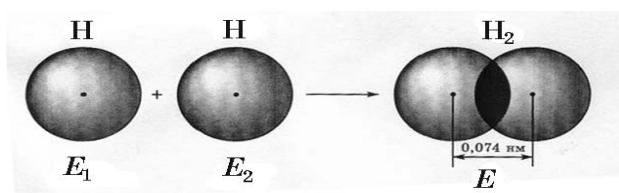


# ЕЛЕКТРОННА БУДОВА ОРГАНІЧНИХ РЕЧОВИН: ДИДАКТИЧНІ МАТЕРІАЛИ

Людмила ВЕЛИЧКО, доктор педагогічних наук, професор, завідувач відділу біологічної, хімічної та фізичної освіти Інституту педагогіки НАПН України

## Основні характеристики ковалентного зв'язку



$$E_1 + E_2 > E$$

Енергія виділяється

Утворення ковалентного зв'язку в молекулі водню

Пригадайте з курсу фізики, з яких видів енергії складається внутрішня енергія системи і від чого вона залежить: кінетична енергія залежить від швидкості руху тіл, що входять у систему, та від їх маси; потенціальна – від взаємного розташування тіл, що взаємодіють, у системі та від сил, що діють між ними. Внутрішня енергія такої системи, як молекула, складається з кінетичної енергії руху електронів навколо ядра та нуклонів у ядрі й потенціальної енергії, що характеризує взаємодію між електронами і ядром. Нульову енергію мають тіла, що не взаємодіють. Система тіл, що притягаються, має негативну енергію. У разі відштовхування тіл енергія системи буде позитивною.

Оскільки в молекулах органічних сполук переважають ковалентні зв'язки, йтиметься саме про них. Згідно з одним з основних принципів механіки система найстійкіша, якщо вона перебуває в стані з мінімумом енергії. Отже, молекула (стійка система) утворюється, якщо з наближенням атомів повна внутрішня енергія системи зменшується (енергія молекули менша від суми енергії окремих атомів). Проте наближення атомів можливе до певної межі, бо далі зростають сили відштовхування між ядрами. Відстань між ядрами атомів, що відповідає мінімуму енергії молекули, визначає, **довжину** хімічного зв'язку.

Ще один параметр хімічного зв'язку – **енергія**. Її можна розглядати як енергію, яку треба затратити для розриву хімічного зв'язку. Інакше кажучи, щоб розірвати зв'язок, треба затратити певну енергію. Отже, мірою міцності зв'язку може бути кількість енергії, що

© Величко Л. П., 2022

витрачається на його розривання. Що більша енергія зв'язку, то він міцніший.

Енергія зв'язку тісно пов'язана з між'ядерною відстанню. Що більше перекриваються електронні орбіталі, то менша відстань між ядрами, то більше виділяється енергії. Знаючи довжину зв'язку, можна приблизно робити припущення про його енергію і навпаки. Що більша енергія і менша довжина зв'язку, то він міцніший.

Поняття **полярності** ковалентного зв'язку відоме вам також із курсу неорганічної хімії.

У разі полярного зв'язку відбувається зміщення електронної густини зв'язку до більш електронегативного атома, і на ньому з'являється частковий негативний заряд. Полярність зв'язку свідчить про нерівномірний розподіл електронної густини в молекулі, часткові заряди на атомах впливають на реакційну здатність молекули.

Полярність, енергія та довжина ковалентного зв'язку не вичерпують усіх його характеристик. Вам відомо про їхню **просторову напрямленість**, яку розглянемо згодом.

Розривання ковалентного зв'язку

Розривання ковалентного зв'язку можливе двома шляхами: за **радикальним** або **йонним** механізмом:



Радикальний  
(гомолітичний)

Йонний  
(гетеролітичний)

У разі радикального механізму (гомолітичного) утворюються частинки з неспареними електронами, вони називаються радикалами. Ви можете пригадати, що реакція заміщення Гідрогену на галоген у насичених вуглеводнях відбувається з утворенням дуже активного радикала Хлору, який ініціює ланцюгову реакцію.

За йонним механізмом (гетеролітичним) розривається зв'язок у молекулі бромиду під час реакції приєднання бромиду до ненасиченого вуглеводню.

Зробимо висновки.

1. Для органічних сполук найхарактернішим типом хімічного зв'язку є ковалентний.

2. Ковалентний зв'язок характеризується довжиною, енергією, полярністю, а також напрямленістю в просторі.

3. Існують два способи розривання ковалентного зв'язку: з утворенням йонів або вільних радикалів.

**Довжина зв'язку** – відстань між ядрами атомів у молекулі, що відповідає мінімуму енергії.

**Енергія зв'язку** – енергія, що виділяється під час утворення зв'язку окремими атомами, або енергія, необхідна для розривання зв'язку.

**Полярність зв'язку** – розподіл електронної густини в молекулі.

**Напрявленість зв'язку** в просторі – кути між зв'язками (для атомів елементів, що виявляють валентність два і вище від двох).

