроводжуються утворенням водню, мають назву реакцій дегідрування або дегідрогенації.

Наприклад, при дегідруванні бутану, утворюється бутен-2



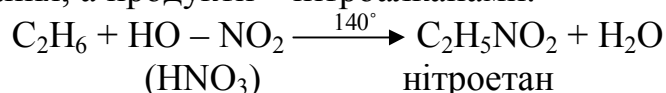
При дегідруванні гексану можна одержати циклогексан



циклогексан

### 7. Нітрування алканів (реакція Коновалова).

Алкани взаємодіють із розбавленою нітратною кислотою (HNO<sub>3</sub>), реакція відбувається при нагріванні і підвищеному тиску. Атом гідрогену заміщується на одновалентну нітрогрупу – NO<sub>2</sub>. Реакцію називають реакцією нітрування, а продукти – нітроалканами.

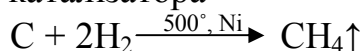


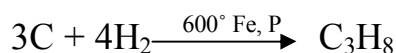
Таким чином, алкани, маючи однаковий якісний склад й однотипні хімічні зв'язки, гомологи проявляють подібні хімічні властивості. Тому, знаючи хімічні властивості одного з членів гомологічного ряду, можна передбачити хімічні властивості інших його представників.

#### Добування алканів.

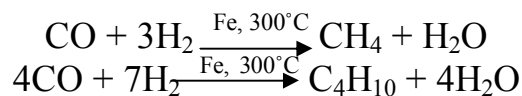
1. Алкани добувають переважно із природних джерел – нафти, природного і супутного газу, кам'яного вугілля, воску, торфу.

2. Метан та інші алкани утворюються при дії водню на вугілля під час нагрівання за наявності каталізатора



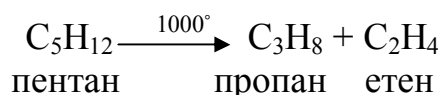


3. Метан та інші алкани можна отримати із синтез-газу у присутності каталізатора

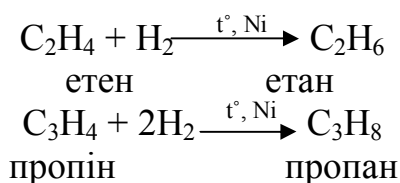


Цей спосіб має промислове значення

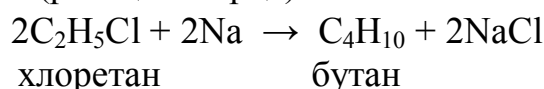
4. Крекінгом одних алканів добувають інші – з меншим карбоновим ланцюгом



5. Алкани можна отримати з алкенів або алкінів шляхом приєднання до них водню у присутності каталізатора – гідруванням ненасичених вуглеводнів

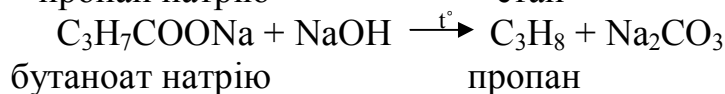
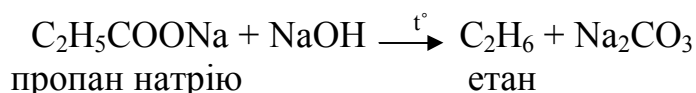


6. Алкани можна отримати дією металічного натрію на галогенохідні насичених вуглеводнів (реакція Вюрца)



За допомогою реакції Вюрца можна одержувати алкани з довшим ланцюгом, ніж він є у реагентів.

7. Алкани можна отримати сплавленням солей карбонових кислот і лугів



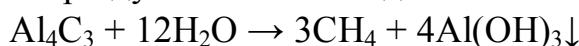
#### Добування метану

У лабораторії метан одержують:

1. Сплавленням ацетату натрію з лугом



2. При взаємодії карбіду алюмінію з водою:



#### Застосування алканів

Завдяки теплоті, що виділяється внаслідок згорання метану, він використовується як паливо у побуті та багатьох промислових процесах. З метану отримують водень, синтез-газ, ацетилен, сажу, метаноль, метанол, різні синтетичні продукти.

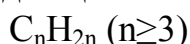
У побуті використовують зріджений газ(пропан-бутанова суміш) як цінне топливо.

Рідкі алкани використовуються як моторне та ракетне паливо, також як розчинники, а вазелінова олія (суміш рідких алканів з числом атомів Карбону до 15) – в медицині, парфюмерії і косметиці. Із парафіну – білої твердої маси без запаху і смаку ( $t_{пл.} = 50-70^{\circ}C$ ), що є сумішшю твердих вуглеводнів з вмістом карбону від 19 до 35 атомів, виготовляють свічки, ним просочують сірники і пакувальний папір тощо.

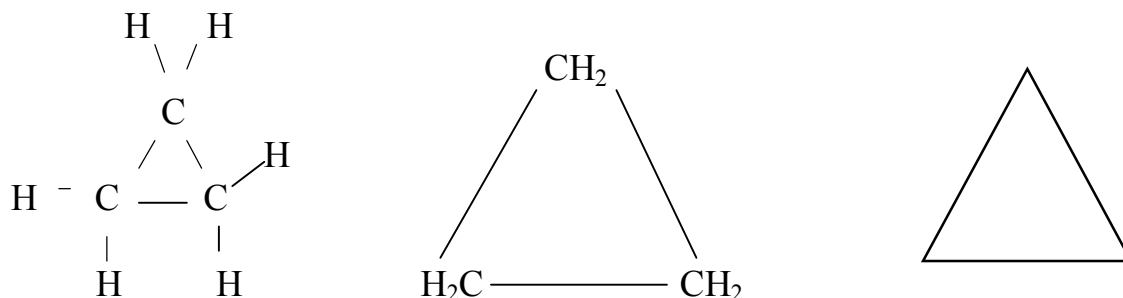
У сучасній нафтохім. Промисловості алкани є сировиною для одержання різноманітних органічних сполук – пластмасс, каучуків, синтетичних волокон, миючих засобів та інших речовин.

### ТЕМА 3. ЦИКЛОАЛКАНИ

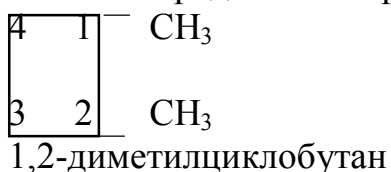
Циклоалканами (циклопарафінами, нафтенами) називають насичені вуглеводні, молекули яких мають циклічну будову. Молекули циклоалканів містять на два атоми Гідрогену менше, ніж відповідні алкани, тому загальна формула для цикла алканів



Першим представником циклоалканів є циклопропан  $C_3H_6$ . Структурні формули молекул циклоалканів записують по-різному: позначають рисками зв'язки між усіма атомами або тільки між атомами Карбону чи зображають цикл у вигляді багатокутника без позначень атомів:

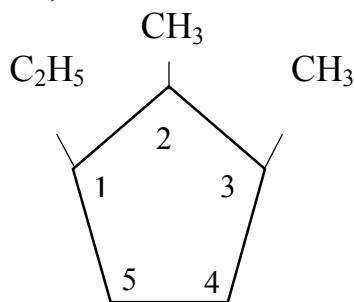


Назва циклоалкану складеться із назви алкану з такою самою кількістю атомів карбону в молекулі і префікс цикло-: циклобутан( $C_4H_8$ ), циклопентан( $C_5H_{10}$ ) та інші. За наявності в циклі замісників нумерацію атомів Карбону в циклі проводять так, щоб замісники(відгалуження) мали найменші порядкові номери, наприклад:





За наявності кількох замісників зазначають номери атомів Карбону, біля яких розміщені замісники, а потім – їхні назви(за алфавітом):



1-етил-2,3-диметилциклопентан

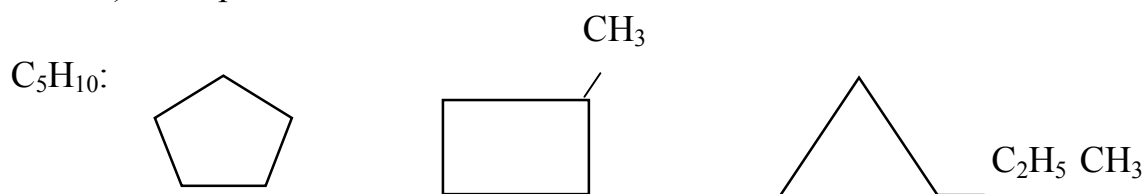
У циклоалканах, як і в алканах, орбіталі атомів Карбону перебувають у стані  $sp^3$ -гібридизації, внаслідок цього кути між будь-якими зв'язками мали б становити  $109^\circ 28'$ . Однак у молекулах циклопропану і циклобутану ці кути менші-це зумовлює «напруження» в карбонових циклах, їх нестійкість і підвищення реакційної здатності сполук.

У молекулах циклопентану  $\text{C}_5\text{H}_{10}$  величина кута між зв'язками в циклі наближається до вказаної вище, а в молекулі циклогексану  $\text{C}_6\text{H}_{12}$  становить  $109^\circ 28'$ , проте у правильному плоскому шестикутнику він мав би дорівнювати  $120^\circ$ . Зменшення величини кута відбувається внаслідок перетворення плоского шестикутника на об'ємний. П'яти- і шестичленні карбонові цикли досить стійкі.

Циклоалканам властива структурна, міжкласова і просторова ізомерія:

1) Структурна ізомерія:

а) ізомерія кільця



циклопентан метилциклобутан етилциклопропан

Наведені циклоалкани мають однакову молекулярну формулу( $\text{C}_5\text{H}_{10}$ ), відрізняються кількістю атомів Карбону у циклі.

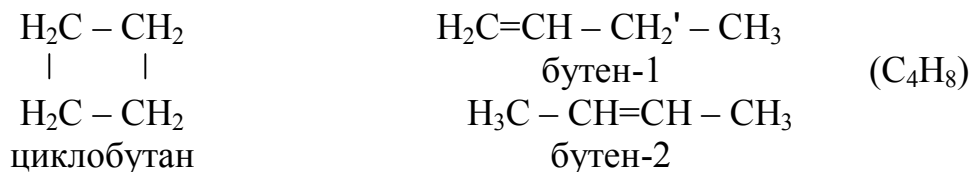
б) ізомерія положення замісників у кільці:



1,1-диметилциклобутан

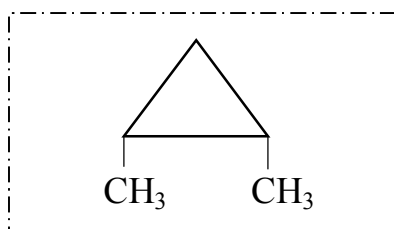
1,3-диметилциклобутан

2) Міжкласова ізомерія з алкенами:

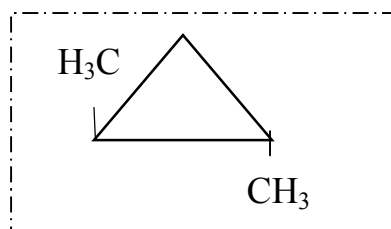


3) Просторова ізомерія.

