

Авторський пілотний проект



# Частина 1. Клітинна

## біохімія

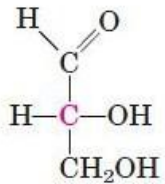
Лекція 1. Метаболізм вуглеводів

# Вуглеводи

**Вуглеводи** – це органічні хімічні сполуки, що мають загальну формулу  $C_nH_{2n}O_n$ , молярну масу 30x ммоль/л, гідрофільні (мономери) або гідрофобні (полімери), полярні, осмотично активні, оптично активні.

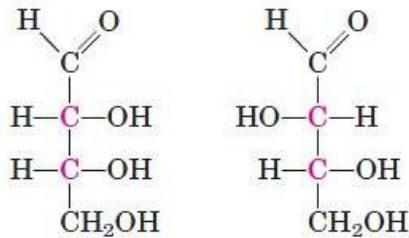
Залежно від кількості атомів Карбону, вуглеводи ділять на тріози (3C), тетрози (4C), пентози (5C), гексози (6C), гептози (7C) і т.д.

Three carbons



D-Glyceraldehyde

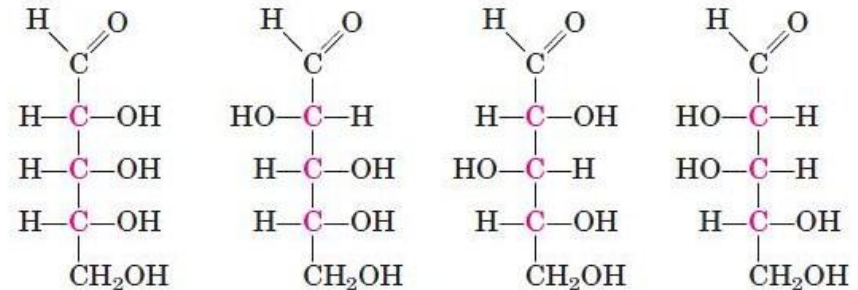
Four carbons



D-Erythrose

D-Threose

Five carbons



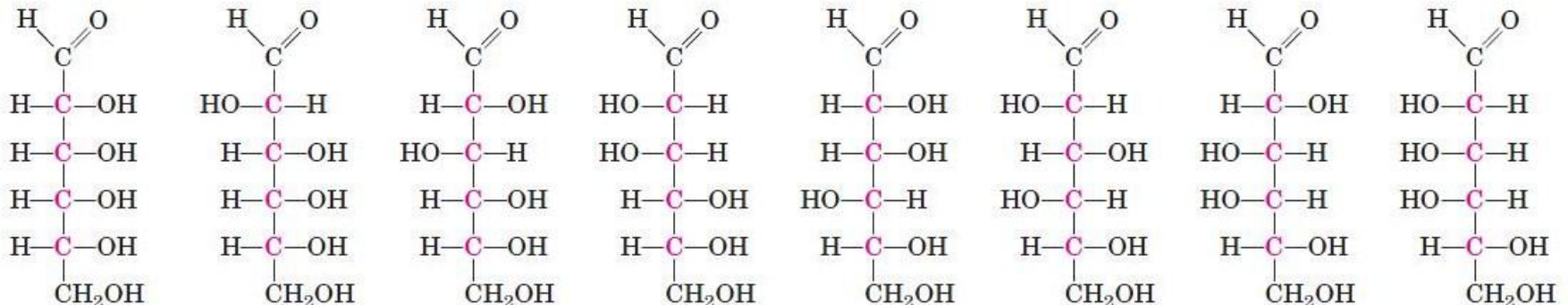
D-Ribose

D-Arabinose

D-Xylose

D-Lyxose

Six carbons



D-Allose

D-Altrose

D-Glucose

D-Mannose

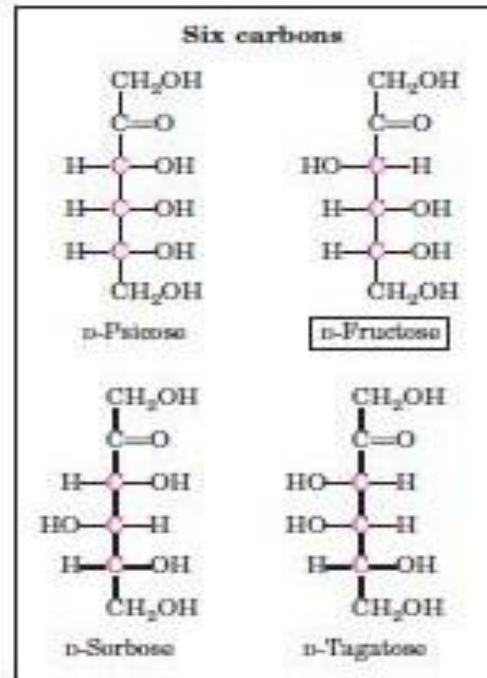
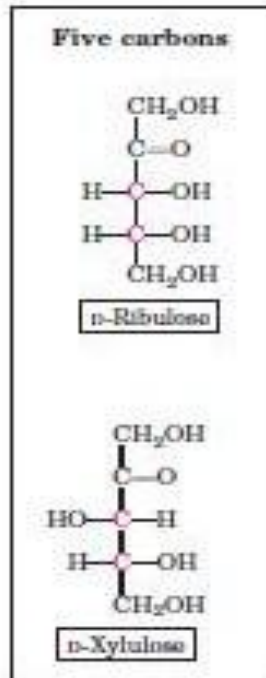
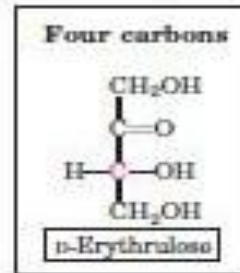
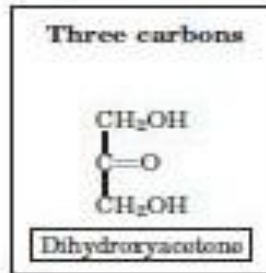
D-Gulose

D-Idose

D-Galactose

D-Talose

Залежно від активних груп в вуглеводах, вони поділяються на **альдози** (наявна альдегідна група) та **кетози** (наявна кетонова гру



# Цікавий факт!

Форміловий альдегід – не вуглевод, але фізичні та хімічні властивості його зустрічаються у всіх вуглеводів-альдоз. Це зумовлено тим, що всі альдози мають альдегідну групу у «першому положенні»

# Ізомери

**Ізомер** – це речовина, яка має спільну з іншою речовиною молекулярну будову, але при цьому ці речовини різняться між собою якимось параметром.

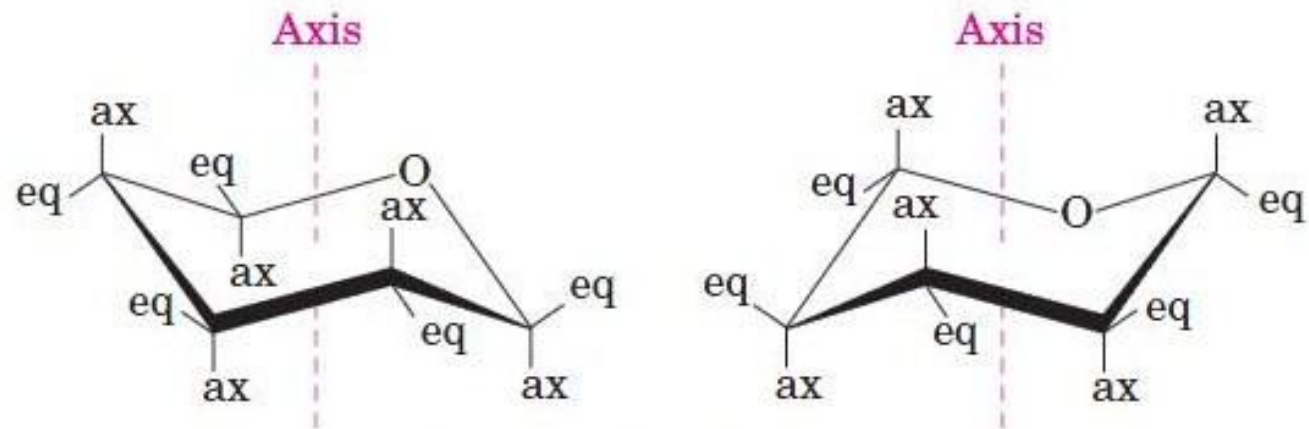
Ізомери у вуглеводів можуть класифікуватися