**Завдання**

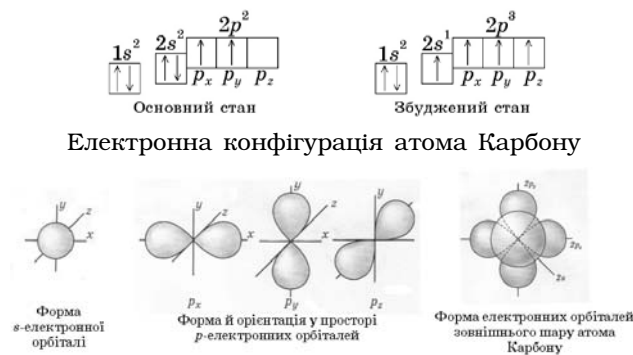
1. Користуючись таблицею відносної електронегативності елементів, порівняйте полярність зв'язків Н—СІ і Н—Вг у молекулах гідроген хлориду і гідроген броміду. Яка молекула є більш полярною?

2. Які види хімічних зв'язків відомі вам? Наведіть приклади сполук.

3. За одним із принципів механіки стійка система має мінімум енергії. Поясніть за малюнком на с. 00, як узгоджується із цим принципом утворення молекули водню з окремих атомів.

**Електронна будова вуглеводнів**

Пригадайте електронну конфігурацію атома Карбону в основному й збудженому станах. Унаслідок переміщення одного 2s-електрона на вільну 2p-орбіталь атом має чотири неспарені електрони, що здатні утворювати ковалентні зв'язки.



**Завдання**

1. Як ви розумієте термін «електронна орбіталь»?

2. Опишіть за малюнком форми електронних орбіталей атома Карбону.

3. Чи має атом Карбону в основному стані неспарені електрони? Незаповнені орбіталі?

4. Порівняйте атом Карбону в основному й збудженому станах.

**Утворення простого зв'язку**

Молекула метану утворюється за допомогою чотирьох ковалентних зв'язків між атомами Карбону та Гідрогену. Ці зв'язки спрямовуються у просторі під кутами 109,5° (тетраедричні кути). Така будова молекули метану зумовлена електронною будовою атома Карбону. s- і p-Електронні орбіталі мають різну форму: перші — форму кулі, другі – форму гантелі (об'ємної вісімки). Очевидно, внаслідок перекривання цих електронних орбіталей з s-електронними орбіталями атомів Гідрогену мали б утворитися нерівноцінні зв'язки С—Н. Однак відомо, що в молекулі метану всі зв'язки однакові, тобто утворені однаковими електронними орбіталями.

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

У молекулі метану змішуються одна s- і три p-орбіталі, утворюючи чотири нові рівноцінні sp³-гібридні орбіталі. Вони спрямовані від центра до вершин тетраедра під кутом одна відносно одної 109,5°. Цей вид гібридизації електронів називають sp³-гібридизацією.

Описана форма електронних орбіталей атома Карбону забезпечує максимальне перекривання їх з електронними орбіталями атомів Гідрогену, що супроводжується утворенням т. зв. σ-зв'язків.

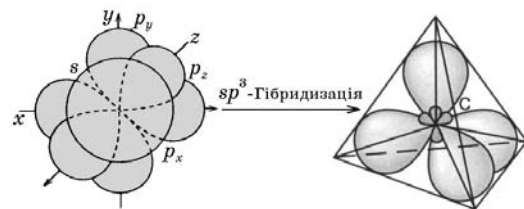


Схема утворення sp³-гібридних орбіталей атома Карбону

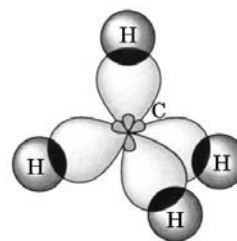
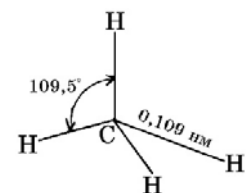


Схема утворення σ-зв'язків у молекулі



Геометрія молекули метану метану

У молекулах алканів, як і метану, валентні електрони атомів Карбону перебувають у

стані  $sp^3$ -гібридизації. Гібридні електронні орбіталі, перекриваючись між собою та з  $s$ -електронними орбітальми атомів Гідрогену, утворюють  $\sigma$ -зв'язки. Довжина зв'язків C—C становить 0,154 нм, енергія зв'язків C—C – 348 кДж/моль.

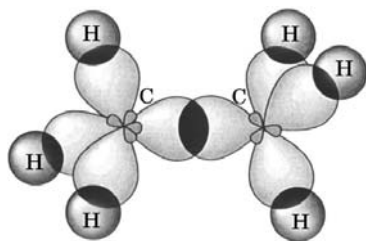
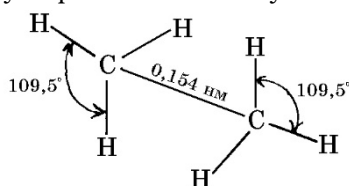
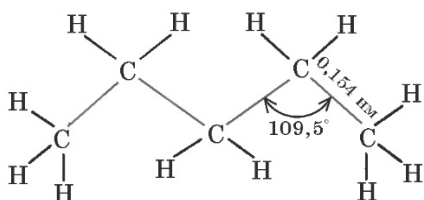


Схема утворення  $\sigma$ -зв'язків у молекулі етану



Геометрія молекули етану

Завдяки обертанню атомів Карбону навколо  $\sigma$ -зв'язків молекула алкану може набути різних просторових форм (конформацій), з яких енергетично найвигіднішою є зигзагоподібна, оскільки в цьому разі атоми максимально віддалені один від одного.



