

МІНІСТЕРСТВО ОХОРОНИ ЗДОРОВ'Я УКРАЇНИ  
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ МЕДИЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

**БУДОВА, ВЛАСТИВОСТІ ТА БІОЛОГІЧНЕ ЗНАЧЕННЯ  
ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ПОХІДНИХ КАРБОНОВИХ КИСЛОТ  
(ГІДРОКСИ-, КЕТО- ТА ФЕНОЛОКИСЛОТ).**

**АМІНОКИСЛОТНИЙ СКЛАД БІЛКІВ ТА ПЕПТИДІВ. СТРУКТУРНА  
ОРГАНІЗАЦІЯ БІЛКІВ. ДЕНАТУРАЦІЯ.**

Методичні вказівки для самостійної роботи студентів 1-го курсу  
з біологічної та біоорганічної хімії

Затверджено  
Вченою радою університету  
протокол № 2 від 22.02.2018

Харків  
2018

Будова, властивості та біологічне значення функціональних похідних карбонових кислот (гідрокси-, кето- та фенолокіслот). Амінокислотний склад білків та пептидів. Структурна організація білків. Денатурація.: метод. вказ. для студентів 1-го курсу виклад. / уклад. Сирова Г.О., Каліненко О.С., Петюніна В.М. та ін. – 2-е вид., переробл., випр., доп. – Харків: ХНМУ, 2018. – 36 с.

Укладачі:

Г.О. Сирова,  
О.С. Каліненко,  
В.М. Петюніна,  
В.О. Макаров,  
С.В. Андрєєва,  
Л.В. Лук'янова,  
С.М. Козуб,  
Т.С. Тішакова,  
О.Л. Левашова,  
О.В. Савельєва,  
Н.М. Чаленко,  
О.О. Завада,  
Н.В. Копотєва,  
М.О. Водолаженко  
Г.О. Чистякова

**Заняття № 4 «Будова, властивості та біологічне значення функціональних похідних карбонових кислот (гідрокси-, кето- та фенолокислот). Амінокислотний склад білків та пептидів. Структурна організація білків. Денатурація»**

**Кількість годин - 4.**

**Матеріальне та методичне забезпечення теми.**

Таблиці:

1. Графологічна структура теми.
2. Кето-енольна форма ацетооцтового ефіру.
3. Перетворення ацетооцтової кислоти в організмі.
4. Оптичні ізомери винної кислоти.
5. Найважливіші оксикислоти.
6. Властивості гідроксикислот.
7. Моделі асиметричних молекул молочної кислоти.
8. Енантіомери.
9. Амінокислоти.
10. Незамінні амінокислоти.
- 11.Метаболічні перетворення амінокислот.
- 12.Реакції переамінування.
13. Біохімічні перетворення триптофану.

**Навчально-методична література:**

1. Біологічна і біоорганічна хімія: базовий підручник: у 2 кн./кол.авт.; за ред. чл.-кор. НАМН України, проф. Б.С. Зіменського, проф. І.В. Ніженковської. – Кн. 1: Біоорганічна хімія / [Б.С. Зіменковський, В.А. Музиченко, І.В. Ніженковська, Г.О. Сирова]; за ред. Б.С. Зіменського, проф. І.В. Ніженковської. – К.: ВСВ «Медицина», 2014. – 272 с.
2. Основи біоорганічної хімії (навчальний посібник) / Сирова Г.О., Петюніна В.М., Макаров В.О., Лук'янова Л.В. – «Полосата типографія». – 2018. – 238 с.
3. Будова, властивості та біологічне значення функціональних похідних карбонових кислот (гідрокси-, кето- та фенолокислот). Амінокислотний склад білків та пептидів. Структурна організація білків. Денатурація.: метод. вказ. для студентів 1-го курсу виклад. / уклад. Сирова Г.О., Петюніна В.М., Макаров В.О. та ін. – 2-е вид., переробл., випр., доп. – Харків: ХНМУ, 2018. – 35 с.

4. Конспект лекцій.
5. Гідрокси- та оксокислоти. гетерофункціональні сполуки бензольного ряду. метаболіти та родоначалники лікарських засобів: Метод. вказ. для студентів 1-го курсу/уклад. Г.О. Сирова, Л.Г. Шаповал, В.М. Петюніна, Є.Р. Грабовецька, Н.М. Ткачук, В.О. Макаров, С.В. Андрєєва, С.А. Наконечна, Л.В. Лук'янова, Р.О. Бачинський, С.М. Козуб, Т.С. Тішакова, О.Л. Левашова, Н.В. Вакуленко, Н.М. Чаленко.–Харків: ХНМУ, 2013.– 25 с.
6. Амінокислоти, пептиди, білки: Метод. вказ. для студентів 1-го курсу / уклад. Г.О. Сирова, Л.Г. Шаповал, В.М. Петюніна, Є.Р. Грабовецька, Н.М. Ткачук, В.О. Макаров, С.В. Андрєєва, С.А. Наконечна, Р.О. Бачинський, С.М. Козуб, Т.С. Тішакова, Л.В. Лук'янова, О.Л. Левашова, Н.В. Вакуленко, Н.М. Чаленко.–Харків: ХНМУ, 2013.– 31 с.

### **Обґрунтування теми**

Гідрокси-, оксокислоти і амінокислоти в біологічних системах виконують важливі фізіологічні функції. В циклі Кребса, який забезпечує основні потреби організму в енергії, перетворюються гідроксикислоти (лимонна, ізолимонна, яблучна), оксокислоти (щавлевооцтова,  $\alpha$ -кетоглутарова). Оксокислоти приймають участь в біосинтезі замінних амінокислот (трансамінування). Саліцилова кислота та її похідні – лікарські засоби.

$\alpha$ -Амінокислоти є мономерами білків – речовин, які складають основу життя. Із амінокислот в організмі синтезуються біогенні аміни. Деякі з них є нейромедіаторами: серотонін, адреналін, норадреналін, дофамін та ін. Похідні амінокислот – лактами входять до складу антибіотиків, ноотропних засобів. Похідні *p*-амінобензойної кислоти, сульфанілової кислоти – лікарські засоби.

Тому знання будови і властивостей речовин, які запропоновані до вивчення, необхідні майбутньому лікареві для прогнозування їх поведінки в біохімічних перетвореннях.

### **Навчальна мета**

Вивчити будову, хімічні властивості аліфатичних гетерофункціональних сполук (гідрокси- та оксокислот) як основу для розуміння їх метаболічних перетворень в організмі.

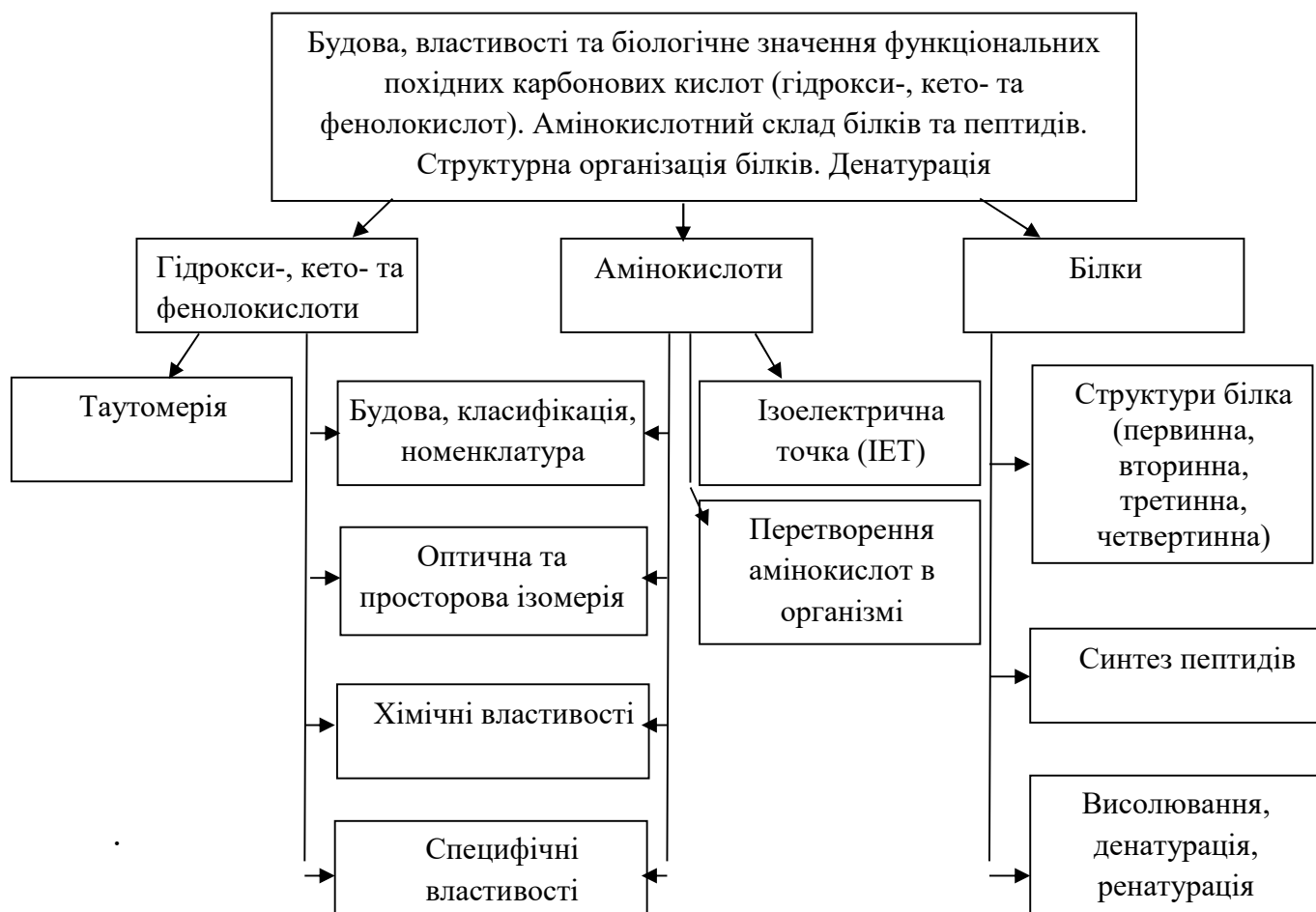
Вивчити хімічні властивості амінокислот за їхнім складом і будовою. Усвідомити будову і властивості пептидів, хімічні основи структурної організації білкових молекул як основу для вивчення біологічних функцій білків на молекулярному рівні.

## Практичні навички

### Вміти:

1. Скласти проєкційні формули оптичних ізомерів гідрокси- та амінокислот.
2. Прогнозувати хімічні властивості гідрокси- та амінокислот в залежності від функціонального складу.
3. Виконувати реакції якісного визначення гідрокси-, оксо-, амінокислот та білків у біологічних рідинах.

## Графологічна структура теми



### Орієнтована карта роботи студентів

№ п/п	Етапи	Час у хв.	Навчальні й наочні засоби	Місце проведення
1.	Мотиваційна характеристика та план теми. Відповіді на запитання студентів	15		Навчальна кімната
2.	Вхідний контроль	20	Тести вхідного контролю	Навчальна кімната
3.	Корекція знань і умінь студентів шляхом роз'язування ситуаційних навчальних завдань (самостійна аудиторна робота)	95	Навчальний посібник, методичні вказівки для самостійної роботи студентів	Навчальна кімната
4.	Виконання лабораторної роботи	20	Реактиви, обладнання	Навчальна кімната
5.	Вихідний контроль знань	20	Тести вихідного контролю	Навчальна кімната
6.	Аналіз контролю, підведення підсумків заняття, домашнє завдання	10		Навчальна кімната

#### **Завдання для самостійної роботи:**

#### **Перелік питань, що підлягають вивченню:**

1. Гідрокси, оксокислоти та амінокислоти, їх будова, класифікація, номенклатура.
2. Просторова (конфігураційна) ізомерія гідрокси- та амінокислот (енантіомерія, діастереомерія, мезоформи, рацемати). Оптична активність. D- і L- стереохімічні ряди.
3. Хімічні властивості гідрокси- та амінокислот за участю відповідних функціональних груп.
4. Специфічні властивості  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ -гідроксикислот та  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ -амінокислот.
5. Деякі перетворення амінокислот в організмі: декарбоксилювання, дезамінування, трансамінування.
6. Хімічні властивості оксокислот як біфункціональних сполук.
7. Кето-енольна таутометрія оксокислот.

8. Білки: склад, первинна, вторинна, третинна, четвертинна структури. Класифікація білків.
9. Методи визначення якісного складу та амінокислотної послідовності в пептидах і білках.
10. Синтез пептидів заданої будови: метод захисту і активації функціональних груп.
11. Фактори стабільності існування білків в розчині.
12. Висолювання, денатурація, ренатурація.

### Навчальні завдання та еталони їх рішення

**ЗАВДАННЯ №1.** Які функціональні групи входять до складу оксикислот? Номенклатура гідроксикислот.

**ЕТАЛОН ВІДПОВІДІ.** Оксикислоти – це органічні сполуки, що містять карбоксильні та гідроксильні групи. Кількість карбоксильних груп визначає основність кислот: одно-, дво-, трьохосновні кислоти та ін.