- За положенням радикалів у просторі
- За оптичними властивостями
- За видом зв'язків у межах речовини

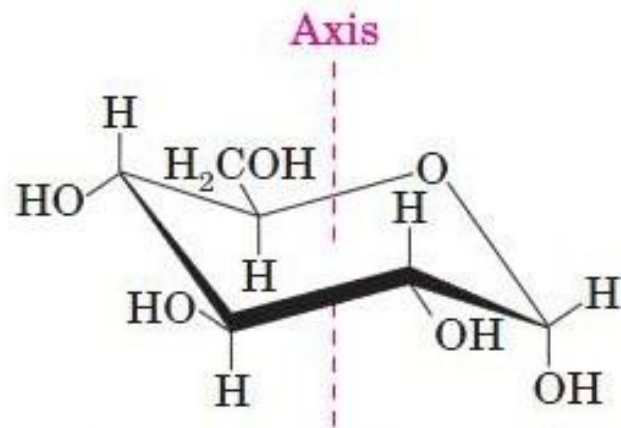
# Оптична активність

Вуглеводи – оптично активні речовини. Це значить, що вони можуть поляризувати світло, що проходить через розчинник.

В залежності від того, в яку сторону вони повертають світлові хвилі, вуглеводи поділяються на **правообертаючі ізомери (D [dextrous] або R [right-rotating])** та **лівообертаючі ізомери (S [sinistrous] або L [left-rotating])**



Two possible chair forms  
(a)



$\alpha$ -D-Glucopyranose  
(b)



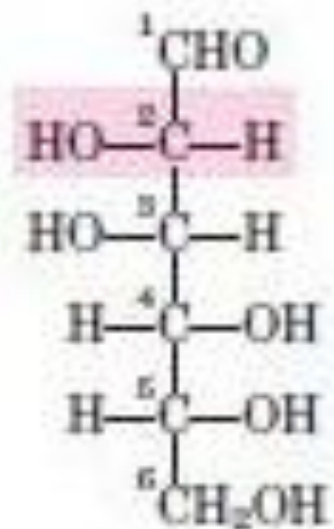
# Важливо знати!

У природі зустрічаються обидва типи оптичних ізомерів, але людським організмом засвоюються і включаються до метаболізму **лише один ізомер для кожного вуглевода!**

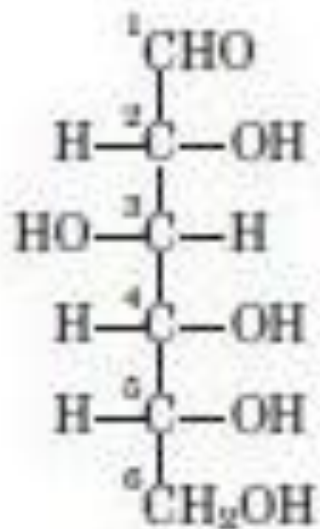
Переважно це – правообертаючі ізомери, хоча є і виключення.

Лівообертаючі ізомери здебільшого проходять через організм неперетравленими.

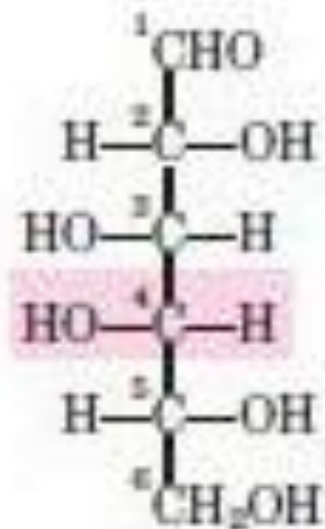
# Епімери



D-Mannose  
(epimer at C-2)



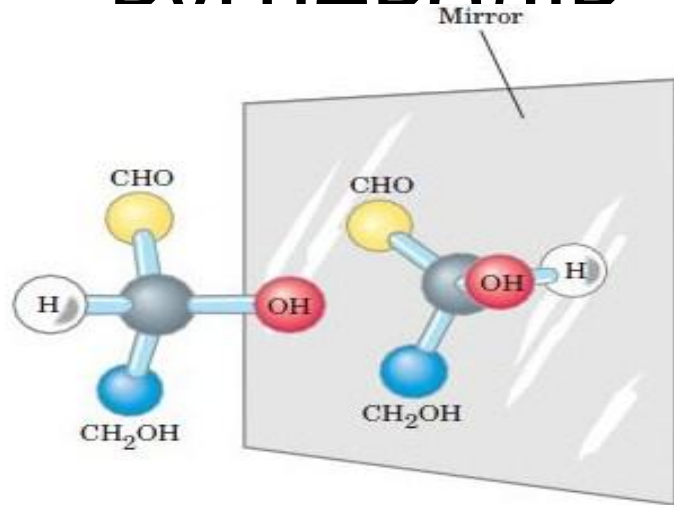
D-Glucose



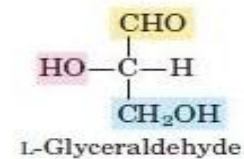
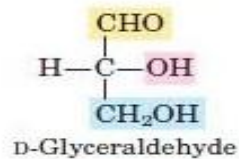
D-Galactose  
(epimer at C-4)

# Схематичне зображення

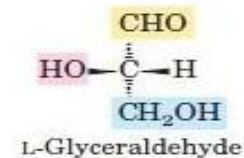
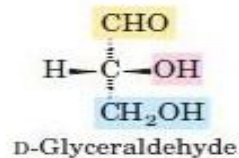
## вуглеводів



Ball-and-stick models



Fischer projection formulas



Perspective formulas

# Глюкоза

- Скорочена формула:  $C_6H_{12}O_6$
- Молекулярна маса: 180 г/моль
- Тип вуглеводу: альдогексоза
- Оптичний ізомер у людини: D
- Додаткова інформація: основне джерело електронів для метаболічних процесів в організмі.

