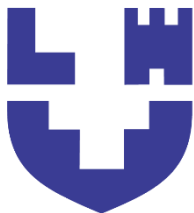


**Міністерство освіти і науки України  
Луцький національний технічний університет**



## **ОРГАНІЧНА ХІМІЯ**

Конспект лекцій

для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти  
освітньої програми «Харчові технології»  
галузі знань G Інженерія, виробництво та будівництво  
спеціальності G 13 Харчові технології  
денної та заочної форм навчання

Луцьк 2025

УДК 54(07)  
О 22

Електронна копія друкованого видання передана для внесення в репозитарій ЛНТУ

Директор бібліотеки \_\_\_\_\_ Н.П. Поліщук

Рекомендовано до видання вченою радою факультету митної справи, матеріалів та технологій ЛНТУ,

протокол № \_\_\_ від «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2025 року.

Голова вченої ради факультету ММТ \_\_\_\_\_ В.В. Ткачук

Розглянуто і схвалено на засіданні кафедри харчових технологій та хімії ЛНТУ, протокол № \_\_\_ від «05» лютого 2025 року.

Завідувач кафедри харчових технологій та хімії \_\_\_\_\_ І.М. Дударєв

Укладач: \_\_\_\_\_ В.Я. Шемет, кандидат хімічних наук, доцент кафедри харчових технологій та хімії ЛНТУ

Рецензент: \_\_\_\_\_ О.І. Гулай, доктор педагогічних наук, професор кафедри цифрових освітніх технологій ЛНТУ

Відповідальний за випуск: \_\_\_\_\_ І.М. Дударєв, д.т.н., професор, завідувач кафедри харчових технологій та хімії ЛНТУ.

**О-22** **Органічна хімія** [Текст]: Конспект лекцій для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти освітньої програми «Харчові технології» галузі знань G Інженерія, виробництво та будівництво спеціальності G 13 Харчові технології денної та заочної форм навчання. / уклад. В.Я. Шемет – Луцьк: ЛНТУ, 2025. – 80 с.

Видання містить лекційний матеріал з дисципліни «Органічна хімія» та розроблене для аудиторної і самостійної роботи студентів при вивченні дисципліни

Призначене для студентів спеціальності G 13 Харчові технології денної та заочної форм навчання.

© Шемет В.Я. 2025

## ЗМІСТ

<b>ПЕРЕДМОВА</b>	
<b>Лекція 1.</b> Теорія хімічної будови органічних сполук. Класифікація органічних сполук, реакцій та реагентів.	
<b>Лекція 2-4.</b> Вуглеводні.	
<b>Лекція 5-8.</b> Функціональні похідні вуглеводнів.	
<b>Лекція 9.</b> Гідроксикислоти.	
<b>Лекція 10-11.</b> Сполуки із змішаними функціями	
<b>Лекція 12-13.</b> Гетероциклічні сполуки.	
<b>Лекція 14.</b> Високомолекулярні сполуки.	
<b>Лекція 15.</b> Поняття про електронну спектроскопію. ІЧ-та УФ-спектроскопія.	
<b>РЕКОМЕНДОВАНІ ДЖЕРЕЛА ІНФОРМАЦІЇ</b>	

## Лекція 1

### Теорія хімічної будови органічних сполук. Класифікація органічних сполук, реакцій та реагентів.

1. Предмет органічної хімії. Основні положення теорії хімічної будови.
2. Класифікація органічних речовин.
3. Хімічний зв'язок і будова.
4. Загальна характеристика реакцій органічних сполук.
5. Дослідження будови органічних сполук.

**1.** Органічна хімія – це хімія сполук Карбону (за винятком найпростіших його сполук – карбонатної кислоти та її солей, оксидів карбону, ціановодню).

Більшість органічних сполук містить у своєму складі крім Карбону ще й Гідроген. Тому і досі актуальне класичне визначення Шорлеммера (1871 р) – органічна хімія є хімією вуглеводнів та їх похідних, тобто продуктів, які утворюються у разі заміни атомів Гідрогену на інші атоми або групи атомів.

Молекули багатьох органічних сполук містять крім *C* та *H* атоми інших елементів – *O*, *N*, *S*. Ці елементи називають **органогенами**.

Є кілька передумов виділення органічної хімії в окрему галузь науки. Насамперед, це чисельність і різноманітність органічних сполук ( $\approx 10$  млн., неорганічних сполук – 700 тис.). Така чисельність органічних сполук зумовлена здатністю атомів, а також сполучатися з атомами більшості елементів періодичної системи.

Крім того, атоми *C* утворюють один з одним не лише одинарні, але і кратні (подвійні, потрійні) зв'язки. Завдяки таким особливостям атома Карбону серед органічних речовин дуже поширене явище ізомерії.

Органічні сполуки складніші, ніж неорганічні, а органічна хімія вивчає більш високоорганізовану матерію. Органічні сполуки відіграють важливу роль у процесах життєдіяльності рослинних і тваринних організмів. Вони мають особливе значення у багатьох галузях народного господарства. Природний газ, нафта, синтетичні волокна і пластмаси, медичні препарати, вітаміни, пестициди, харчові добавки – це все органічні речовини.

#### Основні положення теорії хімічної будови органічних сполук

(Бутлеров О.М., 1861 р.):

1) У молекулах органічних речовин атоми сполучені один з одним у певній послідовності відповідно до їх валентності. Ця послідовність, або порядок зв'язку атомів у молекулі, називається хімічною будовою.

2) Властивості молекул визначаються не тільки типом і кількістю атомів у молекулі (якісним і кількісним складом молекули), а й порядком їх сполучення, тобто хімічною будовою.

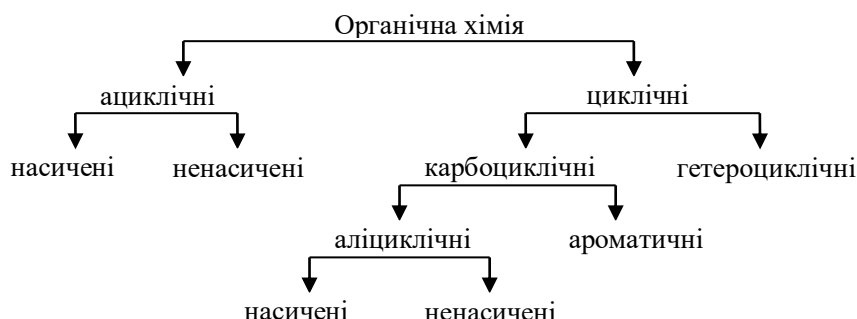
3) Органічні сполуки з однаковим якісним і кількісним складом, але різною будовою, називають ізомерами. Вони різняться за фізичними та хімічними властивостями.

4) Атоми або групи атомів у складі молекули взаємно впливають один на одного, а через це і на хімічну поведінку (реакційну здатність) молекули.

5) Оскільки під час окремих реакцій змінюються не всі, а лише деякі частини молекули, то, вивчаючи продукти хімічних перетворень речовини, можна встановити її будову.

Теорія хімічної будови створила можливість систематизації практичного матеріалу органічної хімії, пояснила її найважливіші закономірності і стала основою для прогнозування нових фактів та синтезу нових речовин.

2. Класифікація органічних сполук залежно від будови ланцюга атомів за групами (рядами):



Кожна із зазначених груп органічних сполук поділяється на класи залежно від наявності в молекулах тих чи інших атомів або угруповань атомів, які визначають типові властивості даного класу, так званих **функціональних груп**.

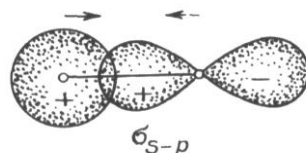
Основні класи органічних сполук

Функціональна група		Клас сполук	Загальна формула
символ	назва		
- OH	гідроксильна група (гідроксил)	гідрокисполуки спирти феноли	R - OH
	оксогрупа (карбоніл)	оксосполуки альдегіди кетони	
	карбоксильна група (карбоксил)	карбонові кислоти	
- Hal (F, Cl, Br, I)	галоген	галагенопохідні	R - Hal
- NO <sub>2</sub>	нітрогрупа	нітросполуки	R - NO <sub>2</sub>
- NH <sub>2</sub>	аміногрупа	аміни	R - NH <sub>2</sub>
- SO <sub>3</sub> H	сульфогрупа	сульфокислоти	R - SO <sub>3</sub> H
- SH	тіолова група	тіосполуки (меркаптани)	R - SH
- N=N -	азогрупа	азосполуки	R - N=N - R'
- O -		етери	R - O - R'

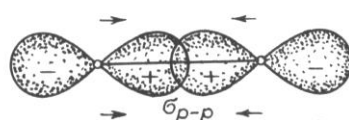
	естери	
--	--------	--

3. Основне значення в хімії органічних сполук має ковалентний зв'язок, характерний для сполук Карбону. Для утворення ковалентного зв'язку необхідно, щоб орбіталі одного атома перекривалися з орбітальною другого; на кожній орбіталі повинен перебувати один електрон. Кожний ковалентний зв'язок характеризується міцністю і довжиною. При визначенні міцності або енергії зв'язку вирішальну роль відіграє тип перекривання атомних орбіталей (більша область перекривання – міцніший зв'язок).

**σ-зв'язок** – якщо максимум перекривання атомних орбіталей припадає на лінію, яка з'єднує ядра атомів:



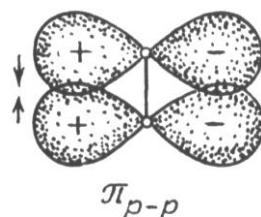
$s-p$  – перекривання



$p-p$  – перекривання

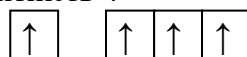
Під час такого розміщення орбіталей перекривання максимальне, що зумовлює утворення міцних зв'язків.

Якщо дві  $p$ -орбіталі орієнтовані паралельно, максимальне перекривання припадає на область поза лінією, що з'єднує ядра атомів. Це –  **$\pi$ -зв'язок**, який слабкіший, ніж  $\sigma$ -зв'язок.



$p-p$  – перекривання

Збуджений стан атома С – валентність 4



2 s p

Комбінація:

1)  $1s + 3p \rightarrow sp^3$ -гібридизація  $\rightarrow$  4 однакові орбіталі – рівноцінні, розміщені тетраедрично під кутом  $109^\circ 28'$  (максимально віддалені одна від одної).

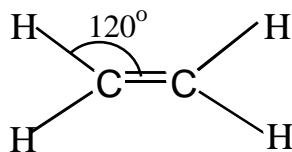
Метан



$E_{зв} = 417,05$  кДж/моль;  $\angle 109^\circ 28'$ ; атоми обертаються навколо осі.

2)  $1s + 2p \rightarrow sp^2$ -гібридизація – 3 однакові орбіталі в одній площині.

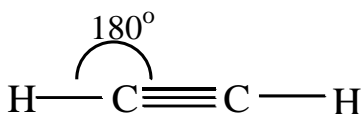
Етен (етилен)



$E_{зв\ C=C} = 598$  кДж/моль;  $E_{зв\ C-C_{стан}} = 347$  кДж/моль;  $\angle 120^\circ$ ;  $\pi$ -зв'язки менш стійкі, ніж  $\sigma$ -зв'язки; атоми не обертаються навколо осі.

3)  $1s + 1p \rightarrow sp$ -гібридизація – 2 однакові орбіталі на одній прямій.

Етин (ацетилен)



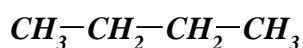
$E_{зв\ C\equiv C} = 812$  кДж/моль.

**Ізомерами** називають сполуки, молекули яких мають однаковий якісний і кількісний склад і однакову молекулярну масу, але різну будову (структуру) молекули і пов'язані з тим різні фізичні і хімічні властивості. Наприклад, формулі  $C_2H_6O$ : можуть відповідати дві сполуки:

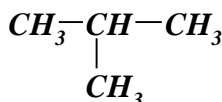
$\tilde{N}I_3 - \tilde{N}I_2 - \tilde{H}$  - етиловий спирт – це рідина, добре розчинна у воді і  $\tilde{N}I_3 - \hat{I} - \tilde{N}I_3$  - диметилловий ефір – це газ, нерозчинний у воді.

**Види ізомерії:**

а) ізомерія вуглецевого скелету:

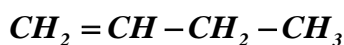


бутан

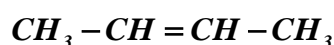


2-метилпропан

б) ізомерія, обумовлена розміщенням подвійних зв'язків:

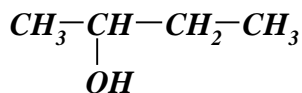


бутен-1

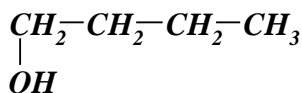


бутен-2

в) ізомерія розміщення замісників:

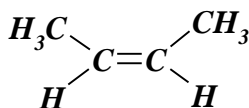


бутанол-2

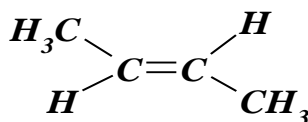


бутанол-1

г) геометрична ізомерія (цис-, транс-) – зумовлена обмеженням обертанням навколо подвійного  $C=C$  зв'язку:



цис-бутен



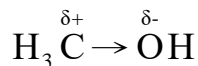
транс-бутен

**Полярні зв'язки**

Два різні атоми, сполучені ковалентним зв'язком притягують електрони по різному, і в цьому випадку пара електронів, яка утворює зв'язок, ніколи не поділена абсолютно порівно між двома атомами, вона зміщена до більш електронегативного атома. Електронегативність елемента є мірою його здатності притягувати електрони.

Індукційний ефект I – здатність атома або групи атомів зміщувати  $\sigma$ -електрони.

Замісник, який притягує пару електронів (електроноакцептор) – має негативний індукційний ефект (–I-ефект): – Hal; – OH; – NH<sub>2</sub>.



Якщо замісник відштовхує електронну пару  $\sigma$ -зв'язку сильніше, ніж Гідроген, йдеться про позитивний індукційний ефект (електронодонорний) – +I-ефект.

+I-ефект: – CH<sub>3</sub>; – CH<sub>2</sub>(CH<sub>3</sub>); – CH(CH<sub>3</sub>)<sub>2</sub>; – C(CH<sub>3</sub>)<sub>3</sub>.

Мезомерний ефект – результат перерозподілу електронної густини, що виникає в ненасичених системах і здійснюється через  $\pi$ -електрони.



Органічні молекули не є застиглими, жорсткими просторовими утвореннями (структурами). У них спостерігаються різноманітні коливання, рух атомів біля рівноважних положень, що, однак, не порушує просторової будови сполуки.

#### 4. Відмінності між органічними і неорганічними реакціями:

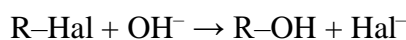
1) неорганічні сполуки реагують, як правило, у вигляді йонів, тому перебіг реакцій дуже швидкий, майже миттєвий, і переважно за звичайних умов. Органічні сполуки реагують зазвичай у вигляді молекул, при цьому, руйнуються одні і утворюються інші ковалентні зв'язки, що вимагає довшого часу, підвищення температури, тиску, або ж застосування каталізаторів.

2) при контакті органічних речовин можливий одночасний перебіг кількох реакцій, з яких та чи інша може переважати залежно від умов, тобто регулюючи умови, можна досягти переважного перебігу бажаної в даному випадку реакції.

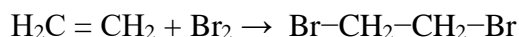
3) наслідком паралельного перебігу кількох реакцій є зазвичай досить низький вихід кінцевого продукту, тоді як у неорганічних реакціях вихід становить до 100%.

#### Елементарні типи органічних реакцій

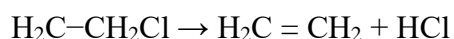
1) реакції заміщення (S) – заміщення атома або групи атомів іншим атомом або групою атомів.



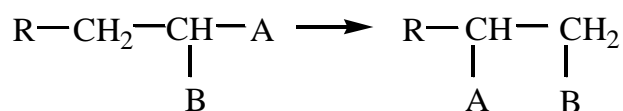
2) реакції приєднання (A) – об'єднання кількох молекул в одну, при цьому зменшується кратність зв'язку в одного з реагентів:



3) реакції відщеплення, або елімінування (E) – відбувається відщеплення невеликих термодинамічно стабільних молекул:

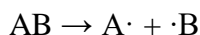


4) перегрупування – внутрішньо молекулярні переміщення атомів або груп атомів, тобто структурні ізомерні перетворення:



### Класифікація реакцій за способом розриву зв'язків

1) гомолітичний розрив – електронна пара ковалентного зв'язку роз'єднується симетрично:



утворюються вільні радикали – частинки з неспареними електронами – дуже нестійкі (тривалість існування  $10^{-2}$ - $10^{-3}$  с), які миттєво вступають в подальші перетворення.

Умова перебігу таких реакцій – висока температура, опромінення ( $\gamma$ , УФ), наявність пероксидів та ін.

2) гетеролітичний розрив – електронна пара залишається у одного атома, який набуває негативного заряду (стає аніоном), а інший атом – катіоном:

Електрофіли (ті, що люблять електрон) – електроноакцепторні частинки, що мають повний або частковий позитивний заряд:

$\text{H}^+$ ,  $^+\text{CR}_3$ ,  $^+\text{NO}_2$ ,  $^+\text{SO}_3\text{H}$ , молекули  $\text{AlCl}_3$ ,  $\text{BF}_3$ ,  $\text{FeBr}_3$ ;

Нуклеофіли (ті, що люблять ядро) – електронодонорні частинки з неподіленими парами електронів:

$-\text{OH}$ ,  $-\text{Hal}$ ,  $-\text{ROCN}^-$ , молекули  $\ddot{\text{N}}\text{H}_3$ ,  $\text{H}_2\ddot{\text{O}}$ ,  $\text{R}\ddot{\text{O}}\text{H}$ .

3) синхронні реакції – нові зв'язки утворюються одночасно з розривом вихідних. Висока стереоселективність.

#### 5. Виділення та очищення органічних сполук.

1) екстракція – спосіб розділення сумішей рідких або твердих речовин за допомогою вибіркового (селективного) розчинників (екстрагентів), що ґрунтується на різній розчинності в них компонентів суміші.

Принцип: подібне розчиняється в подібному, тобто неполярні речовини розчиняються в неполярних розчинниках, а полярні – у полярних.

2) перегонка (дистиляція) – розділення та очищення рідких сполук, які істотно відрізняються одна від одної температурами кипіння і не утворюють азеотропних сумішей.

3) сублімація (возгонка) – безпосередній перехід речовини з твердого в газоподібний стан, з наступним охолодженням і кристалізацією безпосередньо з газоподібного стану (нафтаген, бензенова кислота).

4) перекристалізація – ґрунтується на різній розчинності органічних сполук і домішок у певному розчиннику.

#### Фізичні константи речовин:

- температура плавлення (тверднення);
- температура кипіння (конденсації);
- густина;
- показник заломлення;
- теплота утворення;
- теплота згоряння.

Безпосереднє вивчення складу та будови органічної речовини, її ідентифікація (розпізнавання) за класичною схемою складається з наступних етапів:

- 1) якісний елементний аналіз;
- 2) кількісний елементний аналіз;
- 3) встановлення брутто-формули;

- 4) якісний функціональний аналіз;
- 5) кількісний функціональний аналіз;
- 6) визначення фізичних констант і розчинності;
- 7) добування характерних похідних.

## Лекція 2-4

### Вуглеводні

1. Насичені вуглеводні (алкани):
  - номенклатура;
  - природні джерела добування;
  - хімічні властивості.
2. Вуглеводні з подвійними зв'язками (алкени):
  - номенклатура;
  - ізомерія;
  - методи добування;
  - хімічні властивості.
3. Ацетиленові вуглеводні (алкіни).
4. Ароматичні вуглеводні.

1. Насичені аліфатичні вуглеводні загальної формули  $C_nH_{2n+2}$  утворюють гомологічний ряд *алканів*.

Ряд сполук, в якому кожний член відрізняється від попереднього на сталу структурну одиницю, називається *гомологічним рядом*, а члени цього ряду – *гомологами*.

Алкани (парафіни) – насичені вуглеводні, оскільки в них досягнутий найвищий ступінь насичення атомами Гідрогену.

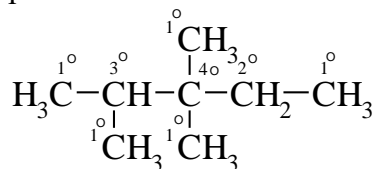
Найпростіший представник ряду алканів – метан  $CH_4$ . Згідно з однією з теорій, життя виникло тоді, коли Земля була оточена атмосферою метану, води амоніаку та водню. Під дією енергії (випромінювання Сонця, грозові розряди) ці молекули утворили вільні радикали, які сполучалися у складніші молекули, а ті, в свою чергу, перетворилися на дуже складні органічні сполуки, з яких побудовані всі живі організми. Цю теорію було підтверджено експериментально.

За кімнатної температури  $C - C_4$  – гази,  $C_5 - C_{16}$  – рідини,  $C_{17}$  і далі – тверді речовини. В гомологічному ряду із збільшенням ланцюга на 1 атом Карбону температура кипіння зростає на 20-30 °C.

#### Номенклатура.

Типи атомів Карбону:

- первинний ( $1^\circ$ ) – сполучений тільки з одним сусіднім атомом Карбону;
- вторинний ( $2^\circ$ ) – з двома;
- третинний ( $3^\circ$ ) – з трьома;
- четвертинний ( $4^\circ$ ) – з чотирма.



Алкільні групи (залишки): алкан  $\rightarrow$  алкіл  
 $C_nH_{2n+2}$   $C_nH_{2n+1}$

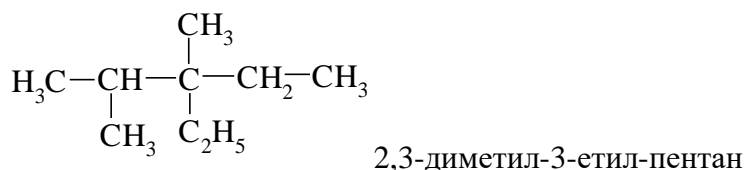
$CH_4$	– метан	– $CH_3$	– метил
$C_2H_6$	– етан	– $C_2H_5$	– етил

$C_3H_8$	– пропан	$—CH_2—CH_2—CH_3$	– <i>n</i> -пропіл
		$H_3C—\underset{ }{CH}—CH_3$	– ізопропіл
$C_4H_{10}$	– бутан	$—CH_2—CH_2—CH_2—CH_3$	– <i>n</i> -бутил
		$H_3C—\underset{ }{CH}—CH_2—CH_3$	– вторбутил
		$—CH_2—\underset{ }{CH}—CH_3$ $CH_3$	– ізобутил
		$H_3C—\underset{ }{C}—CH_3$ $CH_3$	– третбутил

$C_5H_{12}$  – пентан;  
 $C_6H_{14}$  – гексан;  
 $C_7H_{16}$  – гептан;  
 $C_8H_{18}$  – октан;  
 $C_9H_{20}$  – нонан;  
 $C_{10}H_{22}$  – декан.

Систематична номенклатура (IUPAC):

1. За основу вибирають найдовший нерозгалужений ланцюг атомів Карбону, який визначає назву всієї молекули. Сполучені з ним алкільні групи розглядають як замісники.
2. Атоми Карбону основного ланцюга нумерують послідовно з того кінця, що дає заміснику менший номер. Якщо є кілька замісників, то напрямок вибирають так, щоб сума номерів замісників була найменшою.
3. Назву алкільних замісників додають як префікс до назви основного ланцюга. Положення замісників позначають номером атома Карбону основного ланцюга, до якого вони приєднані.
4. Кількість однакових замісників позначають префіксами (ди-, три-, тетра-, пента-).
5. Замісники перелічують в порядку зростання “старшинства” (числа атомів C) або за алфавітом.



### Природні джерела вуглеводнів

Основними джерелами алканів є нафта та супутній їй газ. Природний газ містить тільки легкі алкани, в основному метан, значно менше етану, пропану і вищих алканів.

Найпростіший і головний спосіб переробки нафти – розгонка на окремі фракції (пряма перегонка).

Три основні фракції:

- 1) бензинова фракція ( $C_5 - C_{10}$ ) – нагрівається до  $180\text{ }^\circ\text{C}$ :
  - *n*-метан  $(38\text{ }^\circ\text{C}) - C_5$ ;
  - газолін (петролейний ефір)  $(40-70\text{ }^\circ\text{C}) - C_5 - C_6$ ;

- авіаційний бензин (70-90 °C) – C<sub>6</sub> – C<sub>7</sub>;
  - автомобільний бензин (90-120 °C) – C<sub>6</sub> – C<sub>8</sub>;
  - лігроїн (120-140 °C) – C<sub>6</sub> – C<sub>10</sub>.
- 2) керосин (газ) (C<sub>10</sub> – C<sub>16</sub>) – нагрівається 180 °C – 270 °C:
- реактивне паливо (150-180 °C) – C<sub>9</sub> – C<sub>16</sub>;
  - тракторний керосин (210-300 °C) – C<sub>7</sub> – C<sub>14</sub>;
  - дизельне паливо (200-330 °C) – C<sub>13</sub> – C<sub>16</sub>.
- 3) мазутна фракція – залишок після відгонки (1) і (2) C<sub>16</sub> і вище:
- солярові масла (270 °C-360 °C) – C<sub>16</sub> – C<sub>20</sub>;
  - мастильні масла
  - вазелін
  - парафін
- >>> C<sub>19</sub> – C<sub>35</sub>

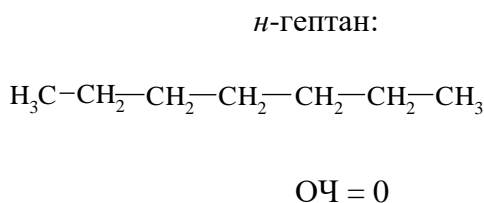
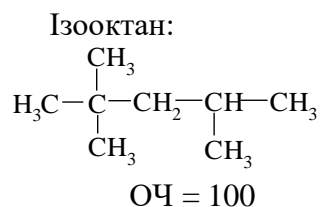
4) залишок нафти після відгону мазуту – гудрон, з нього виробляють бітум.

*Крекінг нафти* – технологічний процес, спрямований на збільшення виходу бензину шляхом спеціальної переробки компонентів важких фракцій нафти.

Первинна обробка – 5-14% бензину.

Крекінг (катализатор, тиск 70-370 кПа, t – 470-530°C) – 30-40°C.

Для оцінки якості рідкого палива використовують октанове число (ОЧ)

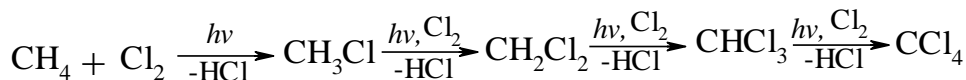


Для визначення ОЧ порівнюють детонаційні властивості бензину та суміші ізооктану та *n*-гептану. Чим вище ОЧ, тим вища якість пального. Підвищення ОЧ заощаджує пальне і зберігає потужність двигунів внутрішнього згорання, не допускаючи їх псування.

### Хімічні властивості алканів

Алкани вступають у відносно невелику кількість реакцій; усі вони здійснюються тільки за жорстких умов і, як правило, зумовлюють утворення суміші продуктів. Це вільно радикальні ланцюгові реакції.

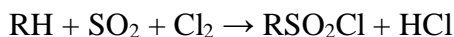
1) галогенування: (250-400 °C, або ультрафіолетове випромінювання).



Під час галогенування утворюється суміш усіх можливих ізомерів, однак їх співвідношення значною мірою залежить від умов реакції і будови субстрату.