Для назв гідроксикислот використовуються раціональна і замісна номенклатури. Однак частіше застосовуються історичні назви гідрокси- (окси-) кислот:

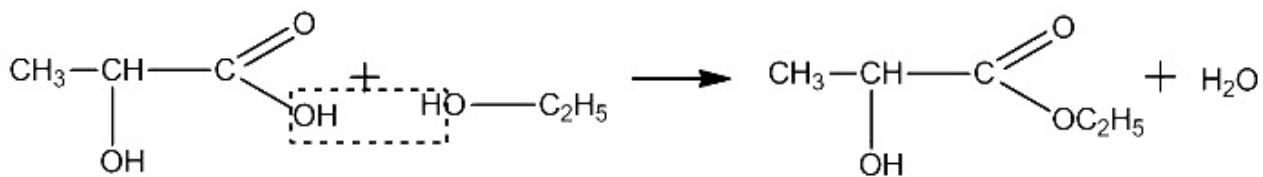
$  \begin{array}{c}  3 \qquad 2 \qquad 1 \\  \text{H}_3\text{C} - \text{CH} - \text{COOH} \\    \\  \text{OH}  \end{array}  $	<p>α-оксипропіонова (раціональна)          2-оксипропанова (замісна)          молочна</p>
$  \begin{array}{c}  4 \qquad 3 \qquad 2 \qquad 1 \\  \text{HOOC} - \text{H}_2\text{C} - \text{CH} - \text{COOH} \\    \\  \text{OH}  \end{array}  $	<p>α-оксиянтарна (раціональна)          2-оксибутандіова (замісна)          яблучна (історична)</p>
$  \begin{array}{c}  4 \qquad 3 \qquad 2 \qquad 1 \\  \text{HOOC} - \text{HC} - \text{CH} - \text{COOH} \\    \qquad   \\  \text{OH} \quad \text{OH}  \end{array}  $	<p>α,β-діоксиянтарна (раціональна)          2,3-діоксибутандіова (замісна)          винна (історична)</p>

**ЗАВДАННЯ №2.** Які хімічні властивості гідроксикислот підтверджують їх приналежність до гетерофункціональних сполук?

**ЕТАЛОН ВІДПОВІДІ.** Оксикислоти проявляють всі властивості, що характерні для спиртів та карбонових кислот. Вони мають більш сильні кислотні властивості, ніж одноосновні карбонові кислоти з такою ж кількістю атомів вуглецю, що пояснюється впливом гідроксильної групи:

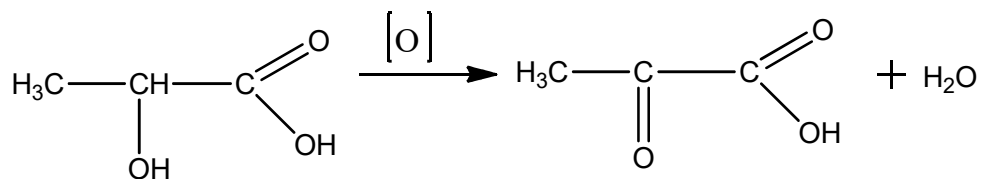
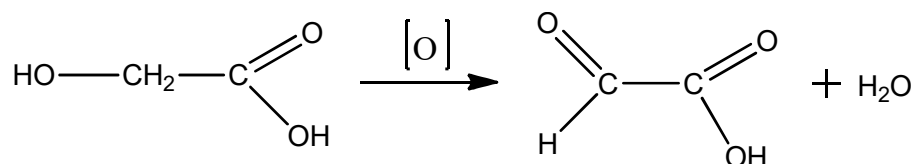
Чим ближче до карбоксильної групи знаходиться гідроксил, тим сильніше кислота.

По карбоксильній групі оксикислоти взаємодіють зі спиртами, утворюють солі, а також складні естери.

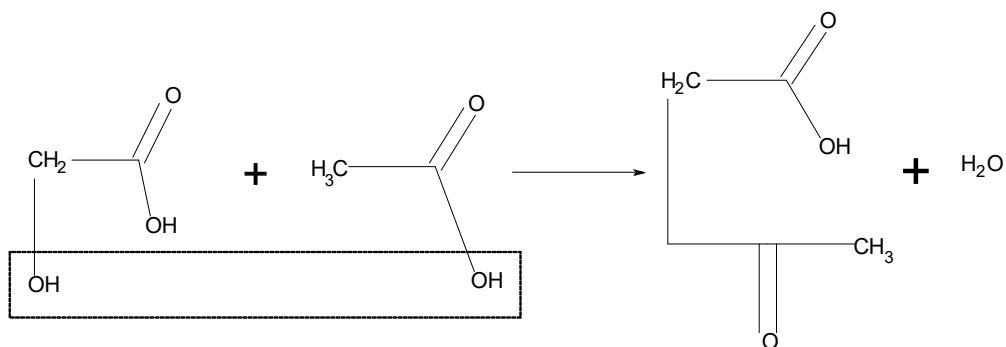


Етиловий ефір молочної кислоти

По спиртовому гідроксилу оксикислоти здатні окислюватись, перетворюючись в альдегідо- або кетонкислоти.

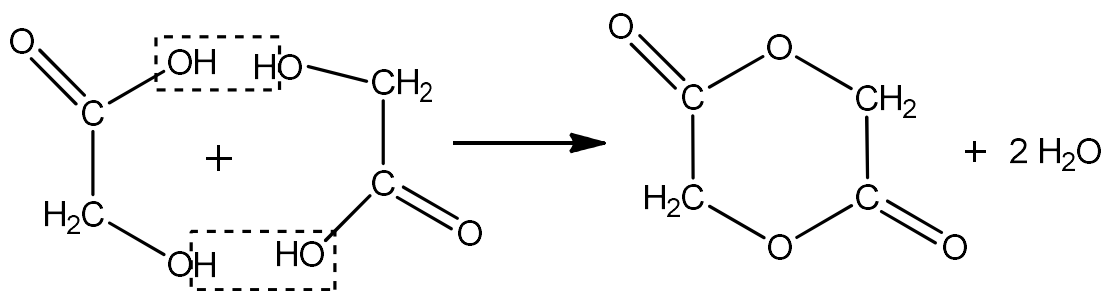


При взаємодії з карбоновими кислотами оксикислоти утворюють складні естери по гідроксилу:

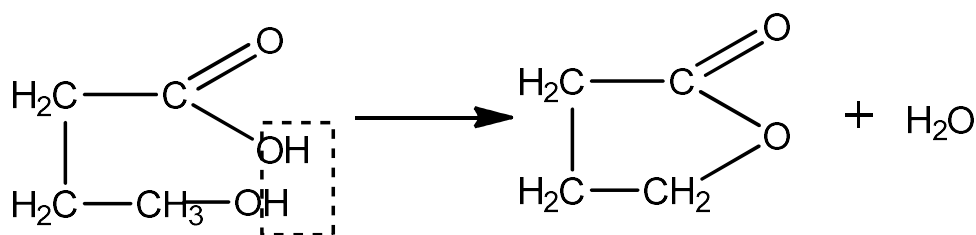


Разом з цим оксикислоти здатні проявляти властивості, нехарактерні для спиртів і кислот, які пов'язані з наявністю в їх складі обох функціональних груп. Нагрівання  $\alpha$ -оксикислот супроводжується виділенням води та утворенням циклічних складних естерів – лактидів:

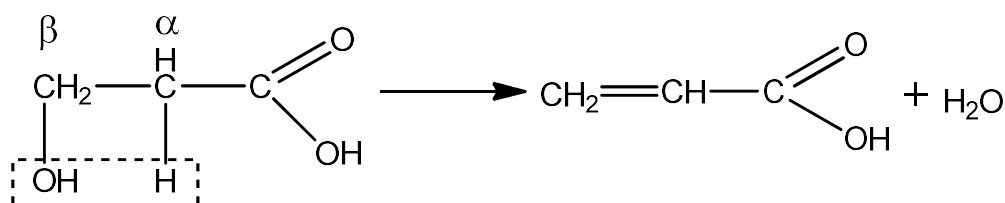




При нагріванні  $\gamma$ -оксикислот спостерігається виділення води від однієї молекули кислоти і утворення циклічних складних естерів – лактонів:



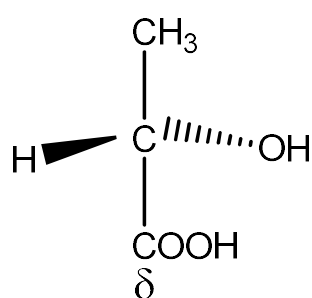
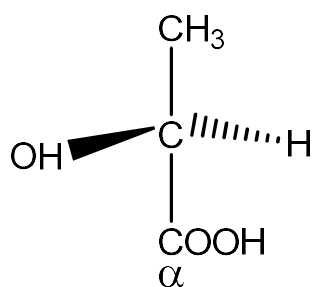
При нагріванні  $\beta$ -оксикислоти відщеплюють внутрішньомолекулярну воду з утворенням ненасичених кислот:



Ці реакції обумовлені більш високою С-Н кислотністю атомів водню метиленової групи, що знаходиться в  $\alpha$ -положенні по відношенню до карбоксилу.

**ЗАВДАННЯ № 3.** Чим пояснюється оптична активність гідроксикислот? Як визначають їх приналежність до L- і D-ряду?

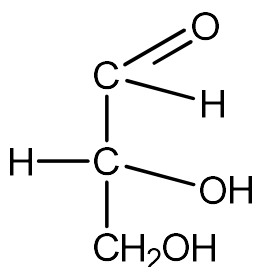
**ЕТАЛОН ВІДПОВІДІ.** Багато оксикислот володіють здатністю обертати площину поляризованого світла, тобто оптичною активністю. Поляризація світла має місце при проходженні скрізь кристали турмаліну, коливання такого променя світла знаходяться в одній площині. При проходженні скрізь розчин такої оптично активної речовини площина поляризації відхиляється на деякий кут. Встановлено, що в деяких випадках речовини, що обертають площину поляризації вправо і вліво на один і той же кут, є ізомерами.



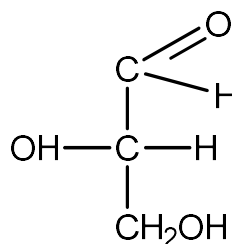
Оптична активність виникає у випадку, коли молекула не може бути суміщена з її дзеркальним зображенням (хіральна молекула). Молекула, що не може бути суміщена зі своїм дзеркальним зображенням, називається ахіральною. Загальною ознакою хіральності є відсутність у молекули площини або центру симетрії. Цій умові відповідають, зокрема, молекули, які мають атом вуглецю, поєднаний з чотирьомя різними замісниками. Такий атом називається асиметричним атомом або хіральним центром. Наприклад, якщо розташувати молекулу молочної кислоти метильними групами доверху, то інші замісники можуть бути розташовані неоднаково: а) атом водню, карбоксил і гідроксил – за часовою стрілкою, б) або проти часової стрілки.

Обидві молекули відрізняються одна від одної, як предмет і його відображення в дзеркалі. Хіральна молекула та її дзеркальне відображення – це різні сполуки, що є ізомерами. Вони називаються дзеркальними або оптичними ізомерами, оскільки обертають площину поляризованого світла на один і той же кут в різні сторони.

Для означення конфігурації оптичних ізомерів, особливо в хімії вуглеводів і амінокислот, застосовують D-, L-систему. В якості стандарту використовують гліцеринний альдегід. При цьому D-ізомером була названа сполука, що має групу OH справа від асиметричного атома вуглецю.



D-гліцеринний альдегід



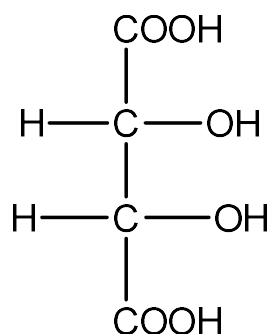
L- гліцеринний альдегід

Речовини, формули яких можна утворити з D-гліцеринного альдегіду шляхом настрійки вуглеводного ланцюга зі сторони альдегідної групи відносяться до D-ряду; а з L-гліцеринного альдегіду – к L-ряду. Не у всіх випадках речовини D- ряду обертають площину поляризації світла вправо,

речовини L-ряду - вліво. Для означення конфігурації і напрямку обертання площини поляризації перед назвою речовини пишуть букви D і L, а також знаки (+) і (-), що відповідає обертанню вправо або вліво.

При утворенні хіральних молекул з ахіральних виникає суміш, що складається з однакової кількості оптичних ізомерів (рацемічна суміш). Така суміш оптично неактивна.

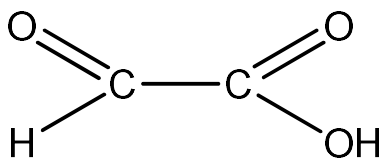
Сполуки з декількома асиметричними атомами вуглецю, можуть бути оптично неактивними, тому що містять однакову кількість протилежно побудованих асиметричних центрів. Наприклад, у молекулі мезовинної кислоти розташування замісників у верхнього асиметричного атома обумовлює праве обертання площини поляризації, а у нижнього – ліве. Такі сполуки називаються мезо-формами або мезо-ізомерами. Мезо-ізомери ахіральні, тому що мають площину симетрії.



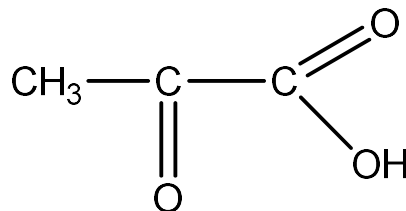
Оптична активність органічних сполук має велике біологічне значення. Більшість природних сполук являють собою одну з можливих оптично активних форм, а не рацемічну суміш. У живих організмах містяться оптично активні ферменти, які вибірково реагують тільки з одним оптичним ізомером, тому ферментативні реакції високо специфічні.