Вона зумовлена можливістю різного розміщення двох замісників, які належать різним атомам карбону, відносно поверхні циклу. Такий вид ізомерії називають геометричною, або цис-транс-ізомерією. Геометричні ізомери має лише 1,2-диметилциклопропан-якщо замісники перебувають по один бік від поверхні циклу, сполука є цис-ізомером, а якщо по різні боки-транс-ізомером.



цис-1,2-диметилпропан



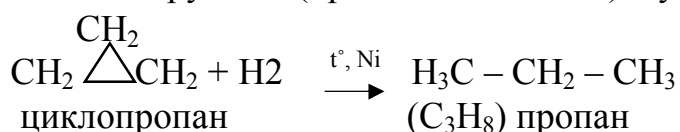
транс-1,2-диметилциклопропан

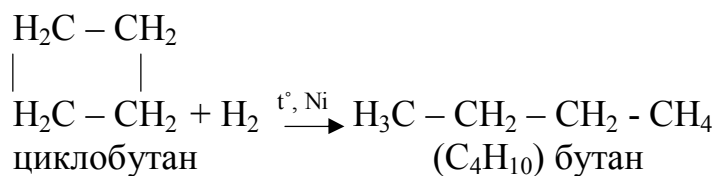
Усі ізомери-як структурні, так і геометричні-відрізняються один від одного за властивостями незначною мірою.

Фізичні властивості циклоалканів закономірно змінюються зі збільшенням їхньої молекулярної маси. За нормальних умов циклопропан і циклобутан-гази, циклоалкани  $\text{C}_5\text{-C}_{16}$  – рідини, починаючи з  $\text{C}_{17}$  – тверді речовини. Температури кипіння циклоалканів дещо вищі, ніж у алканів з відповідною кількістю атомів карбону. Зі збільшенням молекулярної маси температури плавлення і кипіння сполук зростають. Циклоалкани подібно до алканів не розчиняються у воді, але розчинні в органічних розчинниках.

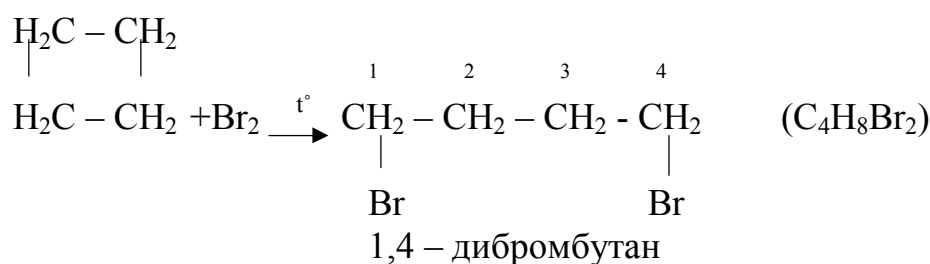
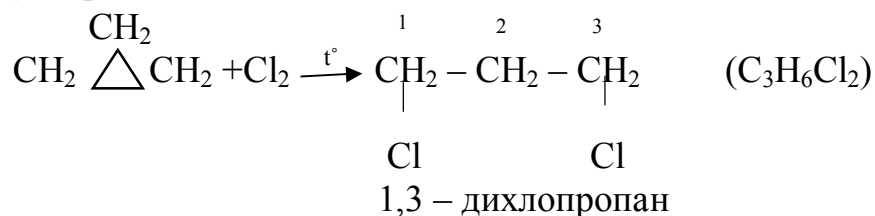
**Хімічні властивості циклоалканів** залежать від розміру циклу. Сполукам з три- і чотиричленним циклами більш властиві реакції приєднання(тобто, за хімічними властивостями вони наближаються до ненасичених вуглеводнів), при цьому цикли розмикаються й утворюються відповідні алкани чи галогенпохідні алканів.

1. Реакція гідрування(приєднання водню) – утворюються алкани

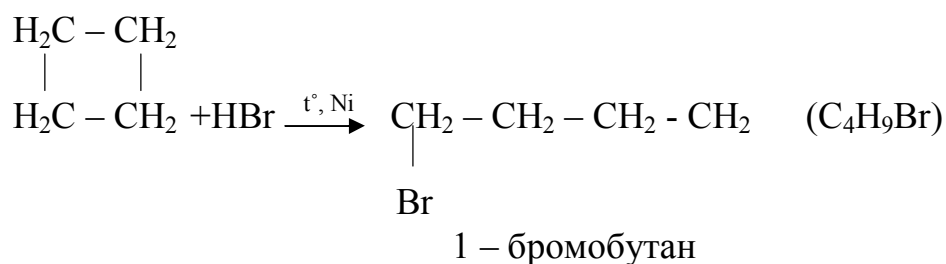
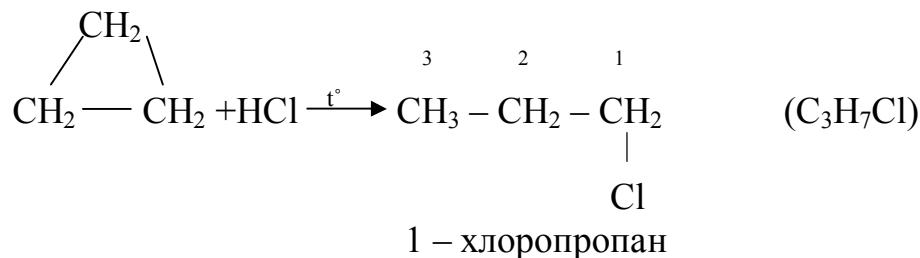




2. Реакція галогенування(приєднання галогенів-  $\text{Cl}_2$ ,  $\text{Br}_2$ ,  $\text{I}_2$ ) – утворюються дигалогеналканами.



3. Реакція гідрогалогенування (приєднання галоген оводнів  $\text{HCl}$ ,  $\text{HBr}$ ) – утворюються галогеналкани.



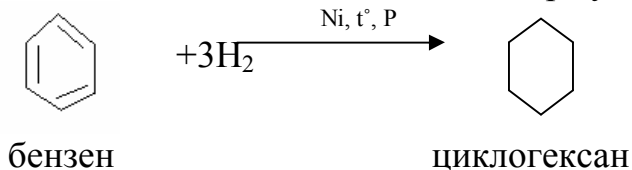
### Добування циклоалканів

1. Виділення зі складу нафти.

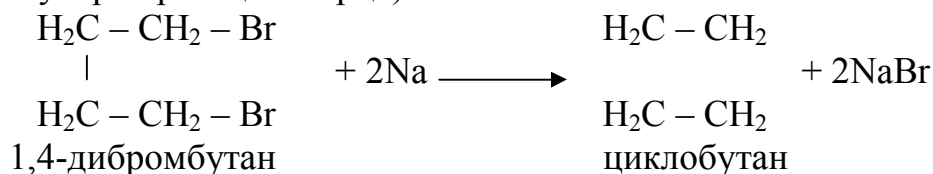
Нафта деяких родовищ містить значну кількість циклоалканів. Вперше відкривши їх як складову частину нафти, В. В. Марковников дав їм назву «нафтени». Методом розгонки або іншими методами з нафти можна виділити індивідуальні циклоалкани.

2. Гідруванням ароматичних сполук.

Циклогексан та його похідні одержують з бензину та його гомологів.



3. Дією активних металів на дигалогенпохідні алкенів (внутрішньо молекулярна реакція Вюрца)



За цією реакцією можна синтезувати циклоалкани малих і середніх розмірів – з кількістю атомів Карбону до 6.

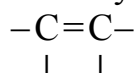
Вуглеводні, в молекулах яких атоми Карбону сполучені одним або кількома кратними зв'язками, називають ненасиченими.

#### ТЕМА 4. АЛКЕНИ

**Алкени** (етиленові вуглеводні) – ненасичені вуглеводні, молекули яких містять один подвійний зв'язок між атомами Карбону. Раніше ці сполуки називали також олефінами, оскільки їхні нижчі газоподібні гомологи в реакціях з хлором та бромом утворювали нерозчинні у воді сполуки – олії.

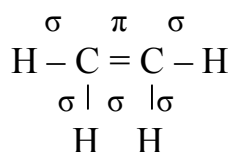
Загальна формула алкенів  $\text{C}_n\text{H}_{2n}$ .

Найпростішим представникам алкенів є етен ( $\text{C}_2\text{H}_2$ ), він є першим представником гомологічного ряду алкенів. Назви алкенів складаються з назви алкану, а наявність подвійного зв'язку



у назві за номенклатурою ІУРАС позначають суфіксом –ен (-ен).

Будова алкенів. В утворенні подвійного зв'язку беруть участь атоми Карбону, що перебувають у  $sp^2$  - гібридизованому стані, кожний з них має три гібридні орбіталі, розташовані одна до одної під кутом  $120^\circ$  й одну негібридизовану  $2p$  – орбіталь, розташовану під кутом  $90^\circ$  (перпендикулярно) до площини гібридних орбіталей. Тобто кожний атом Карбону в молекулі етену ( $\text{C}_2\text{H}_4$ ) має три  $\sigma$ -зв'язки та один  $\pi$ -зв'язок



У  $\sigma$ -зв'язках беруть участь  $s$ - і два  $p$ -електрони атома Карбону, а в  $\pi$ -зв'язку – третій  $p$ -електрон.

Під час утворення  $\sigma$ -зв'язків відбувається гібридизація електронних орбіта лей: одна  $s$  і дві  $p$ -орбітали вирівнюються за формою (відповідні електрони набувають однакової енергії):

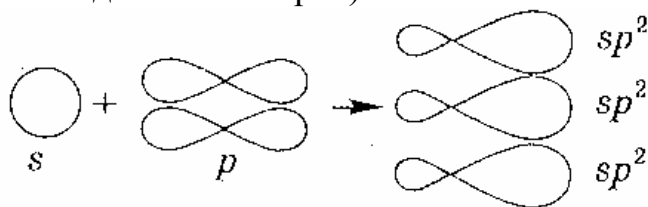


Рис. 5. утворення  $\sigma$ -зв'язків

Гібридизовані  $sp^2$ -орбітали розміщуються під кутами  $120^\circ$ , одна з них перекривається з такою самою гібридизованою орбіталлю іншого атома Карбону, а дві інші – з двома  $s$ -орбіталами атомів Гідрогену

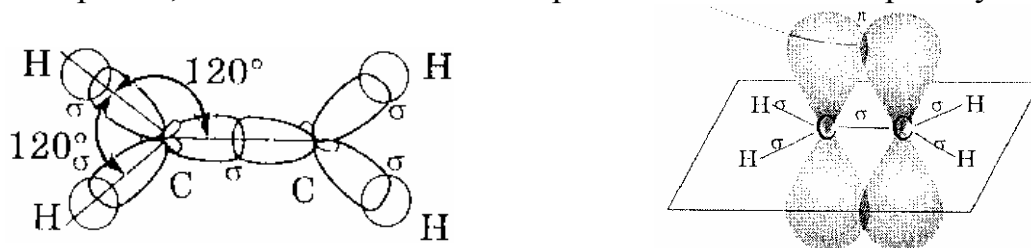


Рис. 6. Гібридизовані  $sp^2$ -орбітали

Третя  $p$ -орбіталь кожного атома Карбону розміщена перпендикулярно до гібридизованих орбіта лей, разом із  $p$ -орбіталлю іншого атома Карбону утворює  $\pi$ -зв'язок. Перекривання  $p$ -орбіталей відбувається на двох ділянках простору – над і під прямою, яка з'єднує центри атомів Карбону.