Зигзагоподібна будова карбонового ланцюга

#### Завдання

1. Які електронні орбіталі атома Карбону беруть участь у  $sp^3$ -гібридизації? Як змінюється їхня форма?

2. Поясніть, як гіпотеза гібридизації пояснює рівноцінність хімічних зв'язків у молекулі метану і її тетраедричну будову.

3. Поясніть, чому карбоновий ланцюг має зигзагоподібну будову.

4. Назвіть ознаки будови молекул алканів за такою схемою: тип гібридизації електронних орбіталей атома Карбону; довжина зв'язку C—C; енергія зв'язку C—C; валентний кут; вид ізомерії.

#### Утворення подвійного зв'язку

Знову звернемося до електронної будови атома Карбону в збудженому стані. Згідно з гіпотезою гібридизації у момент утворення молекули етену  $s$ -електронна орбіталь гібридується з двома  $p$ -електронними орбітальми, внаслідок чого утворюються три нові  $sp^2$ -гібридні електронні орбіталі.

Якщо уявити ядро атома Карбону в центрі трикутника, то  $sp^2$ -гібридні орбіталі напрямлені до його вершин, кут між ними становить  $120^\circ$ .

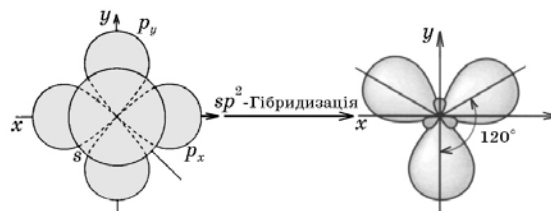


Схема утворення трьох  $sp^2$ -гібридних електронних орбіталей атома Карбону  
Гібридні електронні орбіталі двох атомів Карбону, перекриваючись, утворюють  $\sigma$ -зв'язок.

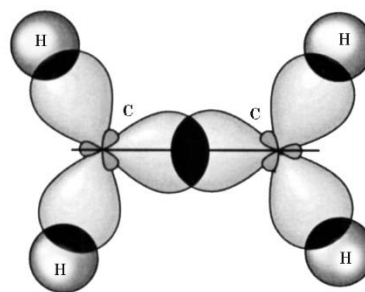


Схема утворення  $\sigma$ -зв'язків у молекулі етену

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

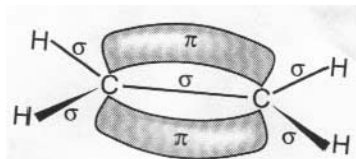
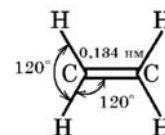


Схема утворення  $\pi$ -зв'язку в молекулі етену



Геометрія молекули етену

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

Довжина подвійного C—C-зв'язку в молекулі етену — 0,134 нм — менша, ніж у молекулі етану, оскільки в утворенні подвійного зв'язку беруть участь чотири електрони (по два від кожного атома Карбону), а простого — лише

два електрони. Позитивно заряджені ядра атомів Карбону в молекулі етену зв'язуються сильніше, ніж у молекулі етану, оскільки між ними містяться електрони, які мають більший сумарний негативний заряд.

**Завдання**

1. Поясніть за малюнком, які електронні орбіталі атома Карбону беруть участь у  $sp^2$ -гібридизації.

2. Як утворюється подвійний зв'язок у молекулі етину?

3. Як позначається спосіб утворення карбон-карбонового зв'язку в молекулі етину на її геометрії порівняно з молекулою етану?

4. Запишіть ознаки будови молекул алкенів за такою схемою: тип гібридизації електронних орбіталей атома Карбону; довжина подвійного зв'язку C—C; енергія подвійного зв'язку C—C; валентний кут; вид ізомерії.

5. Чи можливе вільне обертання атомів навколо подвійного зв'язку? Як це позначається на ізомерії молекул алкенів?

**Утворення потрійного зв'язку**

Згідно з гіпотезою гібридизації атоми Карбону в молекулі етину перебувають у стані  $sp$ -гібридизації. Це означає, що  $s$ -електронна орбіталь «зміщується» з однією з трьох  $p$ -електронних орбіталей з утворенням двох  $sp$ -гібридних електронних орбіталей, а дві інші  $p$ -електронні орбіталі залишаються негібридними.

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

Унаслідок перекривання негібридних  $p$ -електронів утворюються два  $\pi$ -зв'язки. Ділянки перекривання  $p$ -електронів розміщуються поза віссю  $\sigma$ -зв'язку. Електронна густина двох  $\pi$ -зв'язків об'єднується, набуваючи циліндричної форми, всередині якої зосереджується  $\sigma$ -зв'язок.

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

Довжина потрійного зв'язку (0,120 нм) менша порівняно з подвійним, а його енергія більша (839 кДж/моль).

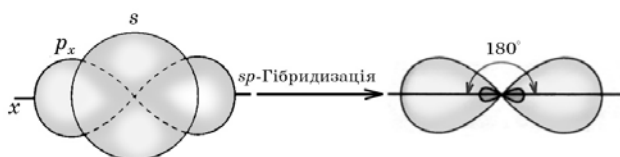


Схема утворення  $sp$ -гібридних електронних орбіталей атома Карбону



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

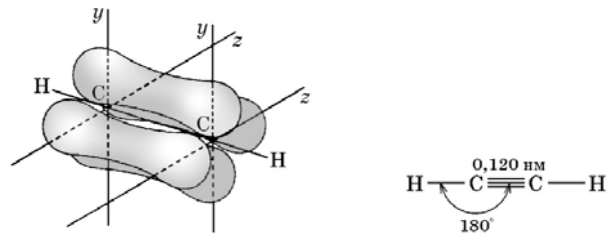


Схема утворення  $\pi$ -зв'язків у молекулі етину      Геометрія молекули етину

**Завдання**

1. Схарактеризуйте атом Карбону в стані  $sp$ -гібридизації.