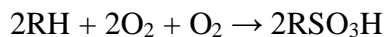
Реакційна здатність зв'язків С—Н в реакціях радикального заміщення збільшується вряду первинний → вторинний → третинний атоми Карбону (Марковников В.);

2) сульфохлорування:



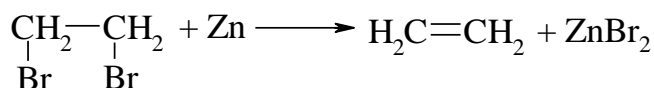
алкансульфохлориди – дубильні речовини, проміжні сполуки в отриманні синтетичних миючих засобів;

3) сульфоокислення:



4) нітрування (140 °C) – реакція Коновалова:

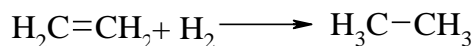




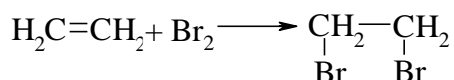
### Хімічні властивості

Алкени легко вступають у реакції приєднання з розривом  $\pi$ -зв'язку і утворенням насичених зв'язків.

1) гідрування – каталізатор Pt, Pd або Ni, 200-300 °C, високий тиск:



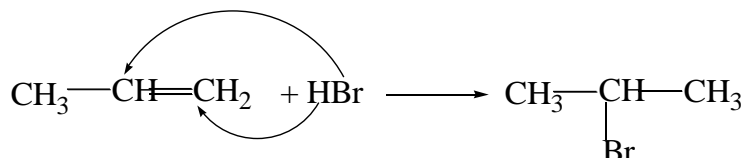
2) приєднання галогенів – якісна реакція знебарвлення бромної води.



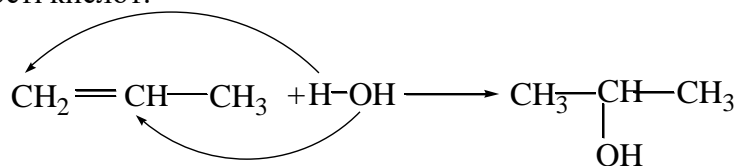
3) приєднання галогеноводнів

Реакційна здатність зростає із збільшенням сили кислот у ряду:  $\text{HF} < \text{HCl} < \text{HBr} < \text{HI}$ .

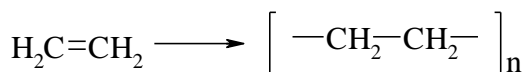
Електрофільне приєднання відбувається за правилом Марковникова: гідроген кислоти приєднується до атома Карбону, який сполучений з найбільшою кількістю атомів Гідрогену.



4) приєднання води – гідратація – відбувається за правилом Марковникова, за наявності кислот.



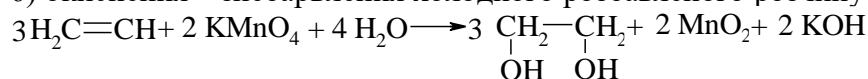
5) полімеризація



Етилен

поліетилен

6) окиснення – знебарвлення холодного розбавленого розчину калій перманганату

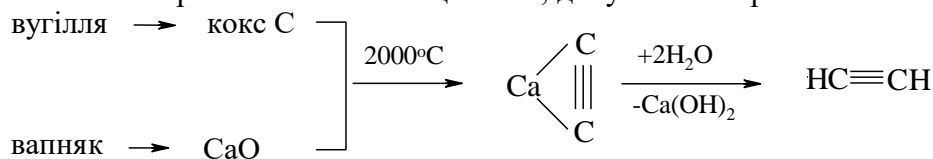


7) Горіння – до  $\text{CO}_2$  і  $\text{H}_2\text{O}$ .

3. *Алкини* – ацетиленові вуглеводні – містять зв'язок  $\text{C}\equiv\text{C}$ , загальна формула –  $\text{C}_n\text{H}_{2n-2}$ .

Номенклатура – аналогічно алкенам, назва головного ланцюга закінчується на ин- (-ін).

Найпростіший алкін – ацетилен, добувають в промисловості в значних масштабах:



## Хімічні властивості

Алкіни подібно до алкенів вступають в реакції електрофільного приєднання, оскільки вони мають доступні для атаки  $\pi$ -електрони. Проте, через більшу Електронегативність  $sp$ -гібридизованих атомів С і скорочення зв'язків, поляризованість  $\pi$ -електронів  $C\equiv C$  зв'язку менша. Внаслідок цього:

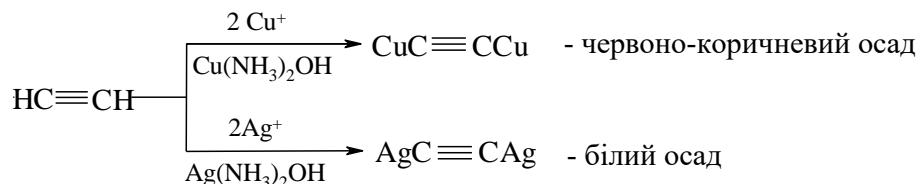
- 1)  $C\equiv C$ -зв'язок порівняно із  $C=C$  менш реакційно здатний до електрофільних агентів;
- 2) для алкінів з кінцевим потрійним зв'язком  $R-C\equiv CH$  характерні реакції заміщення, які зумовлені слабкою кислотністю атома Н.

Особливі реакції алкінів:

- реакція Кучерова – гідратація (взаємодія з водою у присутності каталізатора – солей ртуті):



- утворення солей – ацетиленідів – пропускаючи ацетилен через аміачні розчини солей Купруму (I) чи Аргентуму (I)

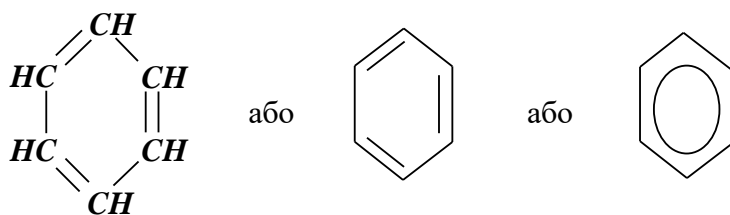


У сухому стані ацетиленіди нестійкі і легко вибухають.

## 4. Ароматичні сполуки

Аренами, або ароматичними вуглеводнями, називаються органічні сполуки, молекули яких містять один або декілька циклів з шести атомів Карбону, - бензенове кільце. Бензен та його найпростіші гомологи – безбарвні рідини з характерними запахами, що не змішуються з водою. Деякі вищі гомологи – тверді речовини.

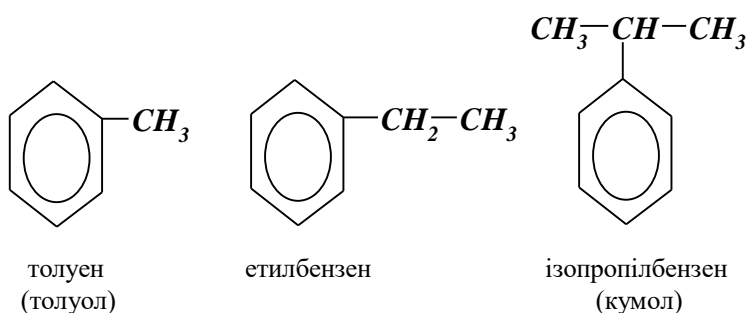
**Бензен (бензол)**



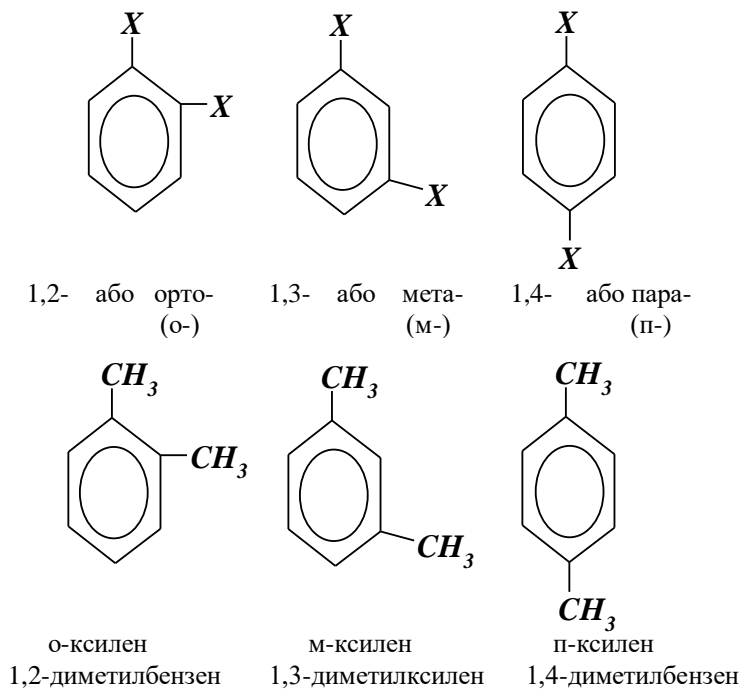
Між атомами Карбону існує  $\sigma$ -зв'язок і шести електронний кільцевий  $\pi$ -зв'язок, який охоплює одночасно всі шість атомів Карбону.

**Гомологи бензену (бензолу)**

Гомологи бензену – це похідні бензену, утворені в результаті заміщення атомів гідрогену бензенового ядра насиченими вуглеводневими радикалами.

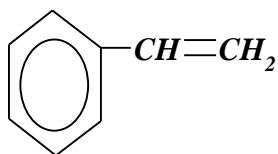


Якщо в бензені є не один, а кілька замісників, то для позначення їх положення атоми Карбона в ядрі нумерують.



#### Арени з ненасиченими бічним ланцюгом

Серед них найбільш поширеним є стирол (вінілбензен, фенілетилен):  
 $C_6H_5 - CH = CH_2$ .



Стирол застосовують для одержання бутадієн-стирольного каучуку і пластмас.

#### Хімічні властивості

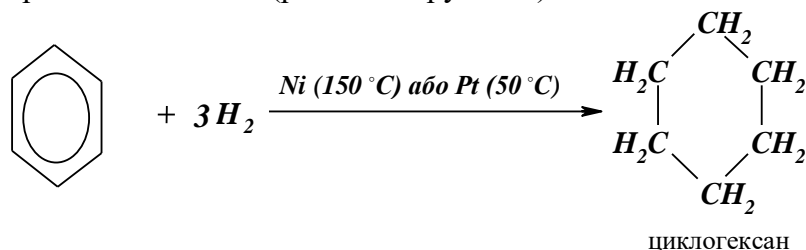
Бензенове ядро дуже стійке і тому ароматичні сполуки, зокрема бензен – проявляють схильність до реакцій заміщення, подібно до парафінів. Наявність замісників в бензеновому ядрі змінює його стійкість і реакційну здатність.

Для ароматичних вуглеводнів характерні такі типи реакцій:

- 1) реакція заміщення;
- 2) реакції приєднання;
- 3) дія окислювачів.

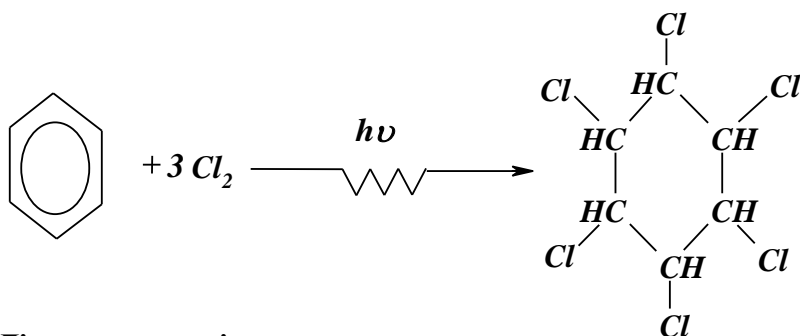
#### Реакції приєднання:

а) приєднання водню (реакція гідрування):



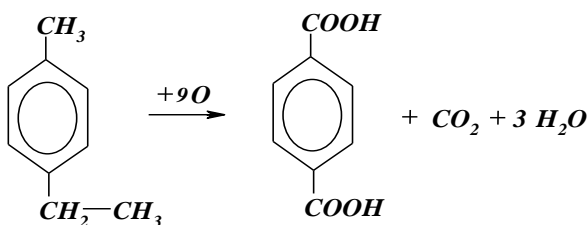
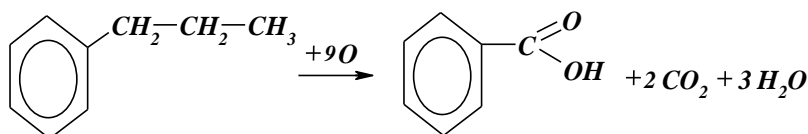
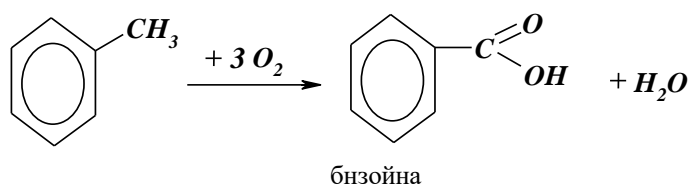
б) приєднання галогенів:

Якщо діяти хлором чи бромом на бензен при освітленні ультрафіолетовими проміннями або прямим сонячним світлом, відбувається приєднання шести атомів галогена:



### Дія окиснювачів

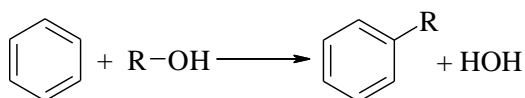
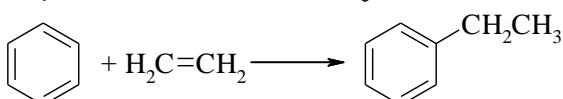
Бензен дуже стійкий до дії окислювачів. Він не окислюється при дії розбавленої  $HNO_3$ , розчина  $KMnO_4$  тощо. Гомологи бензену окислюються значно легше. Але і в них бензенове ядро досить стійке до дії окисників, просте приєднання до ядра вуглеводневі радикали окислюються. Вуглеводневий радикал при дії окисників руйнується і перетворюється в карбоксильну групу, при цьому завжди утворюється бензойна кислота:



терефталева кислота

### Реакції електрофільного заміщення

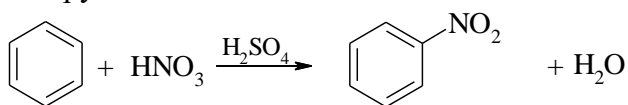
1. Алкілювання за Фріделем-Крафтцом (каталізатор – кислоти Льюїса):



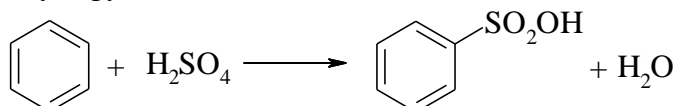
2. Галогенування:



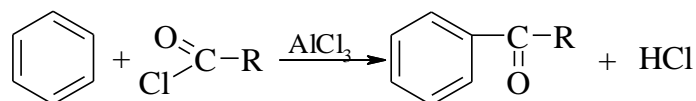
3. Нітрування:



4. Сульфування:



5. Ацилювання:



### Правила заміщення в бензольному ядрі

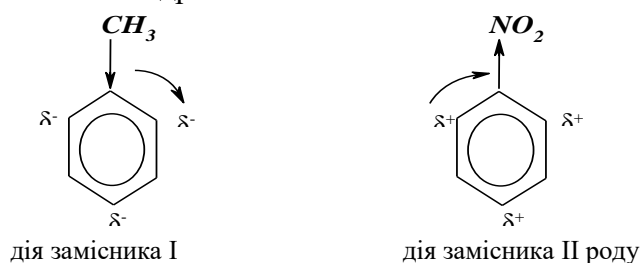
Якщо похідні бензолу вступають в реакції електрофільного заміщення, то новий замісник вступає переважно у певні положення відносно замісників, які вже є.

Усі замісники за їх напрямною дією поділяють на дві основних групи.

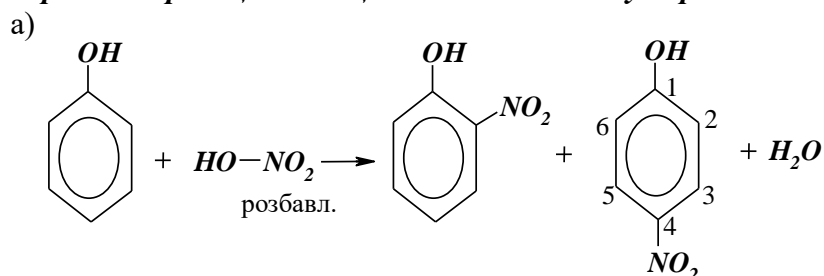
Замісники I роду – це електронно-донорні групи:  $-\text{OH}$ ;  $-\text{NH}_2$ ;  $-\text{NHR}$ ;  $-\text{NR}_1\text{R}_2$ ;  $-\text{Hal}$ . Вони спрямовують наступні замісники орто- і пара- положення.

Замісники II роду – це електронно-акцепторні групи:  $-\text{NO}_2$ ;  $-\text{SO}_3\text{H}$ ;  $-\text{COOH}$ ;  $-\text{CN}$ . Вони спрямовують наступні замісники в мета-положення.

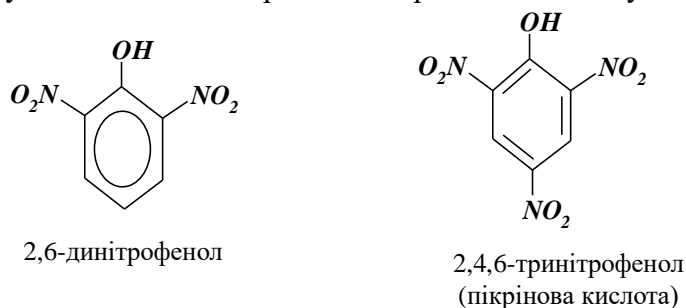
Місце приєднання нового електрофільного замісника ілюструють наведені нижче схеми поляризації бензинового ядра:



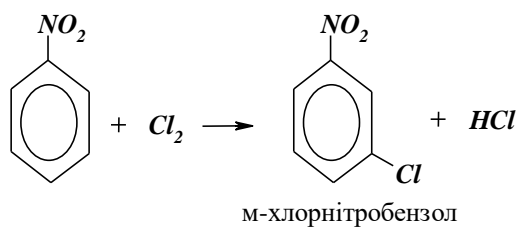
### Приклади реакцій заміщення в бензольному ядрі:



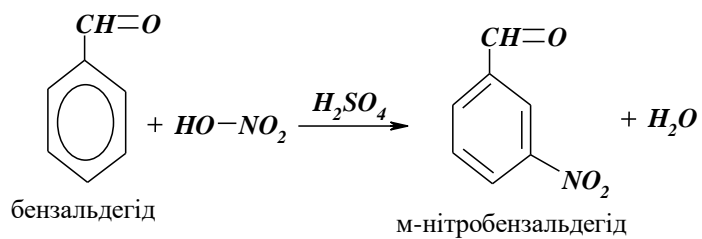
В результаті дії концентрованої нітратної кислоти утворюється:



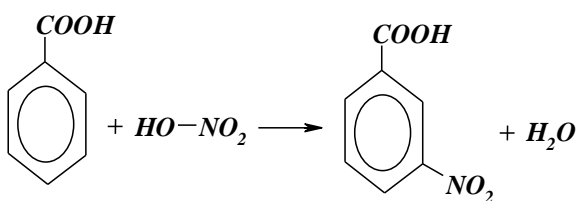
б)



в)



г) при нітруванні бензойної кислоти утворюється мета-нітробензойна кислота:



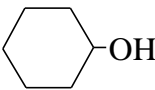
## Лекція №5-8

### Функціональні похідні вуглеводнів

1. Спирти.
2. Альдегіди, кетони.
3. Карбонові кислоти.

1. *Спирти* – це похідні вуглеводнів, у молекулах яких один або кілька атомів Гідрогену заміщені на гідроксильні групи. У молекулах фенолів гідроксильні групи сполучені безпосередньо з атомами Карбону ароматичного кільця.

Класифікація спиртів:

- 1) за кількістю гідроксильних груп:
  - одноатомні –  $\text{CH}_3\text{-OH}$  (метанол);
  - двохатомні  $\begin{array}{c} \text{CH}_2\text{---CH}_2 \\ | \quad | \\ \text{OH} \quad \text{OH} \end{array}$  (етиленгліколь);
  - трьохатомні  $\begin{array}{c} \text{CH}_2\text{---CH---CH}_2 \\ | \quad | \quad | \\ \text{OH} \quad \text{OH} \quad \text{OH} \end{array}$  (гліцерин);
  - багатоатомні.
- 2) за характером вуглеводневого залишку:
  - насичені;
  - ненасичені –  $\text{CH}_2=\text{CH-CH}_2\text{-CH}_3$  (аліловий спирт);
  - ароматичні  (фенол) та ін.;
- 3) за будовою вуглеводневого радикалу:
  - первинні;
  - вторинні;
  - третинні.

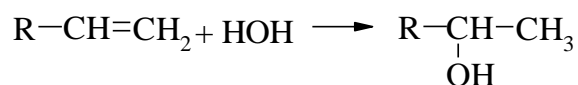
$\text{C}_1\text{-C}_{11}$  – рідини,  $\text{C}_{12}$  і далі – тверді речовини.

Номенклатура IUPAC:

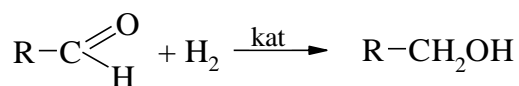
- 1) назва утворюється від назви відповідного алкану зміною суфікса на –ол;
  - 2) –ОН група знаходиться в основному ланцюзі;
  - 3) Нумерація з кінця, до якого ближче ОН-група.
- Багато спиртів мають традиційні назви.

**Способи добування.**

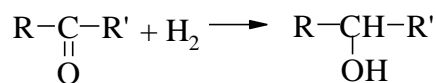
- 1) гідроліз галогеналканів – один із найзагальніших способів добування спиртів:  
 $\text{R-Cl} + \text{NaOH}_{(\text{водний розчин})} \rightarrow \text{R-OH} + \text{NaCl}$
- 2) гідратація алкенів – за правилом Марковникова:



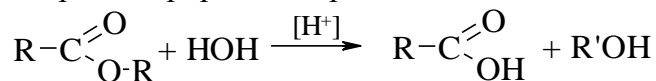
- 3) відновлення оксосполук:  
альдегіди  $\rightarrow$  первинні спирти:



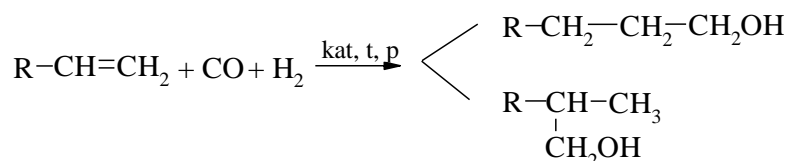
кетони → вторинні спирти:



- 4) гідроліз естерів – використовується для промислового добування високомолекулярних спиртів із природної сировини – восків:



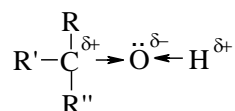
- 5) оксосинтез:



- 6) бродіння глюкози (наявність дріжджів):

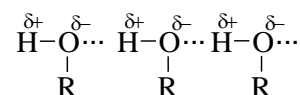


Оскільки атом Оксигену гідроксильної групи більш електронегативний, ніж атоми Гідрогену та Карбону, то внаслідок зміщення електронної густини до атома Оксигену зв'язки O–H і C–O поляризуються



Тому реакції спиртів можуть відбуватися з розривом як O–H, так і C–O зв'язків.

Полярні гідроксильні групи зумовлюють асоціацію спиртів за допомогою водневих зв'язків:



Асоціація молекул спиртів зумовлює їх більш конденсований агрегатний стан, ніж відповідних ізомерних сполук, які належать до інших класів, та значно вищі температури кипіння.

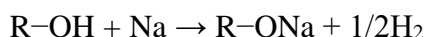
Розчинність залежить від довжини вуглеводневого ланцюга:

C<sub>1</sub> – C<sub>3</sub> – необмежено розчинні у воді;

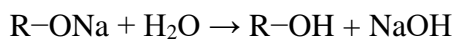
C<sub>4</sub> і далі – розчинність у воді зменшується, а у неполярних розчинниках збільшується.

### Хімічні властивості

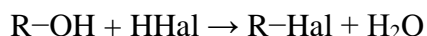
- 1) утворення алкоголятів – вияв кислотних властивостей спиртів:



Алкоголяти здатні гідролізувати (вода є сильнішою кислотою, ніж спирти) з утворенням відповідного спирту та лугу:

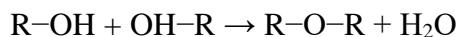


2) заміщення гідроксильної групи на атоми галогенів:



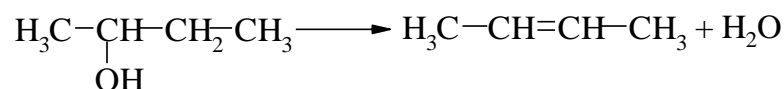
3) дегідратація (відщеплення води) – при нагріванні в присутності каталізатора – сульфатної кислоти:

– міжмолекулярна (130-140°C) утворюються етери:

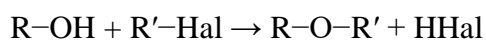


– внутрімолекулярна (160-200°C) – утворюються алкени.

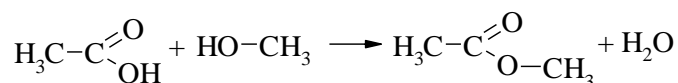
Відщеплення води відбувається за *правилом Зайцева* (Гідроген відщеплюється від найменш гідрогенізованого атома Карбону):



4) алкілування (введення кислотного залишку) – при взаємодії з галогеналканами:



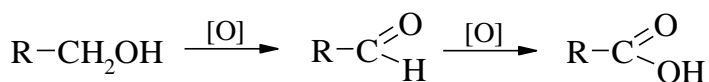
5) естерифікація – взаємодія спиртів з органічними або мінеральними кислотами з утворенням естерів:



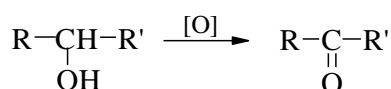
метиловий естер оцтової кислоти  
метилацетат

6) окиснення відбувається по-різному для первинних, вторинних і третинних спиртів:

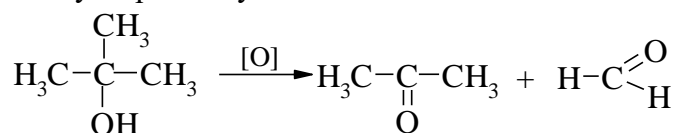
З первинних спиртів утворюються альдегіди, які при подальшому окисненні можуть переходити у кислоти:



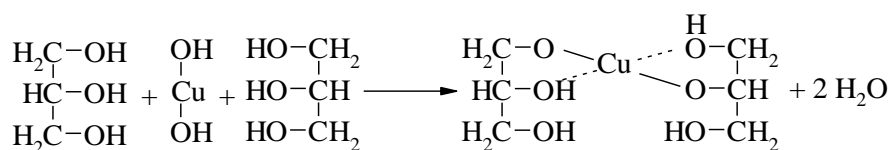
Із вторинних спиртів утворюються кетони:



Окиснення третинних спиртів супроводжується розщепленням карбонового скелета і зумовлює утворення суміші альдегідів і кетонів:



7) Якісна реакція на багатоатомні спирти – розчинення голубого осаду купрум гідроксиду з утворенням розчину волошкового кольору внаслідок утворення комплексної сполуки:



Окремі представники.

*Метанол* – має слабкий специфічний запах, що нагадує запах етанолу. Дуже токсичний: потрапляння в організм близько 10 мл викликає сліпоту, 30 мл – призводить до смерті використовується тільки для технічних потреб.

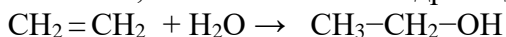
*Етанол* (етиловий спирт) – безбарвна рідина з характерним алкогольним запахом. Необмежено змішується з водою і утворює азеотропну суміш 95,57 % спирту і 4,43 % води. Ректифікацією (перегонкою) добувають очищений від домішок ~95 % спирт, який називають *ректифікатом* і використовують для харчових і медичних потреб. Зневоднюють спирт спеціальними методами і отримують *абсолютний спирт* – 100 %-ний етанол, який дуже гігроскопічний.