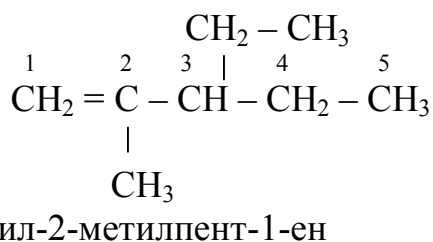
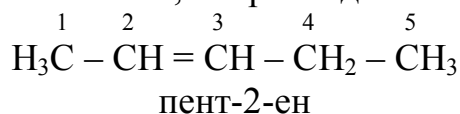
Всі атоми в молекулі етену розміщені в одній площині. Через утворення  $\pi$ -зв'язку зменшується відстань між ядрами атомів Карбону, довжина подвійного зв'язку становить  $0,134$  нм, тоді як довжина одинарного зв'язку  $0,154$  нм.

### Номенклатура алкенів

Назви алкенів утворюють від назв алканів з такою самою довжиною карбонового ланцюга, замінюючи суфікс –ан на –ен. Згідно з номенклатурою IUPAC за основу назви алкенів вибирають найдовший карбоновий ланцюг, який містить подвійний Карбон – Карбоновий зв'язок. Нумерацію обраного ланцюга здійснюють у такій послідовності, щоб атом Карбону, біля якого розташовується подвійний зв'язок, отримав

найменший номер. Назви алкенів утворюють від назв алканів з такою самою довжиною карбонового ланцюга, замінюючи суфікс –ан на –ен.

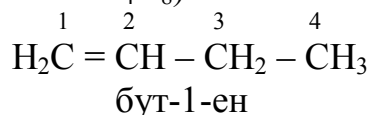
Перед суфіксом –ен записують номер атома Карбону, після якого розташовується подвійний зв'язок, наприклад:



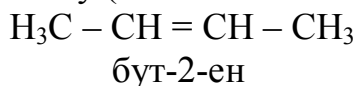
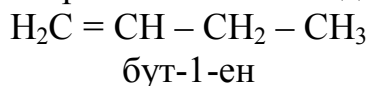
### Ізомерія алкенів

Алкенам властива ізомерія різних типів: структурна, положення кратного зв'язку, між класова та просторова.

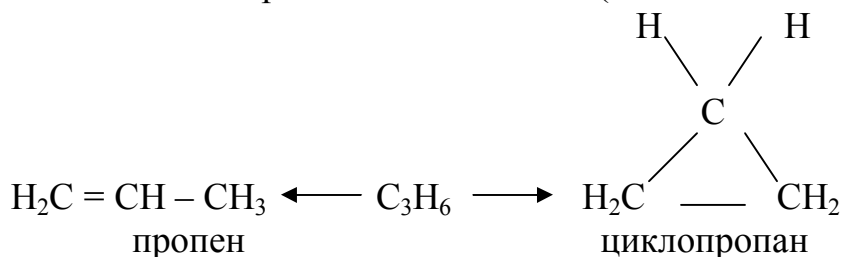
1) Структурна ізомерія зумовлена будовою карбонового ланцюга (починаючи з C<sub>4</sub>H<sub>8</sub>):



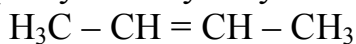
2) Ізомерія положення подвійного зв'язку (починаючи з C<sub>4</sub>H<sub>8</sub>)



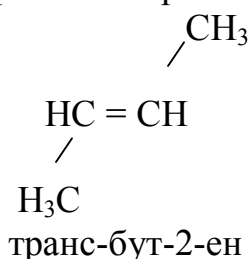
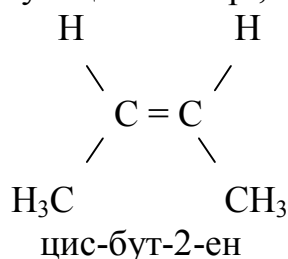
3) Між класова ізомерія з циклоалканами (починаючи з C<sub>3</sub>H<sub>6</sub>)



4) Просторова ізомерія: у молекулі бут-2-ену



групи –CH<sub>3</sub> можуть знаходитися або по один бік від площини подвійного зв'язку в цис-ізомері, або по різні боки в транс-ізомері



Між цис- і транс- ізомерами існують відмінності за фізичними і навіть деякими хімічними властивостями.

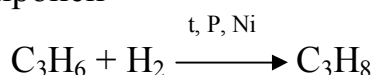
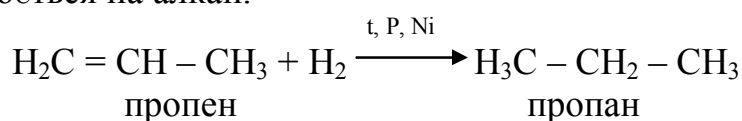
**Фізичні властивості алкенів.** Алкени з  $C_2H_4$  до  $C_4H_8$  – гази за звичайних умов,  $C_5H_{10}$  до  $C_{17}H_{34}$  – рідини, починаючи з  $C_{18}H_{36}$  – тверді речовини, їхня густина менша від густини води, температура кипіння і плавлення зростають зі збільшенням кількості атомів Карбону. Серед структурних ізомерів розгалуженість знижує температури кипіння.

**Хімічні властивості алкенів.** Алкени хімічно активніші, ніж алкани, це визначається наявністю подвійного зв'язку, який складається з міцного  $\sigma$ -зв'язку і слабкішого  $\pi$ -зв'язку, який досить легко розривається за радикальним механізмом. Поява неспарених електронів у Карбону зумовлює хімічну активність алкенів і забезпечує перебіг реакцій приєднання, при цьому на місці  $\pi$ -зв'язку у продуктів реакцій утворюється  $\sigma$ -зв'язок і ненасичена сполука перетворюється у насичену.

Алкени вступають у різноманітні реакції приєднання.

1. Приєднання водню – гідрування.

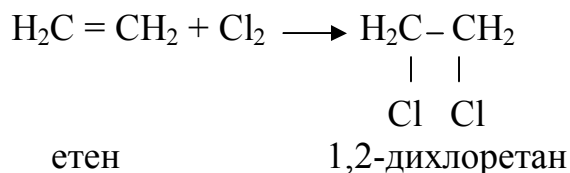
Гідрування відбувається при нагріванні в присутності каталізатора (каталізатором може бути платина, паладій, у промисловості використовують менш активний каталізатор – нікол, тому реакція проходить за підвищених температур та високого тиску), при цьому алкен перетворюється на алкан.



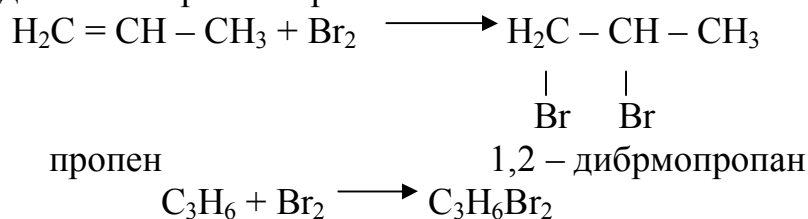
2. Приєднання галогенів ( $F_2$ ,  $Cl_2$ ,  $Br_2$ ,  $I_2$ ) – галогенування.

Приєднання галогенів по місцю розриву  $\pi$ -зв'язку відбувається за звичайних умов (при кімнатній температурі, без каталізатора).

Взаємодія етену з галогенами супроводжується різними зовнішніми ефектами. Реагуючи із фтором, етен спалахує, а суміш хлору з етеном при освітленні вибухає:



Жовто-буре забарвлення розчину бром у воді (бромної води) швидко зникає при взаємодії з алкенами, що є якісною реакцією на речовини з подвійним Карбон-Карбоновим зв'язком:



3. Приєднання галоген оводнів (HF, HCl, HBr, HI) – гідрогалогенування.

Галогеноводні приєднуються до алкенів за звичайних умов з утворенням відповідних галогеноалканів.



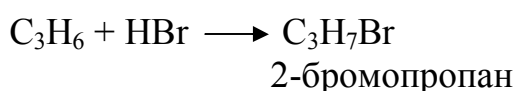
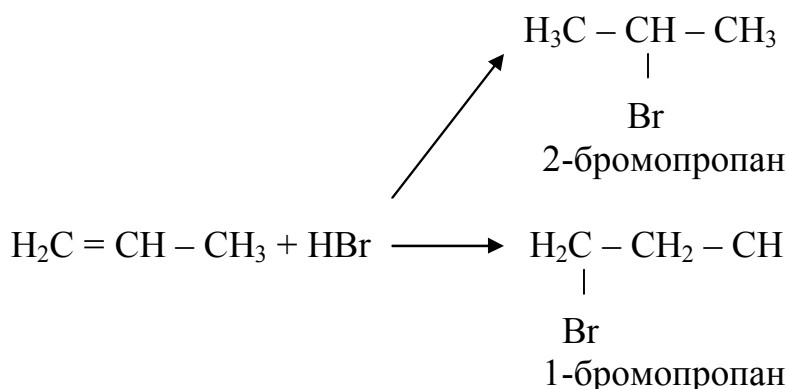
етен

хлороетан



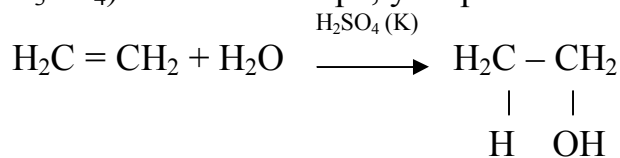
Приєднання галоген оводнів до алкенів несиметричної будови здійснюється за правилом Марковникова: атом Гідрогену молекули галоген оводню приєднується до атому Карбону, алкену при подвійному зв'язку, який сполучений з найбільшою кількістю атомів Гідрогену, а атом Галогену – до менш гідролізованого атома Карбону.

Так, у реакції бромоводню з пропаном із двох можливих структурних ізомерів 1-бромпропану і 2-бромпропану – утворюється 2-бромпропан.



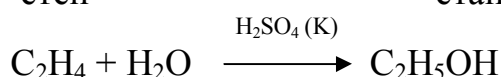
4. Приєднання води – гідратація.