2. Поясніть, як утворюється потрійний зв'язок між атомами Карбону.

3. Запишіть ознаки будови молекул алкінів за такою схемою: вид гібридизації електронних орбіталей атома Карбону; довжина потрійного зв'язку C—C; енергія потрійного зв'язку C—C; валентний кут; вид ізомерії.

4. Порівняйте будову алканів, алкенів і алкінів.

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

**Утворення ароматичного зв'язку**

Згідно із сучасними уявленнями молекула бензену є плоским правильним шестикутником, у вершинах якого розміщуються атоми Карбону, що перебувають у стані  $sp^2$ -гібридизації. Кожен атом утворює по три  $\sigma$ -зв'язки (два – із сусідніми атомами Карбону й один – з атомом Гідрогену) завдяки гібридним електронним орбіталям.

Негібридні  $p$ -електронні орбіталі сусідніх атомів Карбону, перекриваючись між собою з обох боків, утворюють спільну  $\pi$ -електронну хмару, густина якої локалізована над і під площиною молекули. У цьому разі кажуть про *спряжену  $\pi$ -електронну систему*, в якій електронна густина рівномірно розподілена (делокалізована) між усіма атомами Карбону. Завдяки цьому C—C – зв'язки вирівняні, їхня довжина є проміжною між довжинами простих і подвійних зв'язків і становить 0,140 нм (їх називають *полуторними* і позначають C—C). Енергія зв'язків – 412 кДж/моль. Валентний кут у молекулі бензену становить  $120^\circ$ .

$\pi$ -Електронна система стабілізує плоску молекулу бензену, що підтверджують наведені нижче міркування. Припустимо, що молекула бензену згідно з формулою Кекуле справді містить три подвійні зв'язки, тобто бензен є циклогексатріеном. Унаслідок згоряння такої сполуки мало б виділитися 3453 кДж/

моль теплоти. Насправді ж виділяється лише 3303 кДж/моль, тобто молекула бензену містить енергії менше на 150 кДж/моль. Цю різницю називають енергією спряження, завдяки їй молекула бензену набуває більшої стабільності.

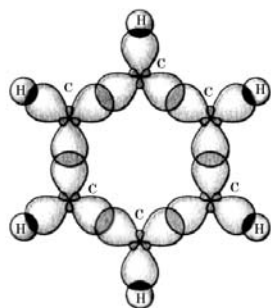


Схема утворення  $\sigma$ -зв'язків у молекулі бензену

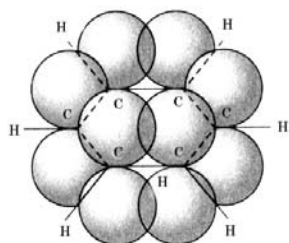


Схема перекривання  $p$ -електронних орбіталей у молекулі бензену

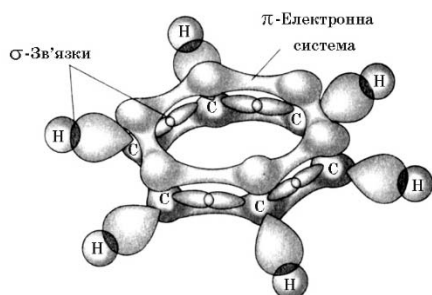
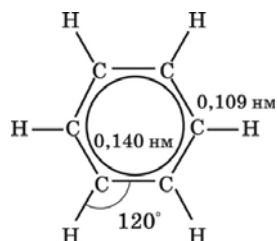


Схема утворення  $\pi$ -електронної системи в молекулі бензену



Геометрія молекули бензену

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



На практиці хіміки найчастіше користуються формулою Кекуле як найзручнішою, однак пам'ятають про її недосконалість.

#### Завдання

1. Яка з відомих вам структурних формул бензену найточніше відображає його хімічну суть?

2. Запишіть ознаки будови молекули бензену за відомою вам схемою.

3. Схарактеризуйте ароматичний зв'язок порівняно з простим і подвійним.

4. Складіть формули можливих ізомерів пропілбензену.

#### Електронна будова функціональних груп Утворення хімічних зв'язків у гідроксильній групі

Між атомами в молекулах спиртів встановлюються ковалентні зв'язки. Щоб з'ясувати, як вони утворюються, порівняємо будову молекул метану, води й метанолу. Валентні кути в цих молекулах близькі й становлять відповідно  $109,5^\circ$ ,  $105^\circ$  і  $108^\circ$ . Можна припустити, що атом Оксигену, так само, як і атом Карбону, перебуває у стані  $sp^3$ -гібридації.

Дві з чотирьох гібридних електронних орбіталей атома Оксигену зайнято електронними парами, а дві інші – одноелектронні й можуть утворювати  $\sigma$ -зв'язки з іншими атомами. Унаслідок відштовхування електронних пар відбувається зменшення тетраедричного валентного кута порівняно з метаном, у молекулі якого всі гібридні хмари – одноелектронні.