**ЗАВДАННЯ № 4.** Які особливості будови альдегідо- і кетокислот? Їх хімічні властивості.

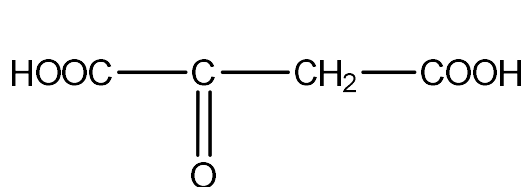
**ЕТАЛОН ВІДПОВІДІ.** Альдегідо- і кетокислоти – це сполуки, що містять дві функціональні групи, - карбоксильну і альдегідну або кетогрупу. Нижче наведені формули альдегідо- і кетокислот:



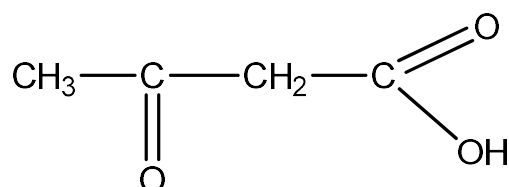
Гліоксалева кислота



Піровиноградна  
( $\alpha$ -кетомасляна) кислота

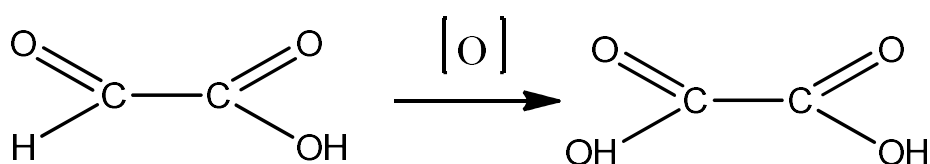


Щавлевооцтова кислота



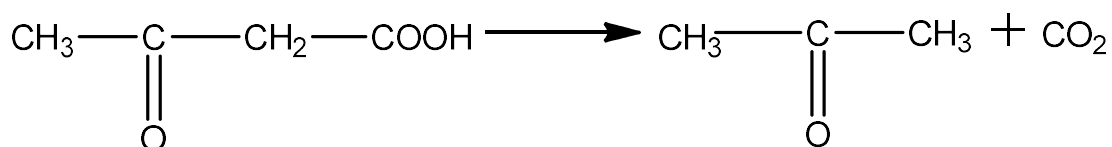
Ацетова (β-кетомасляна) кислота

Альдегідо- і кетокислоти мають властивості карбонових кислот і альдегідів або кетонів. По карбоксильній групі вони утворюють солі, естери та ін., по карбонільній групі – вступають до реакцій приєднання, утворюючи оксиди, ціангідриди та ін. Альдегідокислоти легко окислюються, перетворюючись в двохосновні кислоти:



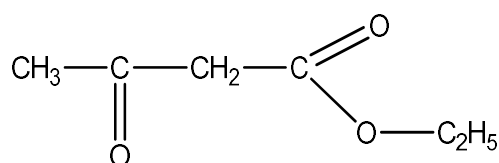
Важливе біологічне значення має піровиноградна кислота, яка є проміжним продуктом при перетвореннях вуглеводів і білків у живих організмах.

Ацетооцтова кислота нестійка і легко розкладається на ацетон і оксид вуглецю (IV) (декарбоксилювання):



**ЗАВДАННЯ № 5.** На прикладі ацетооцтового естеру поясніть кето-єнольну таутомерію.

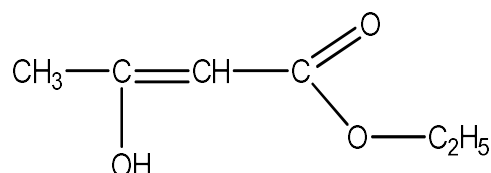
**ЕТАЛОН ВІДПОВІДІ.** Естери ацетооцтової кислоти доволі стійкі і широко використовуються для хімічного синтезу. Особливий інтерес має етиловий ефір:



етиловий ефір ацетооцтової кислоти

(1)

Етиловий естер виявляє основні властивості кетонів, в той же час взаємодіє з металевим натрієм як спирт, та приєднує бром, як ненасичена сполука. Ці властивості можуть бути пояснені, якщо розглядати ацетооцтовий ефір як естер оксикротонової кислоти:

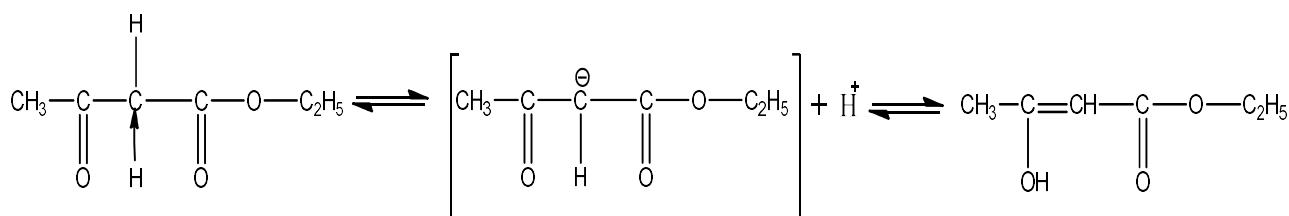


(2)

Дослідженнями встановлено, що ацетооцтовий естер є сумішшю ізомерів, що відповідають формулам (1) і (2). За наявності кетонної або єнольної групи ці ізомери називають відповідно кетонною або єнольною формою. У звичайних умовах при кімнатній температурі ацетооцтовий естер містить 92,3% кетонної і 7,7% єнольної форм. Обидві форми знаходяться у рівновазі і при її порушенні швидко перетворюються одна в одну. Це явище називається таутомерією. Форми, що перетворюються одна в одну - таутомери, а їх взаємний перехід - таутомерні перетворення.

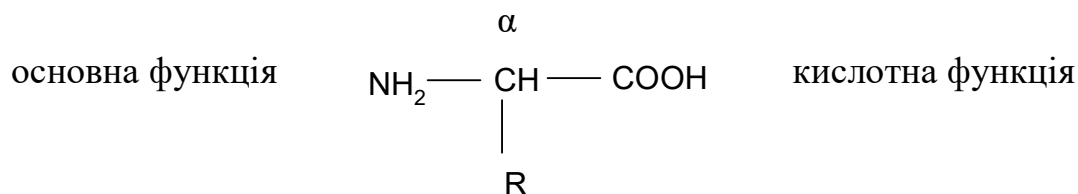
У випадку, якщо таутомерами є речовини з карбонільною та єнольною групами (наприклад, ізомерія ацетооцтового естеру), таутомерія називається кето-єнольною.

Таутомерія ацетооцтового естеру обумовлена тим, що атоми водню метиленової групи, яка знаходиться між двома карбонільними групами зі значним індуктивним ефектом, володіють більшою рухомістю і можуть відщеплятися у вигляді протону (C-H кислотність). У залежності від місця приєднання протона до утвореного іона останній перетворюється в кето- або єнольну форму:



**ЗАВДАННЯ № 6.** Приведіть найважливіші амінокислоти, що входять до складу білків. Назвіть їх.

*Еталон рішення.* Амінокислоти – це гетерофункціональні сполуки, до молекули яких входять карбоксильні і аміногрупи.

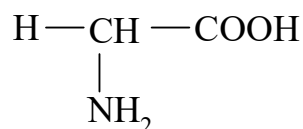


радикал

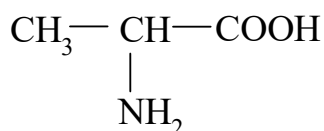
Назви  $\alpha$ -амінокислот будуються за систематичною номенклатурою, але в біохімії часто використовуються тривіальні назви. У біоорганічній хімії та біохімії прийнято використовувати трьох- і однобуквені скорочення тривіальних назв, за допомогою яких записують амінокислотні залишки в пептидах і білках. За хімічною природою радикала амінокислоти діляться на аліфатичні, ароматичні та гетероциклічні.

**Аліфатичні амінокислоти (число атомів вуглецю не більше 6):**

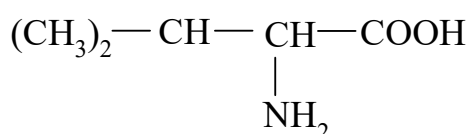
гліцин (амінооцтова)



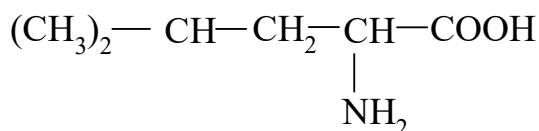
аланін



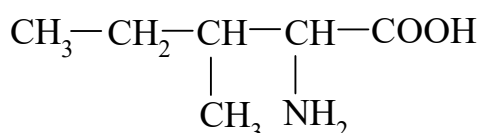
валін



лейцин

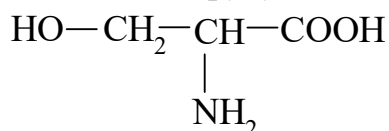


ізолейцин

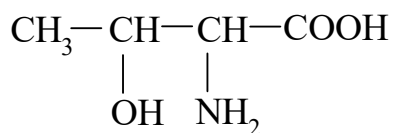


*Амінокислоти, що містять OH-групу:*

серин

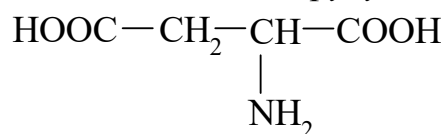


треонін

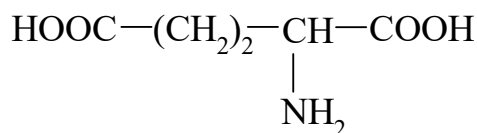


*Амінокислоти, що містять COOH-групу:*

аспарагінова

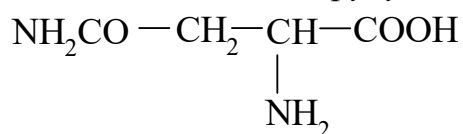


глутамінова

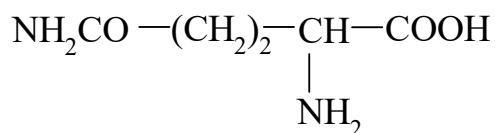


*Амінокислоти, що містять NH<sub>2</sub>CO- групу:*

аспарагін

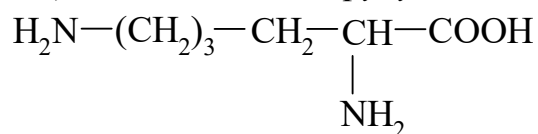


глутамін

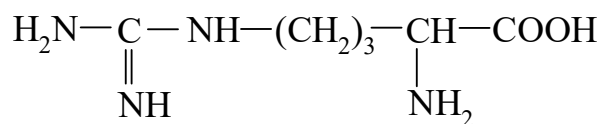


*Амінокислоти, що містять NH<sub>2</sub>- групу:*

лізин

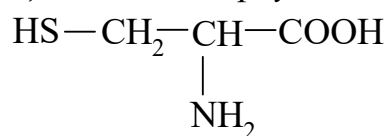


аргінін

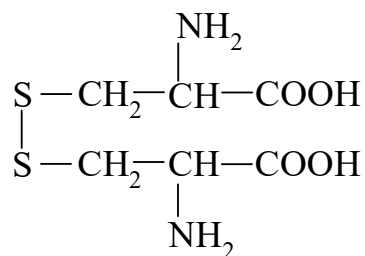


*Амінокислоти, що містять сірку:*

цистеїн

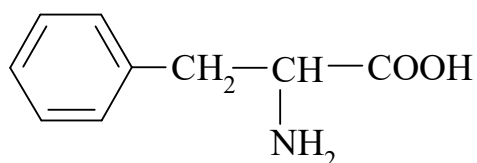


цистин

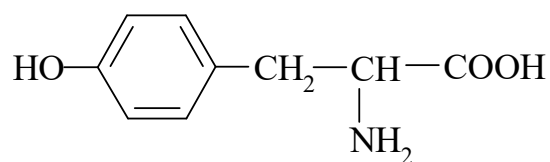


*Ароматичні амінокислоти:*

фенілаланін

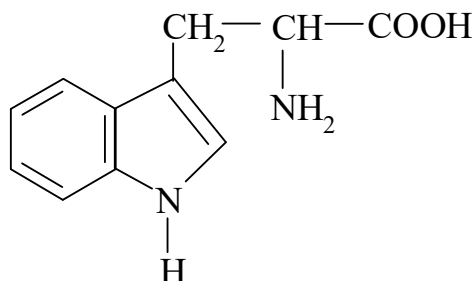


тирозин

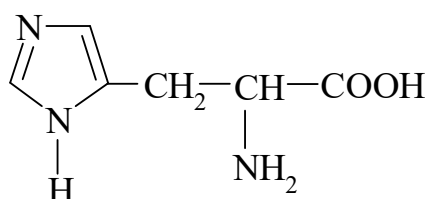


***Гетероциклічні амінокислоти:***

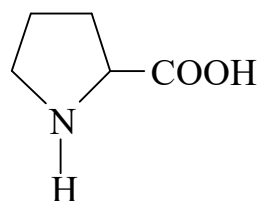
триптофан



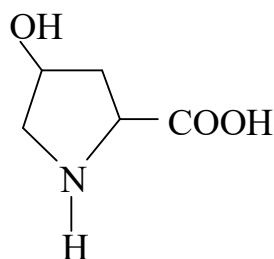
гістидин



пролін



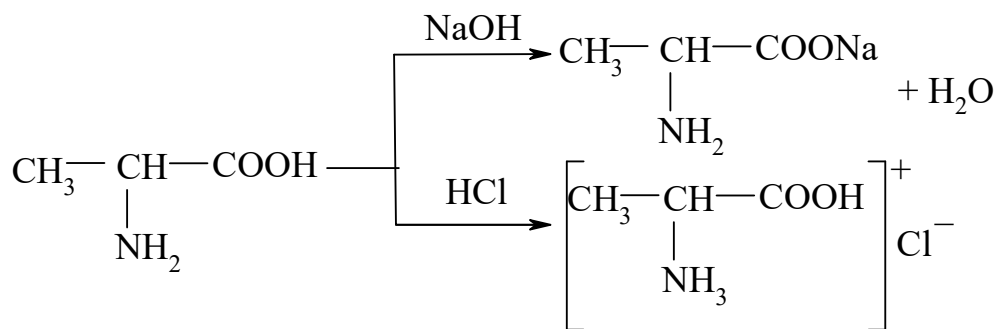
гідроксипролін



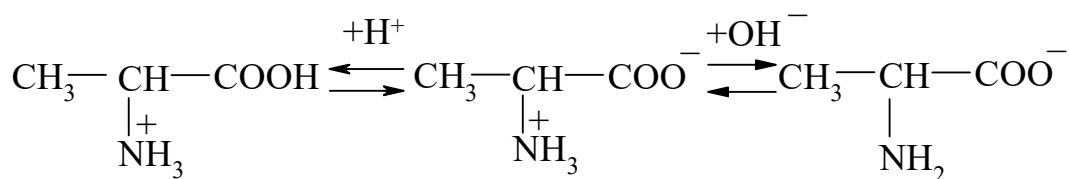
**ЗАВДАННЯ № 7.** Напишіть реакцію взаємодії аланіну з розчином гідроксиду натрію і соляною кислотою, гідроксидом міді.