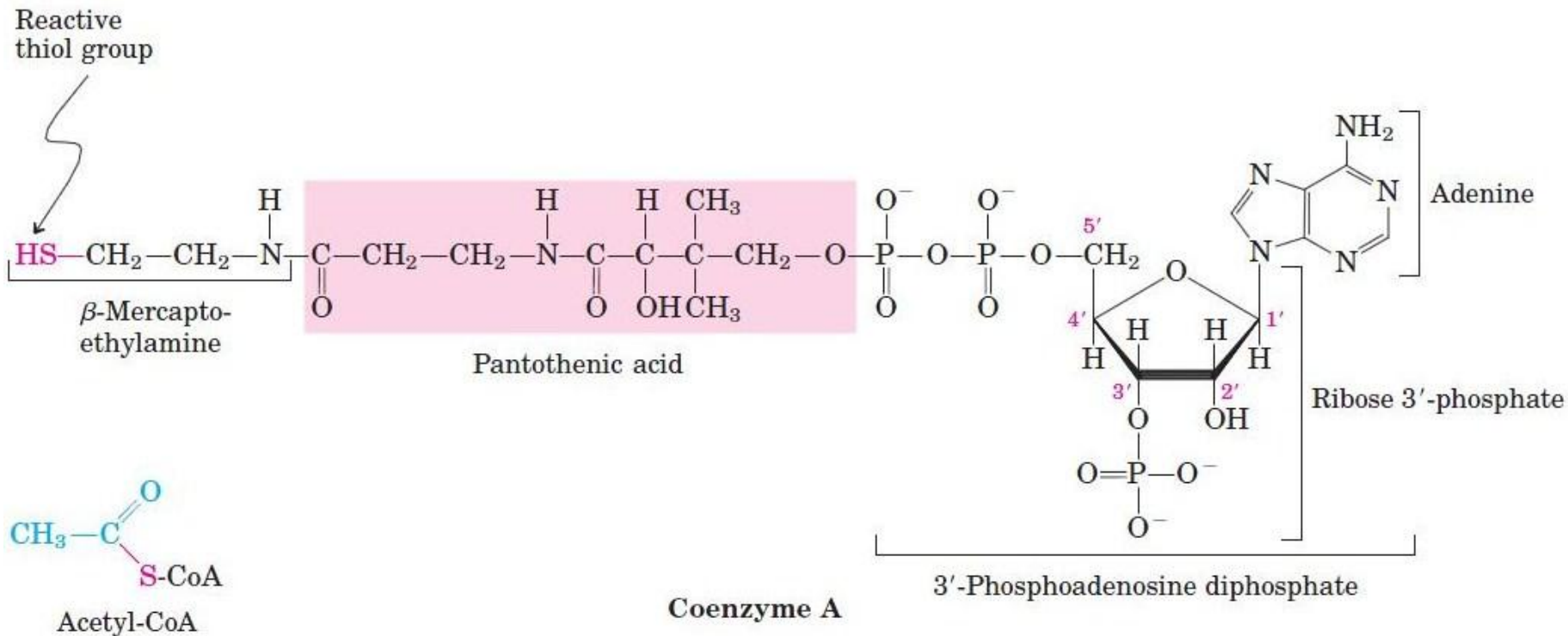
# **Отже, назад до мітохондрії**

В мітохондрії відбувається метаболізм всіх поживних речовин, які надходять до організму.

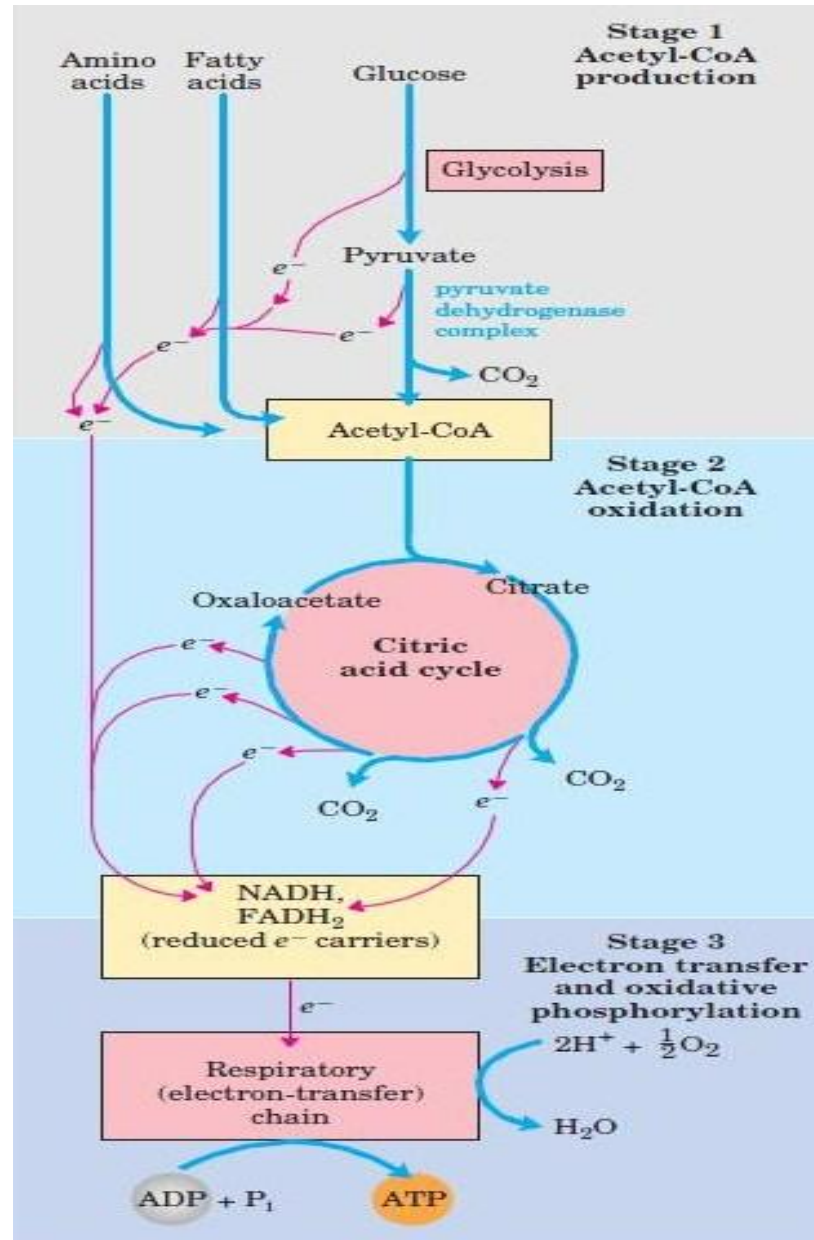
Але перш ніж вони зможуть бути задіяні у клітинному метаболізмі, вони повинні бути перетворені на речовину під назвою...

## **Ацетил-Коензим-Аденозин**

# Ацетил-Коензим-Аденозин



# Біохімічна карта метаболізму



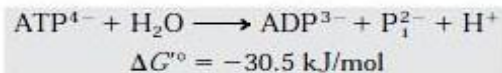
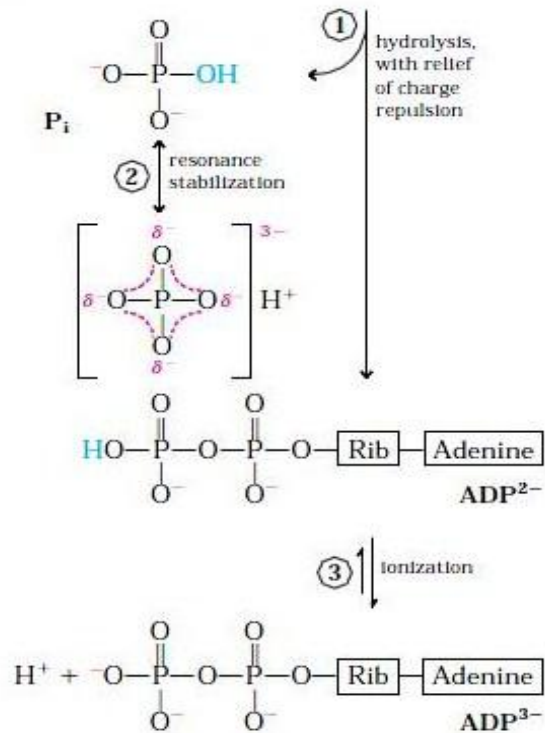
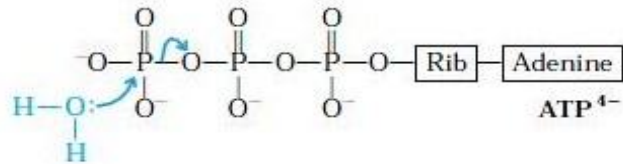
# **Процес перетворення вуглеводів на АКоА складається з 2 етапів:**

1. Гліколіз. Фінальний продукт цієї стадії – піровиноградна кислота (ПВК).
2. Окисне декарбосилювання ПВК. В результаті цього процесу утворюється Ацетил-Коензим-Аденозин