У молекулі метанолу Оксиген утворює  $\sigma$ -зв'язки внаслідок перекривання  $sp^3$ -гібридних електронних орбіталей із  $s$ -електронною орбіталлю атома Гідрогену та  $sp^3$ -гібридною електронною орбіталлю атома Карбону.

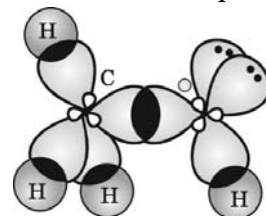
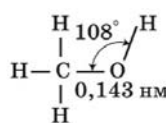
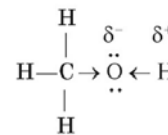


Схема утворення  $\sigma$ -зв'язків у молекулі метанолу



Геометрія молекули метанолу



Зміщення електронної густини в молекулі метанолу

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

#### Завдання

1. Поясніть вплив атома Оксигену на розподіл електронної густини в молекулі спирту.

2. Які види ізомерії властиві насиченим одноатомним спиртам? Наведіть приклади.

**Утворення хімічних зв'язків у карбонільній групі**

У карбонільній групі атом Карбону утворює три  $\sigma$ -зв'язки, розміщені під кутом  $120^\circ$  один до одного. Виходячи з цього, цілком імовірно, що атоми Карбону й Оксигену перебувають у стані  $sp^2$ -гібридизації, і  $\sigma$ -зв'язок між ними утворюється завдяки перекриванню гібридних електронних хмар.

Як саме відбувається  $sp^2$ -гібридизація електронних орбіталей в атома Оксигену? Його електронна формула  $1s^2 2s^2 2p^4$ :



У момент утворення молекули внаслідок «змішування» двох  $s$ - і трьох  $p$ -електронних орбіталей (разом п'ять) утворюються три гібридні електронні орбіталі, з яких дві мають по два електрони, а одна – один електрон. Одноелектронна орбіталь перекривається з такою атома Карбону з утворенням  $\sigma$ -зв'язку.

Негібридні  $p$ -електронні орбіталі атомів Карбону й Оксигену перекриваються з утворенням  $\pi$ -зв'язку. Так між атомами Карбону й Оксигену встановлюється подвійний зв'язок. Із подібною схемою утворення зв'язку ви ознайомилися під час вивчення будови етену.

Слід зазначити, що гібридизація електронних орбіталей атомів Оксигену – це також наукова гіпотеза.

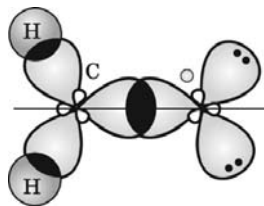


Схема утворення  $\sigma$ -зв'язків у молекулі метаналю

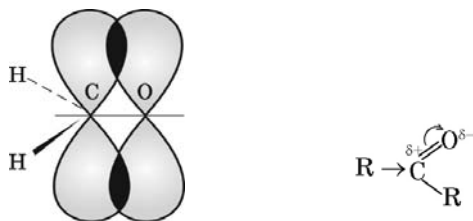


Схема утворення  $\pi$ -зв'язку в молекулі метаналю

**Завдання**

1. Що є спільного в будові молекул алкенів і альдегідів?

**Утворення хімічних зв'язків у карбоксильній групі**

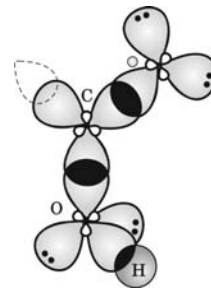


Схема утворення  $\sigma$ -зв'язків у карбоксильній групі

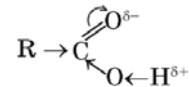
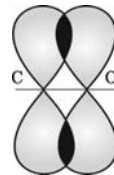


Схема утворення  $\pi$ -зв'язку в карбонільній групі

Зміщення електронної густини в молекулі карбонової кислоти

**Завдання**

1. Поясніть розподіл електронної густини в молекулі етанової кислоти. Як це позначається на її фізичних і хімічних властивостях?

**Утворення хімічних зв'язків у аміногрупі**

Оскільки аміни розглядають як похідні амоніаку, пригадаємо будову його молекули. Експериментально встановлено, що молекула амоніаку має форму піраміди, кути між зв'язками становлять  $107^\circ$ , тобто близькі до тетраедричного ( $109,5^\circ$ ). Близькі до нього й валентні кути в молекулі триметанаміну –  $108^\circ$ . Звідси можна припустити, що атом Нітрогену перебуває у стані  $sp^3$ -гібридизації.

Унаслідок «змішування»  $2s$ - і  $2p$ -електронних орбіталей утворюються чотири  $sp^3$ -гібридні електронні орбіталі, що належать п'яти електронам зовнішнього електронного шару атома Нітрогену. Неподілена електронна пара займає одну із  $sp^3$ -гібридних орбіталей, це впливає на розмір валентного кута, що стискується порівняно з тетраедричним до  $108^\circ$ .