За обсягом виробництва етанол посідає одне з перших місць серед продукції хімічної промисловості. Для харчової і фармацевтичної промисловості спирт добувають бродінням цукристих речовин, наприклад, глюкози за наявності дріжджових грибків:



Необхідна для цього глюкоза може бути одержана гідролізом крохмалю з картоплі або злакових.

Для технічних потреб спирт добувають з нехарчової сировини: *гідролізний* – бродінням глюкози, яка утворюється в результаті гідролізу целюлози з відходів деревообробної промисловості, а *синтетичний* – гідратацією етилену.

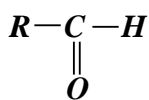


Етанол застосовується майже в усіх галузях народного господарства: для добування синтетичного каучуку, виготовлення лаків і оліф, барвників, як розчинник, для виготовлення спиртних напоїв, фармацевтичних препаратів тощо. Етанол має дезинфікуючі властивості. З іншого боку – це найпоширеніший наркотик.

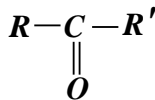
*Етиленгліколь* – безбарвна густа і токсична рідина без запаху, що необмежено змішується з водою, солодка на смак. Використовується як антифриз (знижує температуру замерзання води) для охолодження двигунів внутрішнього згоряння. Є сировиною для виробництва діоксану, розчинників, добавок до клеїв тощо.

*Гліцерин* – густа сироподібна рідина, солодка на смак. Поширений у природі, є основним спиртом, що бере участь у побудові молекул ліпідів. Застосовується у харчовій промисловості, у виробництві косметичних засобів – як речовина, що зволожує шкіру. Основна кількість гліцерину застосовується для виробництва нітрогліцерину для виготовлення вибухівки та ліків від стенокардії, з нього отримують гліфталеві (алкідні) смоли, які використовуються для виготовлення лаків.

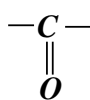
2. Альдегіди та кетони – органічні речовини, що містять карбонільну групу:



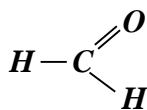
Альдегід



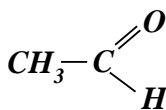
кетон



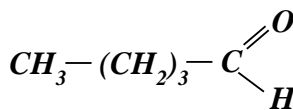
карбонільна  
група



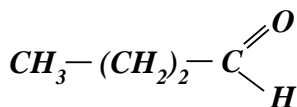
метаналь



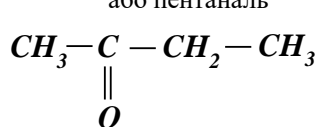
етаналь



н-валеріановий альдегід  
або пентаналь



н-масляний альдегід  
або бутаналь



метилетилкетон  
або бутанон-2

### Хімічні властивості.

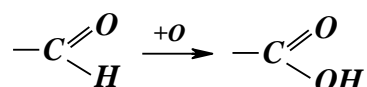
Завдяки наявності в молекулах альдегідів і кетонів карбонільної групи ці речовини дуже активні в хімічних реакціях.

При цьому альдегіди більш реакційно здатні ніж кетони. Для альдегідів і кетонів характерні такі хімічні реакції:

- 1) реакції окислення (відповідні властивості);
- 2) реакції приєднання (по місцю подвійного зв'язку карбонільної групи);
- 3) реакції заміщення карбонільного Оксигену;
- 4) реакції за рахунок вуглеводневого радикала;
- 5) міжмолекулярні реакції.

#### 1. Реакції окислення.

Завдяки наявності рухливого атома Гідрогена, зв'язаного з карбонільної групи, альдегіди – відновники і окислюються дуже легко.



Кетони окислюються важче, так як вони не мають активного (рухливого) атома Гідрогена біля карбонільної групи. Подібно до третинних спиртів під дією сильних окислювачів кетони розпадаються з розривом вуглецевого ланцюга біля карбонільної групи з утворенням карбонових кислот.

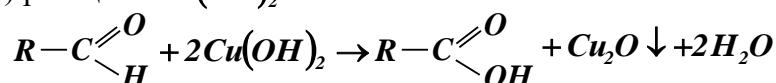
Різне відношення до дії слабких окислювачів використовується для якісного відкриття альдегідів і для того, щоб відрізнити альдегіди від кетонів.

#### Якісні реакції на альдегіди:

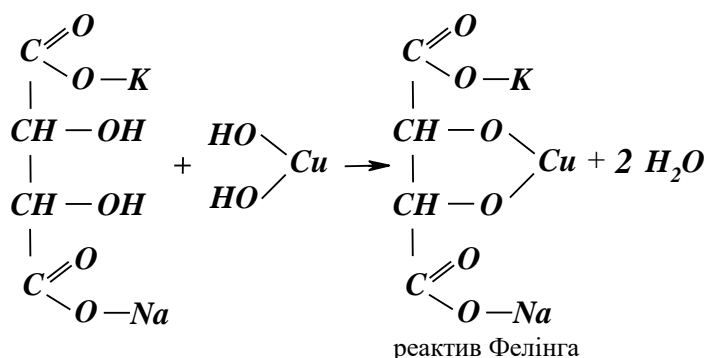
а) реакція срібного дзеркала:

Альдегід +  $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2](\text{OH}) \rightarrow$  Карбонова кислота +  $\text{Ag}\downarrow$ ;

б) реакція з  $\text{Cu}(\text{OH})_2$ :



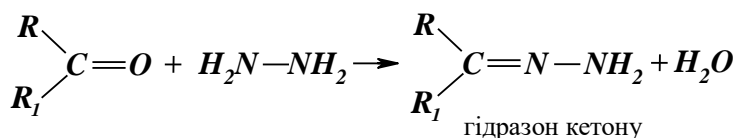
Зазвичай для реакції беруть рідину Фелінга, яку готують сполученням  $\text{CuSO}_4$  з лужним розчином солі винної кислоти (тартратом калія і натрія):



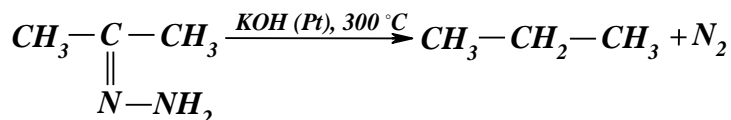
Фелінгова рідина має темно-синій колір. Вона використовується для визначення альдегідів. При нагріванні Фелінгової рідини у присутності альдегіду інтенсивно синій колір реактива Фелінга зникає, і з розчину випадає осад купрум (I) оксиду ( $\text{Cu}_2\text{O}$ ) цегельно-червоного кольору. Альдегід при цьому окислюється до кислоти.





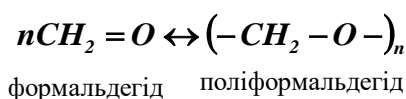


При нагріванні гідрозонів з **KOH** у присутності **Pt** вони розкладаються до вуглеводнів і азоту (реакція Вольфа-Кіжнера):

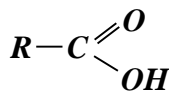
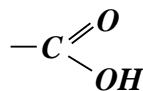


#### 4. Міжмолекулярні реакції

полімеризація альдегідів. При цьому можуть утворюватися як лінійні так і циклічні сполуки.



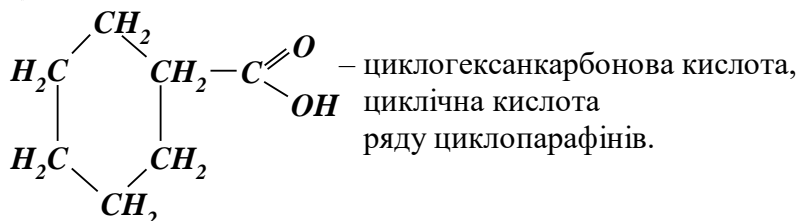
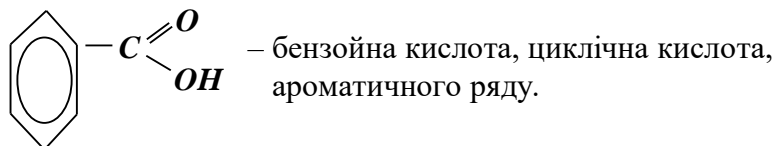
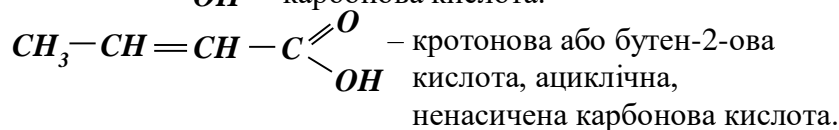
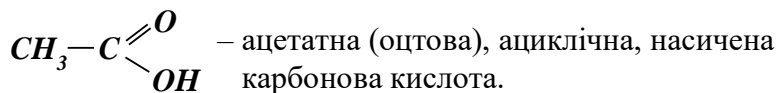
3. Карбонові кислоти – органічні сполуки, що мають у складі своїх молекул одну або кілька карбоксильних груп:



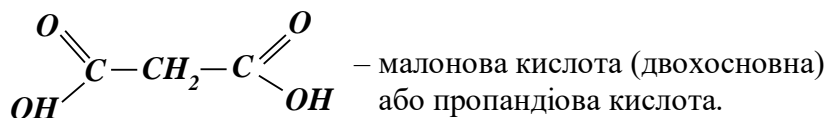
#### Класифікація карбонових кислот

Залежно від будови вуглеводневого радикала **R** розрізняють:

- 1) ациклічні і циклічні кислоти;
- 2) насичені і ненасичені кислоти;
- 3) ароматичні і циклопарафінові карбонові кислоти.



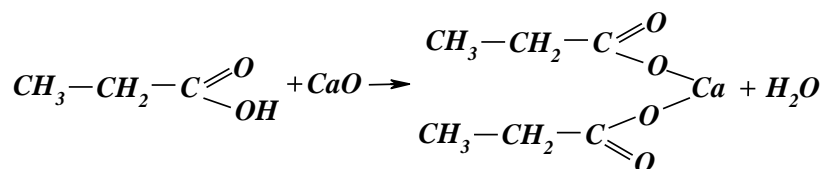
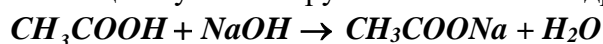
Крім того, кислоти поділяються на одноосновні, двоосновні і багатоосновні (по числу карбоксильних груп).



### Хімічні властивості карбонових кислот

1. Властивості, обумовлені рухливістю атома Гідрогена в карбоксильній групі;
2. Властивості, ґрунтовані на здатності гідроксильної групи карбоксила заміщуватися;
3. Реакції за рахунок вугдеводневого радикала в  $\alpha$ -положенні.

1. Реакції обумовлені рухливістю атома Гідрогена в карбоксилі:

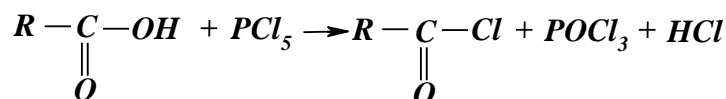


пропіонат кальцію

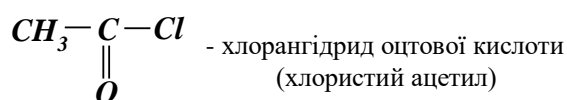
Солі карбонових кислот, як солі, утворені слабкою кислотою, гідролізують. Їх розчини мають лужну реакцію середовища.

2. Хімічні властивості ґрунтовані на здатності гідроксильної групи карбоксила заміщуватися:

**Утворення галогенангідридів:**

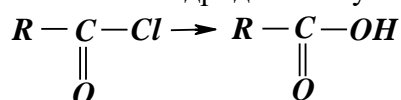


хлорангідрид  
карбонової  
кислоти

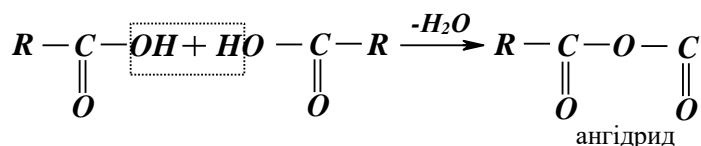


Галогенангідриди – це дуже реакційно здатні речовини. Їх застосовують для різноманітних синтезів, при яких галоген обмінюється на різні групи і утворюють інші похідні кислот.

При гідролізі галогенангідридів знов утворюються карбонові кислоти:

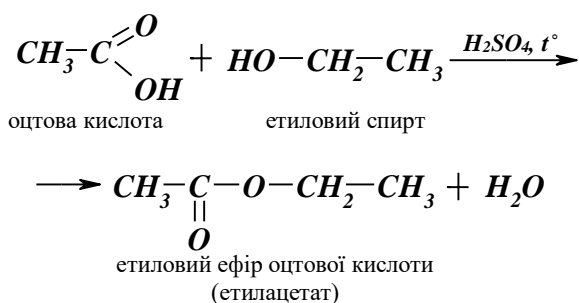


Утворення ангідридів кислот:

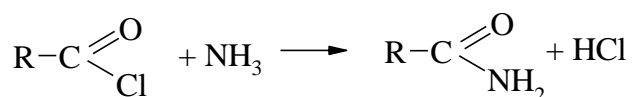


**Реакції естерифікації**

Це реакції дегідратації, що відбуваються при взаємодії кислоти і спирту при слабкому нагріванні. Як водовіднімаючий засіб використовується концентрована сульфатна кислота. Наприклад:





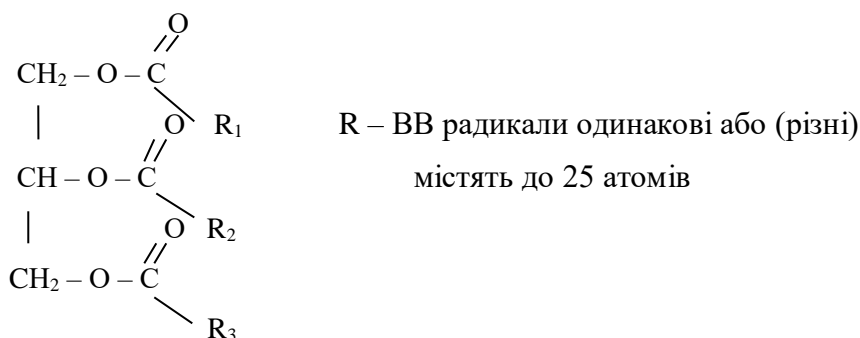


Застосовують у виробництві лаків. Медикаментів, паперу, барвників, як пластифікатори.

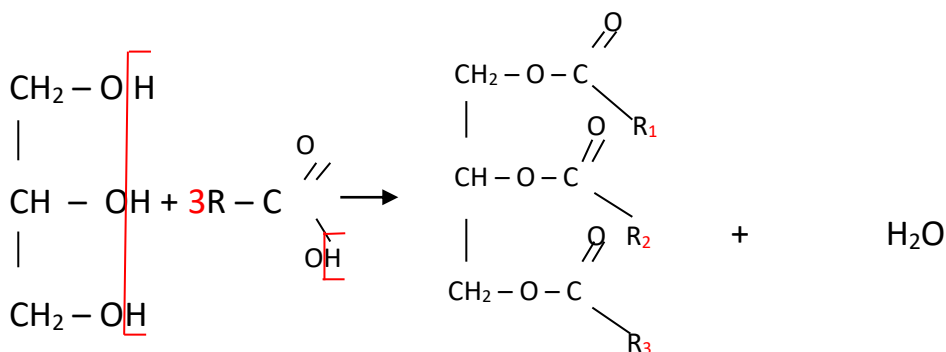
### Жири

Жири – це суміш тригліцеридів, утворених гліцерином і вищими жирними кислотами (ВЖК), що мають 4 – 26 атомів С. Вперше склад жиру встановив французький вчений Е. Шеврель в 1811 р. нагріваючи жир з водою в лужному середовищі.

#### Загальна формула жиру :



Французький хімік М. Бертло – 1854 р. – зворотня реакція і вперше синтезував жир:



#### Фізичні властивості

Жири (тригліцериди) – в'язкі рідини або тверді речовини, легші за воду, в воді не розчиняються, але розчиняються в органічних розчинниках (бензині, керосині, бензолі...).

#### Класифікація

Чим більше в жирах вміст ненасичених кислот, тим нижче  $t^0$  плавлення жирів.

Агрегатний стан	Різниця в будові	Походження	Винятки
Тверді жири	Містять залишки насичених ВЖК	Тваринні жири	Риб'ячий жир
Змішані	Містять залишки насичених і ненасичених ВЖК	Гусячий жир	
Рідкі жири (масла)	Містять залишки ненасичених ВЖК	Рослинні жири	Кокосове масло (тверде)

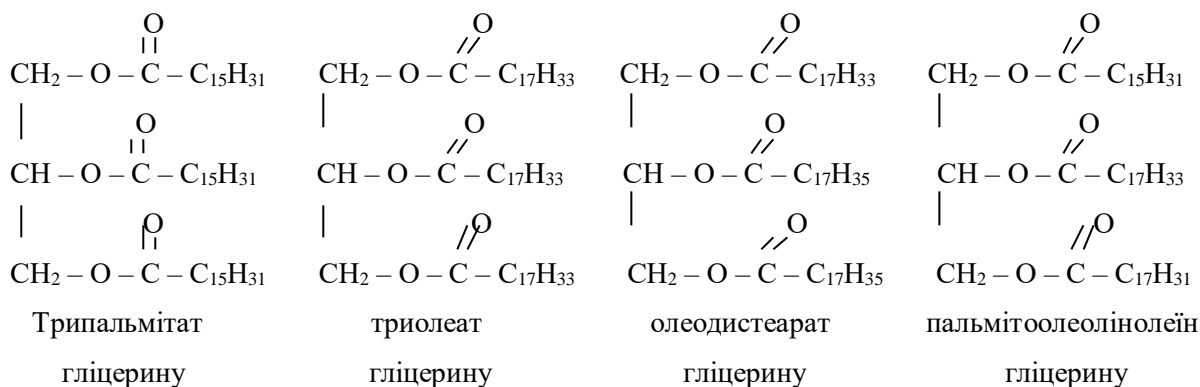
Наприклад яловичий, баранячий, свинячий жир – тверді; **рослинні** масла: сояшникове, бавовняне, оливкове, льняне та інші – рідкі.

Консистенція жиру не завжди відповідає характеру баціла ( радикала). Наприклад в пальмовому маслі («Копра») переважають насичені ВКК.

До складу жирів і масел звичайно входять кислоти:

насичені	ненасичені
пальмітинова C <sub>15</sub> H <sub>31</sub> COOH	олеїнова C <sub>17</sub> H <sub>33</sub> COOH
стеаринова C <sub>17</sub> H <sub>35</sub> COOH	лінолева C <sub>17</sub> H <sub>31</sub> COOH
	ліноленова C <sub>17</sub> H <sub>29</sub> COOH

### Номенклатура

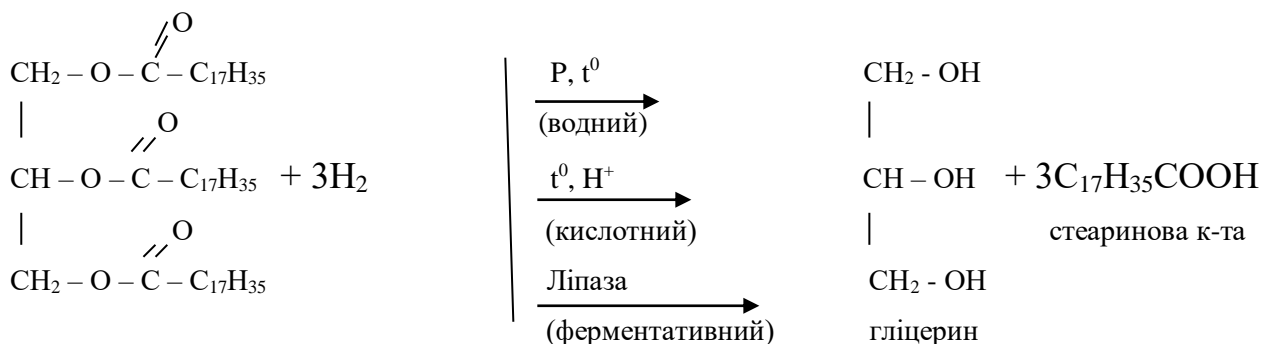


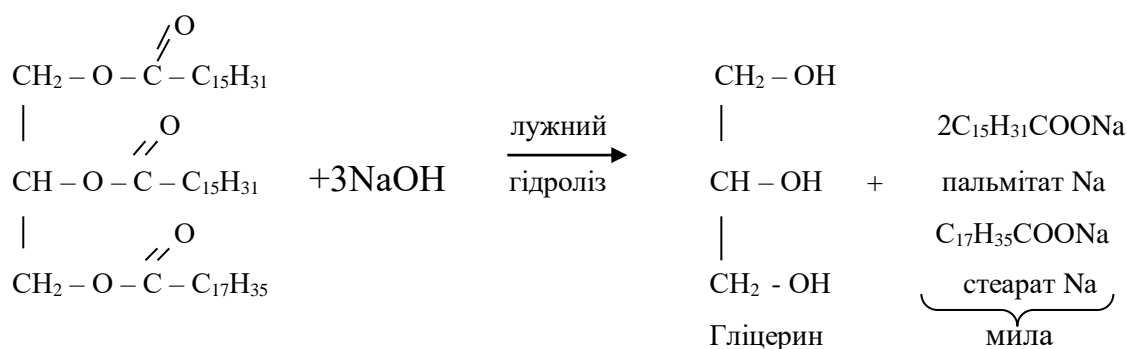
### Хімічні властивості

Як і всі складні ефіри жири можуть піддаватися гідролізу (омиленню). В залежності від умов

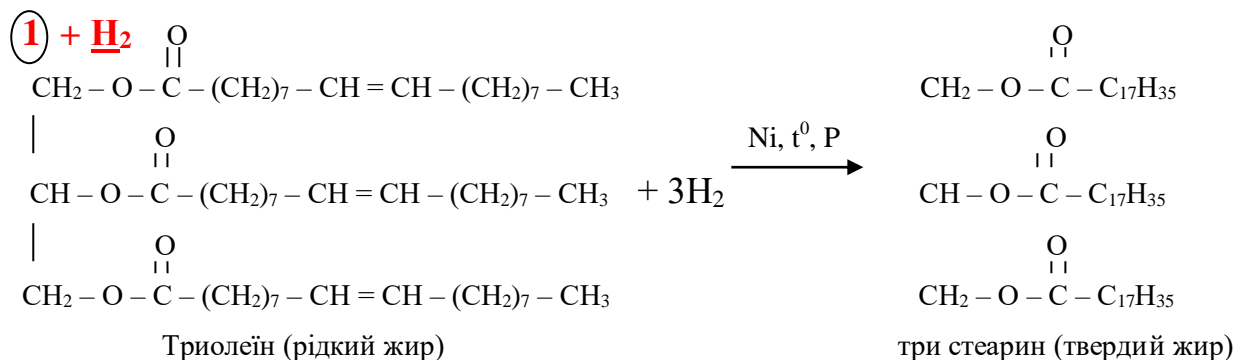
**I. гідроліз** буває:

- **водний** (без каталізатора, при високій t<sup>0</sup> і P);
- **кислотний** ( в присутності кислоти як каталізатора);
- **ферментативний** (в живих організмах під дією ензимів – наприклад ліпаза);
- **лужний** (під дією лугів).

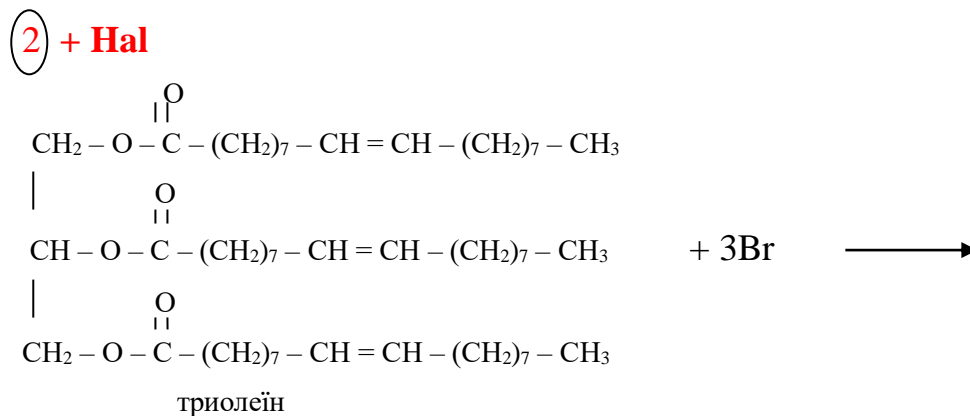




## II. Реакції приєднання (для рідких ненасичених жирів)



Гідрований жир використовується в виробництві маргарину.



Бромна вода знебарвлюється.

### III. Реакції окиснення і полімеризації (для рідких ненасичених жирів)

Деякі рослинні масла, що містять кислоти з двома і більше подвійними зв'язками при окисненні утворюють прозорі плівки (висихаючі масла) – конопляне, льняне, тунгове та інші.

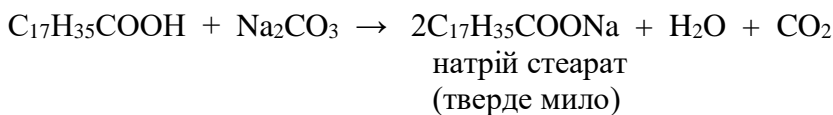
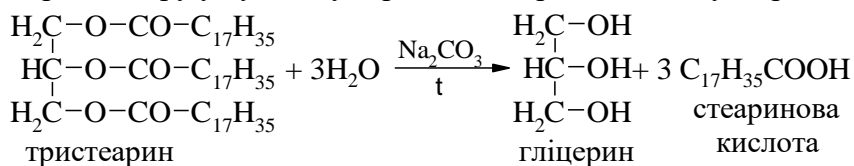
- під дією O<sub>2</sub> – окиснюються і полімеризуються.

#### Функції жирів в організмі

1. Енергетична (при розщепленні 1г. жиру до CO<sub>2</sub> і H<sub>2</sub>O – 38,9 кДж).
2. Структурна (**Ж** важливий компонент кожної клітини).
3. Захисна (накопичуються в підшкірних тканинах і тканинах, що оточують внутрішні органи).

Рідкі жири (олії) – містять ненасичені кислоти, тверді (сала) – ненасичені.

Гідроліз жиру у лужному середовищі приводить до утворення мила:

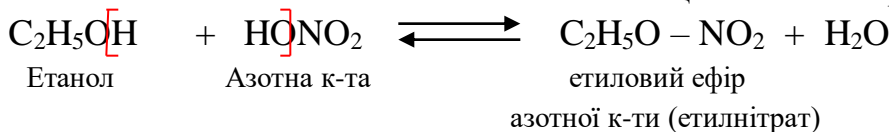
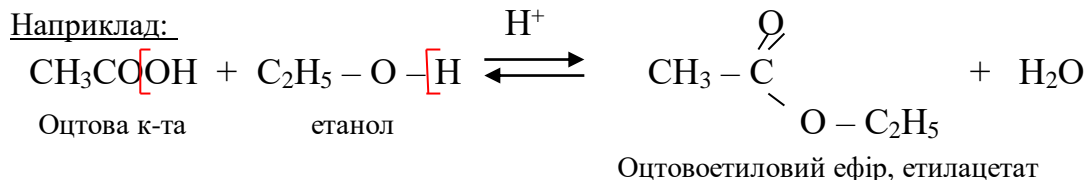


Na – солі – тверді мила;

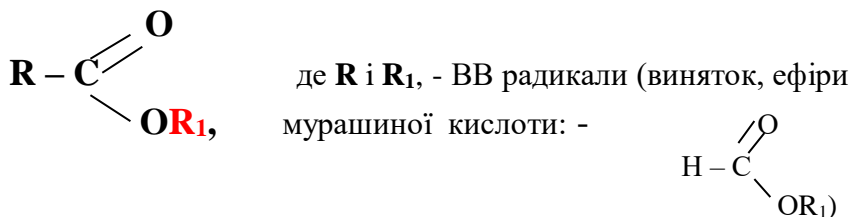
K – солі – рідкі мила.