Приєднання води алкенами відбувається за наявності неорганічної кислоти (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>) як каталізатора, утворюється спирт



етен

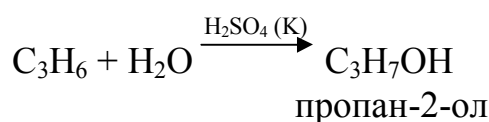
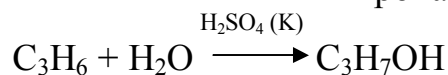
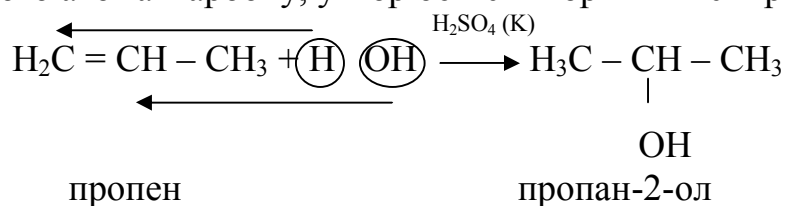
етанол



До несиметричних алкенів вода приєднується за правилом Марковникова: атом Гідрогену з молекули води приєднується до атому Карбону алкену при подвійному зв'язку, який сполучений з найбільшою



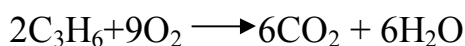
кількістю атомів Гідрогену, а гідроксильна група води – до менш гідрогенізованого атома Карбону, утворюється вторинний спирт



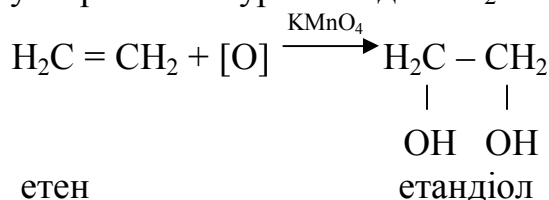
## 5. Реакції окиснення.

### а) Повне окиснення (горіння).

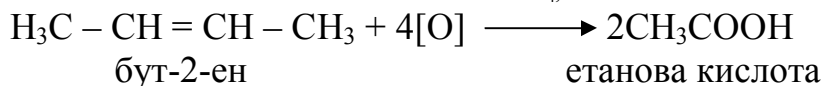
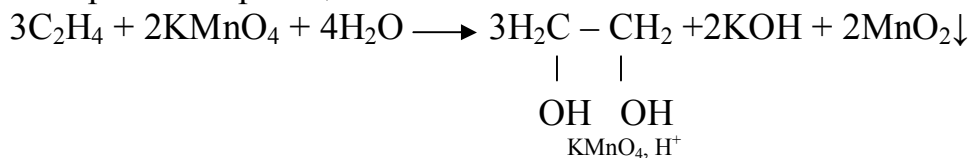
Алкени, як і інші вуглеводні, при підпалюванні горять на повітрі яскравішим полум'ям. Продукти повного згоряння алкенів – вуглекислий газ і водяна пара.



б) За певних умов алкени окислюються з руйнуванням  $\pi$ -зв'язків у молекулах, таке окиснення називають частковим, або «м'яким». Воно відбувається, наприклад, при взаємодії алкенів із розбавленим водним розчином калій перманганату  $\text{KMnO}_4$ . Під час пропускання газоподібних алкенів крізь фіолетово-рожевий водний розчин  $\text{KMnO}_4$ , він знебарвлюється, або утворюється бурій осад  $\text{MnO}_2$ .



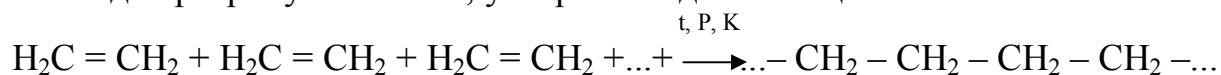
Повне рівняння реакції



Знебарвлення  $\text{KMnO}_4$  є якісною реакцією на алкени.

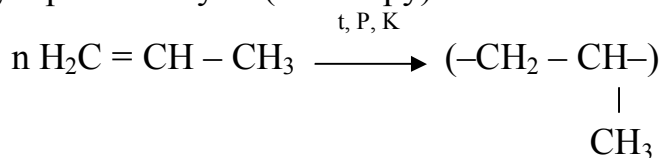
### 6. Реакція полімеризації.

Молекули етену за певних умов сполучаються одна з одною внаслідок розриву  $\pi$ -зв'язків, утворюючи довгі ланцюги.



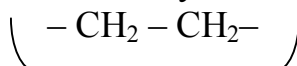
Взаємодіяти можуть сотні й тисячі молекул етену, продуктом реакції є поліетилен.

Реакція полімеризації – це реакція послідовного приєднання багатьох молекул низькомолекулярної речовини (мономера) з утворенням молекули високомолекулярної сполуки (полімеру).



пропен (мономер)                      поліпропілен (полімер)

Фрагмент у молекулі полімеру, що повторюється, називають елементарною ланкою, число  $n$  – ступенем полімеризації (показує число молекул мономера, що об'єдналися в одну молекулу полімеру).

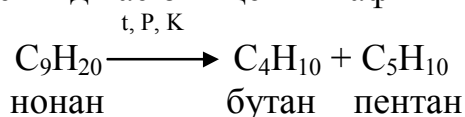


елементарна ланка поліетилену

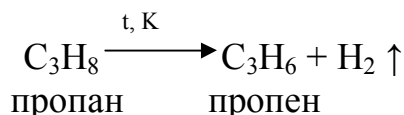
### Добування алкенів.

У природі алкени зустрічаються рідко і в невеликій кількості (наприклад, у складі нафти).

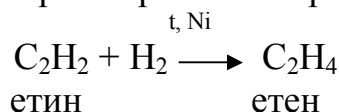
1. Нижчі алкени ( $\text{C}_2 - \text{C}_5$ ) у промислових масштабах добувають з алканів, які утворюються під час очищення нафти – крекінгом.



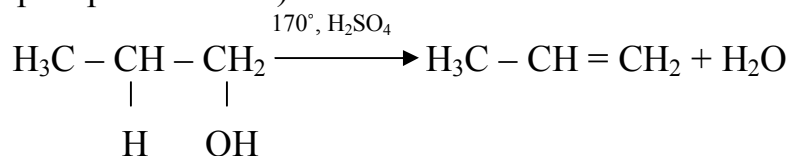
2. Дегідрування алканів (відщеплення водню) при нагріванні в присутності каталізатора.



3. Гідрування алканів при нагріванні в присутності каталізатора

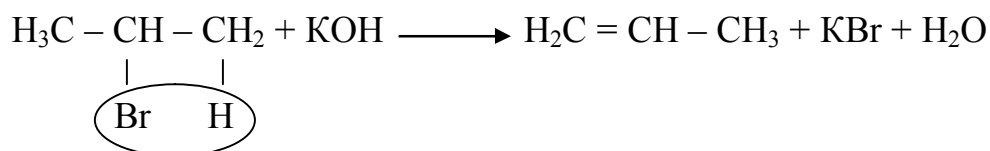


4. Внутрішньо молекулярна дегідратація спиртів (відщеплення води) при температурі близько  $170^\circ$  у присутності концентрованої сульфатної кислоти (лабораторний спосіб)



пропан-1-ол                              пропен

5. Дегідрогалогенування моногалогенпохідних алканів під дією спиртового розчину луку:



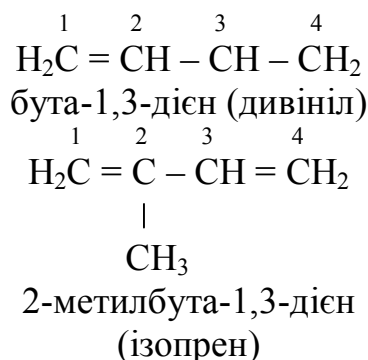
Відщеплення атома Гідрогену в реакціях дегідратації й дегалогенування відбувається переважно від найменш гідрогенізованого атома Карбону – правило Зайцева.

## ТЕМА 5. АЛКАДІЄНИ

Алкадієни (діє нові вуглеводні) – ненасичені вуглеводні, молекули яких містять два подвійні зв'язки між атомами Карбону.

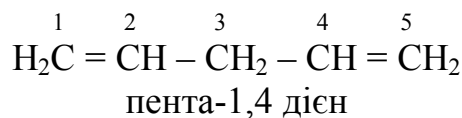
Загальна формула алкадієнів  $\text{C}_n\text{H}_{2n-2}$ .

Згідно з номенклатурою IUPAC алкадієни називають як алкени, змінюючи закінчення –ен на –дієн. Головний ланцюг молекули алкадієну повинен включати обидва подвійні зв'язки, а нумерація атомів Карбону в ланцюзі здійснюється так, щоб подвійні зв'язки одержали найменші порядкові номери.



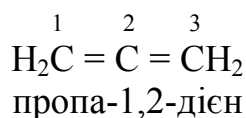
Властивості алкадієнів значною мірою залежать від взаємного розташування подвійних зв'язків у їх молекулах, за цією ознакою розрізняють три типи подвійних зв'язків:

1. Ізольовані подвійні зв'язки розділені в ланцюзі двома чи більше  $\sigma$ -зв'язками



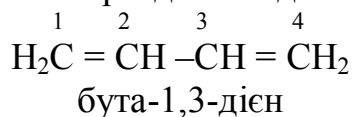
Розділені  $sp^3$ -гібридизованими атомами Карбону подвійні зв'язки не мають взаємного впливу один на одного, і тому ці речовини вступають у ті самі реакції, що й алкени.

2. Кумульовані подвійні зв'язки розташовані біля одного атома Карбону



Такі алкадієни відносяться до досить рідкого типу сполук.

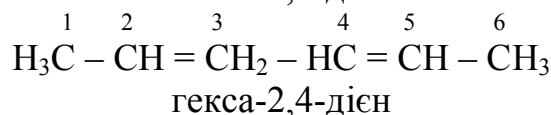
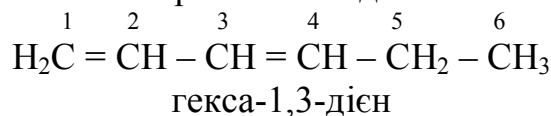
Спряжені подвійні зв'язки розділені одним  $\sigma$ -зв'язком



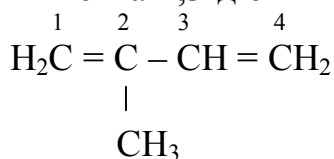
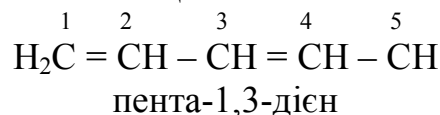
Спряжені алкадієни відрізняються характерними властивостями, обумовленими електронною будовою молекул. Їх використовують у виробництві синтетичних каучуків.

#### Ізомерія спряжених алкадієнів

1) Ізомерія положення спряжених подвійних зв'язків

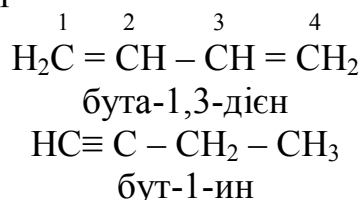


2) Ізомерія карбонового ланцюга:



2-метилбута-1,3-дієн

3) Міжкласова ізомерія з алкінами.



4) Просторова ізомерія

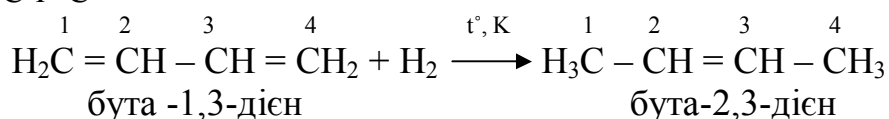
Алкадієнам властива цис- і транс- ізомерія.

За хімічними властивостями дієнові вуглеводні схожі на алкени.