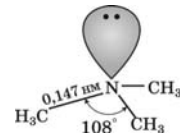
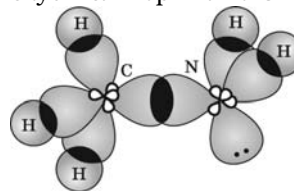


Схема утворення  $\sigma$ -зв'язків у молекулі метанаміну

Геометрія молекули триметанаміну

**Завдання**

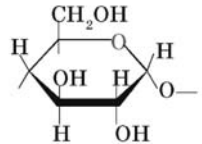
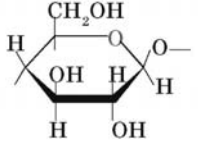
1. Порівняйте будову молекул метану й триметанаміну.  
2. Укажіть, які властивості амінів зумовлює неподілена електронна пара в атома Нітрогену.

- А** кислот
- Б** основ

- В** амфотерних сполук
- Г** солей

## Будова вуглеводів

## Порівняння будови крохмалю й целюлози

Характеристика	Крохмаль	Целюлоза
Склад макромолекул	$(C_6H_{10}O_5)_n$	$(C_6H_{10}O_5)_n$
Ступінь полімеризації	У целюлози вищий	
Середня відносна молекулярна маса	Від кількох сотень до кількох тисяч	Кілька мільйонів
Форма макромолекули	Лінійна, розгалужена	Лінійна
Мономерна ланка макромолекули	Залишок а-глюкози 	Залишок б-глюкози 

## Завдання

1. Поясніть, що спільного й відмінного є в будові крохмалю й целюлози.

2. Що таке амілопектин? Амілоза? У чому полягає відмінність їхньої будови?

## Будова білків

За хімічним характером білки є полімерами, хоча, на відміну від поліетилену чи целюлози, білки мають сталий склад і певне значення відносної молекулярної маси. Для білків, склад яких вивчено, можна скласти брутто-формулу, наприклад для білка гемоглобіну це  $-C_{3032}H_{4816}Fe_4N_{780}O_{872}S_8$ . Заміна хоча б однієї амінокислоти в полімерному ланцюзі на іншу амінокислоту має значні наслідки для його функціонування в організмі.

Мономерну ланку білка виділити неможливо, оскільки послідовність амінокислот у кожного білка своя, унікальна, регулярно повторювані фрагменти у відомих білках не виявлено. Через це поняття ступеня полімеризації втрачає первісний зміст. Може йтися лише про число пептидних зв'язків у полімерному ланцюзі.

Розрізняють чотири рівні структурної організації білків – первинну, вторинну, третинну і четвертинну.

**Первинну** структуру зумовлює послідовність сполучення амінокислотних залишків у молекулі білка.

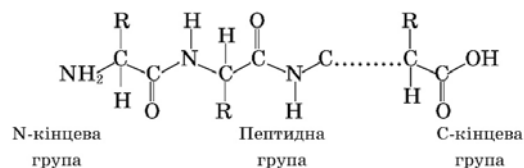
Самі амінокислоти дуже різняться за складом, містять різні за електронегативністю атоми Гідрогену, Оксигену, Нітрогену, Сульфуру. Ці атоми взаємодіють між собою, «змушуючи» поліпептидний ланцюг вигинатися і

набувати просторової будови. Завдяки утворенню водневих зв'язків між пептидними групами певні ділянки білка можуть скручуватися у формі спіралі (**вторинна** структура).

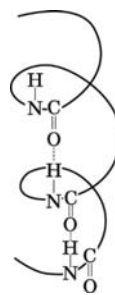
Між ділянками полімерного ланцюга, де є залишки сульфуровмісних амінокислот, можуть утворюватися дисульфідні містки, а між карбоксильними й аміногрупами – сольові містки. Як наслідок – відбувається специфічна просторова орієнтація полімерного ланцюга, що й зумовлює **третинну** структуру білка.

Установлено, наприклад, що молекула міоглобіну містить 153 амінокислотних залишки, відносна молекулярна маса його становить 16700. Полімерний ланцюг має вісім відносно прямолінійних відрізків, кожний із яких — це спіраль, що містить від 7 до 23 амінокислотних залишків (мал.139, в).

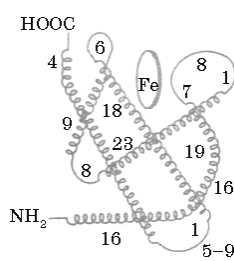
Деякі білки характеризуються **четвертинною** структурою. У білку гемоглобіну цю структуру створюють чотири макромолекули, певним чином зорієнтовані одна відносно одної. У складі кожної макромолекули міститься йон  $Fe^{2+}$ . Отже, утворюється білковий комплекс, що виконує певну функцію в організмі.



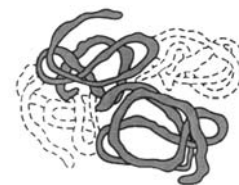
а



б



в



г

Рівні структурної організації білків:

а – первинна; б – вторинна; в – третинна;  
г – четвертинна структури

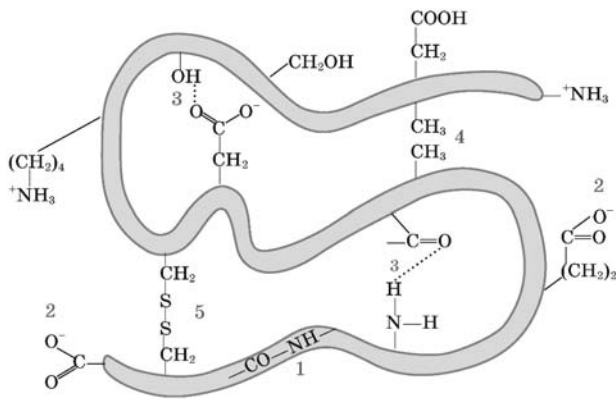
## Завдання

1. Схарактеризуйте рівні структурної організації білків за наведеними схемами.