#### Утворення естерів

**Складні ефіри** – це речовини, що утворюються в результаті взаємодії органічних або кисневмісних неорганічних кислот зі спиртами (- реакції етерифікації).



**Загальна формула** складних ефірів одноатомних спиртів і моно карбонових кислот:



## Ізомерія

На прикладі C<sub>5</sub>H<sub>10</sub>O<sub>2</sub>

Структурна ізомерія		Міжкласова ізомерія
Ланцюга		
$\begin{array}{c} \text{O} \\ // \\ \text{CH}_3 - \text{C} \\ \backslash \\ \text{O} - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{CH}_3 \end{array}$ Пропілацетат	$\begin{array}{c} \text{O} \\ // \\ \text{C}_2\text{H}_5 - \text{C} \\ \backslash \\ \text{O} - \text{C}_2\text{H}_5 \end{array}$ Етилпропіонат	$\begin{array}{c} \text{O} \\ // \\ \text{CH}_3 - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{C} \\ \backslash \\ \text{OH} \end{array}$ Н-пентанова кислота та її ізомери  (складні ефіри ізомерні карбоновим кислотам)
$\begin{array}{c} \text{O} \quad \text{CH}_3 \\ // \quad \backslash \\ \text{CH}_3 - \text{C} - \text{CH} \\ \backslash \quad / \\ \text{O} \quad \text{CH}_3 \end{array}$ Ізопропілацетат	$\begin{array}{c} \text{O} \\ // \\ \text{CH}_3 - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{C} \\ \backslash \\ \text{O} - \text{CH}_3 \end{array}$ Метилбутират	

### Номенклатура

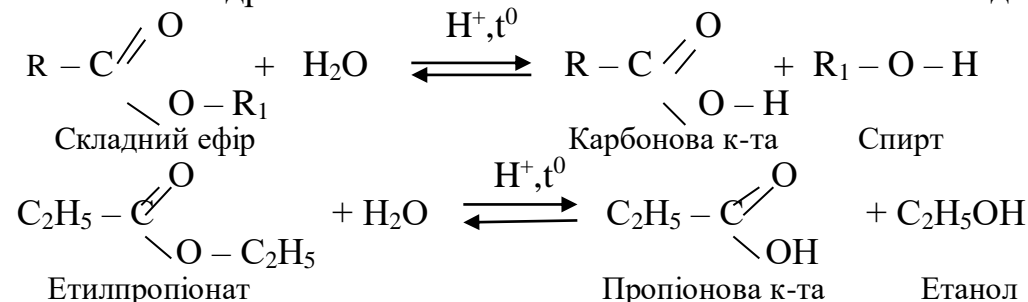
Назва складних ефірів утворюється із назви відповідних кислот або кислотних залишків та назв алкільних радикалів, що входять до складу спиртів.

### Фізичні властивості

Найпростіші по складу складні ефіри карбонових кислот – б/б легко киплячі рідини з фруктовим запахом; вищі складні ефіри – воскоподібні речовини (бджолиний віск), всі складні ефіри в воді розчиняються погано.

### Хімічні властивості

Гідроліз – найважливіша хімічна властивість складних ефірів

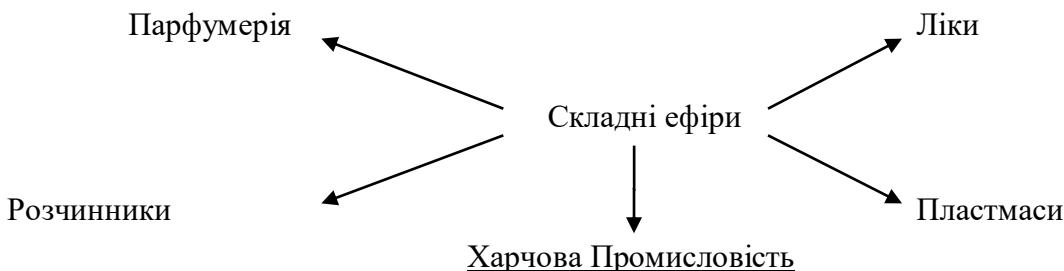


Ця реакція протилежна реакції етерифікації.

Йони водню (H<sup>+</sup>) каталізують як пряму, так і зворотну реакції. Для зміщення рівноваги в сторону утворення ефіра можна «зв'язати» воду (конц. H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>).

В тому випадку, коли треба провести гідроліз ефіру, реакцію інколи проводять в присутності луку, котрий дозволяє «зв'язати» утворену кислоту.

### Застосування



## Лекція № 9

### Гідроксиислоти.

1. Поняття про гідроксиислоти.
2. Класифікація гідроксиислот.
3. Фізичні властивості гідроксиислот.
4. Хімічні властивості.
5. Уявлення про оптичні ізомери, рацемічну суміш.

#### 1. Класифікація, ізомерія, номенклатура гідроксиислот

Гідроксиислоти — органічні сполуки, молекули яких містять дві функціональні групи: карбоксильну та гідроксильну. Залежно від кількості карбоксильних груп розрізняють одно-, дво- та багатоосновні кислоти, а від кількості гідроксогруп (включаючи гідроксогрупу, яка входить до складу карбоксильної групи) — дво-, трьо- та багатоатомні оксиислоти.

За будовою вуглеводневого радикалу, з яким зв'язані окси- і карбоксильні групи, оксиислоти поділяють на аліфатичні (насичені і ненасичені), ароматичні, гетероциклічні.

Для назв оксиислот широко використовують тривіальні назви, а також номенклатуру IUPAC та раціональну.

**Гідроксиислоти** – похідні карбонових кислот, в яких один чи декілька атомів Гідрогену в радикалі заміщені однією чи кількома гідроксильними (спиртовими) групами, тобто гідроксиислоти мають дві різні функціональні групи– карбоксильну (кислотну) та гідроксильну (спиртову). За числом карбоксильних груп їх поділяють на одно-, дво- та трьохосновні; за числом спиртових груп– на моно-, ди та тригідроксиислоти і т.д. За номенклатурою

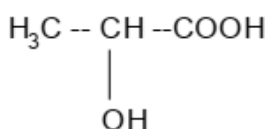
IUPAC назви гідроксиислот утворюють введенням префікса гідроксидо назви карбонової кислоти з позначенням атома Карбону, біля якого знаходиться гідроксильна група.

#### 2. Класифікація. Методи добування $\gamma$ - та $\beta$ -, $\alpha$ гідроксиислот.

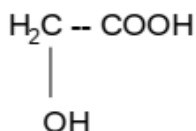
Гідроксиислоти класифікуються:

- за основністю: Одноосновні (1 груп  $\text{COOH}$ )

МОЛОЧНА

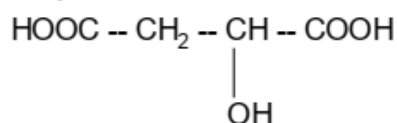


ГЛІКОЛЕВА

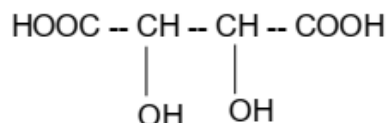


Двоосновні 2 групи  $\text{COOH}$

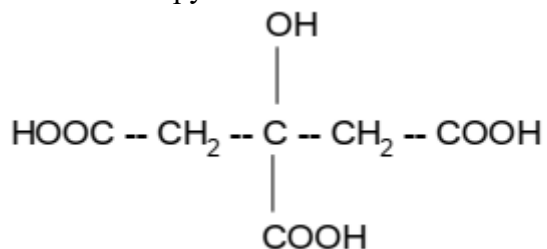
ЯБЛУЧНА



ВИННА

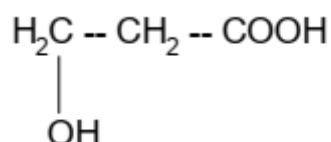


триосновні 3 групи COOH



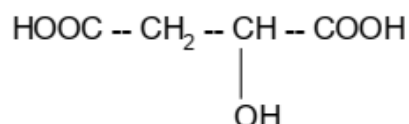
- за атомністю –кількість груп OH, враховуючи групи OH в карбоксильних групах

двохатомні



β- гідроксипропіонова

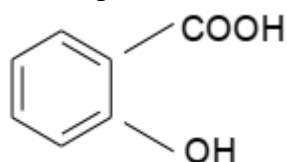
триатомні – яблучна або 2-гідроксибутандіова



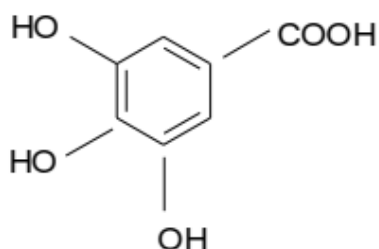
- за радикалом

аліфатичні (всі наведені вище)

ароматичні – гідроксильні та і карбоксильні групи гідроксикислот зв'язані з ароматичним ядром

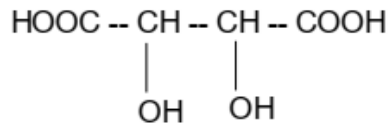
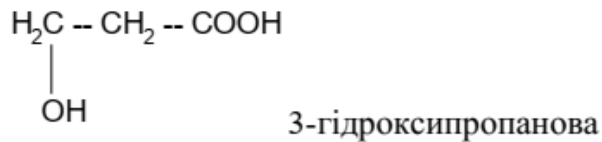


2-гідроксибензенова кислота або саліцилова



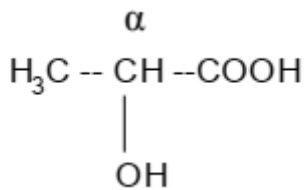
3,4,5 тригідроксибензенова (галова) кислота

За правилами номенклатури IUPAC їх називають за відповідною карбоною кислотою з додаванням префікса гідрокси-. Нумерація починається з атома карбону карбоксильної групи:

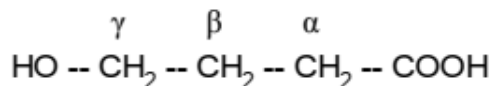


2,3 дигідроксибутандіова кислота (винна)

За раціональною номенклатурою положення гідроксильної групи позначається  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  тощо:



$\alpha$  – гідроксипропіонова кислота,  $\alpha$  –молочна



$\gamma$  - гідроксибутиратна

Крім того, для гідроксикислот характерне збереження історичних (емпіричних) назв – гліколева, молочна, винна, яблучна тощо

Більшість природних гідроксикислот – біополімери, які утворюються в організмі при перетворенні вуглеводів, амінокислот, жирних кислот, тобто є інтермедіантами внутріклітинного обміну речовин. Особливо важливими є гідроксипохідні дикарбонових кислот –яблучна, та три карбонових – лимонна – 2-гідрокси-1,2,3 –пропантрикарбонова кислота.

### 3. Фізичні властивості гідроксикислот

Уявлення про поляризацію світла, площину поляризації, величину кута обертання. Схема будови поляриметра. Питоме обертання. Молярне обертання.

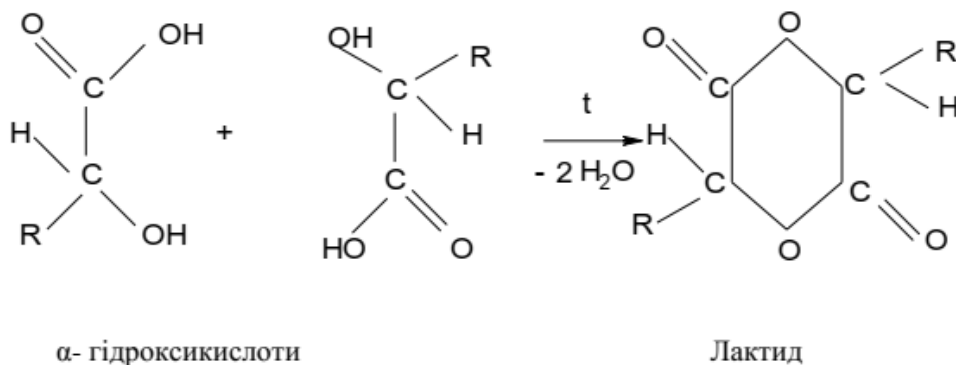
Оптична активність - здатність речовин обертати площину поляризації променю поляризованого світла. Речовини, які мають такі властивості є оптично-активними речовинами.

Здатність обертання площини поляризації світла пов'язана з асиметрією в просторовій будові молекул оптично активних речовин. Якщо в молекулі речовини є хоч один атом Карбону, який з'єднаний із чотирма різними атомами або групами, то такі молекули асиметричні, тобто не мають площини симетрії. Це є причиною оптичної активності речовин.

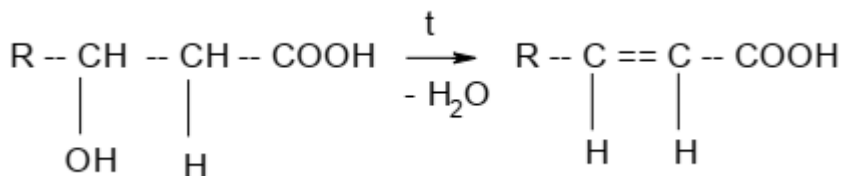
Атоми Карбону, що з'єднані з чотирма різними атомами або групами атомів називають асиметричними (хіральними) атомами Карбону. Асиметричний атом Карбону в формулі молекули позначається зірочкою.



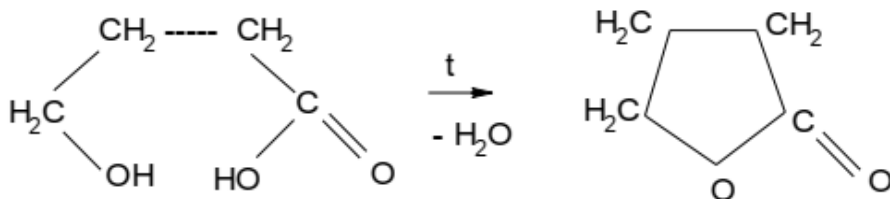
а)  $\alpha$  - гідроксикислоти при нагріванні вступають в реакцію міжмолекулярної дегідратації, утворюючи лактиди – циклічні естери, які мають 2 естерні угруповання:



$\beta$  - гідроксикислоти при нагріванні відщеплюють воду внутрімолекулярно при кімнатній температурі. В результаті утворюються  $\alpha$  і  $\beta$  – ненасичені карбонові кислоти.



$\gamma$  та  $\sigma$  гідроксикислоти найлегше вступають в реакції внутрімолекулярної дегідратації при кімнатній температурі з утворенням естерів – лактонів.



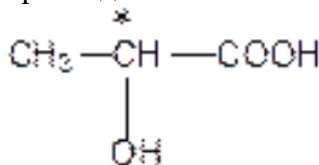
Як і в разі утворення лактамів з амінокислот, формуванню лактонів сприяє перебування молекул гідроксикислот у клішнєподібній конформації. Лактони і лактиди здатні до гідролітичного розщеплення з утворенням вихідних гідроксикислот.

Уявлення про оптичні ізомери, рацемічну суміш. Оптичні ізомери відрізняються різним розташуванням атомів або груп атомів у просторі навколо асиметричного атому Карбону. Їх кількість (N) дорівнює,  $N = 2^n$ , де n- кількість асиметричних атомів Карбону в молекулі.

Оптичні антиподи (дзеркальними ізомерами або енантіомерами) - це оптичні ізомери, які подібні між собою як предмет і його дзеркальне відображення. Вони виявляють однакові фізичні, хімічні властивості, але різну фізіологічну дію.

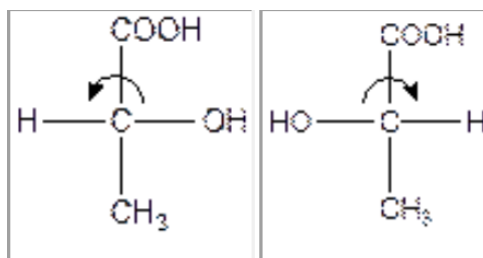
Для просторового відображення оптичних ізомерів, крім тетраедричних моделей, широко використовуються проєкційні формули Фішера.

Розглянемо оптичні ізомери на прикладі молочної кислоти:



Між кількістю асиметричних атомів Карбону в молекулі ( $n$ ) і кількістю оптичних ізомерів ( $N$ ) існує певна залежність:  $N = 2^n$ .

У молочній кислоті один асиметричний атом Карбону, тому її молекула існує у вигляді двох оптичних ізомерів:



Ці ізомери обертають площину поляризованого світла на один і той же кут, але один ліворуч (-), а другий праворуч (+).

Суміш однакової кількості ліво- і правообертаючих ізомерів — рацемічна суміш, або рацемат, оптично неактивна і позначається dl або r.

Оптичні ізомери розрізняють не тільки за напрямком обертання, але й за конфігурацією, тобто за розташуванням замісників навколо останнього асиметричного атому Карбону, відносячи їх до D- або L-ряду. Оптично активні сполуки, в молекулах яких гідроксогрупа –OH біля останнього асиметричного атому Карбону розміщується праворуч, відносять до D-ряду, і відповідно, речовини, в молекулах яких вона розміщена ліворуч – до L- ряду.

## Лекція № 10-11

### Сполуки із змішаними функціями

1. Оптична активність.
2. Вуглеводи: моно-, ди- і полісахариди.
3. Амінокислоти, білки.

1. *Оптична активність* – здатність речовини обертати площину поляризації світла.

Основні положення стехіометричної теорії оптичної ізомерії:

Оптично-активні речовини містять асиметричні атоми C\*.

Просторова форма молекули у вигляді тетраедра, в центрі якого знаходиться C\*, називається *конфігурацією*.

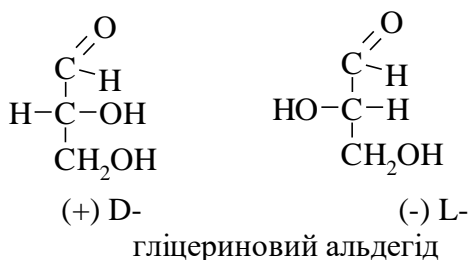
Молекули, які містять асиметричний атом C\*, асиметричні – називаються *хіральними*.

*Хіральність* – властивість молекули не суміщатися з своїм дзеркальним відображенням.

Молекули існують у вигляді правих (+) і лівих (-) конфігурацій. “+” і “-” стереоізомери дзеркально-подібні, але несумісні – називаються *енантіоморфними*.

*Рацемат* – еквімолярна суміш “+” і “-” ізомерів, оптично неактивна.

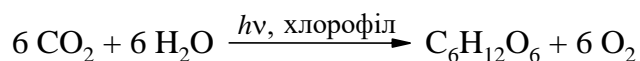
D і L-ряди позначають конфігурацію оптично-активної речовини, “+” і “-” – напрямок обертання.



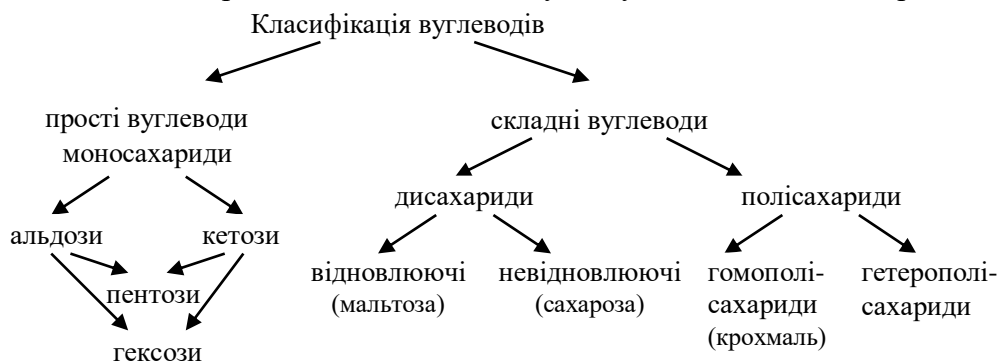
2. *Вуглеводи* – органічні сполуки, молекули яких відповідають загальній формулі C<sub>n</sub>(H<sub>2</sub>O)<sub>m</sub>.

Вуглеводи дуже поширені в природі. Вони становлять 80-90 % сухої маси рослин і 1-2 % – організму тварин. За своєю будовою вуглеводи – багатоатомні альдегідо- і кетоспирти.

Вуглеводи – продукти асиміляції вуглекислого газу зеленими рослинами і фотосинтезуючими організмами. При фотосинтезі енергія Сонця перетворюється в енергію хімічних зв'язків:



*Фотосинтез* – єдиний процес у біосфері, який приводить до збільшення вільної енергії за рахунок зовнішнього джерела – Сонця і забезпечує існування всіх живих організмів.



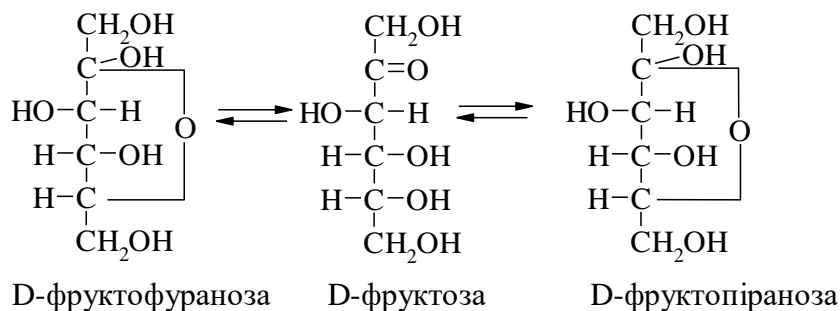
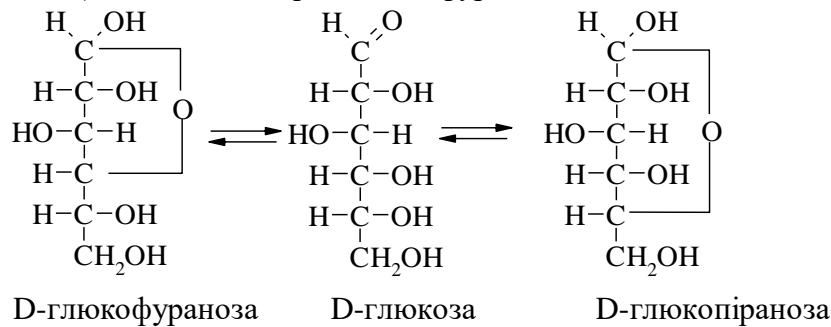
3. *Моносахариди* – найпростіші вуглеводи, молекули яких не здатні розщеплюватися при гідролізі на простіші речовини.

У природі з усіх моносахаридів найпоширеніші гексози  $C_6H_{12}O_6$ , за характером оксогрупи їх поділяють на альдози (поліоксиальдегіди) і кетози (поліоксикетони).

Із гексоз найпоширеніші у природі глюкоза (виноградний цукор) і фруктоза (фруктовий цукор). Для моносахаридів характерні дві форми – відкрита, або ланцюгова, і циклічна, або напівацетальна. Обидві форми є таутомерними і у водних розчинах переходять одна в одну.

За оптичною активністю розрізняють право- (+) і ліво- (-) обертаючі форми, залежно від розміщення напівацетального гідроксилу біля першого атома Карбону є  $\alpha$ - і  $\beta$ -форми моносахаридів.

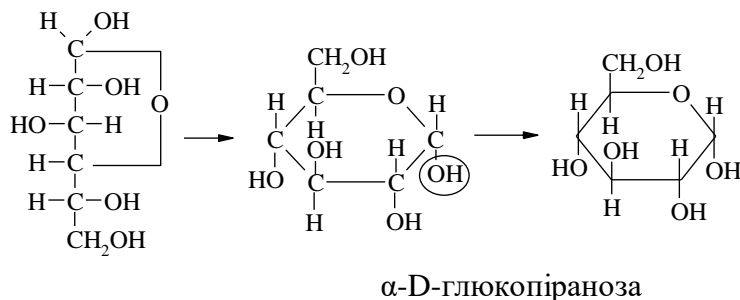
Циклічні форми моносахаридів називають піранозними (6 атомів) або фуранозними (5 атомів). Так, глюкоза та фруктоза у водних розчинах знаходяться у трьох формах – відкритій (альдегідній), циклічних: піранозній і фуранозній:



D-фруктофураноза    D-фруктоза    D-фруктопіраноза

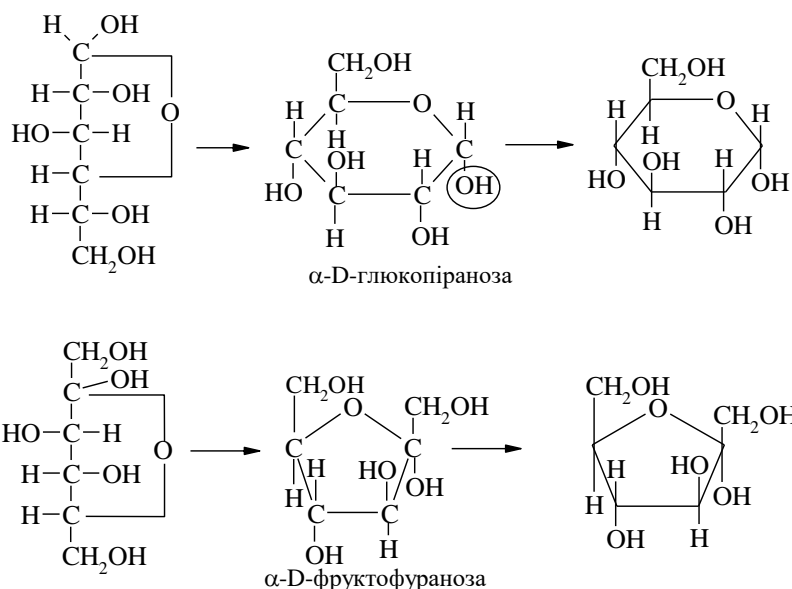
Новий гідроксил (ОН), який утворюється в напівацетальній (циклічній) формі глюкози, називається глікозидним гідроксидом і має особливі хімічні властивості:

Спосіб зображення Хеуоса:

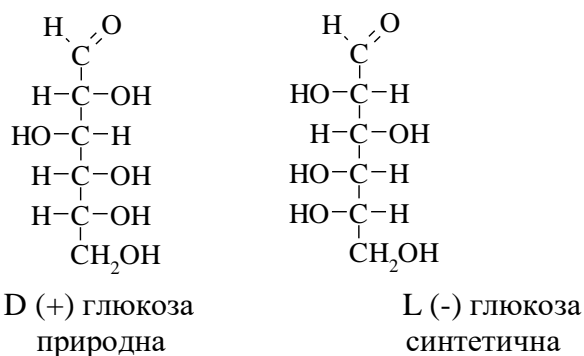


$\alpha$ -D-глюкопіраноза

$\alpha$  – ОН-група внизу кільця,  $\beta$  – ОН-група вгорі;



Молекула моносахариду має декілька центрів хіральності. Альдогексоза у відкритій формі має чотири асиметричні атоми Карбону. Для неї існує 16 оптичних ізомерів – по 8 стереоізомерів D і L рядів.

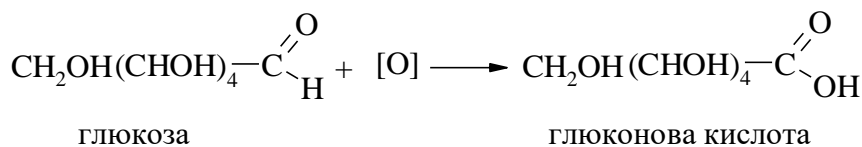


Альдогексози: глюкоза, галактоза, маноза, алоза, альт роза, гулоза, іроза, телоза.