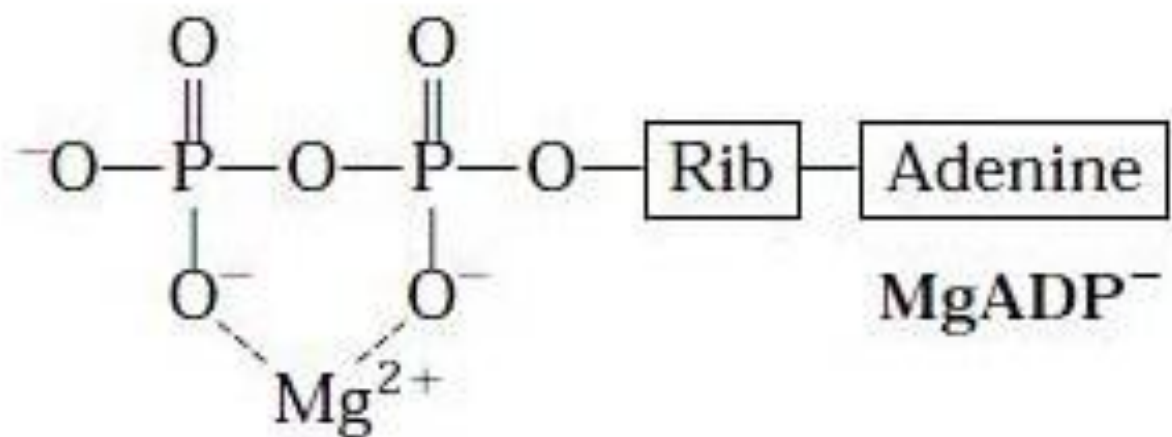
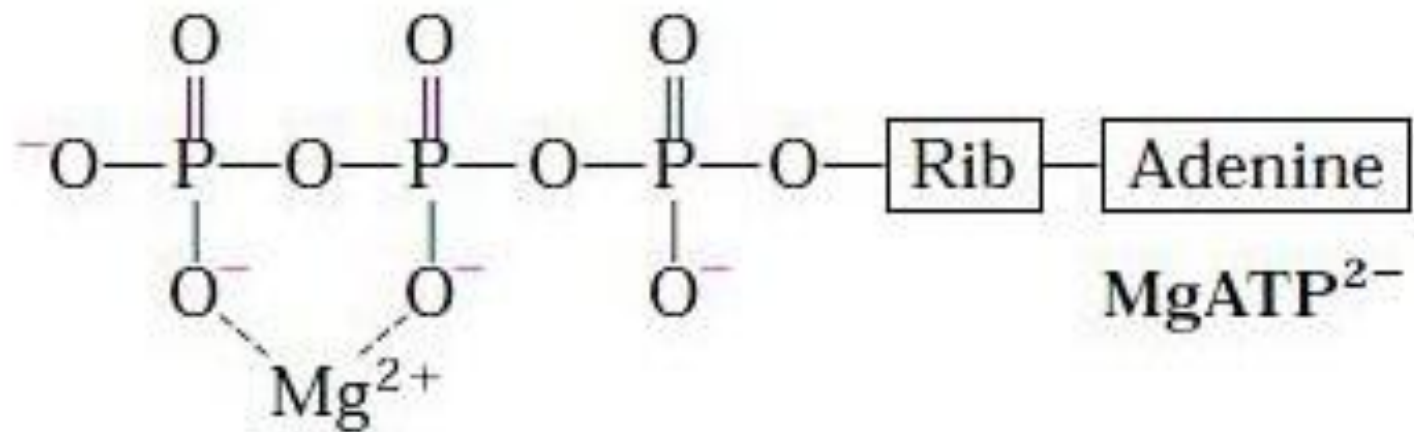


# Але спочатку...

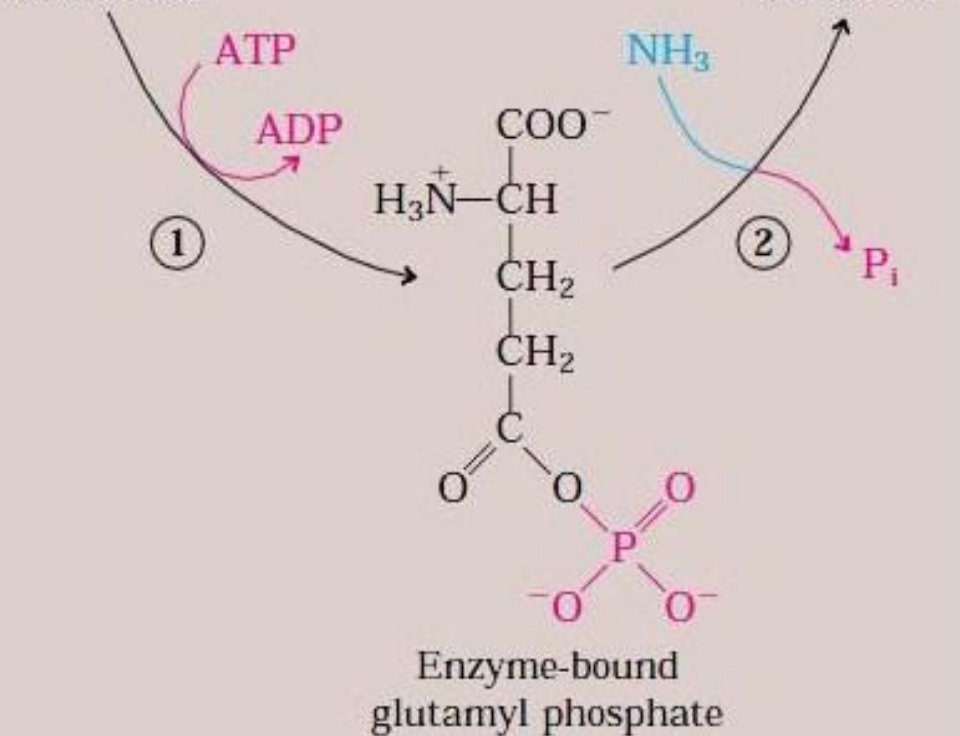
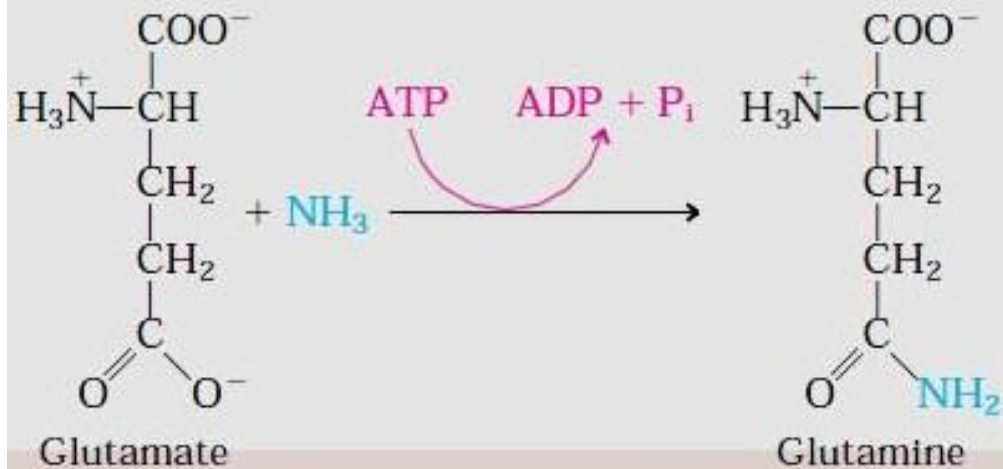
Кілька слів про енергетичнозалежні реакції