*Еталон рішення.* Оскільки  $\alpha$ -амінокислоти містять у своїй сполуці функціональні групи кислотного ( $-\text{COOH}$ ) і основного характеру ( $-\text{NH}_2$ ), вони є амфотерними, утворюють солі як з кислотами, так і з лугами.





У водному розчині  $\alpha$ -амінокислоти існують у вигляді рівноважної суміші біполярного іона. У кислому середовищі вони перетворюються в катіонну форму молекули, у лужному – аніонну.

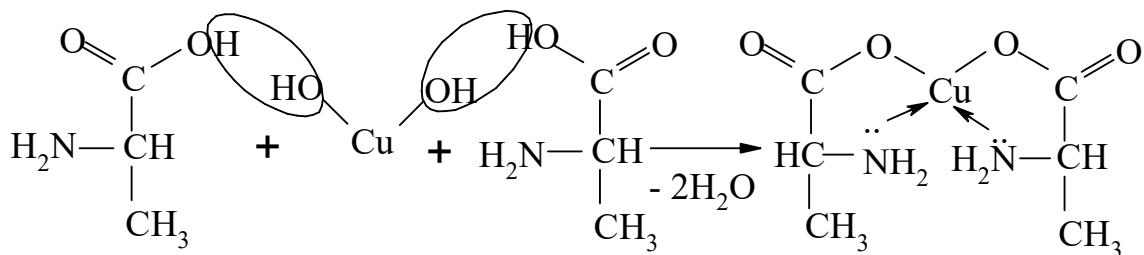


біполярний іон

Положення рівноваги залежить від pH середовища:



Характерною властивістю амінокислот є здатність утворювати комплексні мідні солі темно-синього кольору, у яких аміногрупа за рахунок неподіленої пари електронів утворює координаційний зв'язок з іоном двовалентної міді.

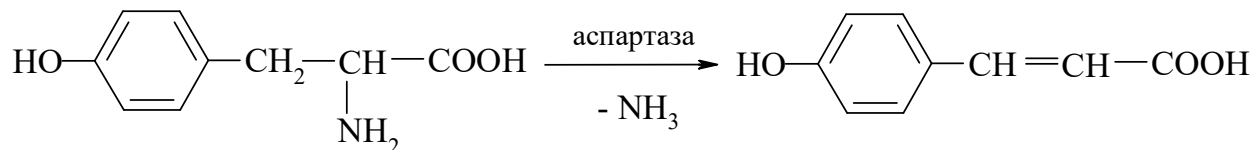


Комплекси амінокислот, як і багатоатомних спиртів, мають хелатну будову.

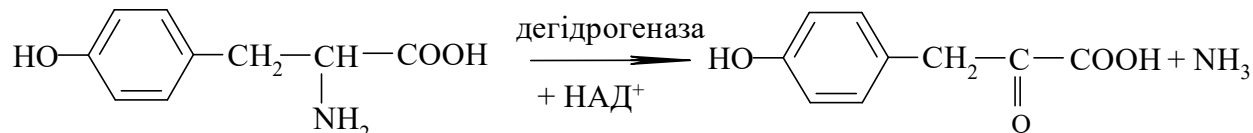
**ЗАВДАННЯ № 8.** Які продукти виходять при дезамінуванні *in vitro* та *in vivo* тирозину.

*Еталон рішення.* При дезамінуванні знижується надлишок  $\alpha$ -амінокислот в організмі. Дезамінування *in vivo* може бути неокислювальним (бактерії, гриби) і окислювальним.

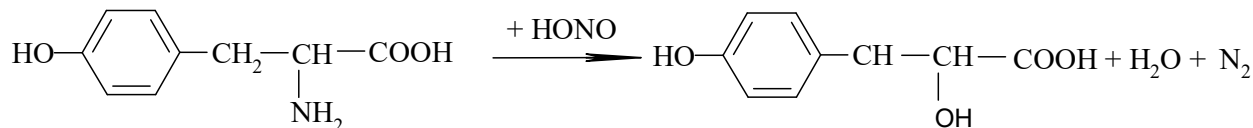
При відщеплюванні аміаку без участі кисню і під дією ферментів утворюється  $\alpha$ -ненасичена кислота (п-оксифенілакрилова).



Окислювальне дезамінування відбувається за участю ферментів оксидаз і коферменту  $\text{НАД}^+$  з виділенням  $\text{NH}_3$  і утворенням  $\alpha$ -кетокислоти (п-оксифенілпіровиноградною).



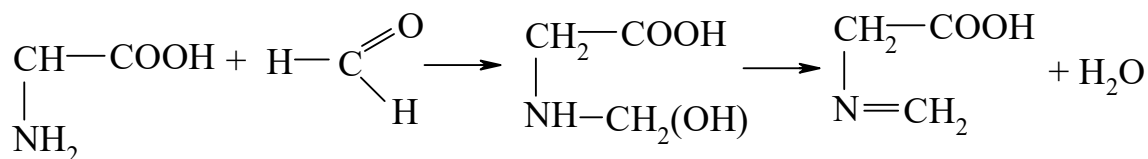
Поза організмом дезамінування здійснюється азотистою кислотою з утворенням відповідної оксикислоти і виділенням азоту:



Ця реакція використовується для кількісного визначення амінокислот (метод Ван-Слайка).

**ЗАВДАННЯ № 9.** Напишіть рівняння реакції взаємодії гліцину з формальдегідом.

*Еталон рішення.* При взаємодії  $\alpha$ -амінокислот з альдегідами утворюються заміщені іміни (основи Шиффа) через стадію утворення карбіноламінів.

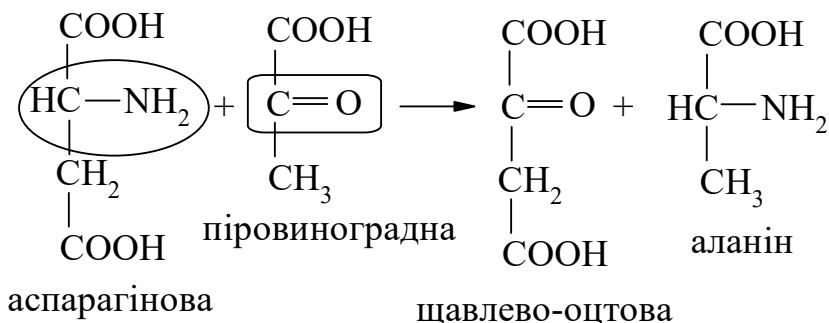


За допомогою цієї реакції можна проводити кількісне визначення амінокислот методом титрування, тому що в цьому випадку аміногрупа буде зв'язаною (метод Серонсена).

**ЗАВДАННЯ № 10.** Які продукти виходять при переамінуванні аспарагінової і піровиноградної кислот?

*Еталон рішення.* У живих організмах під дією ферментів амінокислоти зазнають ряд біохімічних перетворень. Переамінування (трансамінування) – основний шлях біосинтезу  $\alpha$ -амінокислот.

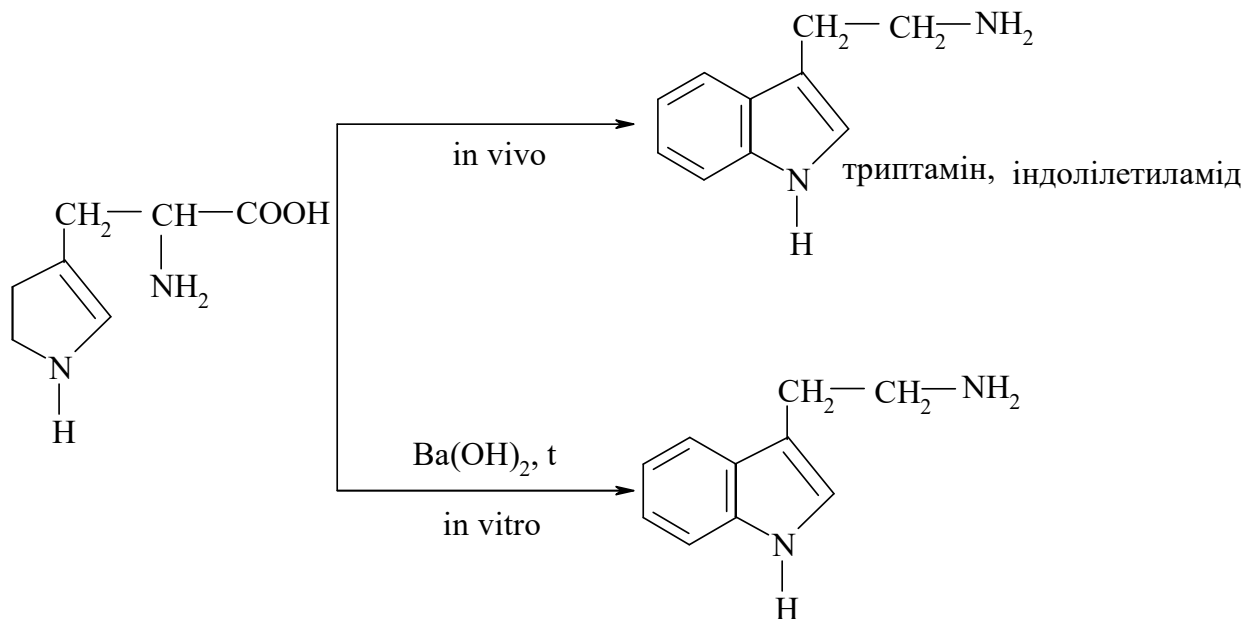
Потрібна для організму амінокислота-II синтезується з  $\alpha$ -амінокислоти-I, наявної в організмі в достатній або надлишковій кількості, шляхом переносу аміногрупи від однієї кислоти до  $\alpha$ -кетокислоти.



Реакція здійснюється за участю ферментів трансаміназ і коферменту піридоксальфосфату.

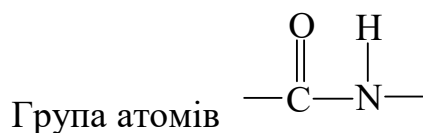
**ЗАВДАННЯ № 11.** Напишіть схему декарбоксилювання триптофану. Укажіть умови протікання цієї реакції *in vivo* і *in vitro*.

*Еталон рішення.* Наявність в  $\alpha$ -амінокислоті електронноакцепторної групи сприяє стабілізації  $\text{COO}^-$ -іона, у результаті чого відбувається процес декарбоксилювання кислоти з утворенням відповідних амінів.

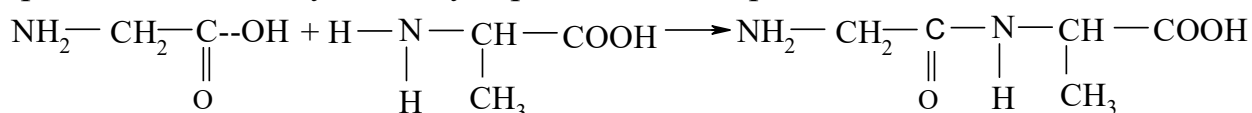


**ЗАВДАННЯ № 12.** Приведіть будову дипептиду Глі-Вал. Укажіть пептидний зв'язок. У якій області рН перебуває ізоелектрична точка цього пептиду?

*Еталон рішення.* Між аміногрупою однієї і карбоксильною групою іншої  $\alpha$ -амінокислоти може відбутися взаємодія з утворенням дипептиду.