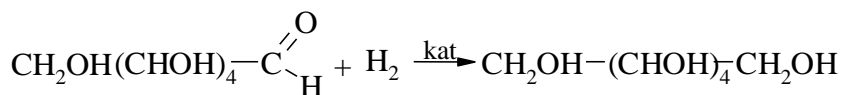
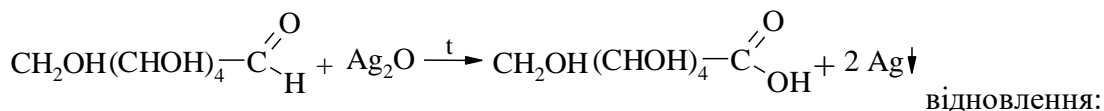
### Хімічні властивості

А) Реакції карбонільної групи:

– окиснення:



Альдози – реакція “срібного дзеркала”:





– спиртове:



– молочнокисле:

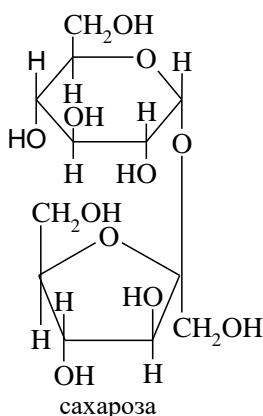


– маслянокисле:

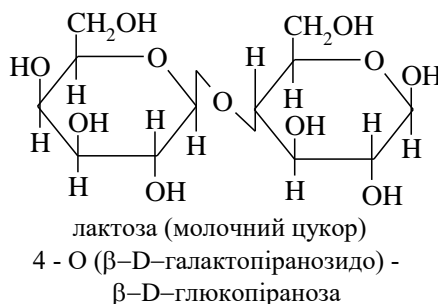


*Дисахариди* – вуглеводи, молекула яких під час гідролізу розщеплюється на дві молекули моносахаридів.

Відновлюючі – реагують з аміачним розчином оксиду срібла – мають вільний глікозидний гідроксил (напр., лактоза), невідновлюючі – з'єднані двома глікозидними гідроксилами (напр., сахароза).



$\alpha$ -D-глюкопіранозидо-  
 $\beta$ -D-фруктофуранозид



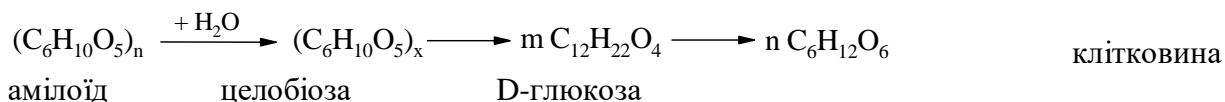
*Полісахариди* (глікани) – складні вуглеводи, молекули яких мають більше 10 моносахаридних залишків.

Крохмаль – полімер  $\alpha$ -D-глюкопіранози (в основному лінійний).

Глікоген (тваринний крохмаль) – розгалужений полісахарид, побудований із залишків  $\alpha$ -D-глюкопіранози (2400 – 300 000). Джерело хімічної енергії для більшості процесів, що відбуваються в органах, тканинах і клітинах.

Клітковина (целюлоза) – полісахарид, з якого побудовано стінки всіх рослинних клітин, побудований з  $\beta$ -D-глюкози.

Клітковина може ферментативно гідролізувати:

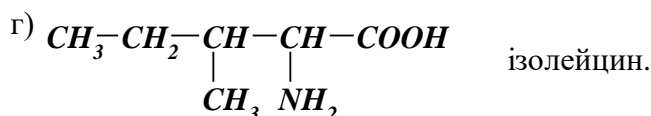
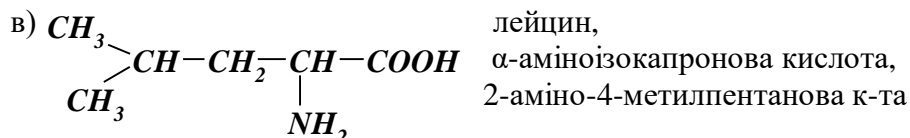
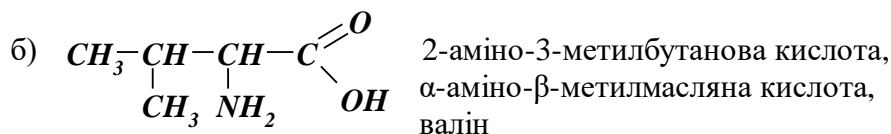
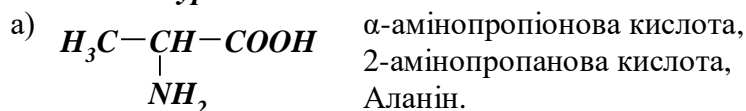


Із гідролізату виділяють глюкозу. Із продуктів гідролізату способом спиртового бродіння одержують етанол, мікробіологічним синтезом – білково-вітамінні концентрати, дегідратацією – фурфурол, гідрогенізацією – багатоатомні спирти (сорбіт, ксиліт) тощо.

### 3. Амінокислоти

Амінокислоти – похідні карбонових кислот, у радикалі яких один або декілька атомів Гідрогену заміщено на аміногрупу -  $NH_2$ .

**Номенклатура:**



**Способи одержання:**

- 1) з природної сировини;
- 2) методами хімічного синтезу.

1. Гідроліз білків:

а) кислотний ( $\text{HCl}$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ );

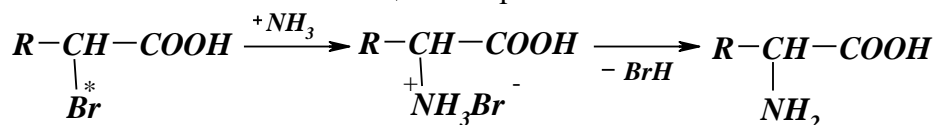
б) лужний ( $\text{KOH}$ ,  $\text{NaOH}$ );

в) ферментативний.

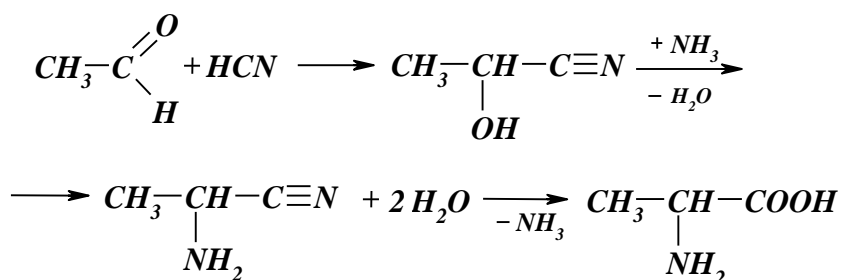
Під час гідролізу утворюється суміш амінокислот:

Амінокислоти виділяються з суміші методами кристалізації, хроматографії, екстракції.

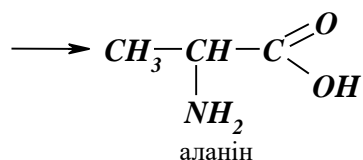
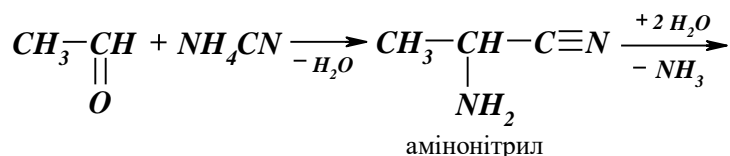
2. Синтез з галогензаміщених карбонових кислот:



3. Ціаногідрильний метод:



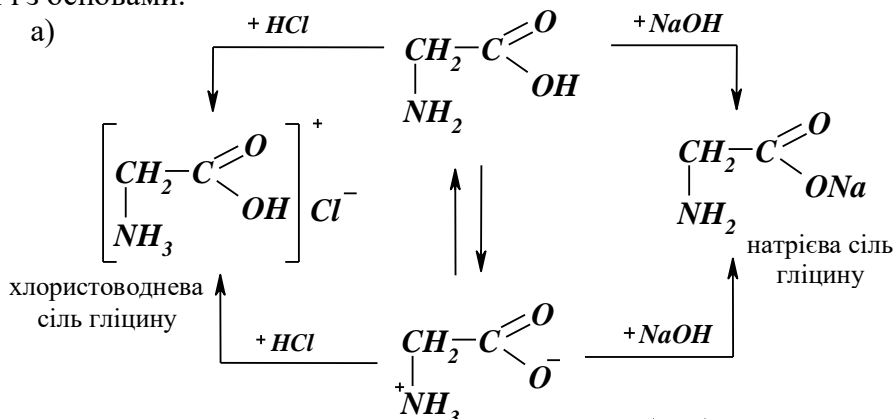
Зелінський (1906)



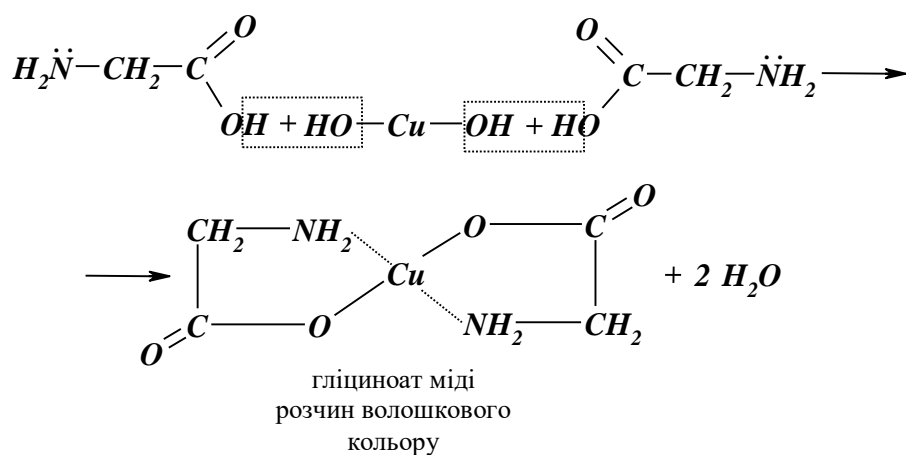
**Хімічні властивості:**

Амінокислоти ведуть себе і як кислоти і як аміни, тобто як основи.

1. Амфотерність амінокислот можуть взаємодіяти і утворювати солі як з кислотами так і з основами:

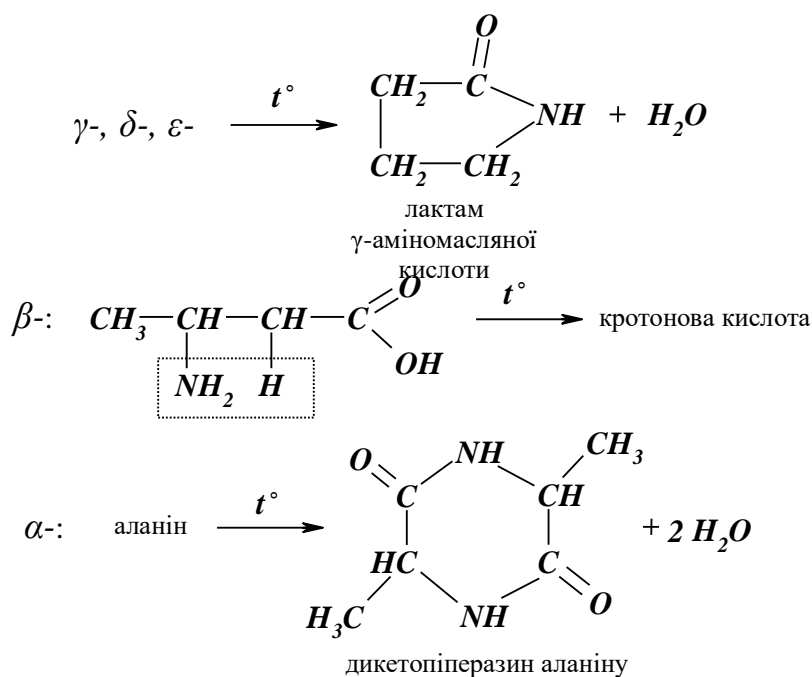


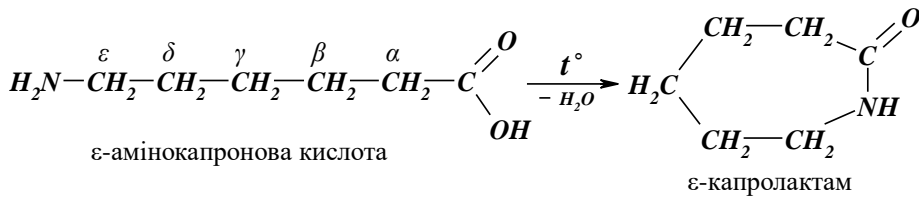
б) як кислота гліцин може розчинити  $\text{Cu}(\text{OH})_2$  чи  $\text{CuO}$ . При цьому утворюється внутрішньокмплесна сіль:



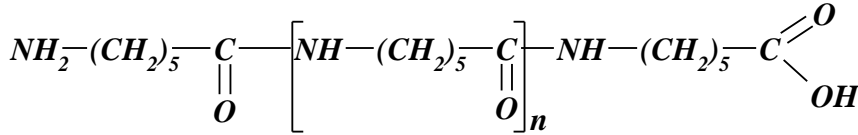
Після упарювання утворюються голубі голки.

Перетворення амінокислот при нагріванні здійснюються аналогічно до оксикислот:





$\varepsilon$ -капролактам – вихідний мономер для синтетичного волокна капрона.

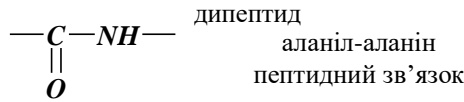
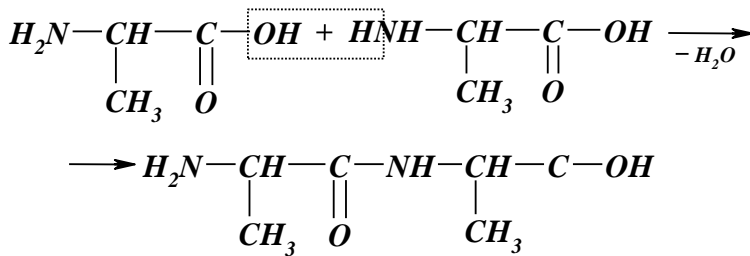


капрон є продукт поліконденсації

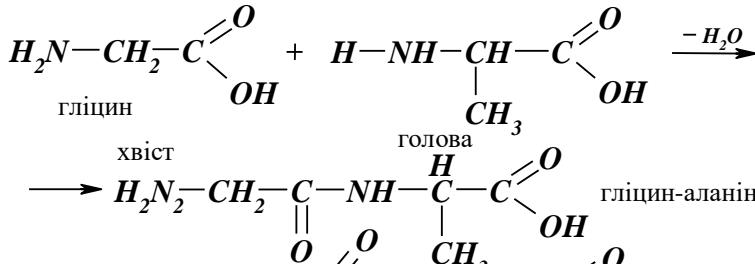
Утворення пептидів.  $\varepsilon$ -амінокапронової кислоти

Молекули  $\alpha$ -амінокислот при особливих умовах можуть вступати в реакцію між собою:

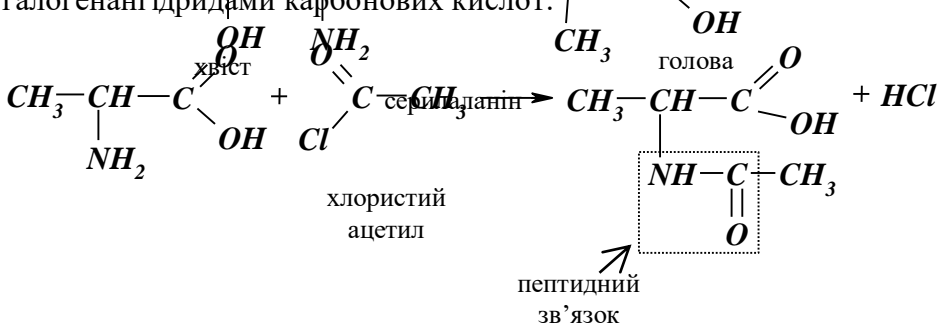
а)



Дипептиди можуть взаємодіяти з новими порціями амінокислот, утворюючи три-, тетра- і поліпептиди. Утворення пептидного зв'язку лежить в основі побудови молекул білків в організмах.



б) дипептиди можуть утворюватись також при взаємодії амінокислот з галогенангідридами карбонових кислот:

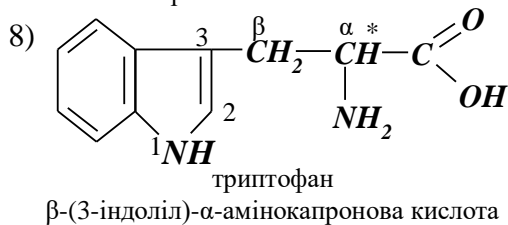
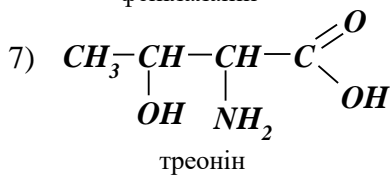
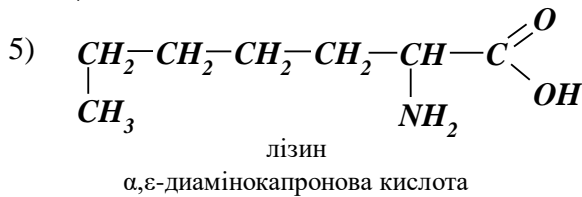
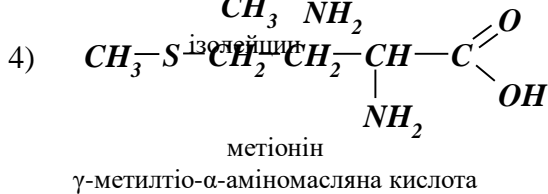
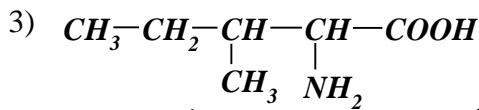
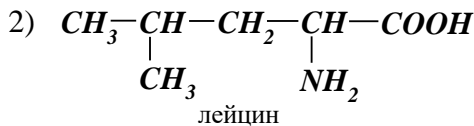


### Класифікація амінокислот. Незамінні амінокислоти

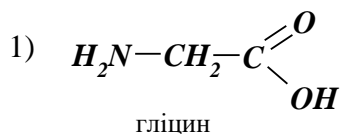
Відомо більше 200 амінокислот, що містяться в природній сировині і одержані синтетичними методами. До складу білків ще входить 20 амінокислот, які визначають їх харчову цінність. Кожний організм з амінокислот, що він одержує з білками їжі, синтезує свої необхідні йому білки.

Він не може синтезувати тільки незамінні амінокислоти. Такі амінокислоти повинні входити до складу їжі і входити в організм людини з їжею.

Незамінні  $\alpha$ -амінокислоти. Існують 8 незамінних амінокислот.



Інші  $\alpha$ -амінокислоти, такі як гліцин, аланін, серин, цистеїн та інші, які входять також до складу білків є замінними амінокислотами.





## Лекція 12-13

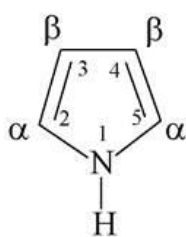
### Гетероциклічні сполуки

1. П'ятичленні та шестичленні гетероциклічні сполуки.
2. Будова та властивості гетероциклічних сполук.
3. Окремі представники гетероциклічних сполук.

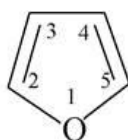
Гетероцикли, що становлять для нас інтерес, різняться між собою природою гетероатома (одного або двох) і розмірами циклу: п'яти-, шестичленні цикли, рідше - семичленні. Зазвичай використовуються їх тривіальні назви. Нумерацію окремих атомів у циклі починають з гетероатома. Іноді атоми карбону позначаються буквами грецького алфавіту, починаючи з С- атома, який стояв поряд з гетероатомом.

П'ятичленні гетероцикли з одним гетероатомом

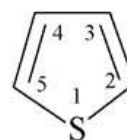
*П'ятичленні гетероцикли з одним гетероатомом*



пірол

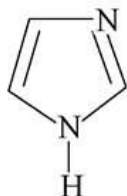


фуран

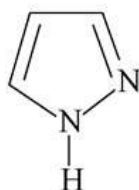


тіофен

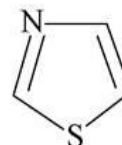
П'ятичленні гетероцикли з двома гетероатомами



імідазол

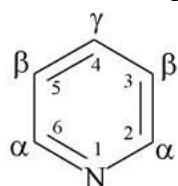


піразол

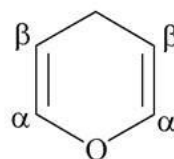


тіазол

Шестичленні гетероцикли з одним гетероатомом



піридин

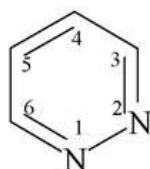


піран

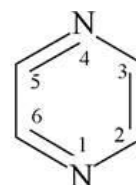
Шестичленні гетероцикли з двома гетероатомами



піримідин



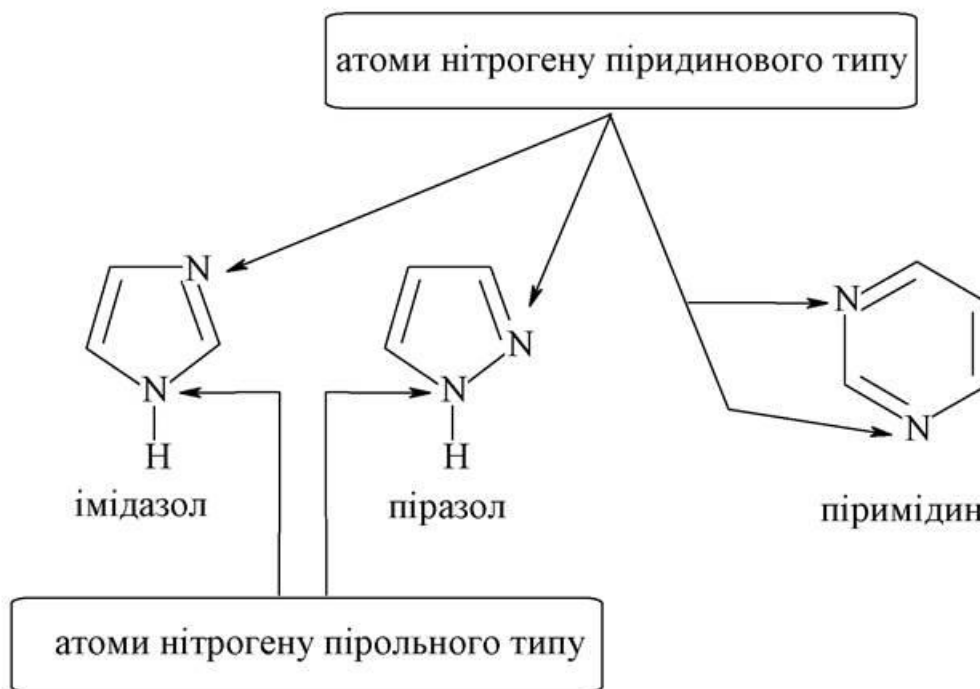
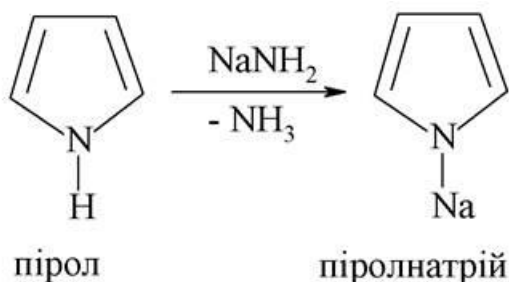
піридазин



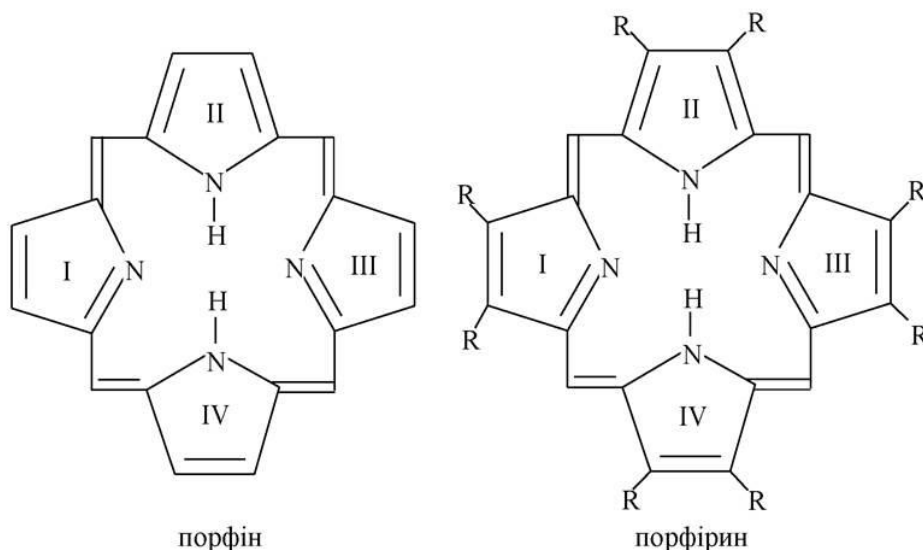
піразин

Конденсовані гетероцикли





3. У біологічних структурах дуже часто зустрічається макроцикл порфін-тетрапірольний ароматичний цикл, побудований з піролінового (IV), пірольного (II) і двох ісопірольних ядер (I, III), сполучених між собою метиновими групами =CH-.

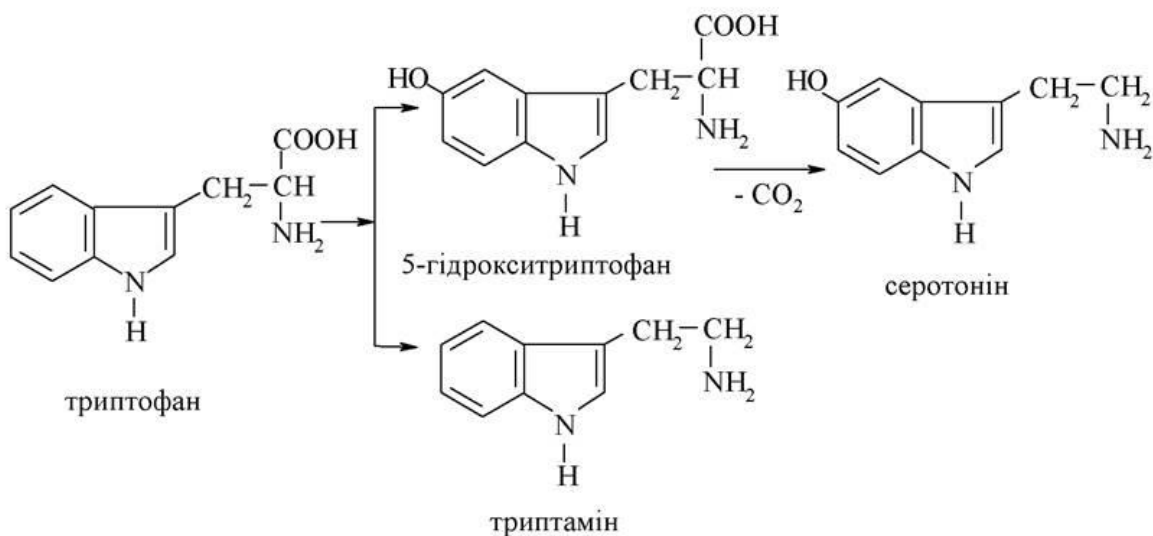


Порфірини в комплексі з атомом металу - металопорфірини - є компонентами (простетичними групами) складних білків. Наприклад, гем - простетична група гемоглобіну

(киснетранспортуючий білок еритроцитів) - комплексна сполука ферума (II) з порфіриновим циклом. До металопорфіринових білків належать: міоглобін (кисень-депонуючий білок м'язів), дихальні ферменти мітохондрій - цитохроми, ферменти, які беруть участь в обміні перекису гідрогену - каталаза і пероксидаза, хлорофіл - фотосинтезуючий білок рослин. Модифікована тетрапірольна структура в комплексі з іоном кобальту входить до складу вітаміну В<sub>12</sub>.