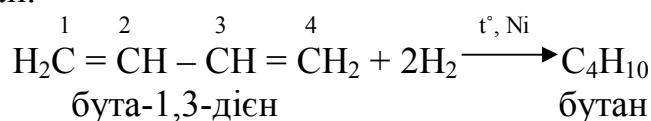
Реакції приєднання до спряжених алкадієнів.

1. Приєднання водню – гідрування.

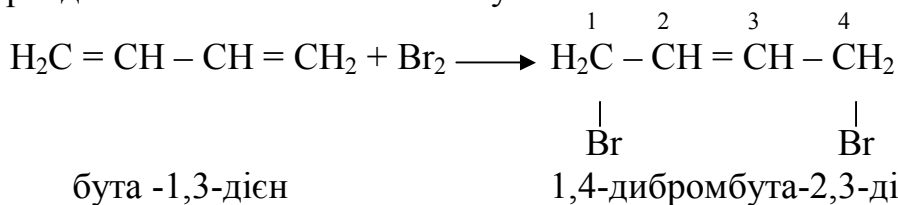
При гідруванні бута-1,3-дієну розриваються два подвійні зв'язки крайніх атомів Карбону ( $^1\text{C}$  і  $^4\text{C}$ ) за місцем розриву яких приєднуються атоми Гідрогену, а вільні валентності утворюють подвійний зв'язок між атомами  $^2\text{C}$  і  $^3\text{C}$



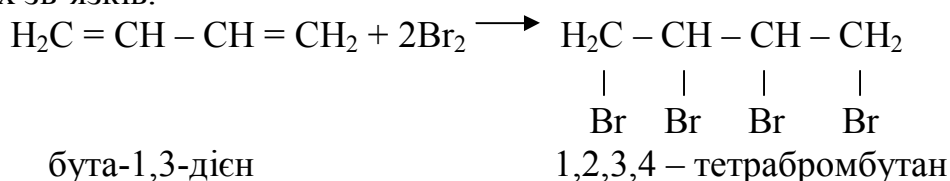
У присутності каталізатора Ni одержують продукт повного гідрування – бутан.



2. Приєднання галогенів – галогенування:



При надлишку води приєднується дві його молекули з розривом всіх подвійних зв'язків.



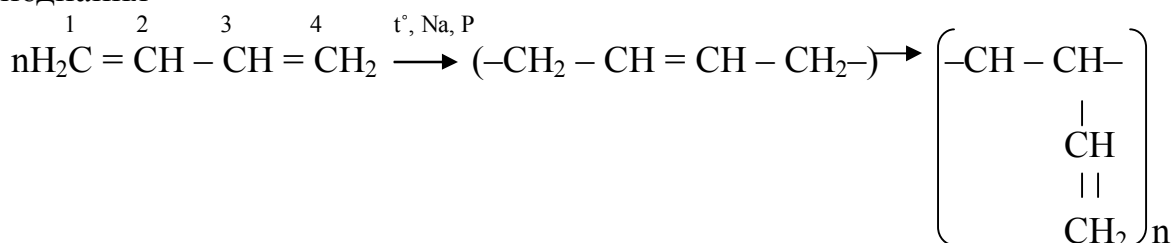
3. Реакція полімеризації спряжених алкадієнів.

Ця реакція має важливе значення у виробництві синтетичних канчуків.

Каучуку – це еластичні високомолекулярні матеріали, з яких методом вулканізації (нагрівання з сіркою) одержують гуму.

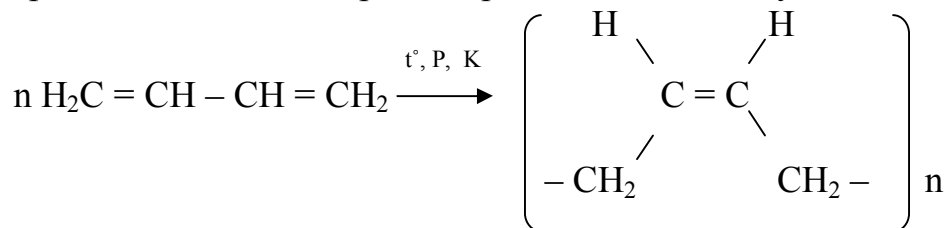
Полімеризація бута-1,3-дієну може відбуватися або по типу 1,4-приєднання, або по змішаному типу 1,2 і 1,4-приєднання, напрямок залежить від умов проведення реакції.

Перший синтетичний каучук, отриманий за методом С. В. Лебедева полімеризацією бута-1,3-дієну (дивінілу) за наявності металічного натрію, був нерегулярної будови зі змішаним типом ланок транс-1,4-цис-1,4-1,2-приєднання



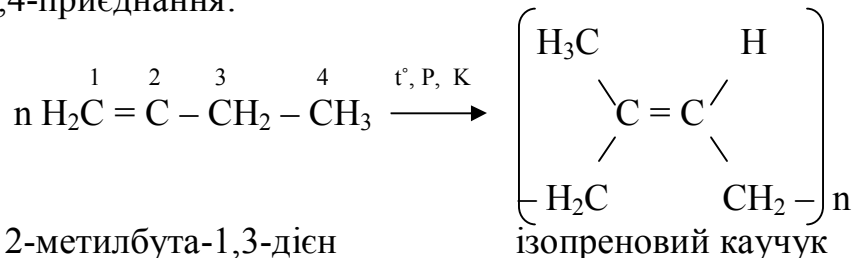
Каучуки нерегулярної будови характеризуються високою якістю експлуатації.

Вибіркове 1,4 – приєднання відбувається при використанні металоорганічних каталізаторів, наприклад,  $\text{C}_4\text{H}_9\text{Li}$  – бутиллітію:



Одержаний таким способом стереорегулярний цис-полібута-1,4-дієн є каучуком високої якості.

При полімеризації 2-метилбута-1,3-дієну (ізопентану) відбувається цис-1,4-приєднання:



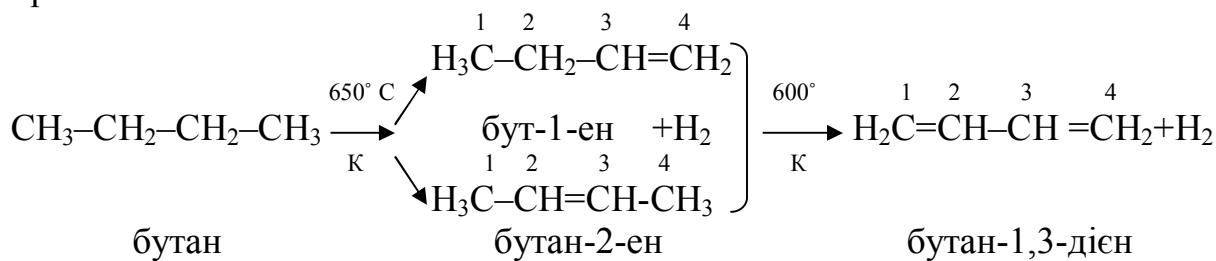
2-метилбута-1,3-дієн

ізопреновий каучук

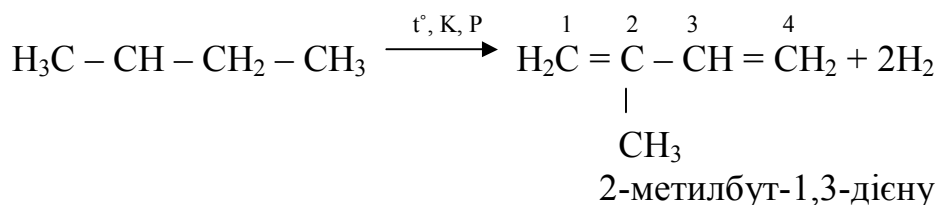
Ізопреновий каучук проявляє властивості натурального каучука.

### Добування алкадієнів.

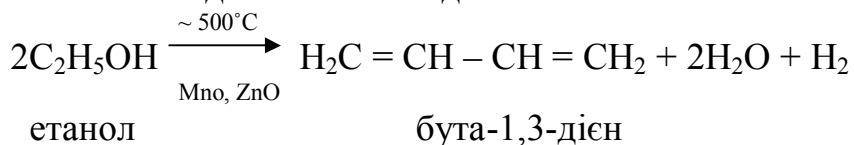
1) Каталітичне двостадійне дегідрування алканів (через стадію утворення алкенів) – це спосіб одержання бута-1,3-дієну з бутану у промисловості.



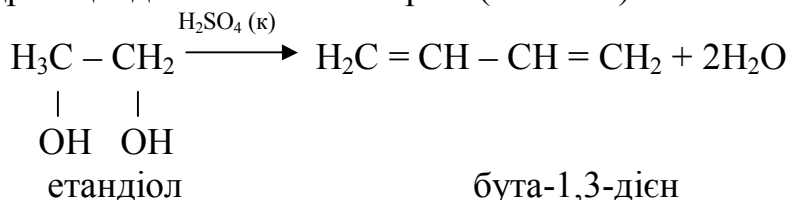
Каталітичним дегідруванням 2-метилбутану (ізопентану) одержують ізопрен



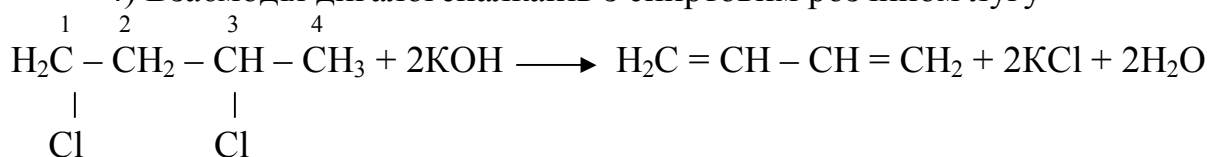
2) Синтез за методом С. В. Лебедева:



3) Дегідратація двохатомних спиртів (гліколів)



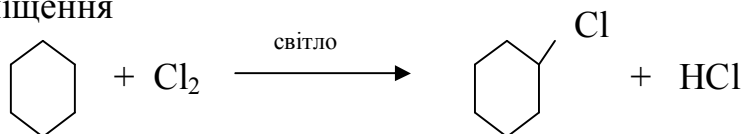
4) Взаємодія дигалогеналканів з спиртовим розчином луку



1,3 дихлорбутан (спиртовий рзчин)

бута-1,3-дієн

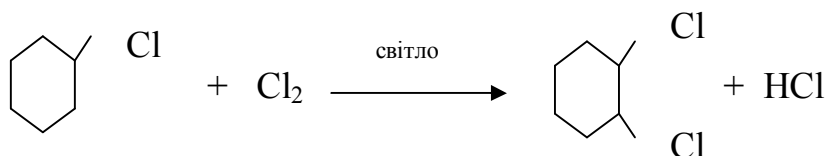
Для циклоалканів з кільцями  $C_5$  та  $C_6$  більш характерними є реакції заміщення



циклогексан

хлор циклогексан

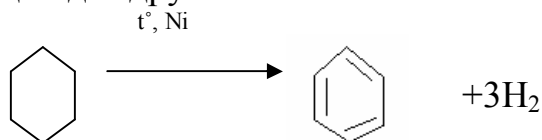
утворена сполука – хлор циклогексан продовжує взаємодіяти з галогеном далі:



хлорциклогексан

1,2-дихлорциклогексан

Циклоалкани з кільцем із п'яти і більше атомів Карбону, вступають у реакцію дегідрування



циклогексан

бензин

Циклоалкани з різним розміром циклу мають суттєву відмінність властивостей.