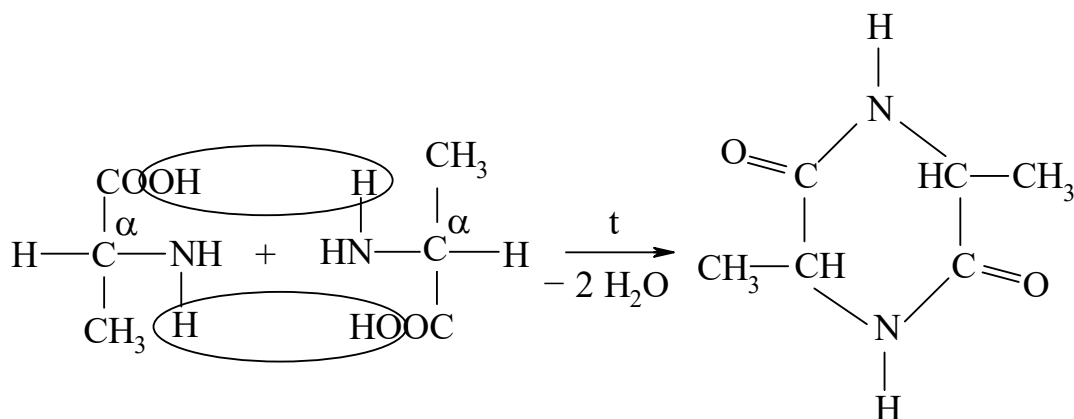


, що є залишком взаємодіючих функціональних груп, називається *пептидним зв'язком*. Дипептиди, так само як і амінокислоти, містять вільну карбоксильну і аміногрупу. Тому вони можуть, взаємодіючи з молекулою амінокислоти, утворювати трипептид і т.д. Речовини, що складаються із великої кількості амінокислотних залишків, називаються *поліпептидами*. З'єднуючись між собою, поліпептидні ланцюги утворюють молекули білків. Наявність у дипептида кислотної та основної груп визначає рН середовища. У цьому випадку середовище нейтральне.

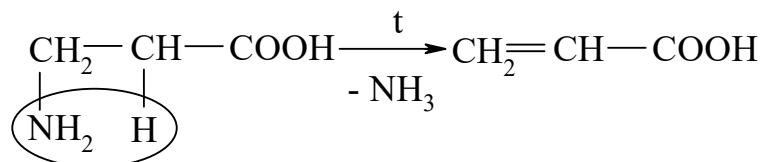


**ЗАВДАННЯ № 13.** Приведіть приклади міжмолекулярної дегідратації при нагріванні  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ -амінокислот.

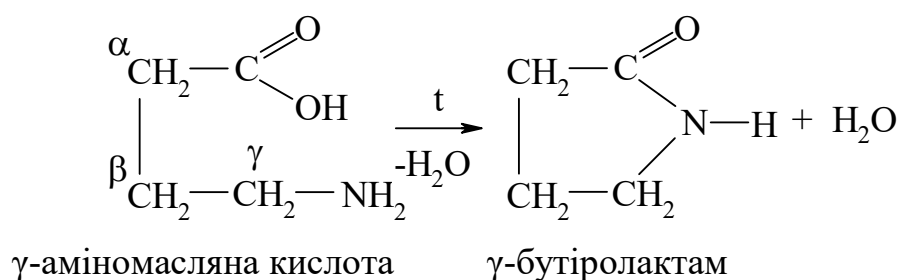
*Еталон рішення.* При виділенні двох молекул води з двох молекул – амінокислот виходять циклічні сполуки – *дикетопіперазини*:



У молекулах  $\beta$ -амінокислот атоми водню у  $\alpha$ -вуглецевого атома досить рухливі (C-H-кислотність). Тому  $\beta$ -амінокислоти виділяють не воду, а аміак, перетворюючись у ненасичені карбонові кислоти:

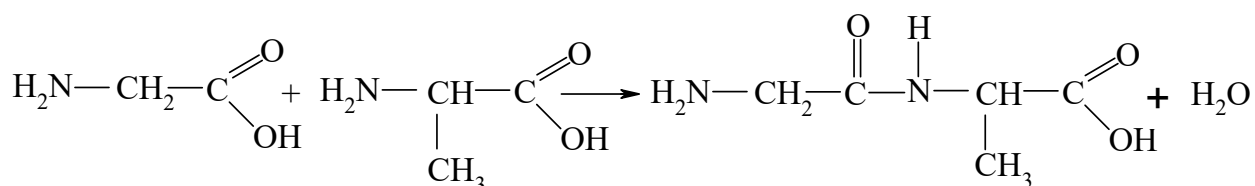


У  $\gamma$ -амінокислот відбувається взаємодія карбоксильної і аміногрупи однієї молекули. При цьому утворюються сполуки, що називаються *лактамами*:

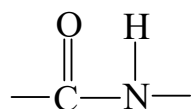


**ЗАВДАННЯ № 14.** Напишіть будову дипептида Глі-Ала і визначіть область рН середовища, у якому перебуває його ізоелектрична точка.

*Еталон рішення.* При вивченні амінокислот вказувалося, що конденсація двох або декількох молекул α-амінокислот призводить до утворення пептидів:

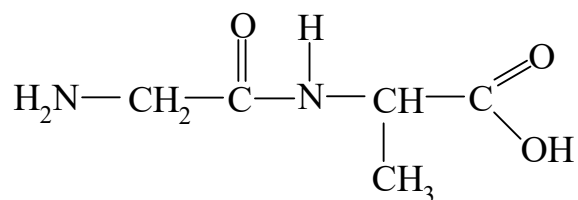


Ще в 1891 році А.В. Данилевський висловив припущення, що амінокислоти в пептидах і білках з'єднуються за допомогою пептидних зв'язків, утворених карбоксильною групою однієї кислоти і аміногрупою іншої. Амідні зв'язки цього типу називаються пептидними зв'язками:



Оскільки атом вуглецю в цій групі перебуває в стані  $sp^2$ -гібридизації, усі атоми, що утворюють пептидний зв'язок, розташовані в одній площині.

За числом амінокислотних залишків, що брали участь у побудові пептидів, розрізняють олігопептиди і поліпептиди. Назви пептидів утворюють із назв відповідних амінокислот, причому амінокислоти, що беруть участь в утворенні пептидного ланцюгу своєю карбоксильною групою, одержують суфікс -іл:



гліцилаланін

Звичайно при назві пептидів використовують трибуквені позначення (Глі-Ала).

Амінокислоти, розташовані по кінцях пептиду, мають вільні функціональні групи. Амінокислота з вільною аміногрупою на одному кінці

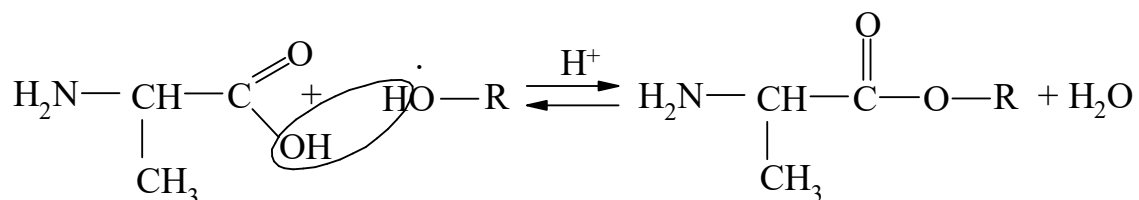
пептиду називається "N-кінцевою амінокислотою", а з вільною карбоксильною групою на іншому – "С-кінцевою амінокислотою".

Оскільки в нашому випадку в складі пептиду одна аміногрупа і одна карбоксильна група, то ізоелектрична точка, сумарний заряд білків якої дорівнює нулю, буде перебувати в  $\text{pH} < 6$ . Орієнтовно значення  $\text{pI} = (\text{pK}_{\text{COOH}} + \text{pK}_{\text{NH}_2}) / 2$  є характерною константою білків. Ізоелектрична точка більшості білків тваринних тканин лежить у межах 5,5-7,0, що свідчить про часткову перевагу кислих амінокислот. Однак у природі є білки, у яких  $\text{pI}$  лежить при крайніх значеннях  $\text{pH}$  середовища. Зокрема,  $\text{pI}$  пепсину (ферменту шлункового соку) рівна 1, а сальміну (основного білка з молока сьомги) – близько 12.

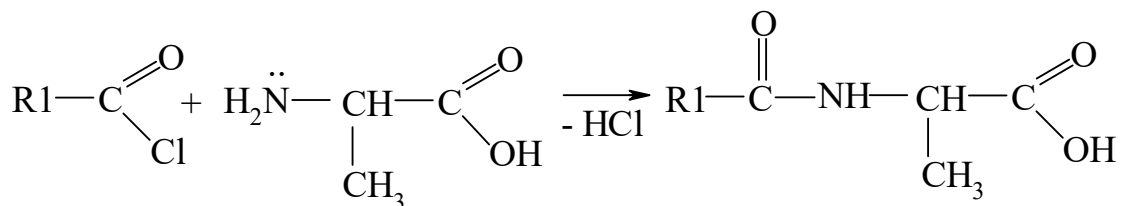
З наведених амінокислот можуть бути отримані ще три пептиди: Глі-Глі, Ала-Глі, Ала-Ала. Амінокислотний склад пептидів можна встановити, провівши їх повний гідроліз, та ідентифікувати утворені амінокислоти хроматографічними методами. Білок повністю гідролізується при кип'ятінні з 1 %-ою соляною кислотою протягом 24 годин.

Для одержання пептиду заданого складу аміногрупу однієї амінокислоти і карбоксильну групу іншої необхідно тимчасово блокувати захисними групами. Крім того, потрібна активація карбоксильної групи, яка повинна скласти пептидний зв'язок, тому що карбонові кислоти звичайно реагують з амінами, утворюючи солі.

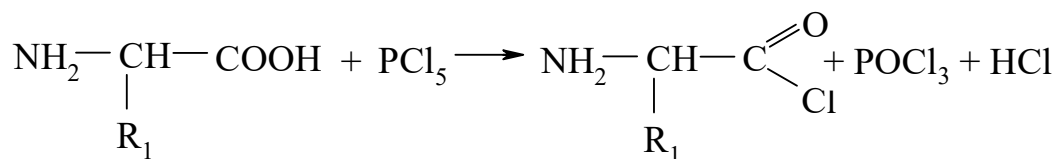
Для захисту карбоксильної групи її перетворюють у складноефірну:



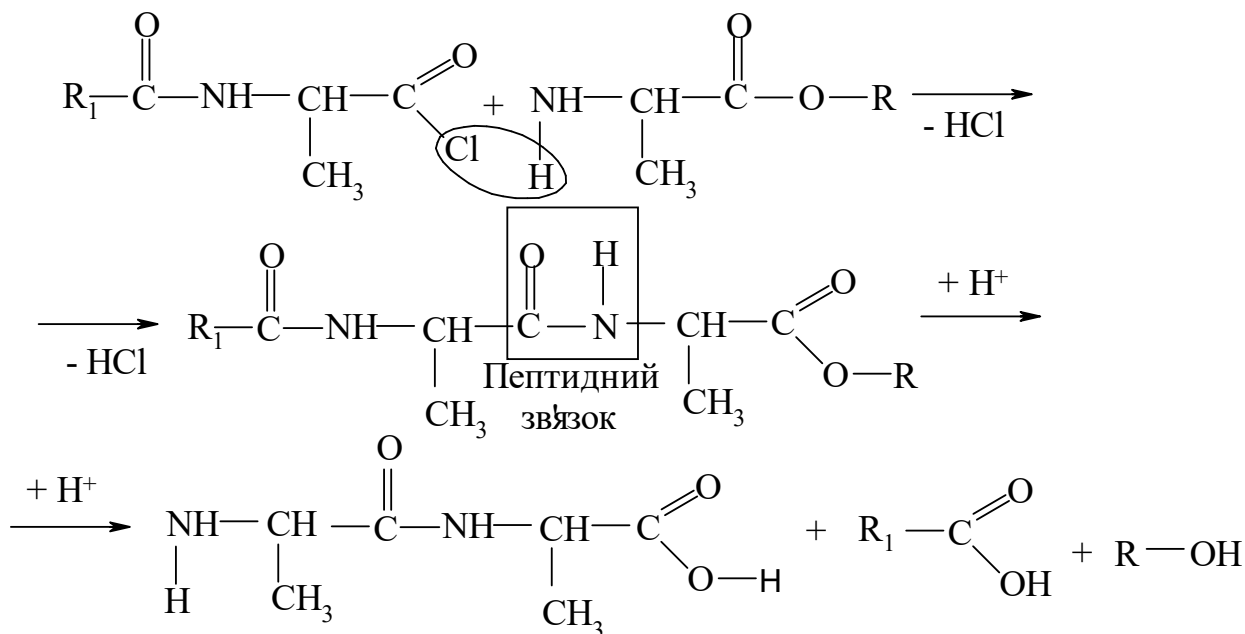
Захист аміногрупи звичайно проводиться ацилюванням:



Карбоксильну групу амінокислоти активують, перетворюючи в хлорангідрид:



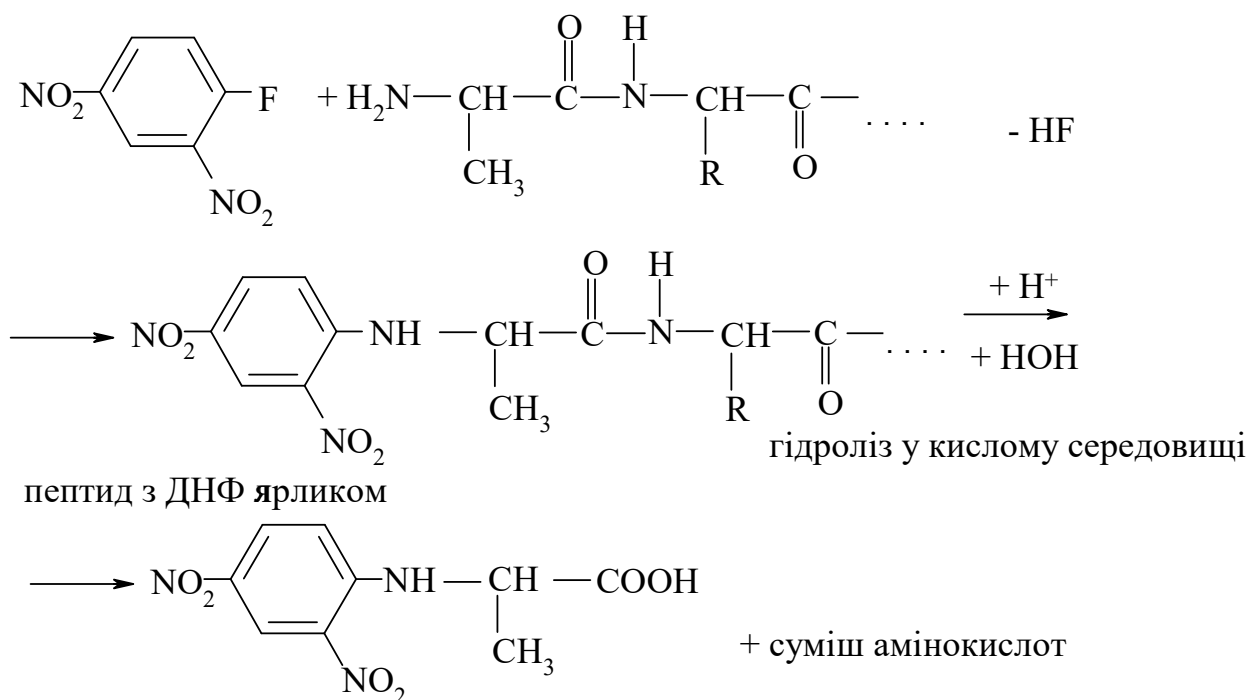
Утворення пептидного зв'язку:



Зняття захисту роблять гідролізом у кислому середовищі.

Як видно, синтез дипептиду за наведеною схемою складається з декількох стадій, а для синтезу поліпептидів необхідно величезне число стадій.

Для перевірки правильності амінокислотної послідовності необхідно по черзі відщепляти з "N-кінця" або "C-кінця". Відомо кілька методів визначення послідовності амінокислотних залишків. В одному з них (метод Сенджера або метод ДНФ) пептид взаємодіє з 2,4-дінітрофторбензолом у слаболужному середовищі:

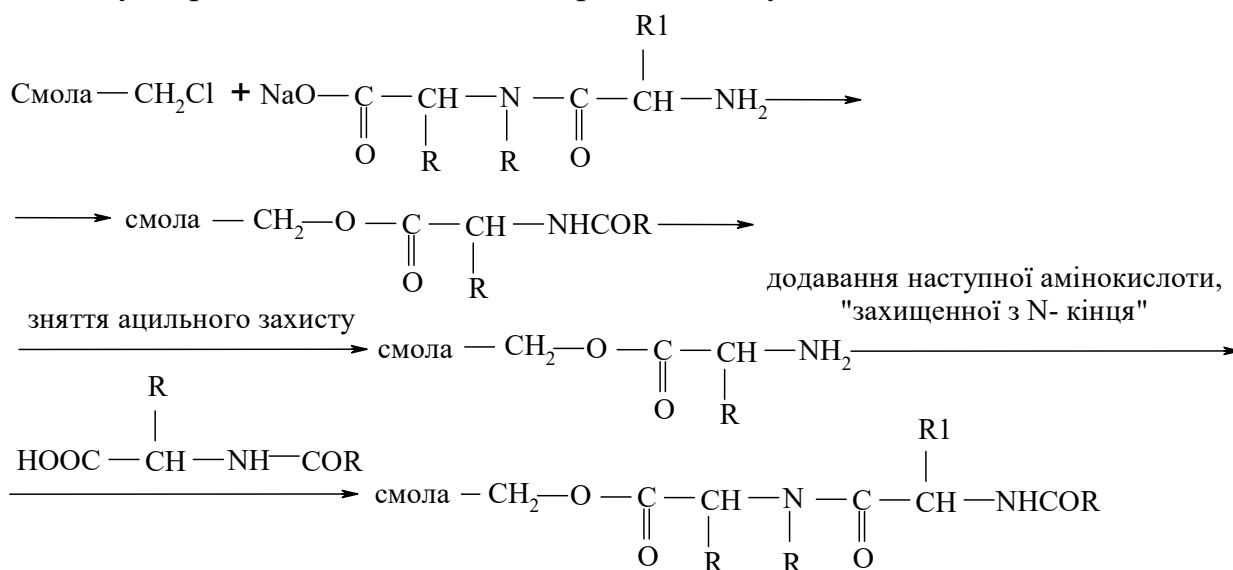


При гідролізі N-кінцева амінокислота залишається із залишком ДНФ; її виділяють і ідентифікують. Цю амінокислоту можна зв'язати

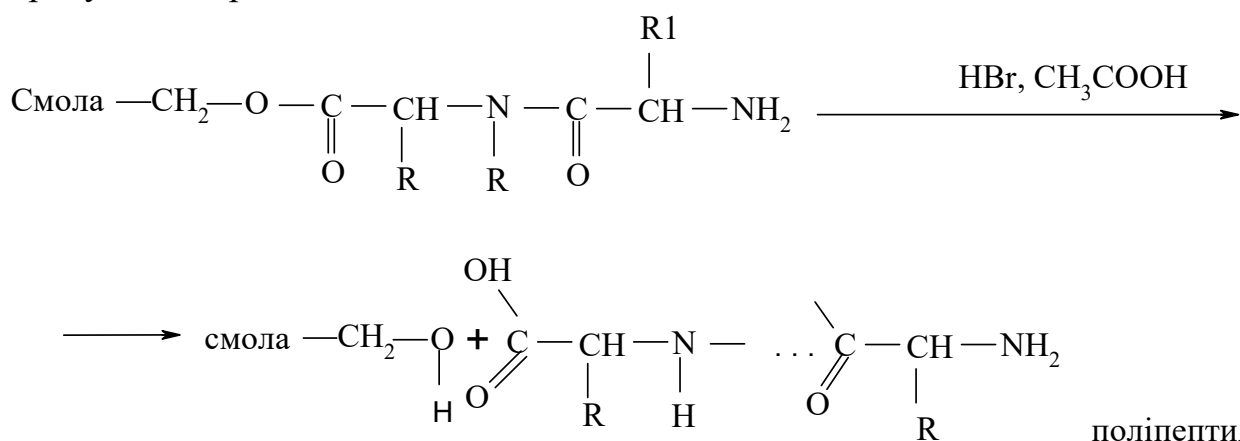
фенілізотіоціонатом –  $C_6H_5 - N = C = S$  (східчаста деструкція по Едману). Для визначення амінокислотної послідовності використовують також частковий кислотний або ферментативний гідроліз.

**ЗАВДАННЯ № 15.** Приведіть схему твердофазного синтезу поліпептиду.

*Еталон рішення.* Перспективний метод синтезу пептидів запропонував в 1963 році Мерифілд. Пізніше цей метод одержав назву твердофазного синтезу пептидів. Він проводиться на іонно-обмінній смолі групи, що містить  $CH_2Cl$ . На першій стадії сіль амінокислоти захищеною групою приєднується до твердого носія з утворенням так званого "якірного зв'язку".



Якщо зняти захист, синтез можна вести далі. Після нарощування пептидної зв'язку потрібної величини гідролізують "якірний" зв'язок у присутності бромисто-водневої та оцтової кислот:



У цей час трьохфазний синтез проводиться в автоматичному синтезаторі. Усі реакції проходять у запрограмованій послідовності в одній реакційній камері, у яку дозуючими мікронасосами подаються у певній послідовності необхідні реактиви. У такому синтезаторі можна приєднувати шість



амінокислотних залишків до зростаючого поліпептидного ланцюга за 24 години.

Поліпептиди є структурними компонентами білкових молекул.

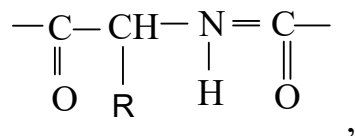
**ЗАВДАННЯ № 16.** Опишіть типи взаємодії, які можуть виникнути на ділянці поліпептидного ланцюга з наступною амінокислотою послідовністю: Цис-Глу-Глі-Ала-Вал-Сер-Ліз-Фен-Цис.

*Еталон рішення.* Типи взаємодій, що стабілізують просторову будову, тобто вторинну, третинну і четвертинну структури пептидів і білків, визначаються насамперед їх первинною структурою.

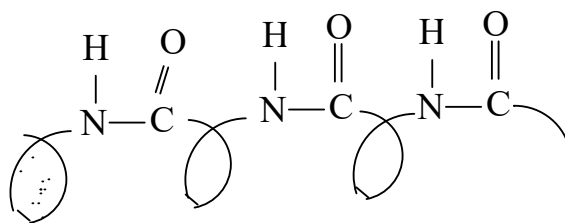
Будь-який поліпептидний ланцюг побудований з мономерних ланок  $\alpha$ -амінокислот, що чергуються, зв'язаних пептидними групами (первинна структура), між якими утворюються водневі зв'язки. Такі зв'язки утворюються між атомом водню, пов'язаним з атомом азоту, і атомом кисню карбонільної

групи:  $\text{>N-H} \dots \text{O}=\text{C}<$ .

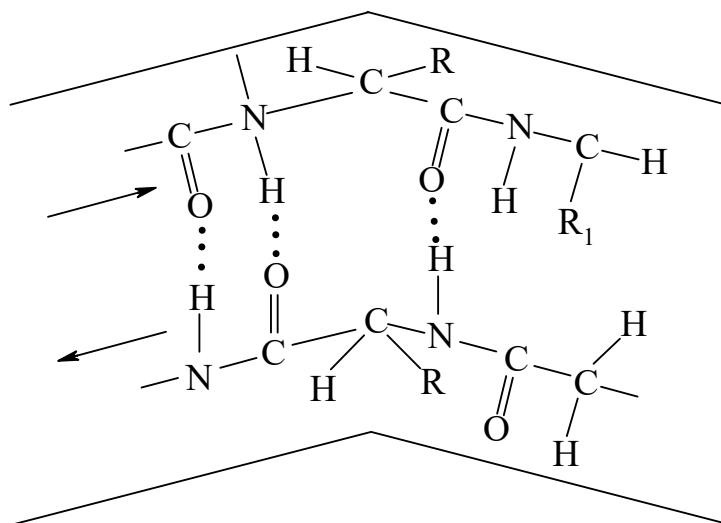
Такі водневі зв'язки стабілізують вторинну структуру білкової молекули у вигляді спіралі (спіраль Поллінга). Такі впливи могли б виникнути між Глу (1) і Сер (5), Глі (1) і Ліз (5), Ала (1) і Фен (5) поліпептидного ланцюга, що розглядається. Оскільки  $\alpha$ -спіраль утворюється з одного типу ланок,



її розміри досить постійні, один виток включає 3,7 амінокислотних залишків, відстань між окремими витками 5,44 А. Якби  $\alpha$ -спіраль була єдиним типом вторинної структури білків, то вони були б твердими, палочкоподібними утвореннями. Але тому що поліпептидні ланцюги мають достатню гнучкість, слід зробити висновок, що  $\alpha$ -спіраль становить лише окремі ділянки поліпептидного ланцюга. Відхилення від  $\alpha$ -спіральної форми може викликатися різними факторами, зокрема, наявністю проліна, оксипроліна і валіна в пептидному ланцюзі. Після утворення пептидного зв'язку в залишках проліна і оксипроліна відсутній амідний водень, і вони не можуть брати участь в утворенні водневих зв'язків.



Крім внутрішньоланцюгових існують водневі зв'язки, що виникають між різними ланцюгами (міжланцюгові водневі зв'язки). Вони стабілізують інший вид вторинної структури, так звану структуру складчастого листа або  $\beta$ -конформацію. Вона виникає між антипаралельними ланцюгами, які створюють найбільш сприятливі умови для утворення водневих зв'язків між ними.



$\beta$ -конформація знайдена у  $\beta$ -кератині і у фібріоні жовтка. Під третинною структурою білків розуміють сумарну конформацію або просторову впорядкованість окремих ділянок поліпептидних ланцюгів у цілому.

У той час як вторинна структура білка визначається водневими зв'язками, численні вигини поліпептидного ланцюга, що надають білкам третинну структуру, залежать не тільки від пептидних і водневих зв'язків, але і від інших типів взаємодії, а саме електростатичних взаємодій між карбоксильними групами і аміногрупами, що не беруть участь в утворенні пептидних зв'язків: дисульфідних зв'язків у цистині, гідрофобних взаємодій.

Основні види взаємодій, що фіксують вторинну і третинну структури пептидів і білків у вільному виді, представлені нижче.