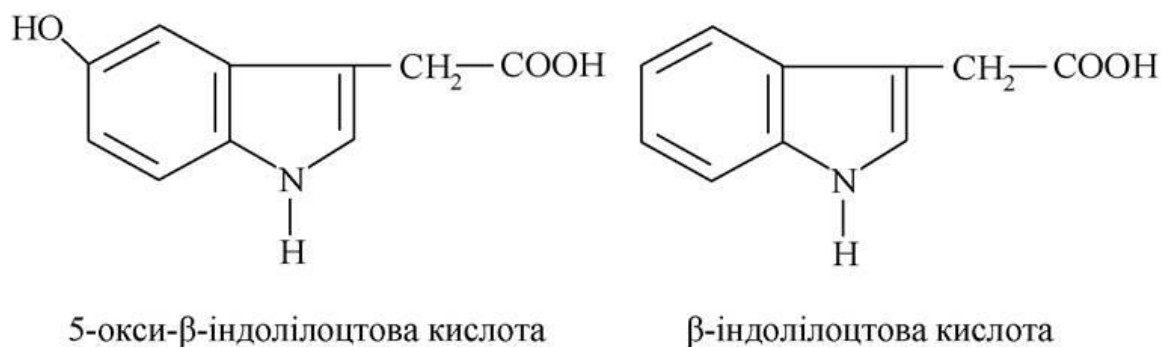
У медицині та фармакології знаходять застосування численні похідні конденсованого гетероциклу на основі піролу - індолу, а саме: амінокислота триптофан і продукти її перетворення - серотонін, триптамін, індоксил, β-індолілоцтова кислота, алкалоїди та лікарські препарати.

Серотонін і триптамін – біогенні аміни, продукти біохімічного перетворення триптофану в організмі:



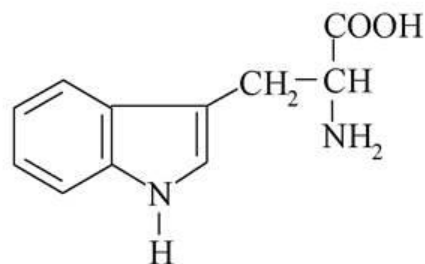
Серотонін - фізіологічно активна сполука, що має властивості гормону і нейромедіатора; регулює кров'яний тиск, є модулятором важливих психічних функцій людини. З порушенням обміну серотоніну пов'язують розвиток шизофренії, алкоголізму, ендогенної депресії. Триптамін проявляє токсичну дію на організм.

Кінцевими продуктами метаболізму серотоніну і триптаміну в організмі є 5-окси-β-індолілоцтова кислота і β-індолілоцтова кислота, які виділяються із сечею:

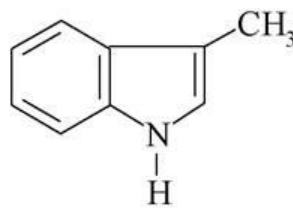


У рослинах β-індолілоцтова кислота виконує роль гормону росту (гетероауксин), внаслідок чого використовується в сільському господарстві.

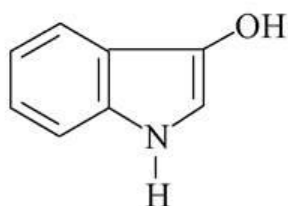
Індоксил (3-оксиіндол) - похідне від триптофану, утворюється в товстому кишечнику («гниття білків у кишечнику») і піддається детоксикації в печінці шляхом утворення естеру із сірчаною кислотою, який виводиться нирками у вигляді калієвої солі:



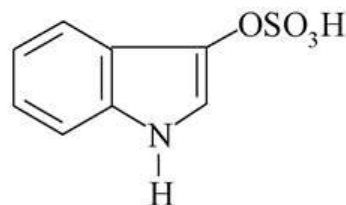
триптофан



скатол



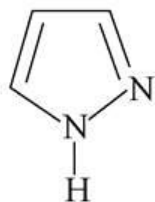
індоксил



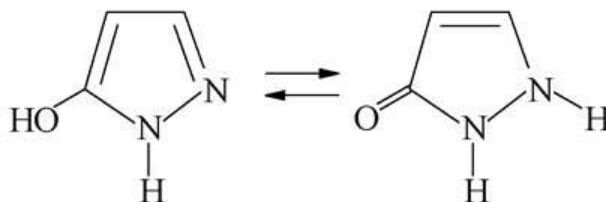
індоксилсульфат

П'ятичленні гетероцикли з двома гетероатомами називають азолами, коли хоча б один з гетероатомів є нітрогеном. Становлять інтерес піразол, імідазол і тіазол. Перші два містять у своїй структурі атоми нітрогену пірольного і піридинового типів і, отже, виявляють властивості як основ, так і кислот (див. вище).

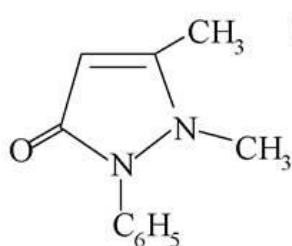
Піразол (1,2-діазол) - синтетична сполука, яку не знайти в природі, але яка широко використовується у фармації: на її основі синтезується важлива група лікарських засобів з анальгетичною та жарознижувальною дією:



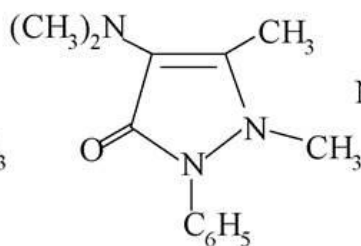
піразол



піразолон-5



антипірин

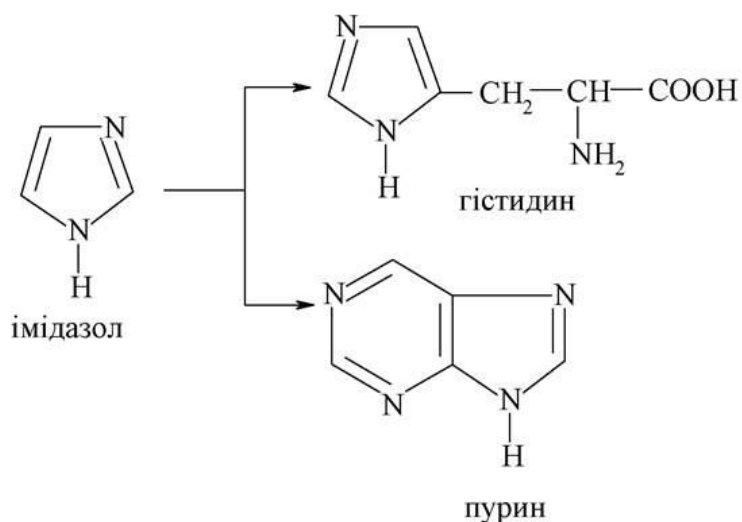


амідопірин

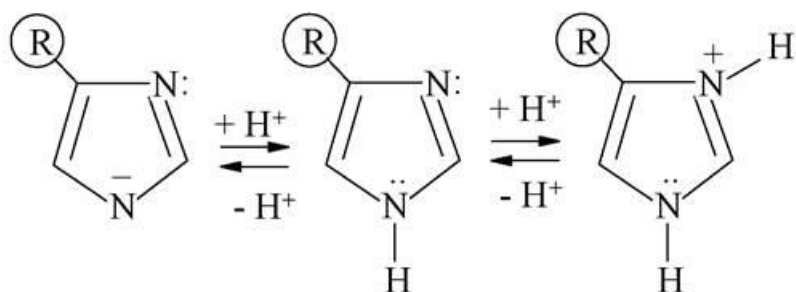


анальгін

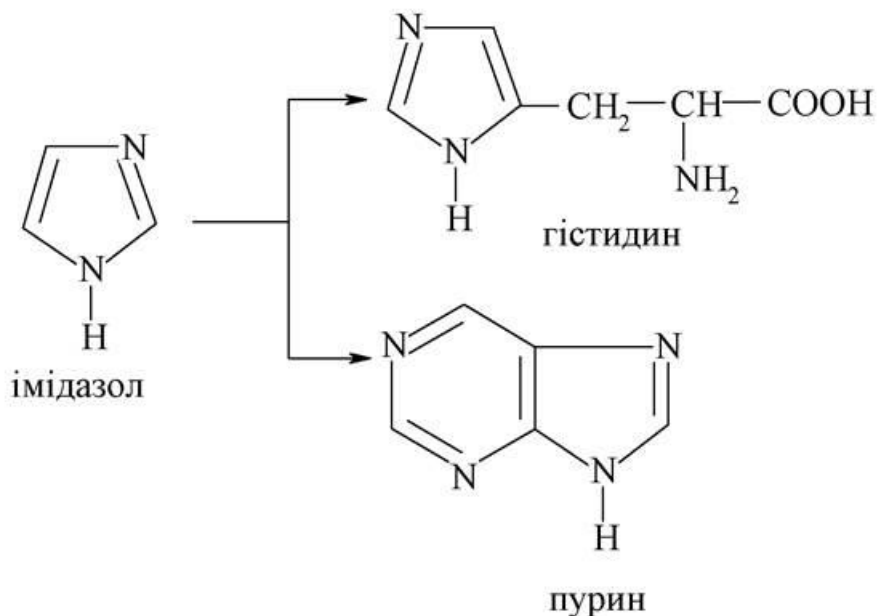
Структура імідазолу входить до складу багатьох біомолекул і лікарських засобів, серед яких найбільш важливими є протеїногенна амінокислота гістидин і конденсований гетероцикл пурин, який входить до складу багатьох вільних нуклеотидів і нуклеотидів як мономерів нуклеїнових кислот:



Здатність різних атомів гістидину проявляти кислотні та основні властивості визначає роль цієї амінокислоти як центру кислотно-основного каталізу в складі багатьох ферментів:



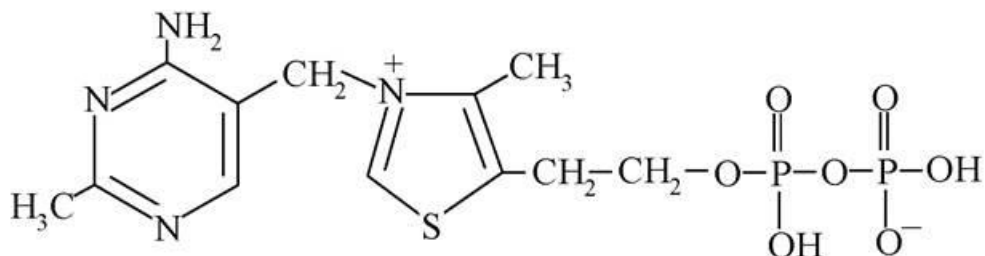
Гістамін - продукт реакції декарбосилування амінокислоти гістидину:



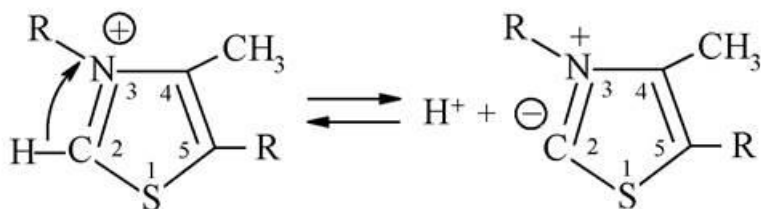
Гістамін - біогенний амін гормональної дії: розширює кровоносні судини; його концентрація в міжклітинному просторі різко зростає в умовах запалення і алергічного стану. Сполуки, які перешкоджають зв'язуванню гістаміну з чутливими рецепторами

сполучної тканини, застосовуються як антигістамінні (протиалергічні) препарати - димедрол, діазолін.

Тіазол - п'ятичленний гетероцикл, що містить, крім атома нітрогену, атом сульфуру, разом із шестичленним циклом піримідином входить до складу вітаміну В<sub>1</sub> (тіамінброміду). В організмі тіамін перетворюється на тіамінпірофосфат або кокарбоксілазу:

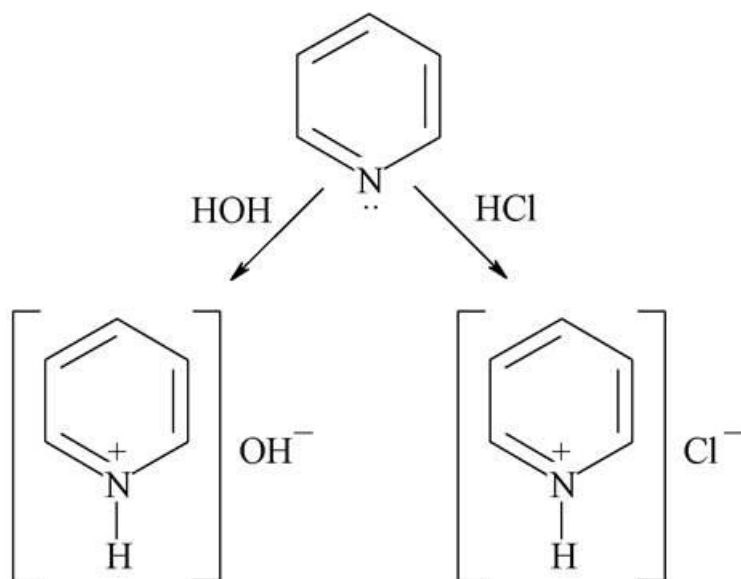


Вітамін В<sub>1</sub> виконує важливу каталітичну функцію як кофермент складних ферментативних систем внутрішньоклітинного метаболізму, зокрема здійснює окисне декарбоксілювання багатьох  $\alpha$ -кетокислот (піровиноградної,  $\alpha$ -кетоглутарової). Можливість участі тіамінпірофосфату в цих реакціях обумовлена С-Н-кислотністю 2-го положення в тіазольному фрагменті молекули:

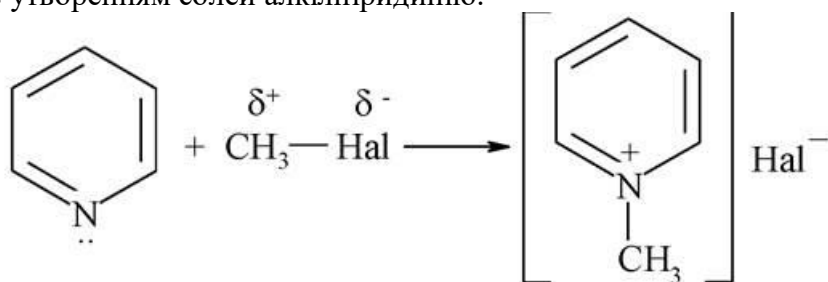


Із шестичленних циклів найбільш часто в природних системах зустрічаються: піридин, піримідин і конденсований на основі піримідину і імідазолу пурін.

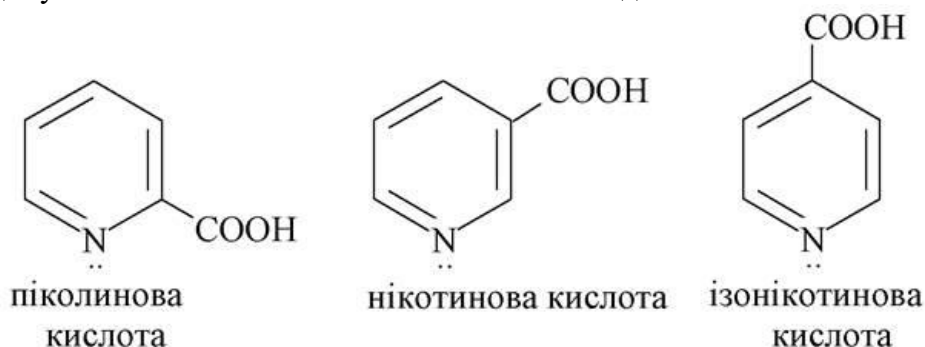
Хімічні властивості піридинового циклу обумовлені його електронною будовою, розглянутою раніше. Як основа піридин зв'язує вільний протон, що лежить в основі його взаємодії з водою (обумовлюючи слабколужний характер розчинів) і сильними кислотами (утворюючи піридинієві солі):



Як нуклеофіл піридиновий атом нітрогену атакує електрофільні центри в молекулах алкілгалогенідів з утворенням солей алкілпіридинію:



З похідних піридину важливе біологічне значення мають піридинкарбонові кислоти:



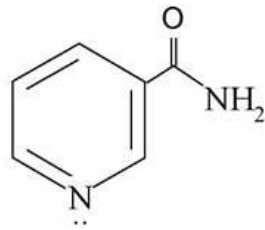
одержувані шляхом окиснення  $\alpha$ -,  $\beta$ -,  $\gamma$ -піколінів:



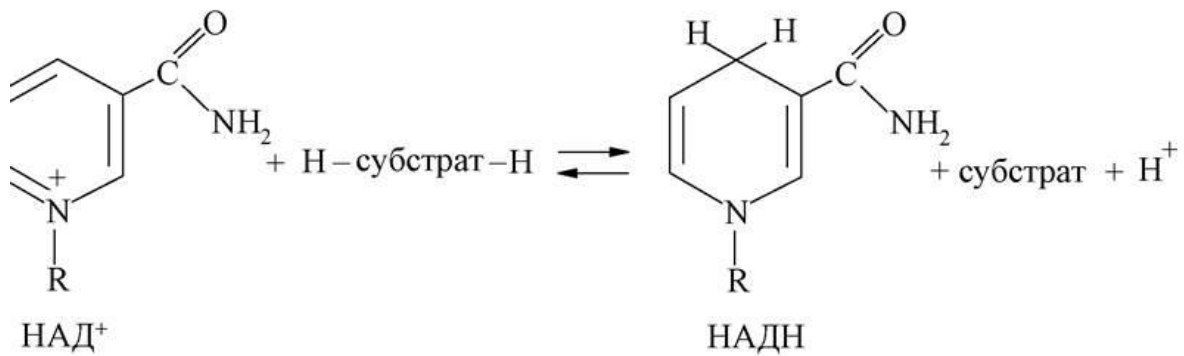
За рахунок бічного ланцюга гомологи піридину окиснюються легко з утворенням  $\alpha$ -,  $\beta$ -,  $\gamma$ -піридинкарбонових кислот. Найважливіші з них - нікотинова та ізонікотинова кислоти.



Нікотинова кислота та її амід проявляють вітамінну активність, застосовуються як антипелагричні засоби. Нікотинамід (вітамін PP) є структурним компонентом коферменту НАД<sup>+</sup>, що виконує функцію акцептора гідрид-іона під час біологічного дегідрування.



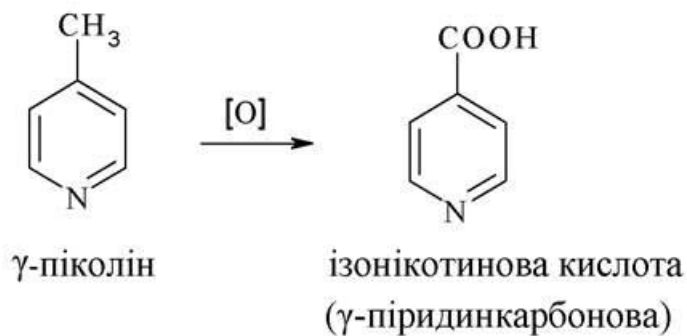
нікотинамид (вітамін РР)



Діетиламід нікотинової кислоти називається кордіамін - лікарський засіб, що застосовується при серцевій недостатності:



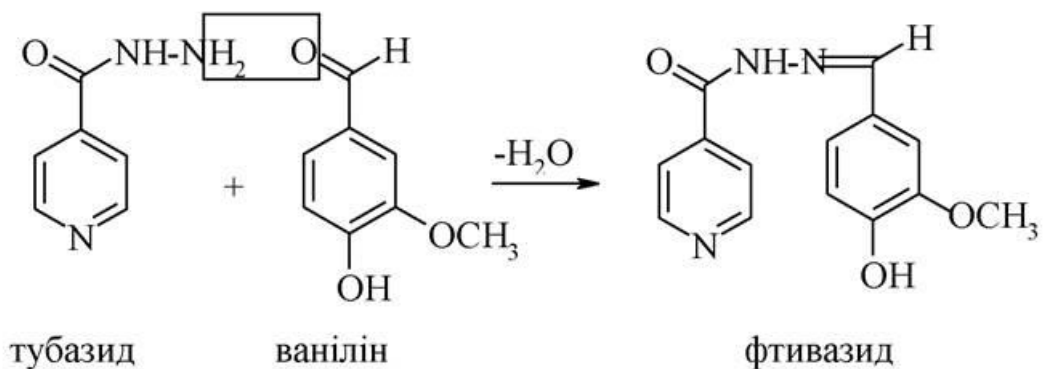
кордіамін



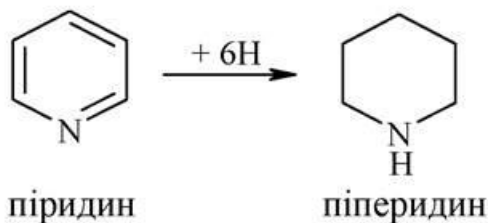
γ-піколін

ізонікотинова кислота  
(γ-піридинкарбонова)

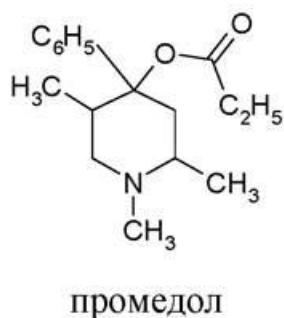
Гідразид ізонікотинової кислоти має назву ізоніазид (тубазид) - високоефективний протитуберкульозний лікарський препарат. Для зниження токсичності ізоніазид конденсували з ваніліном. Отриманий продукт називається фтивазидом, який також є високоефективним протитуберкульозним засобом.



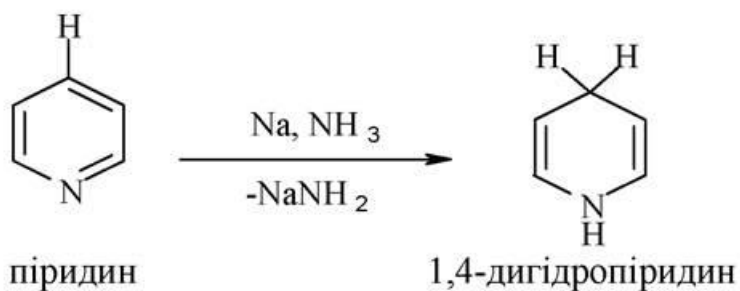
У результаті повного гідрування піридину утворюється піперидин:



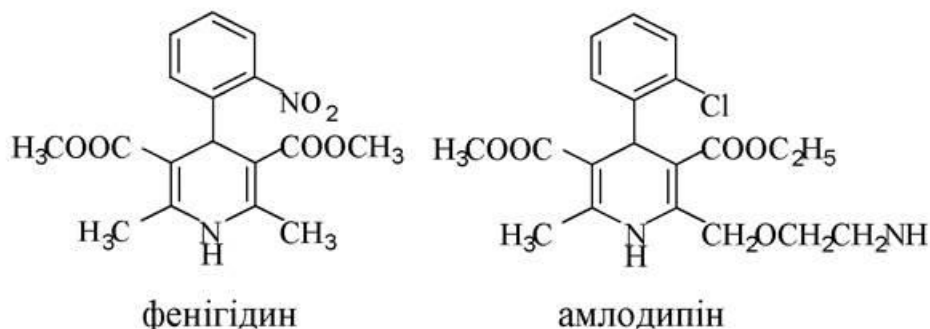
Похідне піперидину промедол - є особливо небезпечним наркотичним анальгетиком, до якого виникає звикання:



Піперидинове кільце входить до складу алкалоїдів атропіну, кокаїну, лобеліну. При відновленні піридину металевим натрієм за присутності амоніаку утворюється 1,4-дигідропіридин:



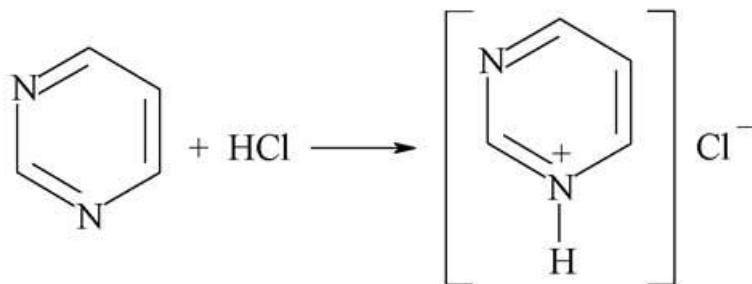
Похідні 1,4-дигідропіридину є антагоністами іонів кальцію, деякі з них застосовуються в медичній практиці для лікування серцево-судинних захворювань, гіпертонічної хвороби (фенігідин, коринфар та амлодипін). Вони блокують проникнення іонів кальцію в клітини гладких м'язів серця, викликають їх розширення та зниження артеріального тиску.



Ядро конденсованого на основі піридину і бензену гетероциклу - хіноліну - входить до складу деяких природних алкалоїдів: хініну, морфіну, кодеїну, героїну, а також синтетичних протимікробних препаратів: нітросоліну, ентеросептолу.

Із шестичленних гетероциклів з двома гетероатомами найбільш поширений у біохімічних системах піримідин і його похідні.

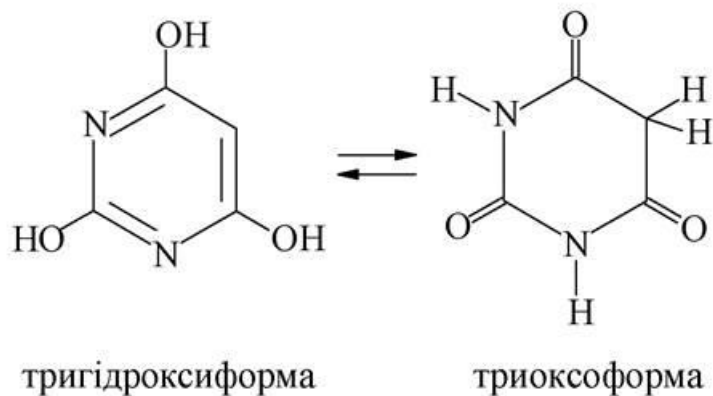
Піримідин - ароматична система з двома атомами нітрогену піридинового типу. Наявність двох електронегативних атомів нітрогену призводить до значного зменшення електронної густини на кільці і знижує здатність його до електрофільного заміщення. Крім того, незважаючи на наявність двох центрів основності, основні властивості піримідину слабші, ніж у піридину, - діазини реагують тільки з одним еквівалентом кислоти з утворенням солей:



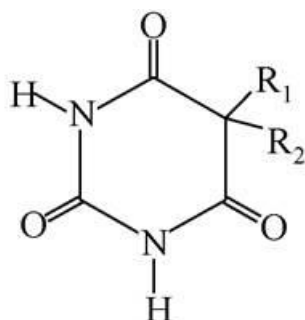
Похідними піримідину, присутніми в живих організмах, є переважно гідрокси- та амінопіримідини, які входять до складу нуклеотидів нуклеїнових кислот, вітамінів та коферментів, так звані «азотисті основи»:



Серед лікарських препаратів - похідних піримідину - важливе місце посідають препарати, які синтезуються на основі барбітурової кислоти (2,4,6-тригідроксипіримідину). Барбітурова кислота у водних розчинах може існувати в декількох таутомерних формах. Лактам-лактимна таутомерія обумовлена міграцією атома гідрогену між NH- та карбонільними групами, кето-енольна таутомерія - міграцією гідрогену між метиленовими -CH<sub>2</sub>- та карбонільними групами:



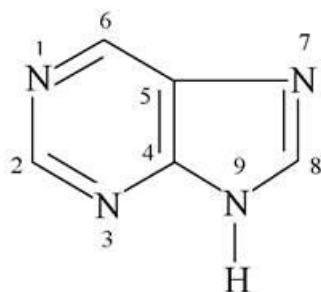
Барбітурати - лікарські препарати на основі барбітурової кислоти, фармакологічна дія яких проявляється в снодійній, заспокійливій та протисудомній дії. Наприклад, фенобарбітал (люмінал), барбітал (веронал):



барбітурати (5,5-похідні барбітурової кислоти) Фенобарбітал:  $R_1 = C_2H_5$ ;  $R_2 = C_6H_5$ .