## ТЕМА 6. АЛКІНИ

Алкіни (ацетиленові вуглеводні) – ненасичені вуглеводні нециклічної будови, молекули яких містять один потрійний зв'язок між атомами Карбону.

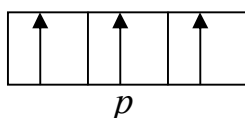
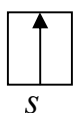
Загальна формула алкінів  $C_nH_{2n-2}$ .

Назви алкінів складаються від назв відповідних алканів заміною суфіксу –ан на суфікс –ин, -ін.

Найпростішим вуглеводнем із потрійним зв'язком у молекулі є етин, або ацетилен, він має хімічну формулу  $C_2H_2$ , він є першим представником гомологічного ряду алкінів, має таку електронну і структурну формули:



У молекулі етину кожний атом Карбону сполучений з двома атомами – іншим атомом Карбону й атомом Гідрогену, тому із його чотирьох непарних електронів



Тільки два ( $s$  – і  $p$  – електрон) беруть участь у гібридизації

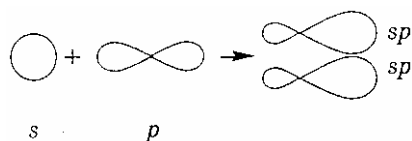


Рис. 7. Гібридизація

Утворені  $sp$  –гібридизовані орбіталі розміщуються у просторі під кутом  $180^\circ$ , вони перекриваються з  $s$  – орбіталлю атома Гідрогену і гібридизованою орбіталлю іншого атому Карбону (це  $\sigma$  - зв'язки). Центри всіх атомів молекули етину розташовуються на одній прямій (валентний кут дорівнює  $180^\circ$ ) тому молекула  $C_2H_2$  має лінійну будову.

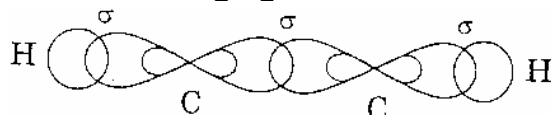


Рис. 8. Лінійна будова молекули

Інші два  $p$  – електрони атомів Карбону беруть участь в утворенні двох  $\pi$  – зв'язків, їхні взаємноперпендикулярні орбіталі перекриваються з такими самими орбіталями двох  $p$  – електронів другого атому Карбону.

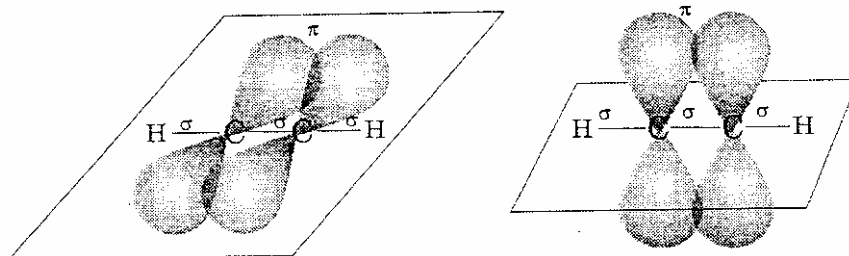


Рис. 9. Утворення зв'язків

Отже, потрійний зв'язок є поєднанням одного  $\sigma$  – і двох  $\pi$  – зв'язків.  $\sigma$  – зв'язок, як і в алкенів, виникає при осьовому перекриванні гібридизованих орбіталей сусідніх атомів Карбону. Один  $\pi$  – зв'язок утворюється при бічному перекриванні  $p$  – орбіталей, інший – при бічному перекриванні  $p_x$  – орбіталей.

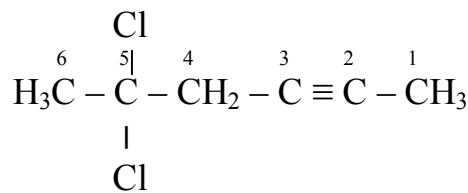
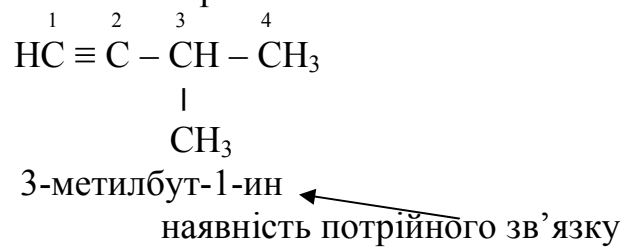
Відстань між центрами атомів Карбону в етині  $HC \equiv CH$  менша, ніж в етені  $H_2C=CH_2$  і становить 0,12 нм. Навколо потрійного зв'язку неможливе вільне обертання атомів.

**Ізомерія алкінів.** Як і алкени, алкіни мають різні види ізомерії.

1. Для алкінів характерна структурна ізомерія або ізомерія карбонового ланцюга.



Принцип складання назв алкінів та їхніх похідних такий самий, як і для алканів та алкенів, але існують певні особливості: головний карбоновий ланцюг містить кратний зв'язок, тому нумерація ланцюга починається з боку, до якого ближчий кратний зв'язок:



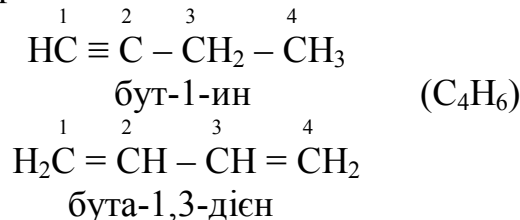
5,5 – дихлорогекс-2-ин  $\leftarrow$

номер атома Карбона, після якого розташований потрійний зв'язок

2. Для алкінів характерний ще один вид ізомерії – ізомерія положення кратного (потрійного) зв'язку



3. Міжкласова ізомерія алкінів з алкадієнами



Просторова ізомерія щодо потрійного зв'язку у алкінів відсутня, оскільки замісники можуть розташовуватись тільки вздовж лінії зв'язку.

**Фізичні властивості.** За звичайних умов алкіни  $\text{C}_2\text{H}_2 - \text{C}_4\text{H}_6$  – гази,  $\text{C}_5\text{H}_8 - \text{C}_{16}\text{H}_{30}$  – рідини, починаючи з  $\text{C}_{17}\text{H}_{32}$  - тверді речовини. Температури кипіння і плавлення алкінів вищі, ніж у відповідних алкенів. В алкінів зберігається загальна тенденція вуглеводнів – температури кипіння і плавлення збільшуються зі збільшенням їхньої молекулярної маси.

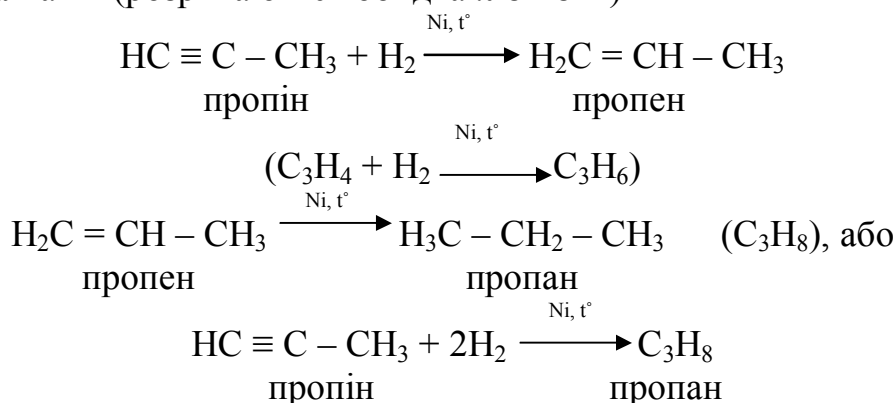
Алкіни погано розчиняються у воді, а добре – в органічних розчинниках.

Етин, за звичайних умов, безбарвний газ майже без запаху. Неприємний запах технічного етину (ацетилену), який використовують при зварюванні і різанні металевих конструкцій, зумовлений домішками. Етин трохи легший за повітря, майже не розчиняється у воді. При температурі  $-84^\circ \text{C}$  він перетворюється на рідину.

**Хімічні властивості алкінів.** Алкіни, як і всі вуглеводні, горять на повітрі, а будучи ненасиченими сполуками, вступають в реакції приєднання з воднем, галогенами, галогеноводнями і водою. Крім того, атоми Гідрогену при потрійному зв'язку в молекулах алкінів можуть заміщуватися на атоми металевих елементів.

**Реакції приєднання.** Завдяки наявності в молекулах алкінів потрійного зв'язку реакції приєднання відбуваються в дві стадії з почерговим розривом двох зв'язків. Спочатку молекула алкінів приєднує одну молекулу реагенту, утворюючи алкен, потім – другу.

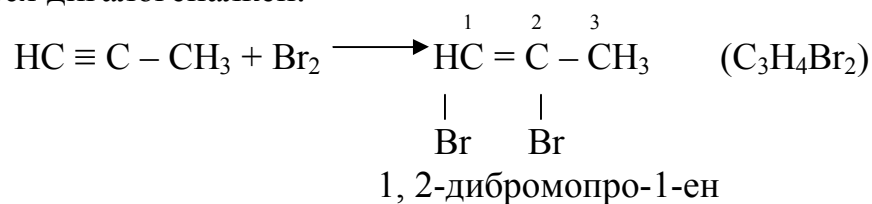
1) Гідрування – взаємодія з воднем. У присутності каталізаторів (Ni, Pt) алкіни приєднують водень з утворенням алкенів (розривається один  $\pi$ -зв'язок), алканів (розриваються обидва  $\pi$ -зв'язки)



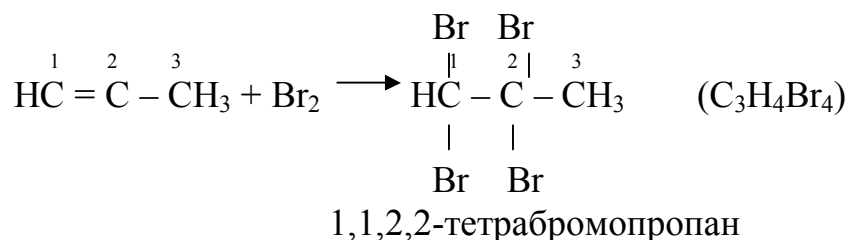
Використовуючи інші каталізатори, досягають припинення гідрування на стадії утворення алкенів.

2) Реакція з галогенами – галогенування.

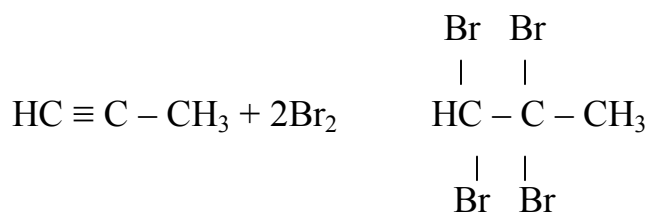
Приєднання галогенів до алкінів відбувається повільніше, ніж в алкенів. Приєднання відбувається в дві стадії, на першій стадії – утворюється дигалогеналкен.