Ковалентні	Нековалентні		
дисульфідні зв'язки	іонні зв'язки	водневі	
між просторово зближеними цистеїновими залишками	утворюються за рахунок притягання між різноіменними зарядженими групами	між пептидними групами	
		міжланцюгові  - складчаста структура	внутрішньо-ланцюгові  - спіраль
стабілізують третинну структуру		стабілізують вторинну і третинну структуру	

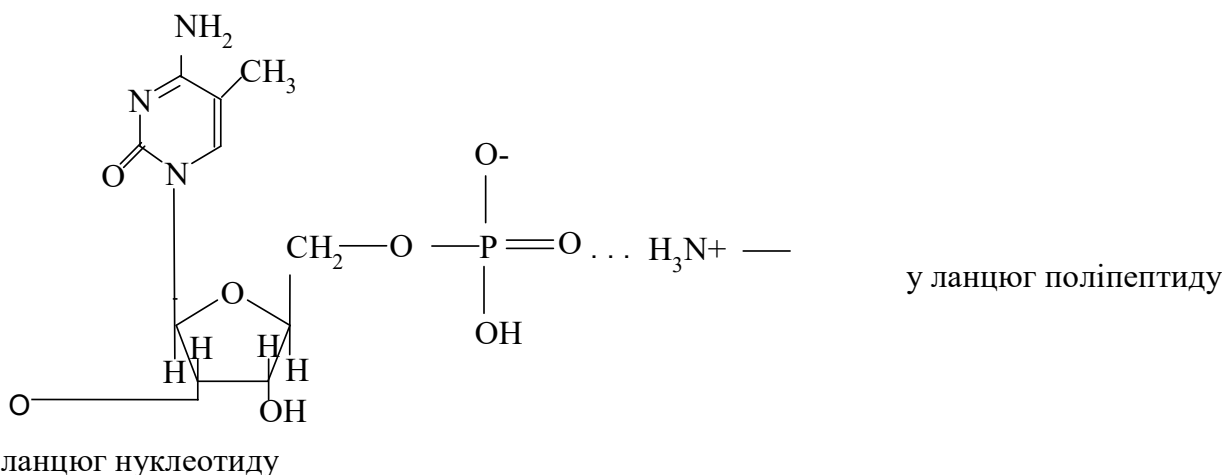
Для прояву біологічної активності деякі білки повинні утворювати четвертинні структури – макрокомплекс, що складається з декількох білкових молекул. При цьому кожний білок є як би мономером, а четвертинна структура визначає ступінь асоціації таких мономерів у біологічно активному матеріалі.

**ЗАВДАННЯ № 17.** Приведіть схему будови біологічно активних нуклеопротейдів.

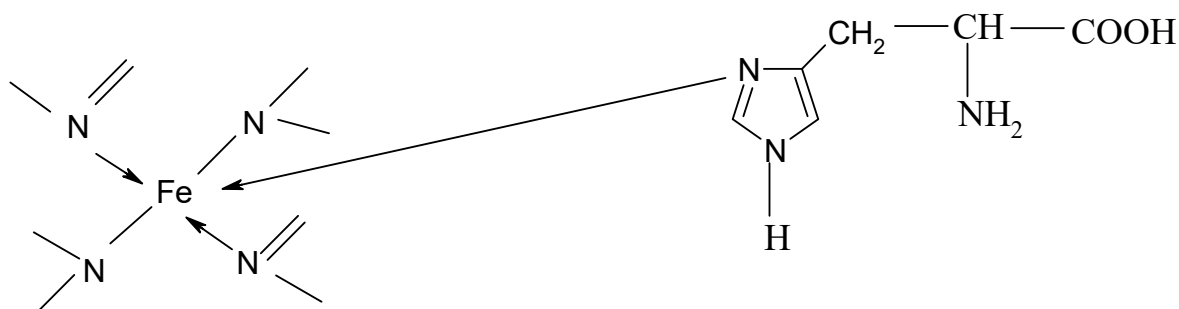
*Еталон рішення.* Дотепер розглядалися білки, що складаються тільки з амінокислот. Такі білки називаються простими або протеїнами. До складу складних білків – протеїдів, крім амінокислот, входять речовини небілкової природи, так звані простатичні групи – вуглеводи, ліпіди, нуклеїнові кислоти і т.д.

До найбільш важливих у біологічному відношенні білкових речовин відносяться нуклеопротейди – з ними пов'язані процеси розподілу клітин, зберігання і передача спадкоємних властивостей.

У тваринних організмах зустрічаються два типи нуклеопротейдів: рибонуклеопротейди (РНП) і дезоксирибонуклеопротейди (ДНП). Близько 50% маси нуклеопротейду становить білок. При взаємодії молекул ДНК і РНК із білковими молекулами єднальну роль відіграють фосфорна кислота і аміногрупи діамінокислот.



Прикладом складних білків (хромопротеїдів) є гемоглобін. До його складу в якості небілкової частини входить гем. Білкова частина – глобін – містить чотири поліпептидні ланцюги. Зв'язок гема з пептидним ланцюгом здійснюється іоном заліза, який координаційно пов'язаний з залишком гістидину пептидного ланцюга:



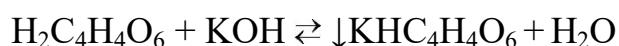
Хромопротеїдами є також міоглобін – білок м'язової тканини, ферменти: каталаза, пероксидаза і т.д. Більшість хромопротеїдів містять у своїй складі який-небудь метал (залізо, мідь, молібден та ін.). Металопропротеїди відіграють важливу роль у процесах біологічного окиснення в тканинах.

У глікопротеїдах в якості простетичних груп містяться різні похідні вуглеводів: Д-глюкозамін, Д-глюкоренова кислота; у ліпопротеїдах – жири, фосфатиди, стерини. Утворення комплексу білків з ліпідами сприяє розчинності останніх і обумовлює транспортування їх у тканинах.

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА

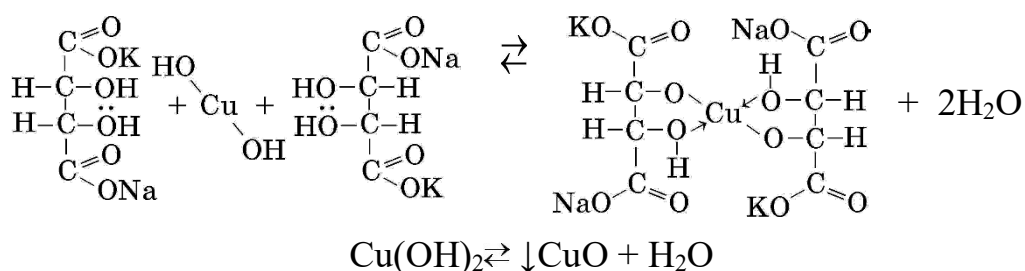
### Дослід 1. Доказ наявності двох карбоксильних груп у винній кислоті.

У пробірку внесіть 1 краплю 15 % розчину винної кислоти, 2 краплі 5 % розчину калію гідроксиду і струсіть. Поступово починає виділятися білий кристалічний осад кислої калійної солі винної кислоти (калій гідрогентартрат). Якщо осад не утворюється, пробірку охолодіть під струменем холодної води і потріть внутрішню стінку пробірки скляною палочкою. Додайте в пробірку ще 4 – 5 крапель розчину калій гідроксиду. Осад поступово розчиниться, тому що утворюється добре розчинена у воді середня калійна сіль винної кислоти (калій тартрат). Одержаний розчин збережіть для наступного досліді.



### Дослід 2. Доказ наявності гідроксильних груп у винній кислоті.

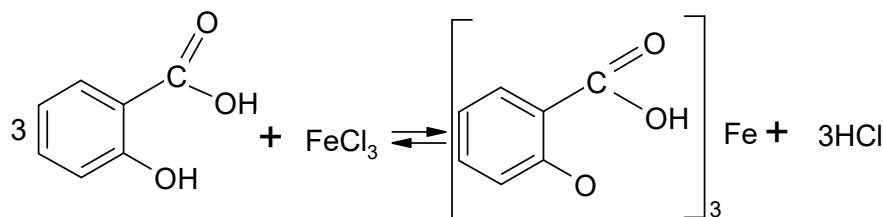
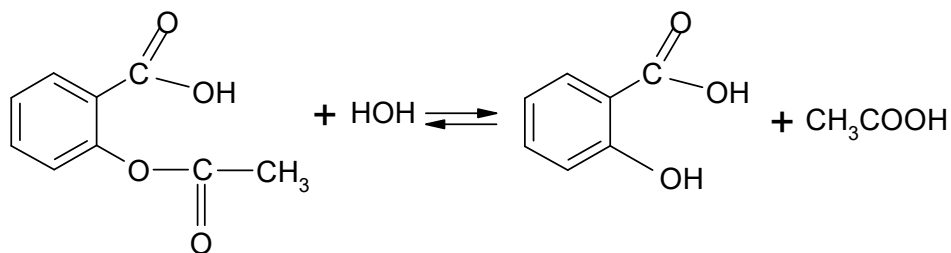
У дві пробірки внесіть по 2 краплі розчину купрум (II) сульфату і 10% розчину натрій гідроксиду. Випадає блакитний осад купрум (II) гідроксиду. У першу пробірку додайте розчин калій тартрату, одержаний в попередньому досліді. Осад купрум (II) гідроксиду розчиняється з утворенням розчину синього осаду. Обидві пробірки нагрійте до кипіння. У першій пробірці колір рідини не змінюється в другій – блакитний осад перетворюється в осад чорного кольору купрум (II) оксиду.



### Дослід 3. Доказ відсутності фенольного гідроксилу в ацетилсаліциловій кислоті і її гідроліз.

Помістіть у пробірку декілька кристалів ацетилсаліцилової кислоти і 5-6 крапель води. Для прискорення розчинення струсіть пробірку. Відлийте частину одержаного розчину в другу пробірку. До однієї з пробірок додайте 1-2 краплі розчину ферум (III) хлориду.

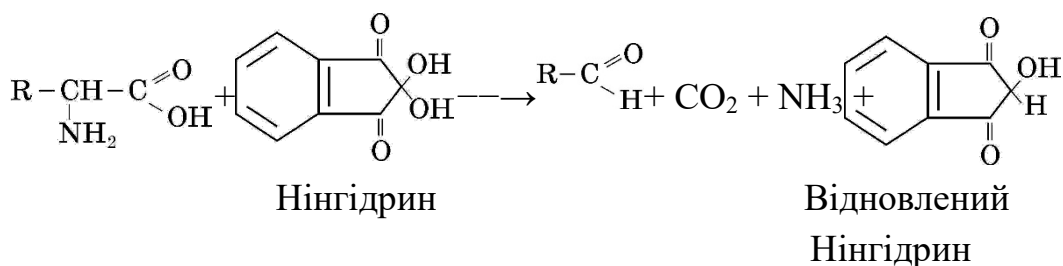
Вміст іншої пробірки нагрійте до кипіння, а потім додайте краплю розчину ферум (III) хлориду. Виникає синє забарвлення (реакція на фенольний гідроксил).



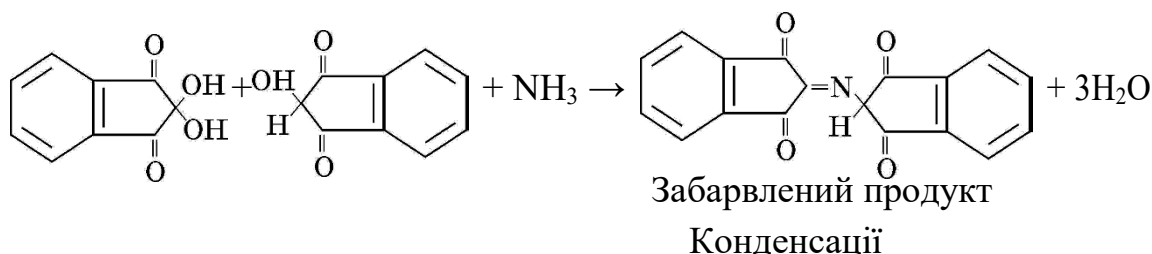
#### Дослід 4. Нінгідринова реакція з $\alpha$ -амінокислотами, пептидами, білками.

У дві пробірки поміщають по 20 крапель  $\alpha$ -амінокислоти, білка. В кожну додають по 5 крапель розчину нінгідрину і нагрівають.

1.

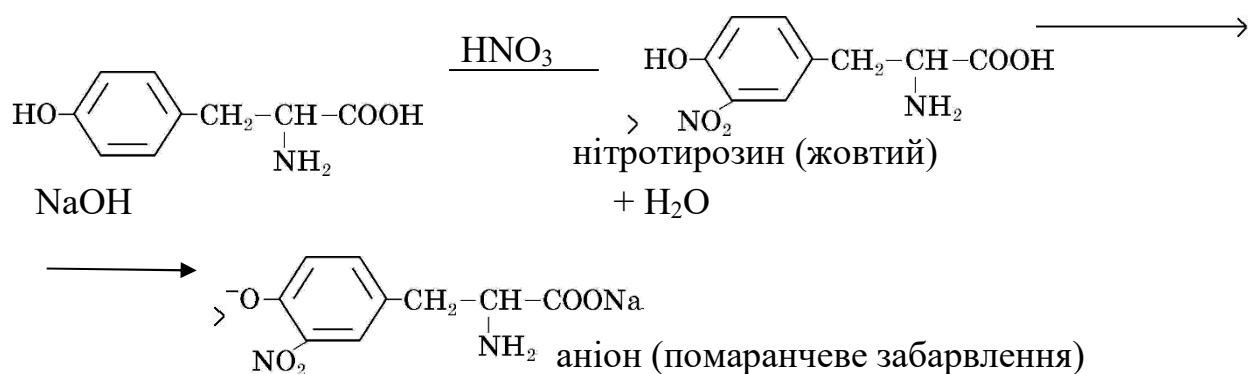


2.