2. Поясніть, чому вивчення складу й будови білків є складним завданням.

3. Поясніть за малюнком утворення хімічних зв'язків у макромолекулі білка.

4. Яку загальну тезу щодо особливостей органічних сполук підтверджують дані таблиці?



Хімічні зв'язки в макромолекулах білків:  
 1 – пептидні; 2 – йонні; 3 – водневі; 4 – неполярні; 5 – дисульфідні

**Характеристики деяких білків**

Назва	Відносна молекулярна маса	Поширення в природі
Інсулін	6 000	У підшлунковій залозі
Альбумін	45 000	У пташиних яйцях
Глобін гемоглобіну	667 000	У червоних кров'яних тільцях
Вірус тютюнової мозаїки	41 000 000	У хворих рослин тютюну

**Будова нуклеїнових кислот**

Існують два типи нуклеїнових кислот (НК): до складу одних входить моносахарид рибоза, а до складу інших – дезоксирибоза. Відповідно кислоти було названо *рибонуклеїновою* (РНК) і *дезоксирибонуклеїновою* (ДНК).

Отже, у складі НК поєднуються нітрогеномісні гетероцикли (азотисті основи), моносахариди і залишок ортофосфатної кислоти. До того ж НК є полімерними сполуками. У молекулі НК азотиста основа сполучена з моносахаридом – цей фрагмент називають *нуклеозидом*. Нуклеозид, сполучений із залишком ортофосфатної кислоти, утворює *нуклеотид*.

Нуклеотиди є мономерними ланками полімерного ланцюга НК.



ДНК і РНК містять різні азотисті основи. До складу ДНК входять аденін, гуанін, тимін, цитозин, до складу РНК — аденін, гуанін, цитозин, урацил.

**Склад РНК і ДНК**

У макромолекулах ДНК і РНК з'єднуються тисячі нуклеотидів. Молекулярна маса НК становить від декількох сотень тисяч до декількох мільярдів.

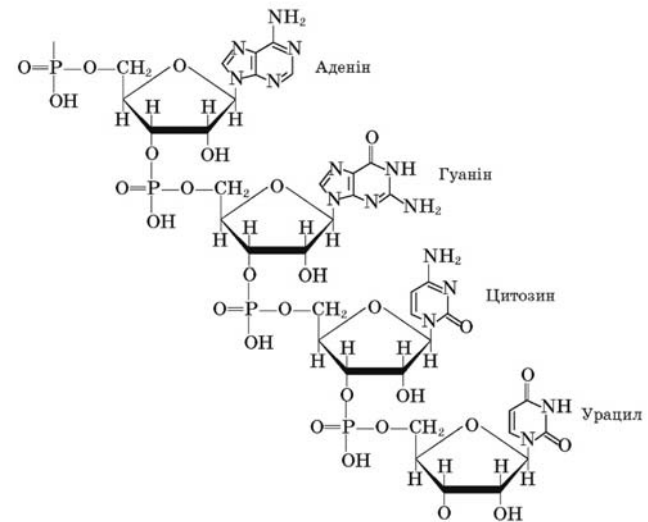
Послідовність розміщення нуклеотидів зумовлює *первинну структуру* НК.

Складові частини нуклеїнових кислот	РНК	ДНК
Залишок кислоти	Фосфатної	Фосфатної
Залишок моносахариду	Рибози	Дезоксирибози
Залишок азотистих основ	Аденіну, гуаніну, урацилу	Аденіну, гуаніну, цитозину, тиміну

**Подвійна спіраль ДНК. Вторинна структура** краще вивчена для ДНК. Це два полінуклеотидні ланцюги, що закручені в подвійну спіраль. Кожна азотиста основа одного ланцюга спрямована вглиб спіралі й сполучена водневим зв'язком з азотистою основою другого ланцюга. Важливим є те, що аденін завжди розміщується в парі з тиміном, а цитозин – з гуаніном.

Отже, азотисті основи ніби доповнюють одна одну. Інакше кажучи, вони розміщуються згідно з *принципом комплементарності* (від лат. *complementum* – доповнення).

Подвійну спіраль ДНК порівнюють із гвинтовими сходами. «Стояки» сходів – це ланцюги з вуглеводних і фосфатних груп, а азотисті основи утворюють власне «східці».



Фрагмент полімерного ланцюга нуклеїнової кислоти

**Завдання**

1. Якій молекулі належить наведений фрагмент: РНК чи ДНК?
2. Яке відкриття, що стосується структури ДНК, було удостоєно Нобелівської премії? Хто автор цього відкриття?

**Спектральні методи встановлення будови органічних речовин**

Для встановлення структури речовин використовують різноманітні хімічні та фізич-



ні методи, найважливіші з останніх — спектральні.

Методи спектроскопії ґрунтуються на явищі взаємодії речовини з електромагнітним випромінюванням.

Електромагнітні хвилі, «зустрічаючись» з речовиною, проходять крізь неї або поглинаються. У разі поглинання енергія хвилі витрачається на зміну внутрішньої енергії речовини: відбувається збудження окремих структурних фрагментів молекул.