На другій стадії – утворюється тетрагалогеналкан.



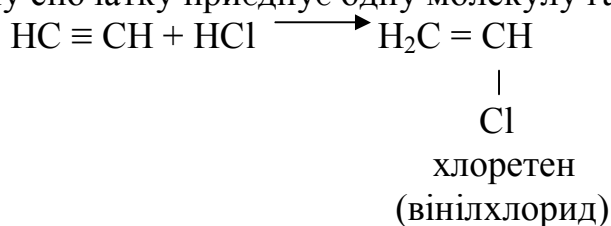
або



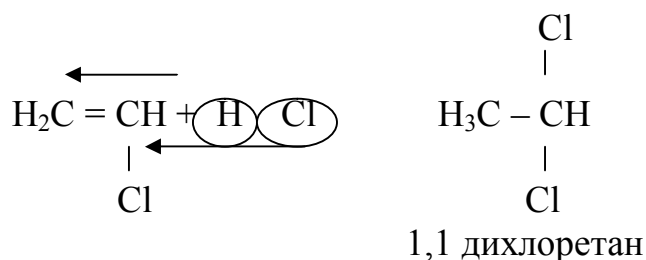
Алкіни знебарвлюють бромну воду – ця реакція є якісною на кратний зв'язок.

3) Реакція приєднання з галоген оводнями – реакція гідрогалогенування.

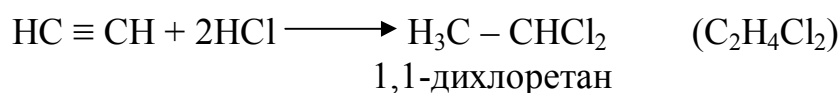
Молекула етину спочатку приєднує одну молекулу галоген оводню:



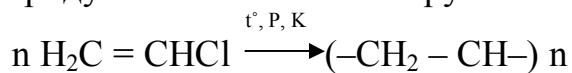
Склад продукту другої стадії визначається за правилом Марковнікова:



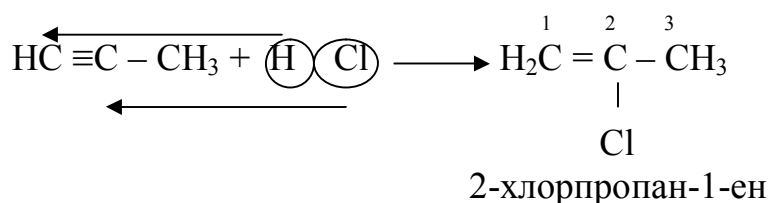
або:



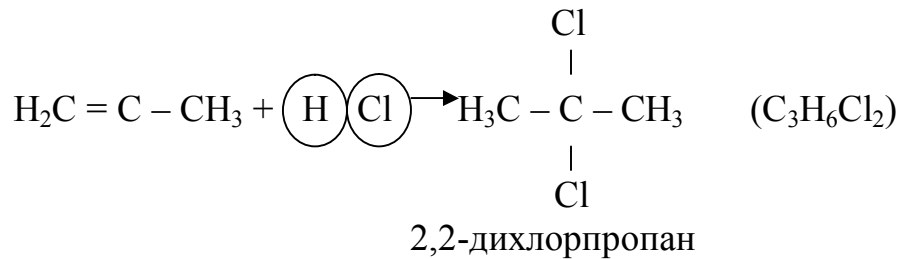
Реакція приєднання хлороводню до ацетилену використовується у виробництві вінілхлориду – важливого полімеру:



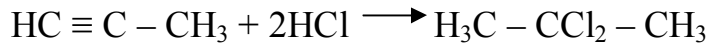
Приєднання галогеноводнів до несиметричних алкінів відбувається за правилом Марковнікова з першої стадії:



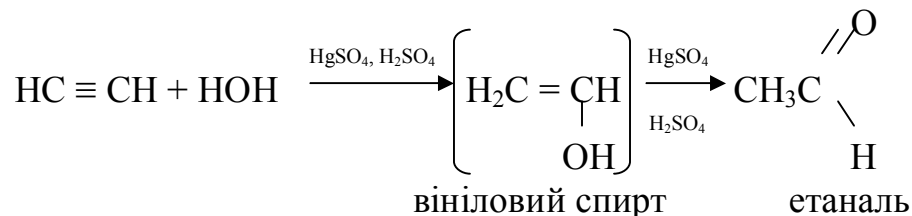
Друга стадія:



або

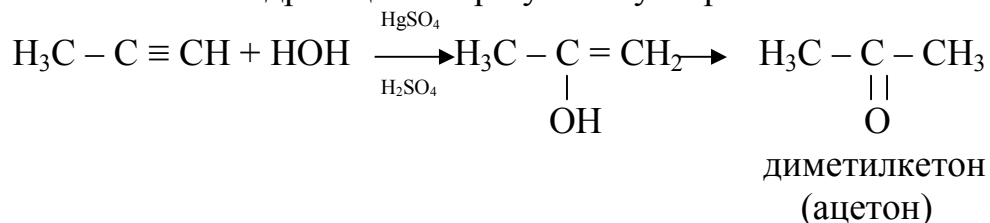


4) Реакція з водою – гідратація – реакція Кучерова. Взаємодія етину з водою відбувається в одну стадію: до молекули ацетилену приєднується одна молекула води, необхідною умовою для перебігу реакції є наявність сильної кислоти ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) і каталізатора –  $\text{HgSO}_4$  (меркурій(II) сульфату). Спочатку утворюється нестійкий ненасичений – вініловий спирт, який відразу перетворюється в етаналь (оцтовий альдегід):



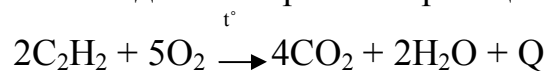
Тривалий час цю реакцію використовували у промисловому виробництві оцтової кислоти і етилового спирту (ці сполуки добувають із оцтового альдегіду). Нині цей метод не застосовують через токсичність сполук Меркурію.

Для інших алкінів гідратація завершується утворенням кетонів.



5) Окиснення алкінів.

а) Повне окиснення (горіння) алкінів відбувається з утворенням води та вуглекислого газу, належить до екзотермічних реакцій:

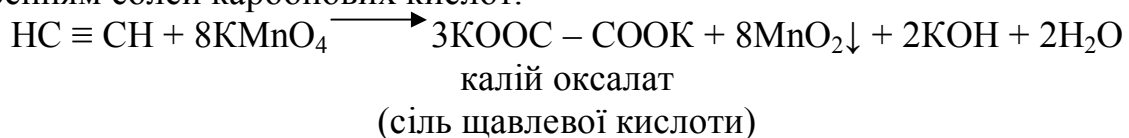


Полум'я етину дуже яскраве, бо утворюється багато розжарених часточок вуглецю (більше, ніж при горінні етену чи метану), поява серед продуктів реакції вуглецю зумовлена тим, що чимало атомів Карбону не встигають повністю окислитися.

При горінні етину в чистому кисні температура досягає близько  $3000^\circ \text{C}$ , це використовують для зварювання і різання металів. З повітрям і киснем ацетилен утворює вибухонебезпечні суміші.

б) Неповне окиснення калій перманганатом  $\text{KMnO}_4$ .

Етин і його гомологи окислюються калій перманганатом з утворенням солей карбонових кислот.

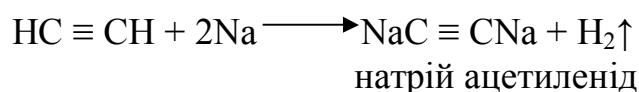


Фіолетове забарвлення розчину зникає. Ця реакція, як і за участю бромної води, є якісною на кратний зв'язок.

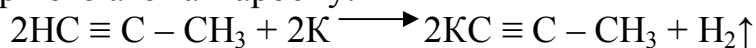
б) Реакції заміщення.

Зв'язок Гідрогену з Карбоном у молекулах алкінів має більшу полярність ніж зв'язки C – H в алкенах чи алканах, тому алкіни вступають у реакцію заміщення.

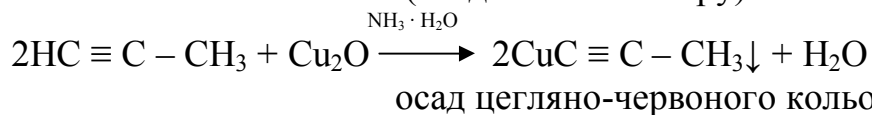
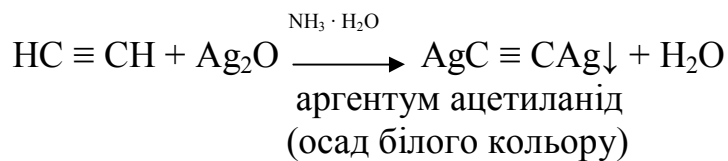
а) з лужними і лужноземельними металами, продуктами є ацетиленіди:



В реакцію заміщення вступають алкіни, у яких кратний зв'язок знаходиться у першого атома Карбону:

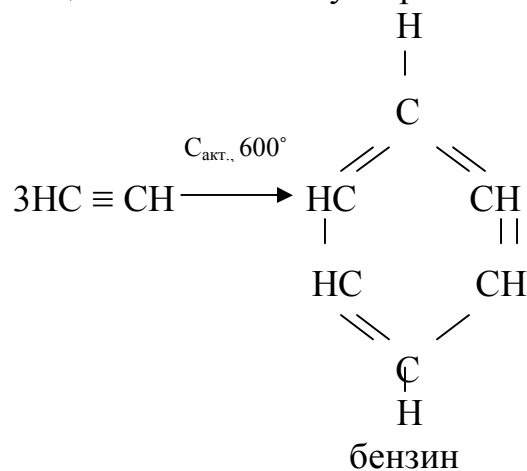


б) Алкіни реагують з аміачними розчинами оксидів Аргентуму і Купруму (I):



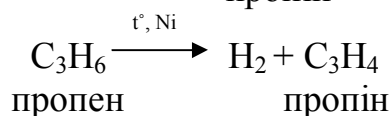
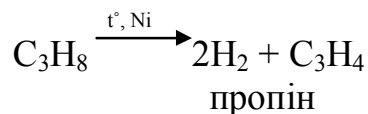
Ці реакції використовують для виявлення потрібного зв'язку.

7) Тримерізація ацетилену – це реакція полімеризації етину, відбувається у присутності каталізатору – активованого вугілля, при нагріванні до 600° С – реакція Зелінського - утворюється бензен.



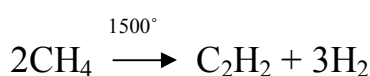
### Одержання алкінів.

Алкіни дуже в малих кількостях одержують при крекінгу нафти, або дегідруванням алканів та алкенів:



Серед алкінів етин добувають у промисловості в найбільшій кількості.