#### Дослід 5. Ксантопротеїнова проба на ароматичні амінокислоти.

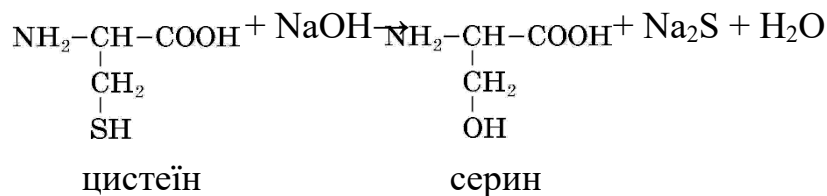
В пробірку поміщають 5 крапель розчину яєчного білка. Додають 3 краплі концентрованої нітратної кислоти, нагрівають. Після охолодження додають 10 крапель розчину амоніаку або NaOH.



### Дослід 6. Реакція Фоля на сульфуровмісні амінокислоти.

В пробірку поміщують 5 крапель яєчного білка, додають 5 крапель розчину NaOH і 1 краплю  $(\text{CH}_3\text{COO})_2\text{Pb}$ . Кип'ятять.

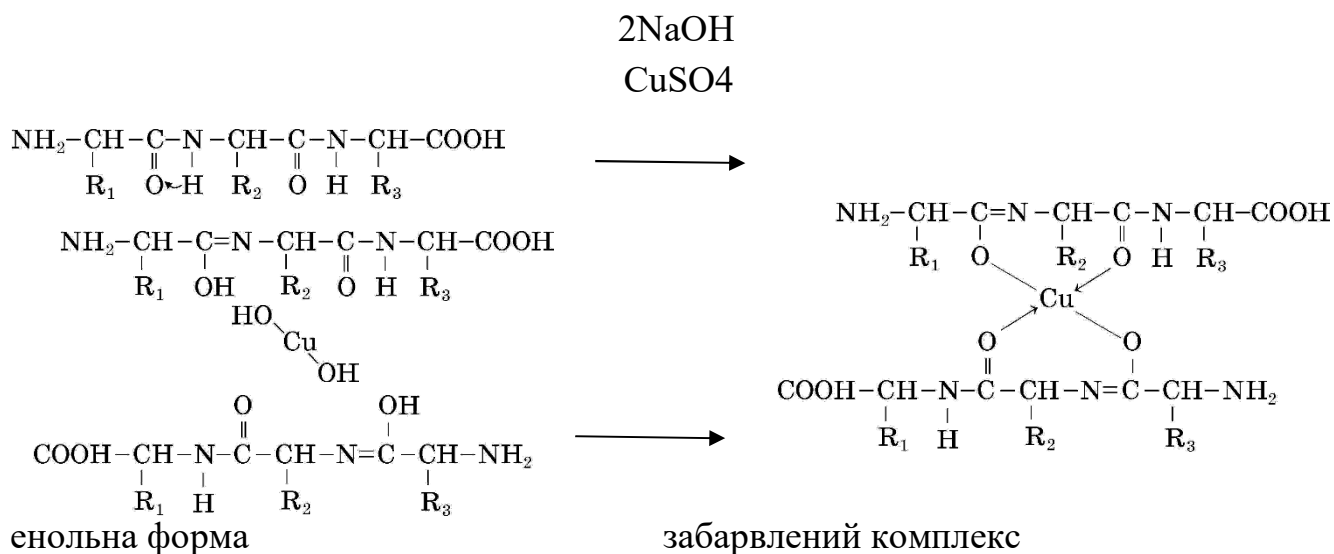
1.



### Дослід 7. Біуретова реакція з пептидами і білками.

В пробірку помістіть 20 крапель білка, додйте 20 крапель розчину NaOH та 2 краплі  $\text{CuSO}_4$ .

Реакція з поліпептидом:



## Питання і вправи

### № 1

1. Надайте визначення ентантіомерів. Складіть проекційні формули ентантіомерів  $\beta$ -оксимасляної кислоти, визначте асиметричний атом вуглецю і вкажіть його приналежність до L- або D-рядів.

3. Якою кольоровою реакцією можна довести наявність бензольного кільця в амінокислоті?

3. Напишіть будову трипептиду Гіс-Три-Ліз і визначіть область рН середовища, у якому перебуває його ізoeлектрична точка.

### № 2

1. Напишіть рівняння реакції  $\gamma$ -оксивалеріанової кислоти з розчином NaOH і при її нагріванні (специфічна реакція).

2. Приведіть схему дезамінування серину. Укажіть шляхи протікання цього процесу в організмі.

3. Напишіть будову трипептиду Глі-Вал-Фен і визначіть область рН середовища, у якому перебуває його ізoeлектрична точка.

### № 3

1. Наведіть схему окислення гліоксалевої кислоти амоніачним розчином гідроксиду срібла.

2. Приведіть схеми реакцій валіну з розведеним розчином NaOH при кімнатній температурі, соляною кислотою.

3. Напишіть будову трипептиду Глу-Цис-Глі. У якій області рН середовища перебуває його ізoeлектрична точка?

### № 4

1. Напишіть рівняння реакцій взаємодії піровиноградної кислоти з етиловим спиртом?

2. Напишіть рівняння реакцій взаємодії лейцину з формальдегідом,  $\text{HNO}_2$ , хлористим ацетилом. Яке практичне значення мають ці реакції?

3. Напишіть будову трипептиду Вал-Ала-Тир. У якій області рН середовища перебуває його ізoeлектрична точка?

### № 5

1. Напишіть схему декарбоксилювання триптофану.

2. Напишіть проекційні формули молочної кислоти і ключової сполуки, за якою визначається приналежність до стереохімічного ряду (відносна конфігурація).



3. Напишіть будову трипептиду Глі-Ала-Сер. У якій області рН середовища перебуває його ізoeлектрична точка?

#### № 6

1. Напишіть рівняння реакцій кислотного гідролізу лактона  $\alpha$ -оксивалеріанової кислоти (валеролактона).

2. Напишіть рівняння реакції декарбоксилювання лізину.

3. Приведіть будову трипептиду Глі-Фен-Мет. У якій області рН середовища перебуває його ізoeлектрична точка?

#### № 7

1. Складіть проєкційні формули енантіомерів яблучної кислоти. Визначте асиметричні атоми вуглецю і вкажіть приналежність до рядів.

2. З якої  $\alpha$ -амінокислоти шляхом декарбоксилювання виходить біогенний амін гістамін?

3. Напишіть будову трипептиду Тир-Цис-Глі. Укажіть рН середовища в ізoeлектричній точці.

#### № 8

1. Надайте визначення енантіомерів. Напишіть проєкційні формули енантіомерів гліцеринового альдегіду, відзначте асиметричні атоми вуглецю і вкажіть їх приналежність до стереохімічних рядів.

2. Напишіть схему реакції солеутворення глютамінової кислоти.

3. Напишіть будову трипептиду Вал-Ала-Глі. Укажіть рН середовища в ізoeлектричній точці.

#### № 9

1. Напишіть схеми реакцій взаємодії лізину з розчином соляної кислоти, розчином  $\text{Ba}(\text{OH})_2$  при нагріванні, формальдегідом. Укажіть, як зміниться рН середовища в останній реакції після її закінчення і яке її практичне значення.

2. Напишіть схеми реакцій, які доводять наявність альдегідної групи в гліоксалевої кислоті.

3. Напишіть будову трипептиду Лей-Глу-Цис. Укажіть рН середовища в ізoeлектричній точці.

#### № 10

1. Складіть проєкційні формули енантіомерів  $\beta$ -оксимасляної кислоти. Відзначте асиметричний атом вуглецю та вкажіть його приналежність до рядів.

2. Напишіть рівняння реакції естерифікації аспарагіну з метиловим спиртом. За яким механізмом протікає ця реакція?

3. Напишіть будову трипептиду Арг-Сер-Глі. У якій області рН середовища перебуває ІЕТ трипептиду?

#### **№ 11**

1. Дезамінуванням якої амінокислоти можна одержати сполуку 3-метилгексанон-2-оной кислоти?

2. Напишіть рівняння реакції взаємодії молочної кислоти з етиловим спиртом, а також рівняння специфічної реакції, що протікає при її нагріванні?

3. Напишіть будову трипептиду Арг-Вал-Сер. У якій області рН середовища перебуває ІЕТ трипептиду?

#### **№ 12**

1. Які  $\alpha$ -амінокислоти можна відкрити за допомогою ксантопротеїнової реакції?

2. Напишіть схему взаємодії  $\gamma$ -оксимасляної кислоти з металічним натрієм (надлишок).

3. Напишіть будову трипептиду Тре-Асп-Вал. У якій області рН середовища перебуває ІЕТ трипептиду?

#### **№ 13**

1. Яка амінокислота була піддана дезамінуванню при одержанні піровиноградної кислоти?

2. Напишіть рівняння реакції дегідратації яблуневої кислоти і назвіть утворену сполуку.

3. Напишіть будову трипептиду Глі-Тир-Вал. У якій області рН середовища перебуває ІЕТ трипептиду?

#### **№ 14**

1. Декарбоксилюванням якої амінокислоти виходить  $\alpha$ -аміномасляна кислота?

2. Напишіть рівняння реакції піровиноградної кислоти з  $\text{HCl}$ ?

3. Напишіть будову трипептиду Тре-Глі-Ала. У якій області рН середовища перебуває ІЕТ трипептиду.

#### **№ 15**

1. Визначіть характер середовища в розчині продуктів взаємодії фенілаланіну з формальдегідом, етиловим спиртом, хлористим ацетилом.

2. Як можна розрізнити молочну і піровиноградну кислоти?

3. Напишіть будову трипептиду Глі-Тир -Ала. У якій області рН середовища перебуває ІЕТ три пептиду.

### **Список рекомендованої літератури**

1. Біологічна і біоорганічна хімія: базовий підручник: у 2 кн./кол.авт.; за ред. чл.-кор. НАМН України, проф. Б.С. Зіменського, проф. І.В. Ніженковської. – Кн. 1: Біоорганічна хімія / [Б.С. Зіменковський, В.А. Музиченко, І.В. Ніженковська, Г.О. Сирова]; за ред. Б.С. Зіменського, проф. І.В. Ніженковської. – К.: ВСВ «Медицина», 2014. – 272 с.
2. Основи біоорганічної хімії (навчальний посібник) / Сирова Г.О., Петюніна В.М., Макаров В.О., Лук'янова Л.В. – «Полосата типографія». – 2018. – 238 с.
3. Будова, властивості та біологічне значення функціональних похідних карбонових кислот (гідрокси-, кето- та фенолокислот). Амінокислотний склад білків та пептидів. Структурна організація білків. Денатурація.: метод. вказ. для студентів 1-го курсу виклад. / уклад. Сирова Г.О., Петюніна В.М., Макаров В.О. та ін. – 2-е вид., переробл., випр., доп. – Харків: ХНМУ, 2018. – 48 с.
4. Конспект лекцій.
5. Гідрокси- та оксокислоти. гетерофункціональні сполуки бензольного ряду. метаболіти та родоначалники лікарських засобів: Метод. вказ. для студентів 1-го курсу/уклад. Г.О. Сирова, Л.Г. Шаповал, В.М. Петюніна, Є.Р. Грабовецька, Н.М. Ткачук, В.О. Макаров, С.В. Андрєєва, С.А. Наконечна, Л.В. Лук'янова, Р.О. Бачинський, С.М. Козуб, Т.С. Тішакова, О.Л. Левашова, Н.В. Вакуленко, Н.М. Чаленко.–Харків: ХНМУ, 2013.– 25 с.
6. Амінокислоти, пептиди, білки: Метод. вказ. для студентів 1-го курсу / уклад. Г.О. Сирова, Л.Г. Шаповал, В.М. Петюніна, Є.Р. Грабовецька, Н.М. Ткачук, В.О. Макаров, С.В. Андрєєва, С.А. Наконечна, Р.О. Бачинський, С.М. Козуб, Т.С. Тішакова, Л.В. Лук'янова, О.Л. Левашова, Н.В. Вакуленко, Н.М. Чаленко.–Харків: ХНМУ, 2013.– 31 с.

### **Список додаткової літератури**

1. Тюкавкина Н.А. Бауков Ю.И. Биоорганическая химия. М.: – Медицина, 1985.
2. Руководство к лабораторным занятиям по биоорганической химии. Под ред. Тюкавкиной Н.А. М.: – Медицина, 1985.
3. Губський Ю.І. Біоорганічна хімія. Вінниця: – Нова книга, 2004.
4. Шаповал Л.Г., Чеховський В.Д., Петюніна В.М. Навчальний посібник з органічної хімії. Харків: – ХДМУ, 1994.

## Навчальне видання

Будова, властивості та біологічне значення функціональних похідних карбонових кислот (гідрокси-, кето- та фенолокислот). Амінокислотний склад білків та пептидів. Структурна організація білків. Денатурація.

Методичні вказівки для самостійної роботи студентів 1-го курсу з біологічної та біоорганічної хімії.

Укладачі:

Сирова Ганна Олегівна  
Каліненко Ольга Сергіївна  
Петюніна Валентина Миколаївна  
Макаров Володимир Олександрович  
Андрєєва Світлана Вікторівна  
Лук'янова Лариса Володимирівна  
Козуб Світлана Миколаївна  
Тішакова Тетяна Станіславівна  
Левашова Ольга Леонідівна  
Савельєва Олена Валеріївна  
Чаленко Наталія Миколаївна  
Завада Оксана Олександрівна  
Копотєва Наталія Василівна  
Водолаженко Марія Олександрівна  
Чистякова Галина Олексіївна

Відповідальний за випуск: Каліненко О.С.