На шкалі електромагнітних хвиль ультрафіолетове (УФ-) випромінювання займає діапазон від  $0,4 \cdot 10^{-6}$  до  $0,5 \cdot 10^{-8}$  м, інфрачервоне (ІЧ-) – від  $0,76 \cdot 10^{-6}$  до  $3,5 \cdot 10^{-8}$  м.

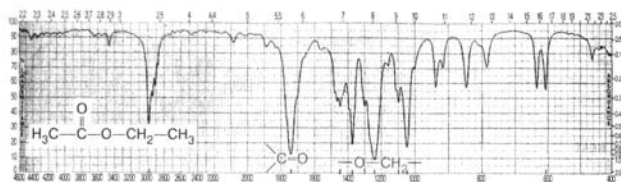
Поглинання в УФ-ділянці спектра пов'язано з тим, що валентні електрони переходять на вищі енергетичні рівні; поглинання в ІЧ-ділянці спричиняє зміни коливальних рухів атомів і груп атомів у молекулі.

Графік, що показує, яка ділянка електромагнітного випромінювання поглинається, називають *спектром речовини*, а ділянку найінтенсивнішого поглинання — *смугою поглинання*.

### Інфрачервона спектроскопія

Складено спеціальні каталоги спектрів, за якими можна порівнювати відомі й невідомі сполуки. Аналізуючи смуги поглинання, можна виявити наявність різних груп атомів у молекулі й отримати інформацію про структуру невідомої речовини.

Розгляньте ІЧ-спектр етилового естеру етанової кислоти  $\text{CH}_3\text{—COO—CH}_2\text{—CH}_3$ .



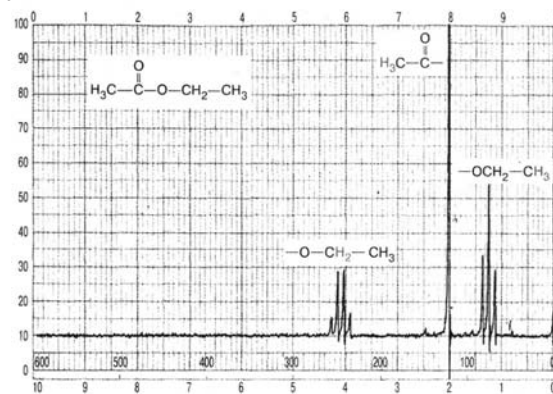
Інфрачервоний спектр етилового естеру етанової кислоти (етилетаноату)

Наявність смуги поглинання в ділянці  $1742 \text{ см}^{-1}$  свідчить про валентні коливання групи  $\text{C=O}$ , а у ділянці  $1240 \text{ см}^{-1}$  — про валентні коливання зв'язку  $\text{—O—CH}_2\text{—}$ .

**Спектроскопія ядерного магнітного резонансу (ЯМР)** ґрунтується на тому, що речовина, вміщена в сильне магнітне поле, поглинає випромінювання в ділянці радіохвиль. Але це стосується лише речовин, які містять атоми з ядрами, що мають власний магнітний момент і поводяться, як маленькі магніти. Магнетизм властивий ядрам атомів  $^1\text{H}$ ,  $^{13}\text{C}$ ,  $^{19}\text{F}$  та деяким іншим. Під час поглинання випромінювання власне магнітне поле ядер входить у резонанс із зовнішнім радіочастотним випромінюванням. У стані резонансу ядра пе-

реорієнтовуються в магнітному полі. На це витрачається певна енергія, яка фіксується спектрометром і відтворюється у вигляді графіка – спектра ЯМР.

Для органічної хімії важливо, що у складі всіх органічних сполук містяться атоми Гідрогену. Вони поглинають радіохвилі різної довжини (частоти) не лише залежно від атомів, з якими безпосередньо сполучені, а й від атомів та груп, не зв'язаних із ними хімічно, тому спектр ЯМР має кілька піків різної інтенсивності. За таким спектром можна робити висновок про розподіл та кількість атомів Гідрогену в молекулі речовини, тобто про її структуру. ЯМР-Спектр етилового естеру етанової кислоти, зображений на малюнку, засвідчує резонанс атомів Гідрогену груп  $\text{—CH}_3$  і  $\text{—CH}_2\text{—}$  у фрагменті  $\text{—O—CH}_2\text{—CH}_3$ , і групи  $\text{—CH}_3$  у фрагменті  $\text{CH}_3\text{—CO—}$ .



Спектр ЯМР етилового естеру етанової кислоти (етилетаноату)

### Завдання

1. Які типи електромагнітного випромінювання відомі вам із курсу фізики?
2. Назвіть у порядку зменшення довжини хвилі: радіохвилі, інфрачервоні, видимі, ультрафіолетові, рентгенівські, гамма-промені.
3. Поясніть фізичну суть спектральних методів дослідження речовин.
4. Підготуйте повідомлення про застосування методу ЯМР у медицині.
5. Будова молекул органічних речовин розглядається у трьох аспектах: хімічна, просторова й електронна будова. Установіть відповідність між характеристикою органічної сполуки й аспектом будови, який вона виражає.

**А** хімічна будова

**Б** просторова будова

**В** електронна будова

**1** органічні речовини горючі

**2** алканам властива структурна ізомерія

**3** олеїнова й елаїдинова кислоти – ізомери

**4** електронні орбіталі можуть гібридуватися