1) Термічний крекінг метану – сучасний метод добування у промисловості:

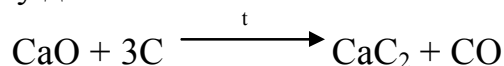


2) Карбідний спосіб одержання етину.

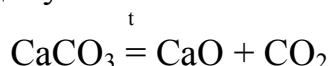
Етин утворюється під час гідролізу кальцій ацетиланіду (кальцій карбід)



Кальцій карбід добувають нагріванням суміші кальцій оксиду CaO (негашеного вапна) і коксу до 2500° C



Негашене вапно – CaO добувають з вапняка



Через велику енергоємність цей метод економічно менш вигідний, тому зараз його не використовують у промисловості.

**Виведення молекулярної формули речовини за масовими частками елементів.** Виведення молекулярної формули речовин було однією з перших задач, що постали перед хіміками після того, як почали використовувати вимірювання в хімічних дослідженнях. Знаючи масові частки елементів у сполуці (як органічної, так і неорганічної), можна визначити її молекулярну масу, а отже, і її хімічну формулу. Для розв'язання таких задач можна використовувати різні алгоритми.

**Виведення молекулярної формули речовини за відомою масовою часткою елемента у сполуці.** Цей алгоритм найбільш доцільний для бінарних сполук (що складаються з атомів двох елементів), зокрема оксидів та вуглеводнів. Його можна застосовувати й для інших сполук, але через велике число невідомих величин це буде досить складно.

Цей алгоритм застосовують, якщо за умовою задачі відомо:

- що речовина є бінарною;
- з яких хімічних елементів складається речовина;
- масову частку одного з елементів.

Масові частки елементів обчислюють за формулою:

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

де  $w$  - масова частка елемента;

$A_r$  - відносна атомна маса цього елемента;

$N$  - число атомів цього елемента в молекулі (формульній одиниці);

$M_r$  - відносна молекулярна маса сполуки.

За цією формулою отримуємо формулу для розрахунку відносної молекулярної маси речовини:

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

Відносна атомна маса елемента ( $A_r$ ) наведена в Періодичній системі, а його масова частка ( $w$ ) відома за умовою задачі. Але лишається одна невідома величина -  $N$ . Ми знаємо, що зазвичай число атомів у молекулі є невеликим цілим числом, тому під час розв'язування задач припускаємо, що  $N$  дорівнює 1 або 2, 3 тощо.

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

**Виведення молекулярної формули речовини за відомою відносною молекулярною масою речовини.** Цей алгоритм застосовують, якщо за умовою задачі відомо:

- що речовина не обов'язково є бінарною;
- з яких хімічних елементів складається речовина;
- масові частки всіх елементів;
- відносна молекулярна або молярна маса речовини.

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

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

**Виведення молекулярної формули не бінарної сполуки за відомими масовими частками.** Цей алгоритм є універсальним і підходить для розв'язування будь-яких задач на виведення формул речовини (як органічних, так і неорганічних) за відомими масовими частками.

Цей алгоритм застосовують, якщо за умовою задачі відомо:

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

Алгоритм ґрунтується на одному з базових принципів хімії – стехіометрії. Хімічна формула, і коефіцієнти в рівняннях реакцій

показують співвідношення атомів чи молекул під час хімічної взаємодії. Можна впевнено стверджувати, що співвідношення індексів у хімічній формулі речовини таке саме, як і співвідношення кількості речовини (у молях) атомів у цій речовині.

Наприклад, для речовини  $C_xH_yO_z$  справедливо:

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

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

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

У цю формулу масові частки можна підставляти як у відсотках, так і у частках від одиниці. Наприклад, для співвідношення кількості речовини Карбону та Гідрогену

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

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

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

### Задачі

**Задача 1.** Визначте хімічну формулу сполуки Калію з Оксисеном, у якій масова частка Калію становить 83%.

#### **Розв'язання:**

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

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

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

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

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

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

Оскільки цього разу ми припустили, що у сполуці два атоми Калію, то від маси 94 віднімаємо масу двох атомів Калію. Отже, на атоми



Оксигену припадає різниця  $94 - 2 \cdot 39 = 16$ . Це відповідає одному атому Оксигену. Отже, хімічна формула  $K_2O$ .

**Відповідь:** формула сполуки -  $K_2O$ .

**Задача 2.** Визначте молекулярну формулу органічної речовини з молярною масою 60 г/моль, у якій масова частка Карбону становить 40%, Гідрогену – 6,67%, інше припадає на Оксиген.

**Розв'язання:**

За умовою речовина складається з атомів Карбону, Гідрогену і Оксигену, тож її формулу умовно можна записати як  $C_xH_yO_z$ . Відносна молекулярна маса речовини чисельно дорівнює її молярній масі, тобто  $M_r = 60$ . У формулу підставляємо  $M_r = 60$ ,  $w(C) = 0,4$  та  $A_r(C) = 12$ .

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

Так само визначаємо число атомів Гідрогену:

$$N(H) = \frac{60 \cdot 0,067}{1} = 4$$

Число атомів Оксигену можна визначити за залишковим принципом. Від відносної молекулярної маси речовини віднімаємо відносні атомні маси всіх атомів Карбону та Гідрогену:  $60 - 2 \cdot 12 - 4 \cdot 1 = 32$ . Ця маса припадає на Оксиген та відповідає двом атомам. Отже, хімічна формула сполуки  $C_2H_4O_2$ .

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

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

**Розв'язання:**

Записуємо умовну формулу речовини  $C_xH_yO_z$ .

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

У формулу підставляємо масові частки та молярні маси елементів:

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

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

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

Підставляємо обчислені індекси та отримуємо формулу  $C_2H_6O$ .

**Відповідь:** формула сполуки  $C_2H_6O$ .

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

**Розв'язання:**

Записуємо умовну формулу речовини, урахувавши те, що ця сполука є вуглеводнем:  $C_xH_y$ . Визначаємо масову частку Гідрогену:

$$100\% - 80\% = 20\%$$

За формулою визначаємо співвідношення індексів:

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

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

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

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

**Відповідь:** формула сполуки  $C_2H_6$ .

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

**1) Виведення молекулярної формули речовини за загальною формулою гомологічного ряду.** Цей алгоритм застосовують, якщо з умови задачі відомо:

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

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

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

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

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

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

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

- алкенів  $M(C_nH_{2n}) = 14n$ ;

- алкінів  $M(C_nH_{2n-2}) = 14n - 2$ ;

- аренів  $M(C_nH_{2n-6}) = 14n - 6$ ;

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

**2) Виведення молекулярної формули речовин за відотною густиною.** Цей алгоритм застосовують:

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

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

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

Отже, молярну масу невідомого газу обчислюємо за формулою:

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

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

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

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

## Таблиця 2

Емпірична формула	Молекулярна формула
НО	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> – гідроген пероксид
СН <sub>3</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> - етан
СН <sub>2</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> , C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> та інші алкени
СН	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> - бензен
СН <sub>2</sub> O	метаналь СН <sub>2</sub> O, етанова C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> O <sub>2</sub> та молочна C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> O <sub>3</sub> кислоти, глюкоза C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O <sub>6</sub> тощо

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

**Виведення молекулярної формули речовин за густиною.** Цей алгоритм застосовують:

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

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

$$\rho = \frac{m}{V}$$

Якщо в нас є речовина кількістю 1 моль, то маса речовини такої кількості дорівнюватиме молярній масі сполуки  $M$ , а об'єм – молярному об'єму  $V_m$ . Отже,

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{M}{V_m}$$

Зверніть увагу, що ми маємо справу з об'ємами газів, виміряними за нормальних умов. У цьому разі ми можемо використовувати значення молярного об'єму, що дорівнює 22,4 л/моль. Із наведеної формули видно, що густина залежить від об'єму, а отже, й від умов вимірювання. У задачах, що ми тут наводимо, густина випарів має бути такою, якби вона була виміряна за нормальних умов.

Отриману формулу можемо використовувати для обчислення молярної маси невідомої речовини:

$$M = \rho \cdot V_m$$

## Задачі

**Задача 1.** Визначте формулу алкану з молярною масою 72 г/моль.

### ***Розв'язання***

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

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

Підставляємо значення молярної маси в рівняння:

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

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

**Відповідь:** формула сполуки  $C_5H_{12}$ .

**Задача 2.** Визначте формулу алкіну, відносна густина якого за гелієм становить 13,5.

### ***Розв'язання***

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

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

Далі використовуємо формулу для молярної маси алкінів і визначаємо сполуку:

$$M(C_nH_{2n-2}) = 14n - 2; 14n - 2 = 54; n = 4$$

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

**Відповідь:** формула сполуки  $C_4H_6$ .

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

### ***Розв'язання***

Записуємо умовну формулу вуглеводню  $C_xH_y$ . Масова частка Гідрогену:

$$100\% - 84,2\% = 15,8\%$$

Визначаємо співвідношення індексів:

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

Визначаємо індекси в емпіричній формулі. Перетворюємо співвідношення так, щоб усі числа у ньому були цілими, для чого поділимо

всі числа у співвідношенні на найменше серед них, у даному випадку на 7,02:

$$x : y = 7,02 : 15,8 = 1 : 2,25$$

а потім помножуємо на 4:

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

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

За формулою обчислюємо молярну масу вуглеводню за відносною густиною. Для розрахунку використовуємо середню молярну масу повітря

$$M(\text{повітря}) = 29 \text{ г/моль} :$$

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

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

**Відповідь:** формула сполуки -  $C_8H_{18}$ .

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

#### **Розв'язання**

Записуємо умовну формулу вуглеводню  $C_xH_y$ . Масова частка Гідрогену:

$$100\% - 85,7\% = 14,3\%$$

Визначаємо співвідношення індексів:

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

Визначаємо індекси в емпіричній формулі. Для цього поділимо всі числа в співвідношенні на 7,14:

$$x : y = 7,14 : 14,3 = 1 : 2$$

Отримуємо емпіричну формулу  $CH_2$ .

За формулою обчислюємо молярну масу вуглеводню за густиною:

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

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

**Відповідь:** формула сполуки -  $C_5H_{10}$ .

## ЛІТЕРАТУРА

1. Григорович О. В. Хімія: підруч. для 8 класу загальноосвітніх навчальних закладів/О. В. Григорович. – Харків; Вид-во «Ранок», 2016. 256 с.: іл.
2. Григорович О. В. Хімія: підруч. для 9 класу загальноосвітніх навчальних закладів/О. В. Григорович. – Харків; Вид-во «Ранок», 2017. 256 с.: іл.
3. Хомченко Г. П. Посібник з хімії для вступників до ВУЗів - Київ «Викладач», 1999 р. 480 с.
4. Хомченко Г. П., Хомченко І. Г. Збірник задач з Хімії для вступників до вищих навчальних закладів – Київ «А. С. К.», 2004 р. 311 с.
5. Дячук Л. С. Хімія ЗНО: комплексне видання у 3-х ч.: Неорганічна хімія. Ч.2/Л. С. Дячук. – Тернопіль: Навчальна книга – Богдан. 440 с.
6. Прибора Н. А. Хімія: Текстові завдання у форматі ЗНО/Н.А. Прибора. – Київ; Видавничий дім «Освіта». 56 с.