Барбітал:  $R_1 = R_2 = C_2H_5$ .

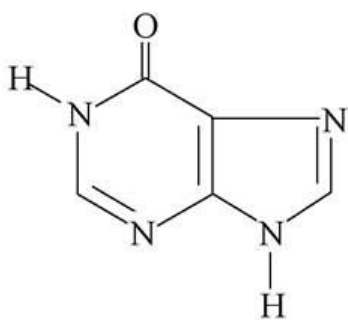
Пурин - конденсована система, ароматична, складається із шестичленного піримідину та п'ятичленного імідазолу:



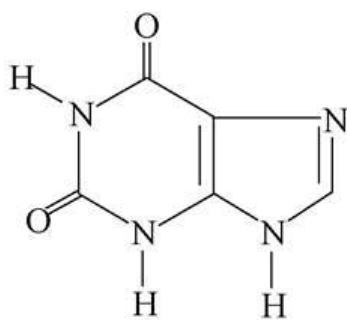
пурин

Найбільш важливими серед похідних пурину є гідрокси- та амінопурини, які беруть активну участь у процесах життєдіяльності.

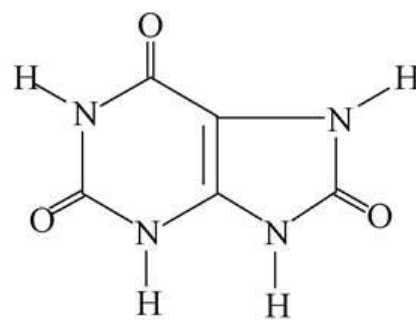
Гідроксипурини - гіпоксантин, ксантин та сечова кислота - утворюються в організмі під час метаболізму нуклеїнових кислот:



гіпоксантин

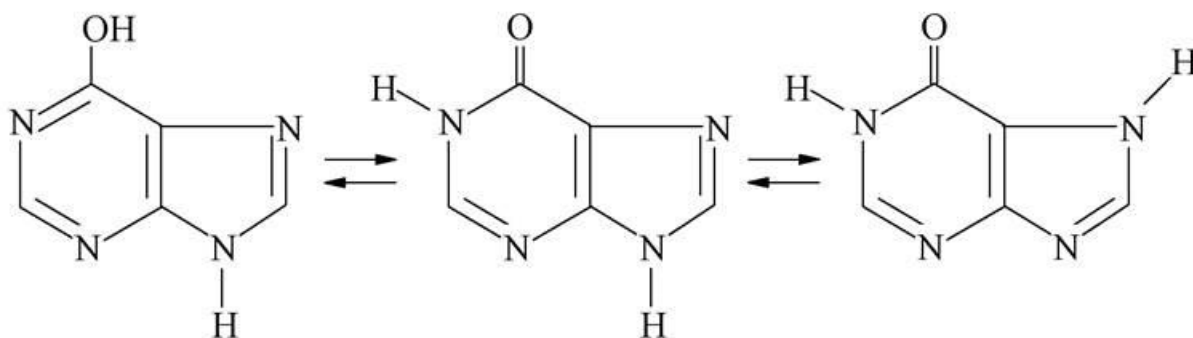


ксантин



сечова кислота

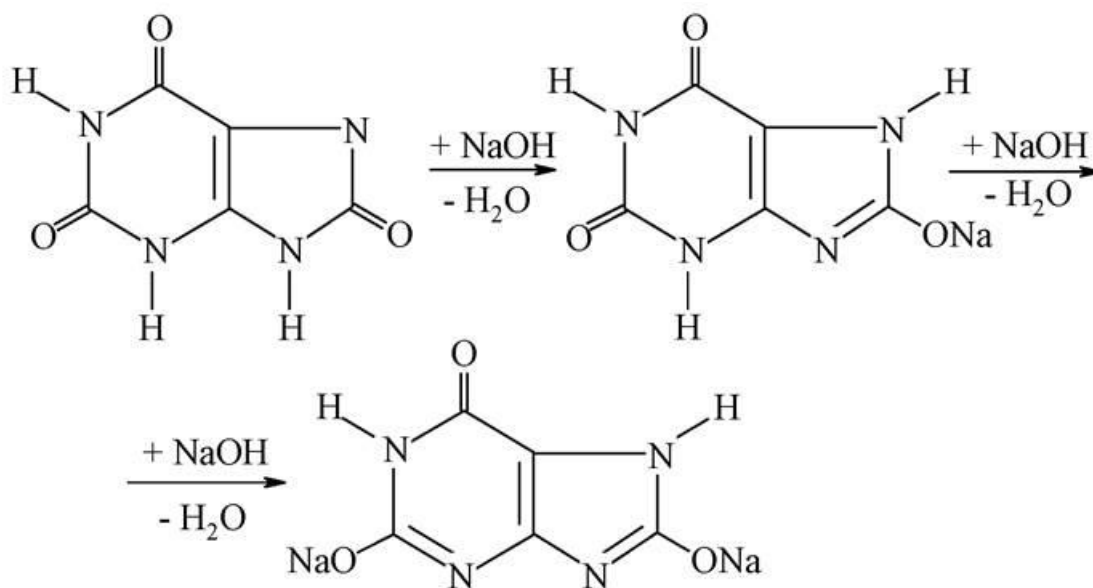
Для сполук, що містять пуриновий цикл, можлива як лактим-лактамна таутомерія, так і міграція гідрогену між атомами нітрогену в положеннях 7 та 9 імідазольного кільця (прототропна таутомерія):



лактим-лактамна таутомерія  
гіпоксантина

прототропна таутомерія  
гіпоксантина

Сечова кислота - кінцевий продукт метаболізму пуринових сполук в організмі. Вона виділяється із сечею в кількості 0,5-1 г на добу. Сечова кислота двохосновна, погано розчиняється у воді, але легко розчиняється в лугах, утворюючи кислі або середні солі - урати:



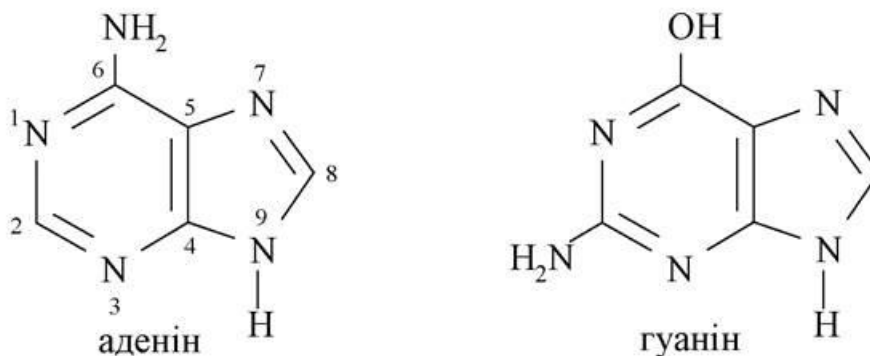
Унаслідок деяких порушень в організмі солі сечової кислоти, особливо кислі, можуть відкладатися в суглобах, наприклад, при подагрі, а також у вигляді ниркових каменів.

N-метилзаміщені похідні ксантину належать до алкалоїдів - кофеїн, теофілін, теобромін:



Природним джерелом цих алкалоїдів служать листя чаю, зерна кави, боби какао. Кофеїн - ефективний засіб, що збуджує нервову систему і стимулює роботу серця. Загальностимулююча дія теофіліну і теоброміну виражена менше, проте вони є досить сильними діуретиками.

З амінопуринів найбільш важливі 6-амінопурін, або аденін, і 2-аміно-6-гідроксипурін, або гуанін, які є обов'язковими компонентами нуклеїнових кислот:



## Лекція 14

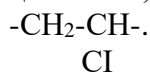
### Високомолекулярні сполуки

1. Загальні властивості високомолекулярних речовин.
2. Полімеризація.
3. Поліконденсація.

1. Однією з найважливіших реакцій, характерних для ненасичених вуглеводнів - алкенів та їх похідних - дієнових вуглеводнів з супрженими подвійними зв'язками, є реакції поліприєднання, або полімеризації. У таких реакціях з низькомолекулярних вихідних речовин, які називають мономерами, утворюються довгі ланцюги полімерних молекул з величезними молекулярними масами. Утворені речовини називаються полімерами.

Молекули полімерних речовин (макромолекули) мають або ланцюгову, або розгалужену просторову структуру, їх характерною особливістю є гнучкість, яка втрачається у речовин з тримірною, каркасною будовою.

Група атомів, яка багаторазово повторюється, називається елементарною ланкою ланцюга. Так, поліхлорвініл складається з ланок



Число таких ланок в макромолекулі називають ступенем полімеризації (п). В олігомерах (від грецького олігос -мало) число ланок змінюється від одиниць до сотень, а в високомолекулярних - сягає багатьох тисяч.

Велика молекулярна маса та гнучкість надають полімерам особливих фізико-хімічних властивостей:

- полімери можуть знаходитись в характерному тільки для них високоеластичному стані, який зумовлений гнучкістю їх довгих молекул;
- полімери здатні набухати в рідинах;
- розчини полімерів відрізняються від розчинів низько-молекулярних речовин низкою аномалій;
- полімери здатні до утворення волокон, плівок та ін., для яких характерна анізотропія (залежність від напрямку) властивостей;
- полімери здатні до своєрідних хімічних перетворень.

Між атомами в полімерних ланцюгах мають місце досить міцні ковалентні зв'язки з міжядерними відстанями 100-150 нм. Між ланцюговими молекулами діють, головним чином, дисперсійні вандерваальсівські сили на відстанях 300-400 пм. Саме ці два різних типи сил взаємодії в молекулах і між ними зумовлюють анізотропію властивостей полімерів в повздовжньому і поперечному вимірах.

Особливість будови лінійних полімерів надає їм термопластичних властивостей, під якими розуміють:

- здатність набрякати чи розчинятися в розчинниках;
- багаторазово і оборотне розм'якшуватися за умов нагрівання-охолодження;
- піддаватися високим оборотним деформаціям. Зміна структури полімера на тримірну супроводжується втратою гнучкості окремих ланок. При цьому з'являється комплекс інших властивостей, які характеризують полімер як термореактивну речовину. Такі речовини вже не розчиняються і не набрякають у розчинниках, не розм'якшуються за нагрівання, стають жорсткими і крихкими.

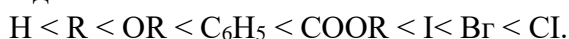
Деякі полімери мають природне походження (целюлоза, природний каучук, смоли). Розроблені методи синтезу численних синтетичних полімерів, які добувають з низькомолекулярних речовин завдяки реакціям полімеризації та поліконденсації.

## 2. Реакції полімеризації

Полімеризацією називають реакцію утворення високомолекулярної речовини з молекул мономера за рахунок розриву кратних зв'язків без виділення якихось побічних продуктів. Тому якісний склад полімеру і мономера однаковий, а молекулярна маса полімеру в ціле число разів більша, ніж мономера.

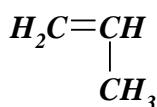
В реакціях полімеризації найчастіше беруть участь тільки сполуки з кратними зв'язками. За певних умов слабкіші від  $\sigma$ -зв'язків  $\pi$ -зв'язки в молекулі мономера при цьому розриваються і між дещо зміненими молекулами мономерів (бірадикалами) утворюються  $\sigma$ -зв'язки, які виконують функцію "зшивання". Це супроводжується зменшенням енергії системи, а полімеризація відбувається самочинно з виділенням тепла. Для її прискорення використовують різні каталізатори.

Окрім вимоги до мономеру бути ненасиченою сполукою, важливим також є число, положення і характер замісників. Якщо, наприклад, у етені один атом гідрогену замінити на іншу частку X ( $C_2H_3X$ ), то здатність полімеризуватися змінюється в залежності від X у послідовності:

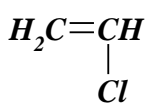


Треба також зазначити, що збільшення розміру замісників виявляє просторові утруднення до процесу полімеризації, а несиметричні похідні етену краще полімеризуються, ніж симетричні і т.д.

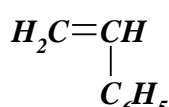
Серед мономерних молекул, які здатні полімеризуватися, найчастіше використовують похідні етену:



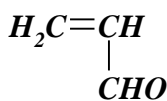
пропен



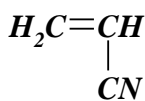
хлорвініл



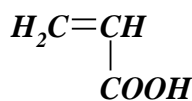
стирол



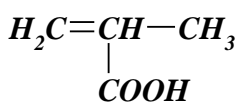
акролеїн



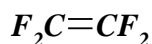
акрилонітрил



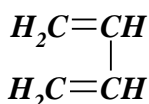
акрилова кислота



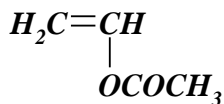
метакрилова кислота



тетрафторетен



дивініл (бутадієн)



вінілацетат (естер)

Існує декілька підходів до пояснення механізму полімеризації.

За одним із них, полімеризація відбувається за ланцюговим механізмом і складається з трьох головних стадій: 1) збудження (ініціювання) процесу; 2) зростання ланцюга; 3) обрив ланцюга.

Ініціюванням створюються активні центри з розкриттям подвійних зв'язків у молекулах мономерів і підтримкою певної їх концентрації в процесі полімеризації. Для цього використовують декілька способів. За нагрівання або освітлення молекули мономера

переходять у збуджений стан, а потім перетворюються на бірадикали з двома неспареними електронами:

Частіше використовують ініціювання пероксосолюками:  $\text{H}_2\text{O}_2$ ,  $\text{C}_6\text{H}_5\text{COO}-\text{OOC}\text{C}_6\text{H}_5$  (пероксид бензоїлу),  $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$ . Такі сполуки за нагрівання легко утворюють вільні радикали, які мають надзвичайну реакційну здатність. Радикали взаємодіють з ненасиченими молекулами мономера, утворюючи нові радикали, які здатні продовжувати реакцію:

Утворений комплекс з радикала пероксиду і молекули мономера є також радикалом, який виконує роль активного центру і спричиняє ріст ланцюга шляхом послідовного приєднання молекул мономера до вільних радикалів:

Механізм полімеризації такого типу називають радикальним.

Активний ланцюг обривається, коли два радикали зустрічаються між собою або внаслідок приєднання мігруючого атома гідрогену, який може перестрибнути від одного радикала до іншого:

Обірвати ланцюг можуть також інгібітори (оксиген, гідрохінон), які взаємодіють з вільними радикалами з утворенням насичених молекул.

Окрему функцію під час полімеризації виконують регулятори процесу. Регулятори здатні обірвати один ланцюг і водночас започаткувати інший. За допомогою регуляторів вдається контролювати довжину полімерного ланцюга.

Короткі характеристики деяких полімерів

### 1. Поліетилен $(-\text{CH}_2-\text{CH}_2-)_n$ :

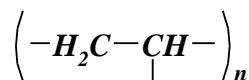
**Поліетилен високого тиску:**  $P = 1200-1500$  атм,  $T = 200$  °С, каталізатор – сліди кисню (0,01-0,1%  $\text{O}_2$ ). Молекулярна маса 20 000 – 30 000, температура розм'якшення 108 - 115 °С.

**Поліетилен низького тиску** добувають у присутності каталізатора Циглера (триетилалюміній  $\text{Al}(\text{C}_2\text{H}_5)_3$ , у суміші з  $\text{TiCl}_3$  і  $\text{TiCl}_4$ ):  $P = 1$  атм,  $T = 20-50$  °С. Молекулярна маса 30 000 – 40 000, температура розм'якшення 125 – 138 °С.

Поліетилен розчиняється в ароматичних вуглеводнях (бензолі, толуолі, ксилолі). Не розчиняється у воді, спиртах, стійкий до дії кислот і лугів.

Застосовується для виготовлення ізоляційних проводів та кабелів, пакувального матеріалу, різноманітної тари, бутлів, мішків, труб тощо.

### 2. Поліпропілен



Синтезують в присутності каталізатора Циглера. Молекулярна маса  $\sim 30\,000$ , температура розм'якшення 150 – 160 °С. При кімнатній температурі не розчиняється в органічних розчинниках, але при нагріванні вище 80 °С розчиняється в бензолі і толуолі; стійкий до дії кислот і лугів.

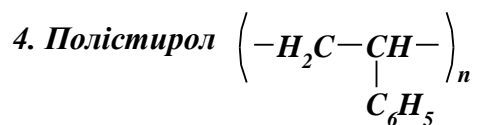
З поліпропілену виготовляють все те, що і з поліетилену (плівку, пакувальні матеріали тощо). Крім того, з поліпропілену виготовляють сітки, канати та волокно, яке йде на виготовлення тканин, подібних до вовни, шовку, бавовни чи льону (залежно від виділки тканини).

### 3. Полівінілхлорид $\left( -\text{H}_2\text{C}-\underset{\text{Cl}}{\text{CH}}- \right)_n$

Атоми хлору, що мають високу електронегативність, сприяють посиленню хімічних зв'язків, що призводить до збільшення жорсткості полімеру. Набрякає і розчиняється в хлороформі, хлорбензолі і ацетоні.

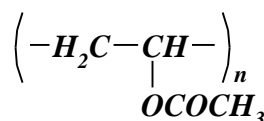
Використовується у виробництві монтажних і телефонних проводів. Для надання еластичності в нього вводять пластифікатори. Полівінілхлорид має високу хімічну стійкість

до дії кислот і лугів. Полівінілхлорид використовується також і як конструкційний матеріал за умов експлуатації до  $T = 80^\circ\text{C}$ . При більш високих температурах він розкладається з виділенням  $\text{HCl}$ .

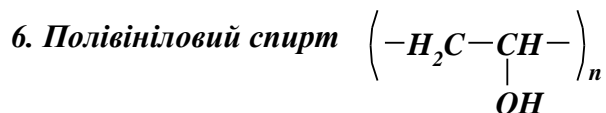


Це склоподібний крихкий полімер. Він застосовується як високоякісний електроізоляційний матеріал в техніці високих та надвисоких частот. Полістирол застосовують також для одержання йонообмінних смол – іонітів.

#### 5. Полівінілацетат



Це прозора безбарвна речовина, яка розмякшується при  $T=30^\circ\text{C}$  і стає рідкою при  $120^\circ\text{C}$ . Застосовується як основа для виготовлення клеїв, лаків і емалей. З полівінілацетату добувають полівініловий спирт.



ПВС утворюється як продукт омилення (лужного гідролізу) полівінілацетату. У присутності мінеральних кислот полівініловий спирт взаємодіє з альдегідами, перетворюючись на полівінілацеталі. Спиртові розчини останніх використовують як клеї у виготовленні безосколочного скла (триплекс) для автомобілей. В суміші з фенолформальдегідною смолою утворює клеї (БФ). З використанням полівінілацеталей готують високоякісні електроізоляційні емалі.

#### 7. Політетрафторетилен $(-\text{F}_2\text{C}-\text{CF}_2-)_n$

Інша назва – фторопласт-4 або тефлон. Полімер білого кольору, м'який, жирний на дотик, працює в широкому температурному інтервалі: від  $-269^\circ\text{C}$  до  $+250^\circ\text{C}$ . При  $T = 320^\circ\text{C}$  стає прозорим і пластичним, а при  $T > 400^\circ\text{C}$  він розкладається з виділенням фтору. Тефлон має високі діелектричні властивості, найвищий електричний опір, тому він застосовується у виробництві радіоапаратури і електронної техніки. Він має надзвичайно високу хімічну стійкість: не змочується рідинами, не розчиняється в органічних розчинниках, на нього не діють ні які агресивні речовини, в тому числі і концентровані кислоти та інші окислювачі.

8. **Синтетичні каучуки** (еластомери) – м'які еластичні полімерні маси. Поступово, протягом тривалого часу каучук окиснюється, втрачає еластичність, робиться твердим і крихким.

Каучуки добувають полімеризацією дієнових вуглеводнів – бутадієну (дивінілу)  $\text{CH}_2 = \text{CH} - \text{CH} = \text{CH}_2$ , ізопропену  $\text{CH}_2 = \underset{\text{CH}_3}{\text{CH}} - \text{C} = \text{CH}_2$ , а також сополімеризацію їх зі стиролом акрілонітрилом тощо.

Для добування гуми і ебоніту каучук піддають **вулканізації**. Гаряча вулканізація полягає в нагріванні каучука з сіркою або деякими її сполуками. При цьому лінійні

макромолекули зшиваються атомами сірки за місцем подвійних зв'язків, внаслідок чого утворюється тримірна просторова структура. Властивості вулканізованого каучуку покращуються. Він стає більш еластичним, стійким до дії розчинників, менше старіє.

**9. Поліметилметакрилат** (плексиглас, органічне скло) - продукт полімеризації метилового естеру метакрилової кислоти - метилметакрилату - безбарвної рідини з температурою кипіння 100,3°C.

Це - твердий, прозорий, безбарвний термопластичний матеріал, легкий, стійкий до дії кислот, лугів, бензину, масел. Він не затримує ультрафіолетових променів, добре обробляється, є діелектриком. Широко використовується в різноманітних галузях як конструкційний матеріал. В електротехніці використовується для створення компаундів - сумішей для герметизації електричних приладів і машин.

### 3. Реакції поліконденсації

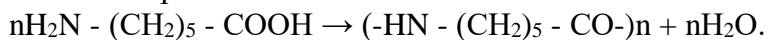
Поліконденсацією називається процес взаємодії низькомолекулярних речовин, кожна з яких містить не менш ніж дві функціональні групи (-ОН, -NH<sub>2</sub>, -COOH, -CHO тощо), що приводить до утворення високомолекулярних продуктів та побічних низькомолекулярних речовин (H<sub>2</sub>O, NH<sub>3</sub>, HCl, CO<sub>2</sub> тощо).

Для утворення лінійних макромолекул під час реакцій поліконденсації використовують біфункціональні молекули, тобто такі, які вміщують у собі дві функціональні групи. Таку поліконденсацію називають лінійною.

Якщо в поліконденсації приймають участь три (чи більше) функціональні групи, то в результаті виникають розгалужені полімери чи навіть тримірні сітки.

Розпізнають гомо- і гетерополіконденсацію. У першому випадку в реакції приймає участь тільки одна вихідна речовина, наприклад амінокислота, в якій аміногрупа та карбоксильна група розділені кількома групами CH<sub>2</sub>.

Так, під час поліконденсації ε-амінокапронової кислоти утворюється цінна полімерна речовина - капрон:

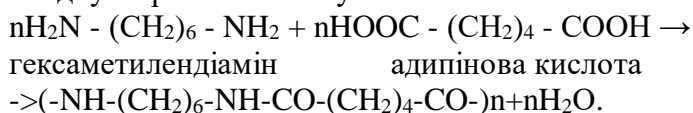


Практично капрон добувають полімеризацією більш доступної вихідної речовини – капролактаму. Для цього до капролактаму додають невелику кількість води, яка є ініціатором процесу, а також оцтову або адипінову кислоту, після чого нагрівають до 240-270° під тиском біля 2 МПа.

Капрон має температуру плавлення біля 215°C. За звичайних умов має дуже високу міцність та хімічну стійкість. З капрону виготовляють деталі технічного призначення, канати, тканини.

Ще більшу міцність та еластичність має енант. Його добувають поліконденсацією аміноенантової кислоти H<sub>2</sub>N-(CH<sub>2</sub>)<sub>6</sub>-COOH. Реакція перебігає аналогічно поліконденсації амінокапронової кислоти.

Якщо ж у процесі поліконденсації приймають участь принаймні два різних типи мономерів, функціональні групи одного з яких реагують з функціональними групами іншого, така поліконденсація називається гетерополіконденсацією. Її можна проілюструвати на прикладі утворення нейлону:



З нейлону виготовляють текстильні волокна, а також корд для автопокришок.

Оскільки під час поліконденсації поряд з високомолекулярною сполукою утворюються низькомолекулярні речовини, склад полімеру і вихідного мономеру не збігаються. У цьому полягає одна з відмінностей між полімеризацією і поліконденсацією.

Класичним прикладом поліконденсації є взаємодія між фенолом  $C_6H_5OH$  і формальдегідом  $HCHO$ . Ця реакція веде до продуктів, які часто називають бакелітовими смолами. Здатність до утворення просторового полімеру в даному процесі зумовлена біфункціональністю молекули альдегіду і три-функціональністю молекул фенолу за рахунок атомів гідрогену в о- і п- положеннях відносно гідроксильної групи фенолу.

Залежно від кількісного співвідношення фенолу і формальдегіду, а також від природи вибраного каталізатора тут можуть утворюватися різні продукти.

Формальдегідні смоли є основою деяких іонітів, вони входять до складу клеїв, емалей, просочувальних електроізоляційних лаків тощо.

Конденсаційні полімери виникають також внаслідок утворення складноестерних зв'язків між біфункціональними кислотами і спиртами (поліестерні смоли). Використовуючи різні кислоти і спирти, можна одержувати різні типи поліестерів. Відомим поліестером є поліетилентерефталат, що використовується для виготовлення лавсану (дакрон). З лавсану виготовляють тканини для одягу. Поліетилентерефталат є конденсованим полімером етиленгліколю і терефталевої кислоти.

## Лекція 15

### Поняття про електронну спектроскопію. ІЧ-та УФ-спектроскопія.

1. Електронна спектроскопія.
2. УФ-спектроскопія.
3. ІЧ-спектроскопія

**Електронна спектроскопія.** *Електронна спектроскопія* ґрунтується на електронних переходах, тобто на переходах між електронними станами частинок, є дуже чутливим і зручним методом для визначення спектрів поглинання, пропускання або відбиття, вивчення кінетики реакції, що супроводжується спектральними змінами.

У випадку, коли орієнтація частинки (атома, молекули) у просторі й відносне положення ядер є незмінними, атомна система представляє собою систему електронів, які знаходяться в постійному полі позитивних зарядів ядер. Така система, відповідно до постулату Бора, має певний набір енергетичних станів. Вони називаються *стаціонарними електронними станами*, а переходи між ними – *електронними переходами*. Кожному з електронних станів відповідає певний розподіл електронної щільності (хвильова функція). У кожному електронному стані частинка характеризується певним набором фізичних і хімічних властивостей.

Дія на речовину електромагнітного випромінювання оптичного діапазону (120-1100 нм) може призвести до переходу валентних електронів на більш віддалені від ядра орбіталі або їх повернення до основного стану. Процеси першого типу супроводжуються поглинанням енергії. Методи, які вивчають такі переходи, називаються *абсорбційними* (УФ-спектроскопія). Процеси другого типу супроводжуються виділенням енергії. Відповідні методи називаються *емісійними* (люмінесцентна спектроскопія). У залежності від природи частинок, що взаємодіють із випромінюванням виділяють *методи атомної та молекулярної спектроскопії*. У «чистому» вигляді електронні переходи спостерігаються досить рідко. Спектральні сигнали відповідають електронно-коливальним або електронно-коливально-обертальним переходам.

Частота поглинутого чи виділеного випромінювання представляє собою коливання електронної хмари частинки (атома, молекули) відносно ядерного кістяка, іншими словами частоту коливання її перемінного дипольного моменту: 
$$\nu_e = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{K}{m_e}}$$
 де  $m_e$  – маса електрону;  $K$  – силова стала, яка характеризує силу взаємодії електронів з ядром.