Перед вами  
**Аденозитрифосфат!**

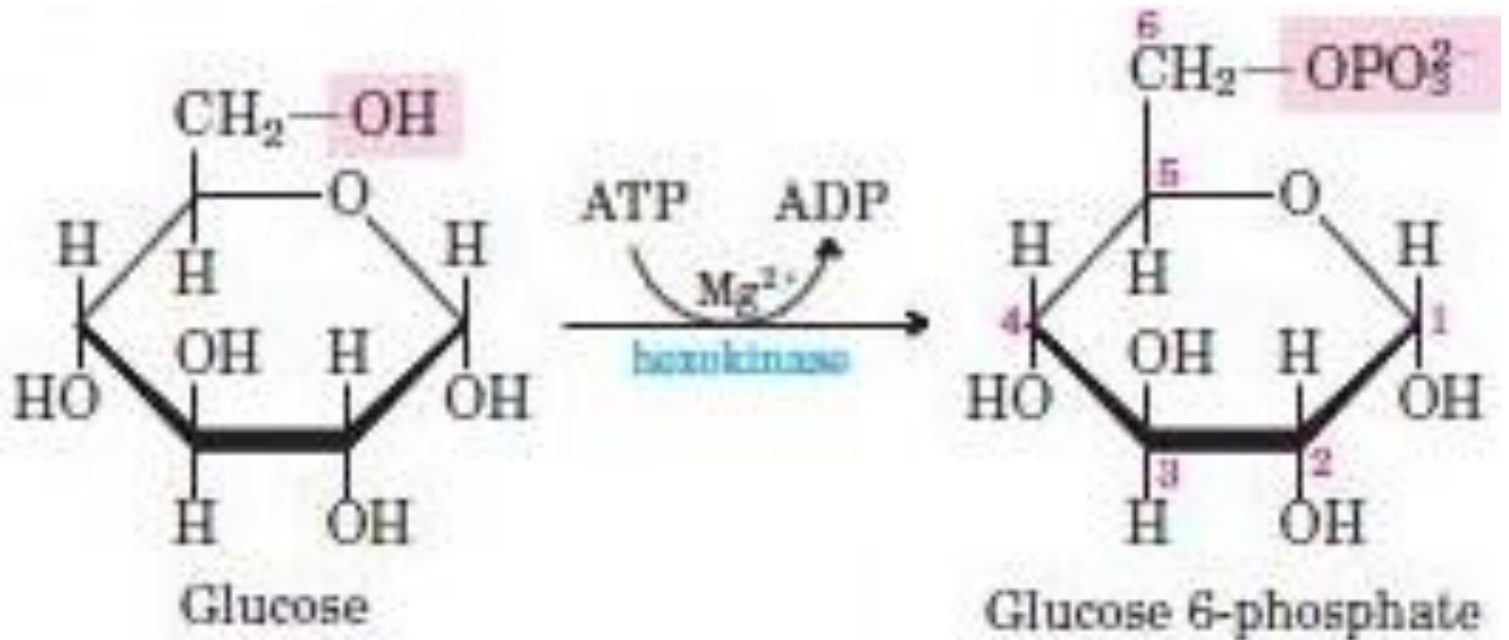


(a) Written as a one-step reaction

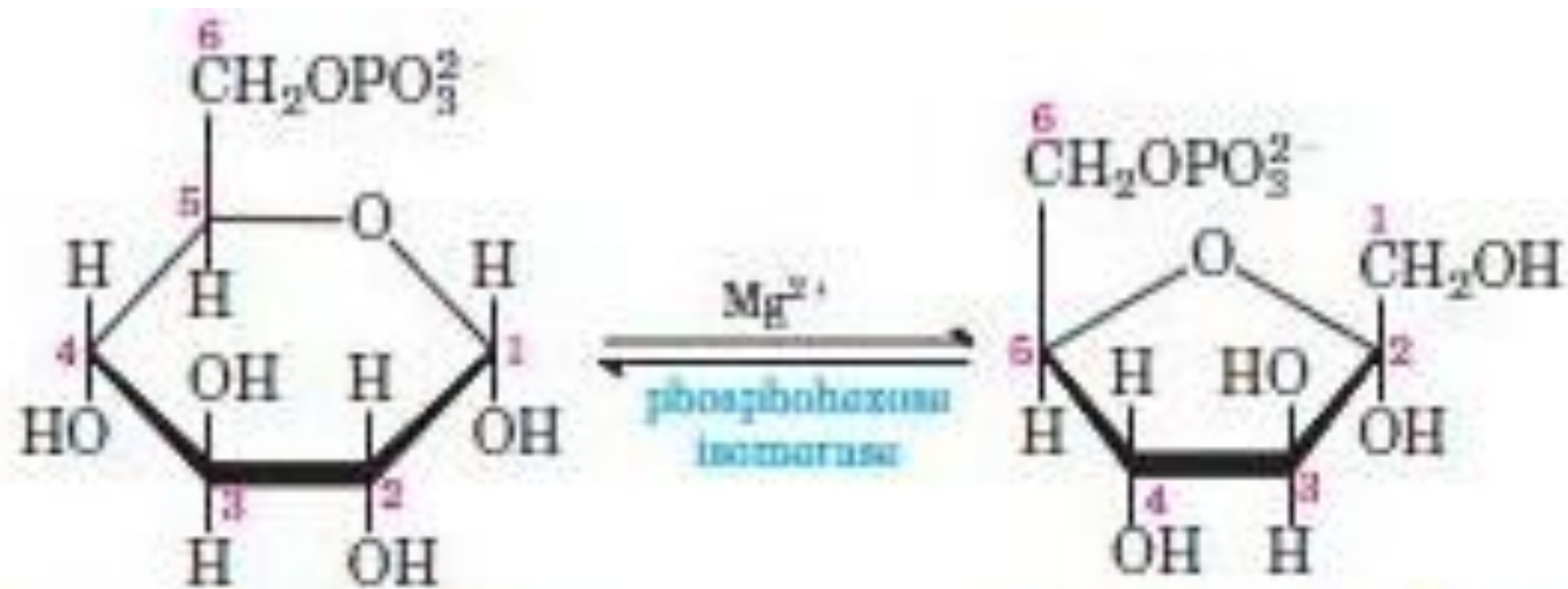


(b) Actual two-step reaction

# Отже, гліколіз...



$$\Delta G'^{\circ} = -16.7 \text{ kJ/mol}$$

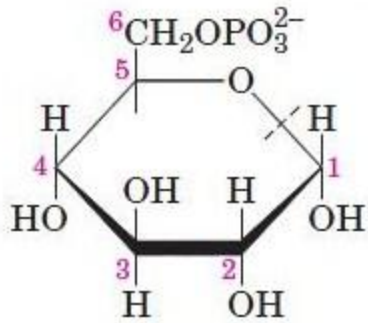


Glucose 6-phosphate

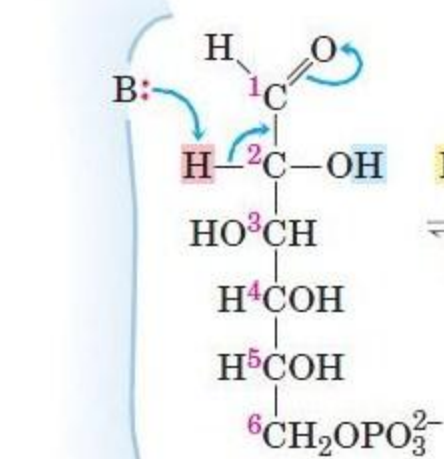
Fructose 6-phosphate

$\Delta G'^{\circ} = 1.7 \text{ kJ/mol}$

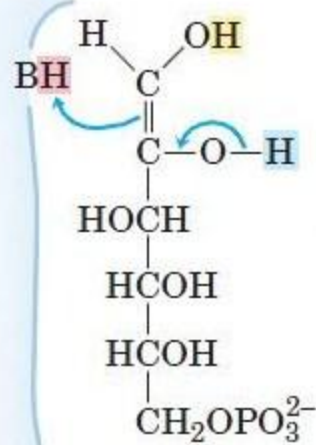
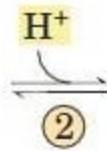
### Glucose 6-phosphate



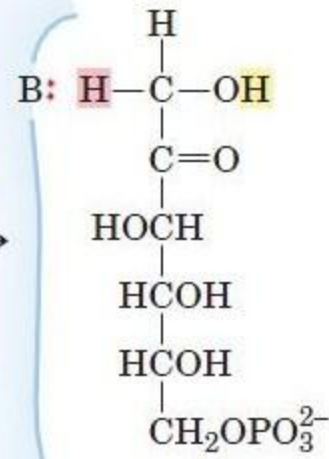
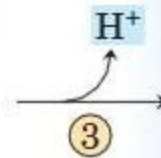
① binding and ring opening



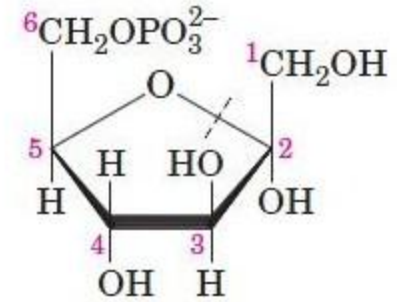
Phosphohexose isomerase



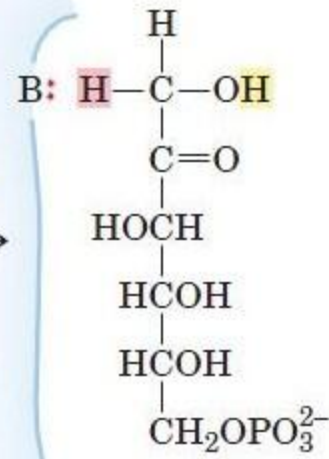
*cis*-Enediol intermediate

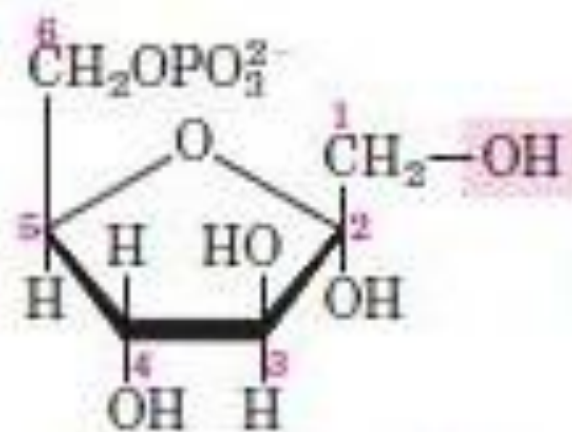


### Fructose 6-phosphate

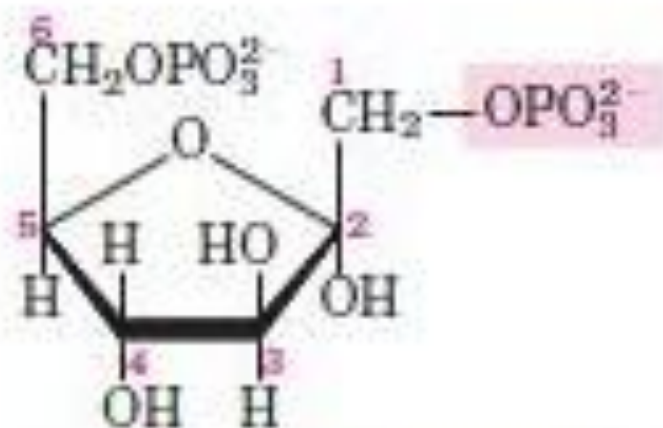
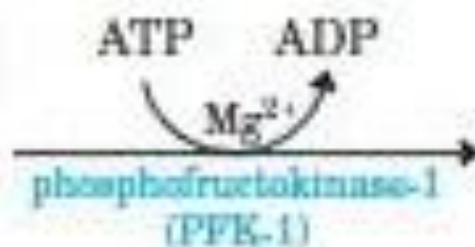


④ ring closing and dissociation



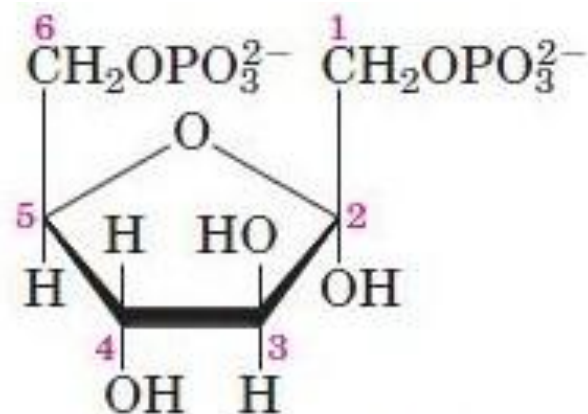


Fructose 6-phosphate

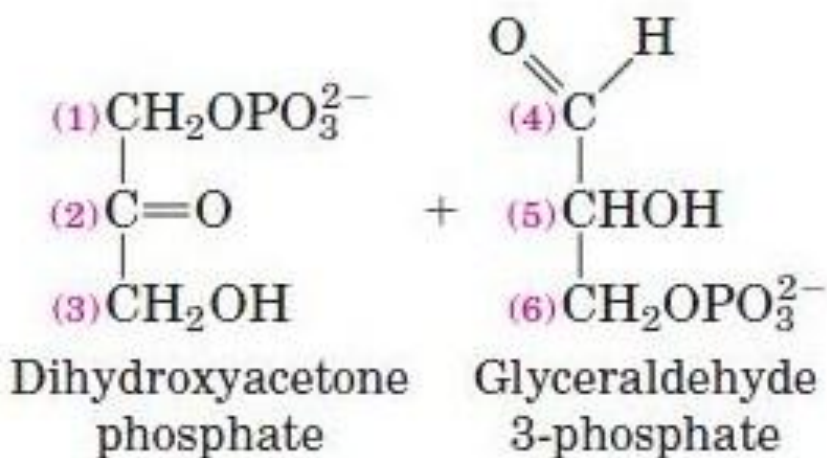


Fructose 1,6-bisphosphate

$$\Delta G'^{\circ} = -14.2 \text{ kJ/mol}$$

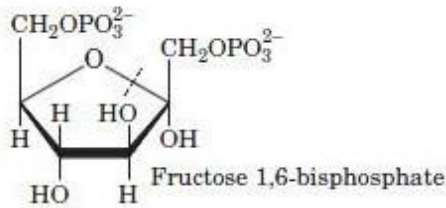


Fructose 1,6-bisphosphate

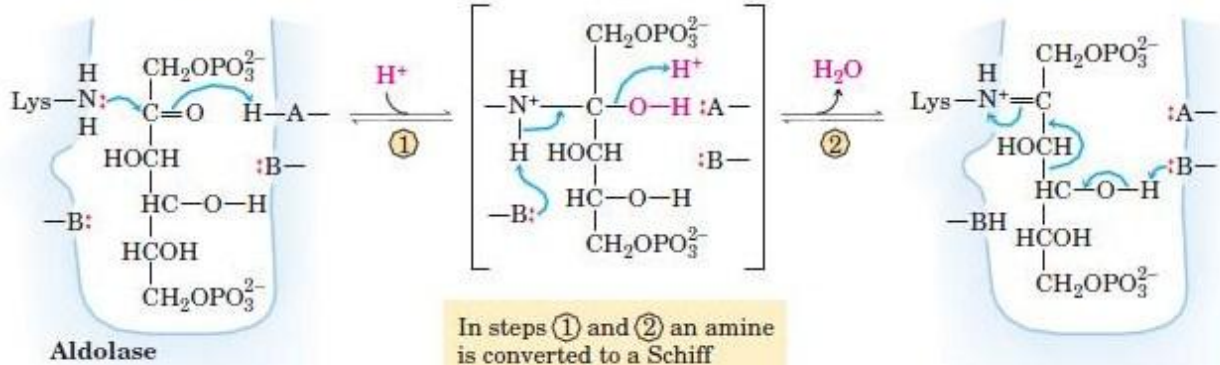


$$\Delta G'^{\circ} = 23.8 \text{ kJ/mol}$$

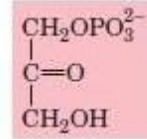




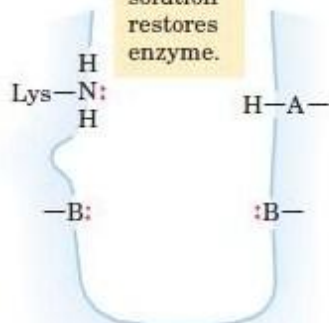
binding and ring opening



Dihydroxyacetone phosphate



Proton exchange with solution restores enzyme.