Інтенсивність сигналів визначається енергією, що поглинається чи випромінюється при коливанні електронної хмари або числом поглинених (випромінених) квантів енергії за одиницю часу. Інтенсивність залежить від наповненості електронних рівнів і ймовірностей переходів між ними.

Поява того чи іншого електронного переходу й відповідного йому спектрального сигналу залежить від виконання ряду умов, які називають правилом відбору чи заборони, і факторів, які можуть зняти наявні заборони на електронні переходи.

Електронна спектроскопія дозволяє з високою точністю визначати наявність у молекулах певних структурних груп (які називають хромофорними), для яких добре вивчені характеристичні електронні спектри. Метод абсорбційної електронної спектроскопії є дуже чутливим і дозволяє отримувати чіткі смуги поглинання навіть при невеликій концентрації досліджуваної речовини. Через це він частіше використовується для якісного аналізу будови молекул, хоча може бути використаний і для кількісного аналізу за коефіцієнтом екстинкції  $\epsilon$  (зазвичай – у розрахунку на моль речовини).

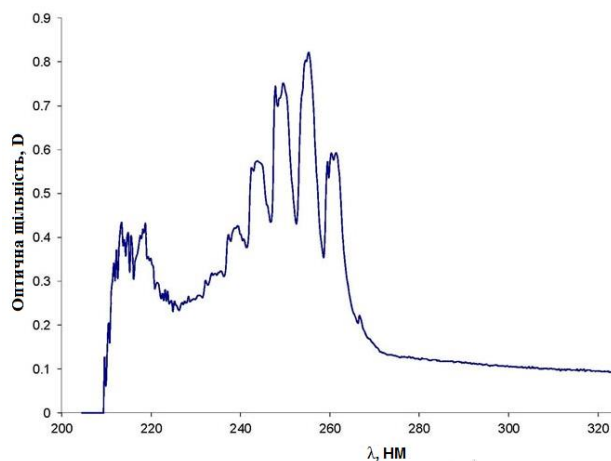


Рис. 11. Електронний спектр поглинання бензену.

Завдяки високій чутливості електронної спектроскопії реєстрація спектрів при одноразовому проходженні світла через кювету отримала досить велике поширення як один з головних методів експрес-аналізу проб речовин на хімічному виробництві. Для більш точного аналізу будови речовини дані електронної спектроскопії повинні бути доповнені результатами коливної спектроскопії.

### **УФ-спектроскопія**

З точки зору енергії переходів у молекулі принципової різниці між УФ та видимою ділянками спектру немає. Відокремлення видимої частини спектру в самостійну ділянку обумовлено суб'єктивними причинами – межами сприйняття електромагнітного випромінювання людським оком.

УФ-спектроскопія (англ. molecular electron spectroscopy або UV-spectroscopy) відноситься до молекулярної абсорбційної електронної спектроскопії. Також молекулярну абсорбційну спектроскопію в УФ і видимій ділянках спектра називають *спектрофотометрією* або *фотометрією*. Це один із розділів оптичної спектроскопії, що базується на отриманні та дослідженні спектрів поглинання в УФ-ділянці спектра (діапазон довжин хвиль  $\Delta\lambda$ : 190/400 нм;  $\lambda < 190$  нм — вакуумна УФ-ділянка малоприсадна для роботи через сильне поглинання хвиль повітрям). Поглинання УФ-випромінювання зумовлене електронними переходами в атомах з основного енергетичного стану в більш високий (збуджений); у молекулах — зі зв'язувальної орбіталі (основний стан) на розпушувальну орбіталь (збуджений стан).

Застосування електронної спектроскопії в УФ і видимій ділянках спектра для аналізу функціональних груп обмежене тим, що відповідні спектри мають невелике число смуг поглинання. Їх перевага в порівнянні зі спектроскопією в ІЧ-ділянці спектра полягає в більшій чутливості, що дозволяє досліджувати дуже розбавлені розчини. Наявні недорогі, прості в обігу сучасні записувальні спектрофотометри (СФ) дають можливість швидко виявляти присутність сильних хромофорних груп у зразку.

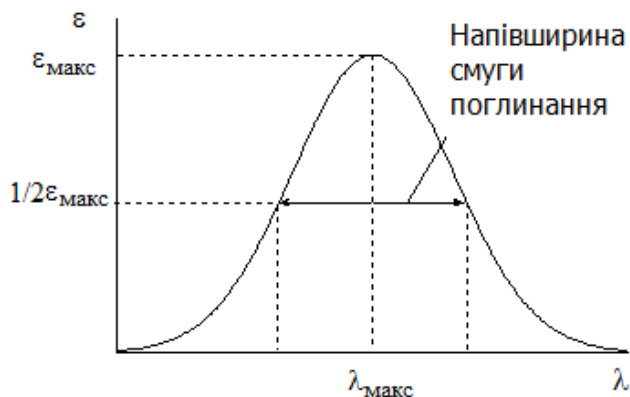
УФ-спектри, що містять дві або більшу кількість інтенсивних смуг поглинання, дозволяють надійно довести ідентичність зразка, особливо якщо є спектр еталонного зразка. Вивчення молекулярних спектрів – це найважливіший спосіб кількісного хімічного аналізу. Тут досить виміряти аналітичний сигнал на заздалегідь обраній довжині хвилі. Спектри потрібні для вирішення більш складних завдань:

– за спектром індивідуальної речовини вибирають ту довжину хвилі, на якій надалі, в ході кількісного аналізу, вимірюватимуть аналітичний сигнал цієї речовини. У молекулярно-абсорбційному (спектрофотометричному) аналізі аналітичний сигнал зазвичай вимірюють на довжині хвилі, що відповідає максимуму на спектральній кривій;

– зіставляючи спектри передбачуваних компонентів проби, з'ясовують можливість визначення одних речовин у присутності інших. Якщо спектри компонентів проби накладаються один на одного, результати аналізу суміші будуть завищеними.

Слід відзначити, що молекулярні абсорбційні спектри в УФ і видимій ділянці складаються не з окремих чітко визначених ліній, а з широких смуг. Енергія електромагнітного випромінювання УФ- та видимого діапазону відповідає енергії збудження валентних електронів.

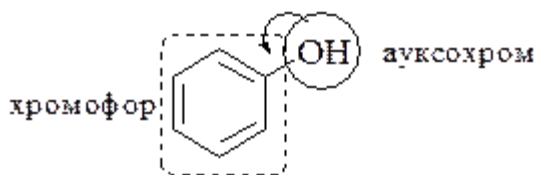
Положення максимуму смуги поглинання ( $I_{\text{макс}}$ ) відповідає довжині хвилі такого електромагнітного випромінювання, енергія якого дорівнює енергії необхідної для електронного переходу. Для характеристики



ширини смуги поглинання використовується величина *півширини смуги поглинання*. Інтенсивність поглинання, яку можна охарактеризувати за допомогою молярного коефіцієнта поглинання, залежить від імовірності даного електронного переходу. Поглинання з  $\epsilon_{\text{макс}} > 10^4$  вважається інтенсивним (максимально можливе значення  $\epsilon$  складає приблизно  $2 \times 10^5$ ), поглинання з  $\epsilon_{\text{макс}} < 10^3$  вважається мало інтенсивним. Об'єктами

дослідження в спектрофотометрії найчастіше є органічні речовини.

Групи, які обумовлюють появу смуг поглинання в молекулярних спектрах, називаються *хромофорами*. Атоми або групи атомів, які самі по собі не зумовлюють появу смуг поглинання, але впливають на характер поглинання хромофорів, називаються *ауксохромами*.



Ауксохроми мають неподілені електронні пари, які знаходяться в сполученні з р-електронною системою хромофора, і можуть зміщувати смугу поглинання хромофора в більш довгохвильову ділянку (*батохромний зсув*) або в більш короткохвильову ділянку (*гіпсхромний зсув*),

збільшувати її інтенсивність (*гіперхромний ефект*) або зменшувати її (*гіпохромний ефект*).

#### Вимірювання аналітичного сигналу

Об'єктами дослідження в фотометрії зазвичай є розчини. Принцип вимірювання аналітичного сигналу полягає в порівнянні інтенсивності двох світлових потоків, один з яких проходить через досліджуваний розчин, а другий — через розчин порівняння.

Принципова схема однопроменевого приладу наведена на рис. 12.

Джерела випромінювання, використовувані в фотометрії, дають безперервні спектри. Залежно від того, яким чином відбувається виділення з безперервного спектру випускання джерела потрібного спектрального інтервалу, абсорбційні спектрометри можна поділити на 2 класи: *фотоелектроколориметри (ФЕК)* і *спектрофотометри (СФ)*.

У ФЕКах для виділення потрібного інтервалу довжин хвиль застосовують *набір світлофільтрів*. Величина півширини пропускання використовуваних світлофільтрів становить у середньому 25-45 нм. Нижня межа робочих довжин хвиль становить для більшості моделей ФЕКів приблизно 315 нм.

ФЕКи використовують зазвичай для проведення серійних вимірів концентрації речовин, що поглинають у видимій або довгохвильовій УФ-ділянці.



Рис. 12. Принципова схема однопроменевого приладу для вимірювання поглинання світла в УФ та видимій областях спектру.



У СФ для виділення із спектру випромінювання джерела випромінювання з потрібною довжиною хвилі застосовують *монохроматори*: дифракційні ґрати або призми. Монохроматор дозволяє отримати електромагнітне випромінювання з набагато вищим ступенем монохроматичності, ніж світлофільтр. СФ мають більш складну будову, ніж ФЕК, і використовуються для отримання спектрів поглинання речовин, визначення концентрації речовин, що поглинають при довжинах хвиль менше 300 нм, мають вузькі смуги поглинання і т.д.

Розчини речовин, поглинання яких вимірюється, поміщають у спеціальні посудини прямокутної або, рідше, циліндричної форми – *кювети*. Кювета, що містить розчин досліджуваної речовини, називається *робочою*, а кювета, що містить розчин порівняння – *кюветою порівняння*.

Кювети, які використовують для роботи у видимій ділянці спектра, можуть бути зроблені зі скла. Для роботи в ділянці довжини хвиль менше ніж 325 нм необхідні кварцеві кювети. Матеріалом для виготовлення кювет є також органічні полімери. Як правило, кожен прилад для фотометричних вимірювань забезпечений набором кювет (товщиною від 0,1 до 5 см). Найчастіше в роботі, особливо для СФ, використовуються кювети товщиною 1 см. Крім звичайних кювет, існують кювети спеціальної конструкції, наприклад, термостатовані, проточні.

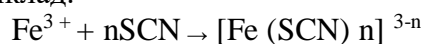
В однопроменевих приладах у потік випромінювання спочатку поміщають кювету порівняння і налаштовують за нею прилад на нуль оптичної щільності. Потім у потік випромінювання поміщають робочу кювету. При зміні налаштувань приладу дослід слід повторити. В двопроменевих спектрометрах потік, що виходить з монохроматора, за допомогою дзеркала спеціальної конструкції розщеплюється на два однакових потоки: один спрямовується на кювету порівняння, а другий – на робочу кювету. Потоки, що виходять з кювет, спрямовується на один і той же детектор. Двопроменеві прилади зручні при автоматичній реєстрації спектрів поглинання, оскільки їх не потрібно повторно налаштовувати при зміні довжини хвилі.

Практичне застосування та основні прийоми фотометричного аналізу

Спектрофотометрія є одним з найбільш застосовуваних і розроблених інструментальних методів аналізу. До її переваг відносять досить високу чутливість (для речовин, що добре поглинають, вона становить приблизно  $10^{-6}$ – $10^{-7}$  моль/л), універсальність, просте апаратурне оформлення, можливість автоматизації аналізу і т.д. Нижня межа визначуваних концентрацій зазвичай характеризується значеннями порядку 0,1–1,0 мкг/мл. Відносна похибка результату аналізу (при традиційному способі фотометричних вимірювань) становить 2–5%, а в деяких випадках може бути знижена до 1%.

*Пряма фотометрія.* Використовується для визначення речовин, що мають досить інтенсивне власне поглинання. У прямій фотометрії вимірюють оптичну щільність розчину речовини при довжині хвилі, що відповідає максимальному поглинанню, і далі одним із способів визначають концентрацію речовини в цьому розчині. Пряма фотометрія зазвичай використовується для аналізу матриць відносно простого складу, в яких відсутні речовини, що володіють таким же характером поглинання, що й речовина, яка визначається, або компоненти, що заважають можна легко відокремити в процесі пробопідготовки.

Значно частіше в фотометрії, особливо у разі визначення неорганічних речовин, що мають незначне власне поглинання, вимірюванню оптичної щільності передують проведення хімічної реакції, в якій утворюється нова речовина, що має більш інтенсивне поглинання. Наприклад:



В основі отримання забарвлених продуктів можуть лежати реакції комплексоутворення, окислювально-відновні реакції, різні реакції за участю функціональних груп органічних сполук і т.д.

До фотометричних реакцій ставляться такі вимоги: чутливість, контрастність, надійність, вибірковість.

До недоліків фотометричних методів слід віднести невисоку селективність багатьох реакцій, які використовують у фотометрії, необхідність попереднього розведення проби. Часто потрібно попередньо відокремити компоненти, що заважають визначенню. Це збільшує час проведення аналізу та зменшує точність.

Фотометричний аналіз широко застосовують у контрольно-аналітичних лабораторіях на підприємствах хімічної, харчової, нафтопереробної промисловості, в криміналістиці, в сільському господарстві, в клінічному аналізі та наукових дослідженнях, в моніторингу стану навколишнього середовища.

### **УФ-спектроскопія**

Поглинання електромагнітних хвиль в інфрачервоній частині спектра ( $4000 - 400 \text{ см}^{-1}$ ) пов'язано із збудженням коливальних станів атомів. Подібно до електронів у молекулах, що характеризуються певними енергетичними рівнями, атомні коливання хімічного зв'язку також характеризуються відповідними коливальними (енергетичними) рівнями і здатні при опромінюванні переходити на вищі. Отже, поглинута енергія витрачається на збудження коливальних рівнів або перетворюється в кінетичну енергію молекули.

До основних типів коливань відносяться валентні  $\nu$  і деформаційні  $\delta$ . Для появи деформаційних коливань необхідно витратити меншу енергію, ніж для валентних, тому вони мають меншу частоту. У свою чергу, частота  $\nu$  визначається масою атомів та енергією зв'язку. Збільшення маси зменшує частоту. Збільшення енергії зв'язку підвищує частоту. Валентні коливання, які відбуваються уздовж між'ядерного зв'язку, бувають двох типів: сифазні  $\nu^s$  і антифазні  $\nu^{as}$ , для яких ще застосовують відповідні терміни «симетричні» й «антисиметричні». Їх можна уявити, як коливання двох кульок (сфер), з'єднаних жорсткою пружиною.

Інтенсивність поглинання визначається молярним коефіцієнтом поглинання, і точність його вимірювання нижча ніж УФ-спектроскопії. Частіше інтенсивність смуги зображують, як поглинання (А) або пропускання (Т) світла в процентах. Смуги порівнюють між собою і поділяють на сильні, середні і слабкі.

У спектрах існують смуги двох типів: характеристичні – смуги, які відповідають валентним коливанням певних груп атомів, зв'язків і майже не залежать від впливу всієї молекули, тобто кожна група атомів має свою індивідуальну частоту поглинання. До характеристичних відносять смуги коливань таких груп атомів, як  $C-H$ ,  $O-H$ ,  $N-H$ ,  $C=O$ ,  $C=C$ , тощо (Табл.1. Додаток).

Найхарактеристичними називають смуги валентних і деформаційних коливань, що не можуть бути віднесені до конкретних груп атомів або зв'язків. До них належать смуги коливання зв'язків  $C-C$ ,  $C-N$  усієї молекули, а не окремих фрагментів. Тому незначні зміни в структурі молекули приводять до істотних змін вигляду спектра. Цю область спектра називають областю «відбитків пальців».

### Рекомендації щодо вирішення задач із застосуванням спектральних даних по ІЧ-спектроскопії

1. При роботі з інфрачервоними спектрами використовуйте таблиці характеристичних частот.

2. При розв'язуванні задач по ІЧ-спектроскопії не можна обмежуватися знаходженням тільки однієї смуги поглинання, а потрібно користуватися сукупністю всіх смуг, що характеризують даний структурний елемент. Так, наприклад, якщо Ви знайшли смугу поглинання валентних коливань  $C-H$  вище  $3000\text{ см}^{-1}$ , то молекула може містити ароматичне кільце, подвійний зв'язок або циклопропанові кільця. Вибір може бути зроблений за іншими смугами: приналежність до ароматичного ряду підтверджується смугами поглинання при  $1600$ ,  $1500$ ,  $1450\text{ см}^{-1}$  і інтенсивному поглинанню в області  $900-700\text{ см}^{-1}$ , ненасичені сполуки можна визначити за смугами в області  $1680-1640\text{ см}^{-1}$  (за виключенням симетричних *транс*-сполук) і специфічному поглинанню нижче  $1000\text{ см}^{-1}$ .

3. Пам'ятайте, що за допомогою інфрачервоних спектрів можна визначити тільки структурні елементи і не потрібно прагнути повного розшифрування структури молекули.

4. Якщо Ви знаєте емпіричну формулу досліджуваної сполуки, зробіть припущення щодо можливої структури або наявних функціональних груп, використовуючи знання з курсу органічної хімії.

5. Зверніть увагу на спосіб підготовки зразка і відзначте смуги поглинання зумовлені розчинником. Адже відомо, що при використанні вазелінового масла чи інших  $C-H$ -вмісних розчинників в спектрі спостерігатимуться сильні смуги поглинання в області валентних і деформаційних коливань  $C-H$  зв'язків.

6. Починайте вивчення спектра з діапазону валентних коливань зв'язків  $X-H$  (де  $X = C, O, N$ ): перевірте правильність віднесення смуг, аналізуючи інші діапазони спектра, де необхідно очікувати смуги, зумовлені відповідними деформаційними коливаннями. З'ясуйте діапазон валентних та деформаційних коливань зв'язків  $X-H$  (за допомогою табличних даних).

7. Для виявлення полярних груп з кратними зв'язками дослідіть діапазон  $1900-1500\text{ см}^{-1}$ . Зверніть увагу на те, що для деяких з цих груп характерні й деформаційні коливання, які простежуються у вигляді смуг поглинання у відповідному діапазоні спектра (табличні дані).

8. Уважно розгляньте область  $2200-2000\text{ см}^{-1}$  для виявлення алкінів або нітрилів, пам'ятаючи, що ці характеристичні коливання мають малу інтенсивність.

9. Якщо в спектрі є інтенсивна смуга в діапазоні  $\sim 1700\text{ см}^{-1}$ , уточніть її віднесення, використовуючи табличні дані.

10. Зіставте одержані дані з передбачуваною структурою.

## РЕКОМЕНДОВАНІ ДЖЕРЕЛА ІНФОРМАЦІЇ

### Основні

1. Органічна хімія: підручник для студентів закладів вищої освіти / С.А. Воронов, В.А. Дончак, А.М. Когут. Л.: Львівська політехніка, 2021. 488 с.
2. Неорганічна та органічна хімія: Навч. пос. Ч. 2 / Л.Б. Цветкова, О.П. Романюк. Каравела. 2022, 358 с.
3. Хімія: загальна, неорганічна та органічна / В.П. Басов, В.М. Родіонов. Каравела. 2023. 320 с.
4. Органічна хімія: навчальний посібник / О.П. Мітрясова. К.: Кондор-Пресс. 2018. 414 с.
5. Органічна хімія: підруч. для студ. вищ. навч. закл. / Черних В. П. [та ін.]; ред. В. П. Черних; Національний фармацевтичний ун-т. Вид. 2-ге, випр. і доп. Х.: НФаУ: Оригінал, 2018. 752 с.
6. Organic chemistry. / Klein, D.R. John Wiley & Sons. 2020. 1376 с.

### Допоміжні

1. Органічна хімія. Навчальний посібник. / О. Березан. Видавництво: Підручники і посібники, 2020. 198 с.
2. Харчова хімія: Навчальний посібник / Мороз І.А., Гулай О.І., Шемет В.Я. Луцьк: ІВВ ЛНТУ. 2022. 236 с.
3. Органічна хімія: навчальний посібник. Частина 2. / М.Д. Обушак, Є.Е. Біла. Львів: вид. ЛНУ ім. І. Франка, 2018. 256 с.
4. Практикум з органічної хімії. Реакційна здатність органічних сполук / уклад. О. М. Швед, С. Л. Богза, Є. А. Бахалова, Н. С. Ситник. Вінниця: ДонНУ імені Василя Стуса, 2021. 144 с.
5. Біоорганічна хімія / Ю.І. Губський. Нова книга, 2019. 432 с.
6. Біологічна і біоорганічна хімія: у 2 книгах. Книга 1. Біоорганічна хімія: підручник / Б.С. Зіменковський, В.А. Музиченко, І.В. Ніженковська та ін., 2022. 272 с.
7. Основи хімії та методи аналізу харчової продукції. / Н.К. Черно, О.О. Антіпіна, О.В. Малинка, С.І. Вікуль. Херсон: Олді плюс, 2024. 360 с.
8. Харчові добавки натурального походження: короткий огляд. Товарознавчий вісник. / Шемет В.Я., Гулай О.І. 2023. Вип. 16, с. 6-18. / URL: <http://tovvisnik.lutsk-ntu.com.ua/index.php/tovvisnik/article/view/239/209>
9. Chromatographic Determination of the Chemical Composition of Apple Chips Extract, Methods and Objects of Chemical Analysis this link is disabled / Hulai, O.I., Shemet, V.Ya., Klimovych, O.S. 2023, 18(1), pp. 33–41. <https://doi.org/10.17721/moca.2023.33-41>
10. Органічна хімія. Опорні схеми, конспекти і таблиці / О. Возняк. Видавництво: Підручники і посібники, 2020. 256 с.
11. Харчова хімія: аналіз та хімічний склад харчових продуктів: навч. посіб. / В.О. Василечко [та ін.]; Львів. торг.-екон. ун-т, Львів. нац. ун-т ім. Івана Франка. Львів: Львів. торг.-екон. ун-т, 2020. 307 с
12. Горяйнова Ю.А. Харчова хімія: навч. посіб. / Ю.А. Горяйнова. Кривий Ріг: ДонНУЕТ, 2020. 100 с.
13. <https://www.labster.com>

## ДОДАТКИ

Таблиця 1

Основні частоти коливань в ІЧ-спектрах

№	Частота см <sup>-1</sup>	*Інтенсивність	Природа коливань	Тип сполуки
1.	3650-3580	В., сер.	$\nu_{OH}$	Розведені розчини спиртів (вузька смуга)
2.	3550-3400	В., сер.	$\nu_{OH}$	Димери спиртів (широка смуга, іноді дві)
3.	3500-3300	В., сер.	$\nu_{NH_2}$	Розведені розчини перв. амінів (дві вузькі смуги)
4.	3450-3200	Сер.	$\nu_{NH}$	Вторинні аміни, заміщені аміді
5.	3550-3520	Сер., м.	$\nu_{OH}$	Розведені розчини кислот
6.	3500-3100	В.	$\nu_{NH_2}$	Розведені розчини амідів
7.	3340-3260	В., сер.	$\nu_{\equiv CH}$	Одно заміщені ацетилени
8.	3450-3280	Сер.	$\nu_{NH}$	Одно заміщені аміді
9.	3200-2500	Сер.	$\nu_{OH}$	Димери кислот (дуже широка смуга з двома максимумами)
10.	3100-3020	Сер., м.	$\nu_{CH}$	Арени
11.	3100-3000	Сер., м.	$\nu_{CH_2}$	Алкени
12.	2975-2950	В.	$\nu_{CH_3}$	Антисиметричні коливання $CH_3$ -групи
13.	2930-2910	Сер.	$\nu_{CH_3}$	Коливання $CH_3$ -групи біля бензольного кільця
14.	2940-2915	М.	$\nu_{CH_2}$	Антисиметричні коливання
15.	2900-2880	М.	$\nu_{CH}$	Алкани
16.	2880-2860	Сер., м.	$\nu_{CH_3}$	Симетричні коливання
17.	2870-2845	М.	$\nu_{CH_2}$	Алкани, симетричні коливання
18.	2830-2695	М.	$\nu_{C(O)H}$	Альдегіди
19.	2600-2550	М.	$\nu_{S-H}$	Меркаптани і тіофеноли
20.	2250-2100	М.	$\nu_{C\equiv C}$	Алкіни. В симетричних алкінах відсутня
21.	2240-2260	М., сер.	$\nu_{C\equiv N}$	Нітрили
22.	1860-1660	Дуже в.	$\nu_{C=O}$	Оксогрупа (див. табл.2)
23.	1680-1600	Сер., м.	$\nu_{C=C}$	Алкени
24.	1650-1580	М.	$\delta_{NH}$	Аміни первинні і вторинні
25.	1625-1475	В., сер., м.	$\nu_{C=C}$	Арени. 2-3 смуги
26.	1565-1510	В., сер.	$\nu_{NO_2}$	Нітросполуки. Асиметричні коливання
27.	1475-1450	Сер.	$\delta_{CH_2}$	Алкани
28.	1450-1300	М.	$\delta_{CH}$	Заміщені етилені

29.	1435-1405	М.	$\delta_{CH_2}$	Коливання $CH_2$ -групи біля $C=O$ групи
30.	1540-1250	Сер.	$\delta_{OH}$	Спирти, феноли, кислоти (широкі смуги)
31.	1395-1365	Сер.	$\delta_{CH_3}$	Гем-Диметильні групи (симетричні коливання)
32.	1385-1375	Сер.	$\delta_{CH_3}$	Метилбензоли
33.	1385-1360	Сер.	$\delta_{NO_2}$	Нітросполуки. Симетричні коливання
34.	1360-1335	В.	$\nu_{SO_2}$	Сильфони. Антисиметричні коливання. Смуги можуть розщеплюватися
35.	1330-1050	В.	$\nu_{C-O}$	Естери
36.	1260-1180	В.	$\delta_{C-O}$	Феноли
37.	1210-1000	В.	$\delta_{C-O}$	Спирти
38.	1160-1140	В.	$\nu_{SO_2}$	Сильфони. Симетричні коливання
39.	1150-1085	В.	$\nu_{C-O-C}$	Етери. Інколи дві смуги
40.	1060-1020	В.	$\nu_{S=O}$	Сульфоксиди
41.	1040-1000	В.	$\nu_{C-O-C}$	Ангідриди кислот
42.	990, 910	В.	$\delta_{=CH_2}$	Алкени
43.	950	В.	$\delta_{C-H}$	Транс. <b><math>R-CH=CH-R</math></b>
44.	900-650	Сер.	$\delta_{NH_2}$	Аміни, широка смуга
45.	920-830	В.	$\nu_{C-N}$	Аліфатичні нітросполуки
46.	860-840	В.	$\nu_{C-N}$	Ароматичні нітросполуки
47.	900-720	В., сер.	$\delta_{C-H}$	Арени
48.	730-665	Сер.	$\delta_{C-H}$	Цис. <b><math>R-CH=CH-R</math></b>
49.	680-610	В.	$\delta_{\equiv C-H}$	Алкіни. Обертон при 1260

**Органічна хімія** [Текст]: Конспект лекцій для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти освітньої програми «Харчові технології» галузі знань G Інженерія, виробництво та будівництво спеціальності G 13 Харчові технології денної та заочної форм навчання. / уклад. В.Я. Шемет – Луцьк: ЛНТУ, 2025. – 80 с.

Комп'ютерний набір  
Редактор

В. Я. Шемет  
В.Я. Шемет

Підп. до друку «\_\_»\_\_\_\_\_2024 р. Формат 60x84/16. Папір офс.  
Гарн. Таймс. Ум. друк. арк. 2,25.  
Тираж 50 прим.

Інформаційно-видавничий відділ  
Луцького національного технічного університету  
43018, м. Луцьк, вул. Львівська, 75  
Друк – ІВВ ЛНТУ