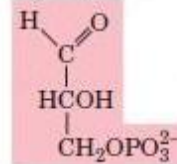


second product released

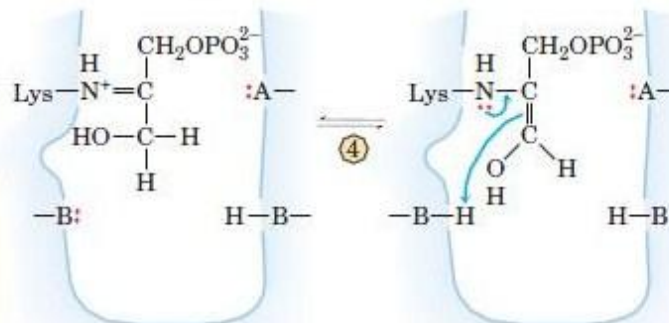


Schiff base is hydrolyzed in reverse of Schiff base formation.

Glyceraldehyde 3-phosphate



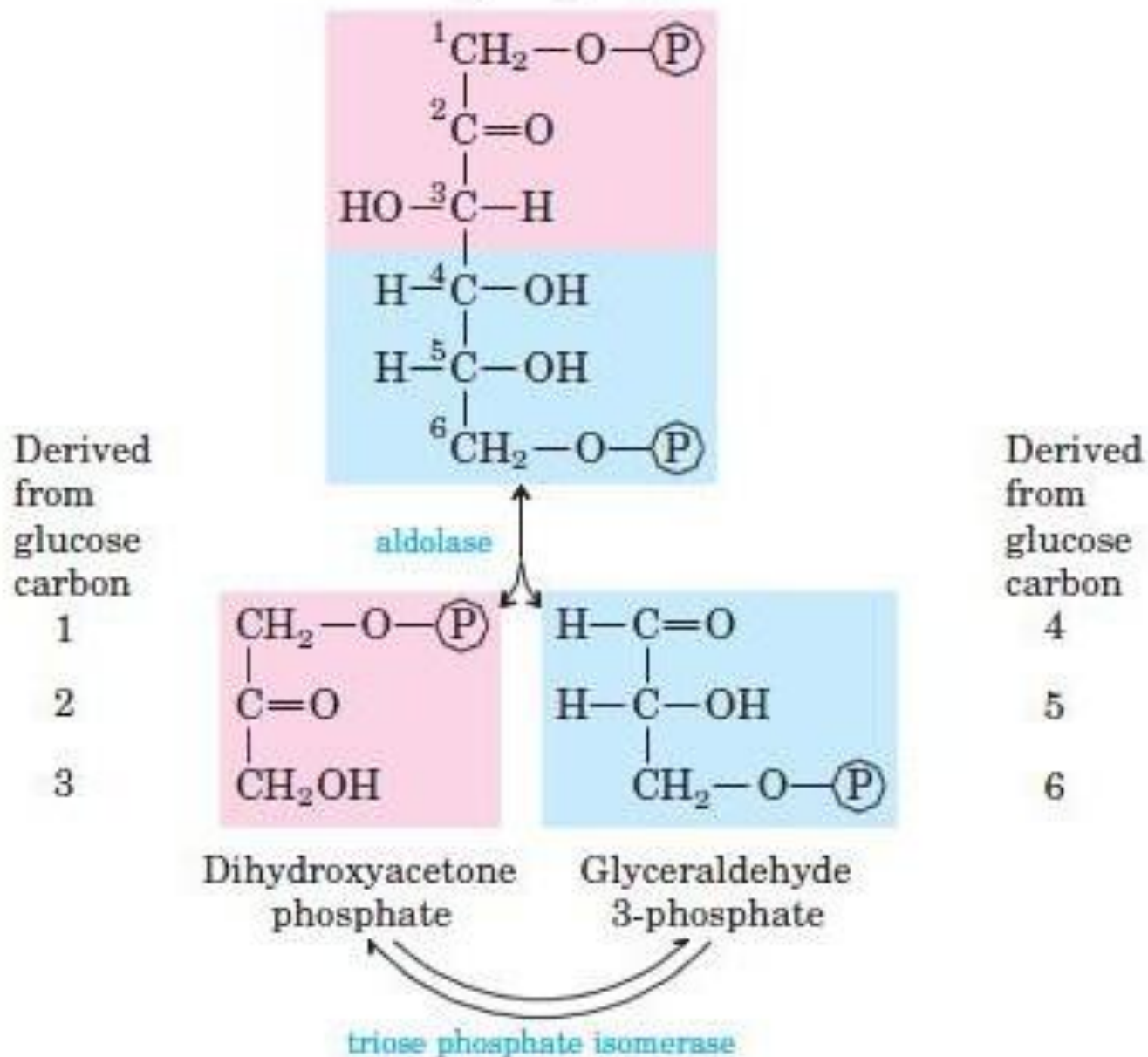
first product released



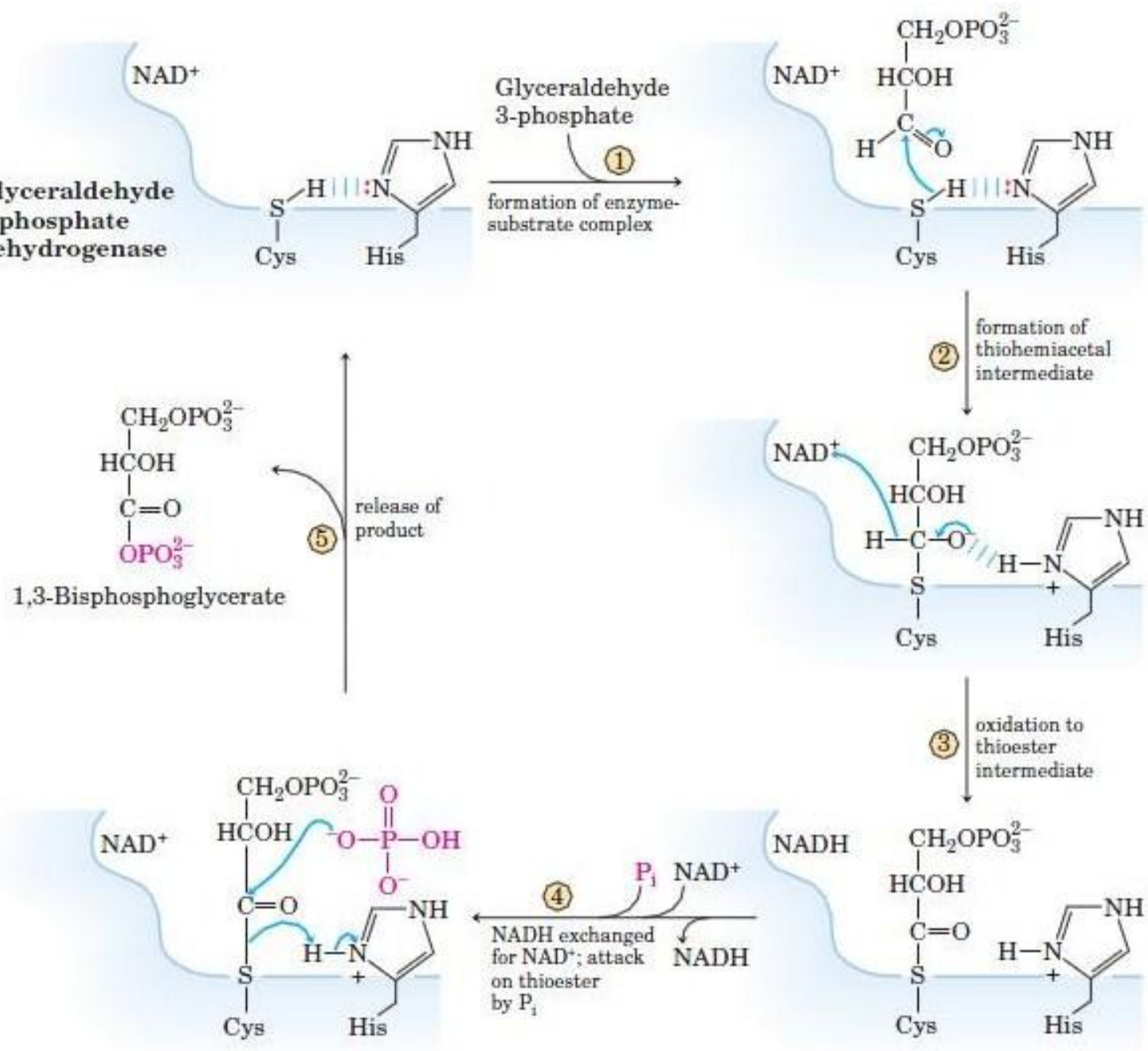
Protonated Schiff base

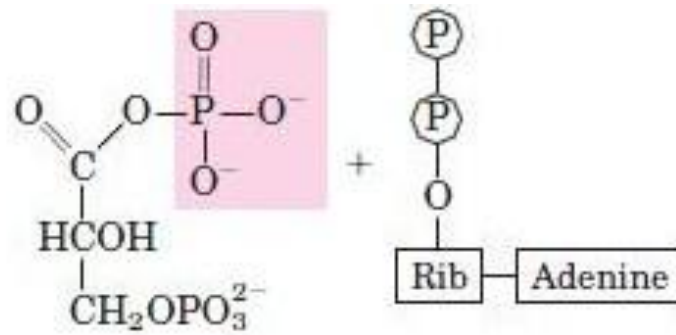
Enamine intermediate

# Fructose 1,6-bisphosphate



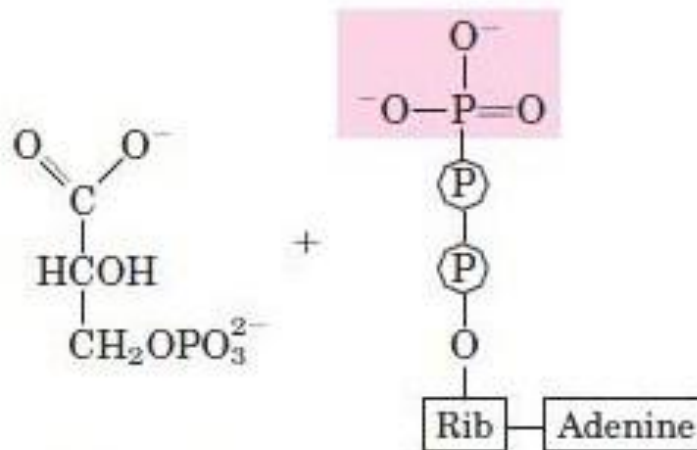
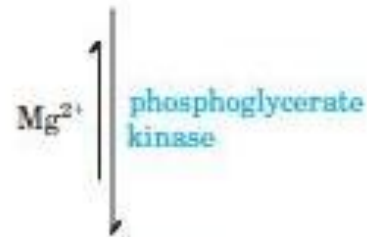
**Glyceraldehyde 3-phosphate dehydrogenase**





1,3-Bisphosphoglycerate

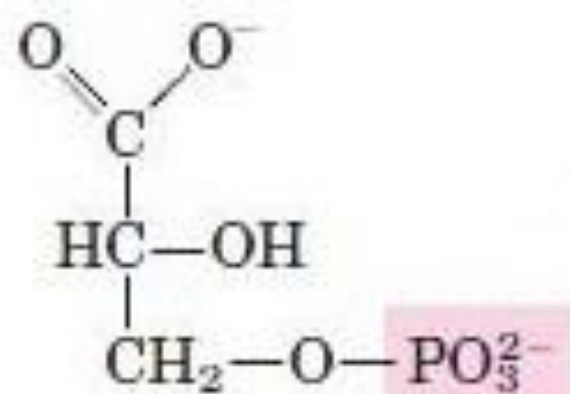
ADP



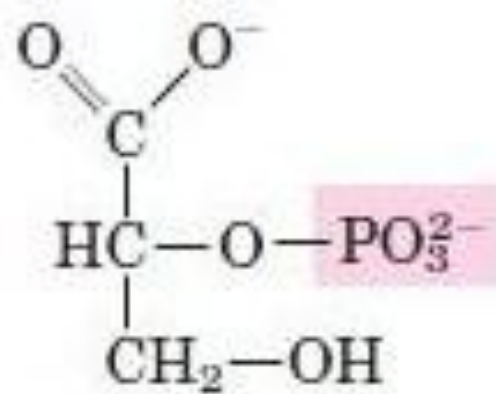
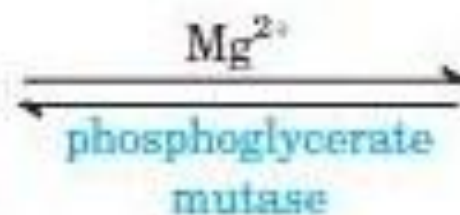
3-Phosphoglycerate

ATP

$\Delta G'^{\circ} = -18.5 \text{ kJ/mol}$

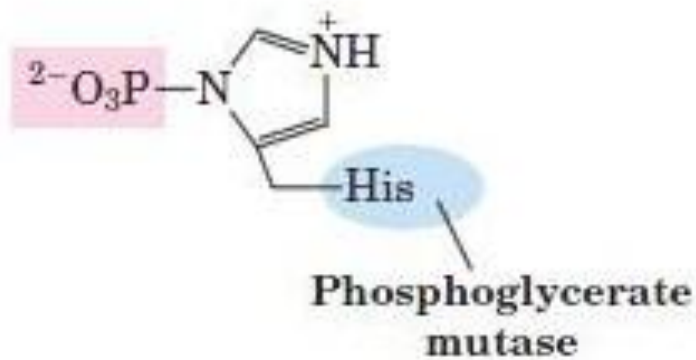
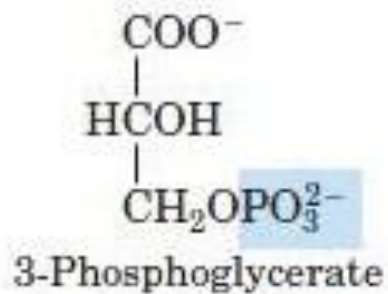


3-Phosphoglycerate

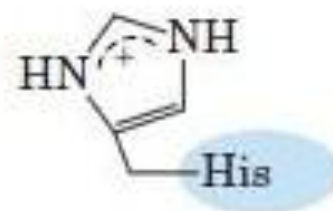
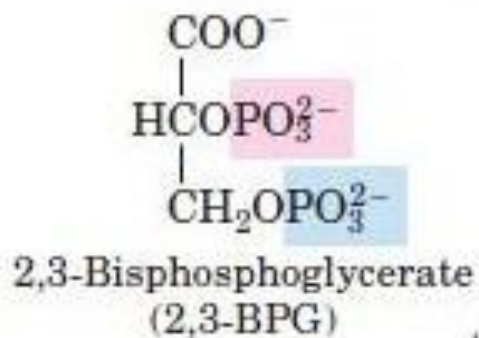


2-Phosphoglycerate

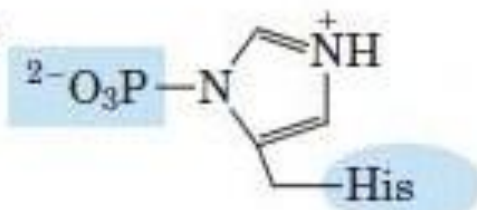
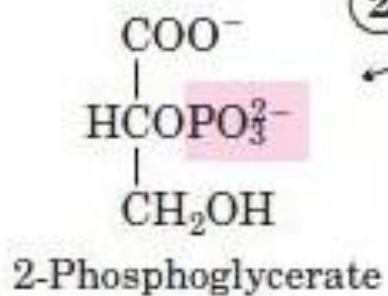
$$\Delta G'^{\circ} = 4.4 \text{ kJ/mol}$$

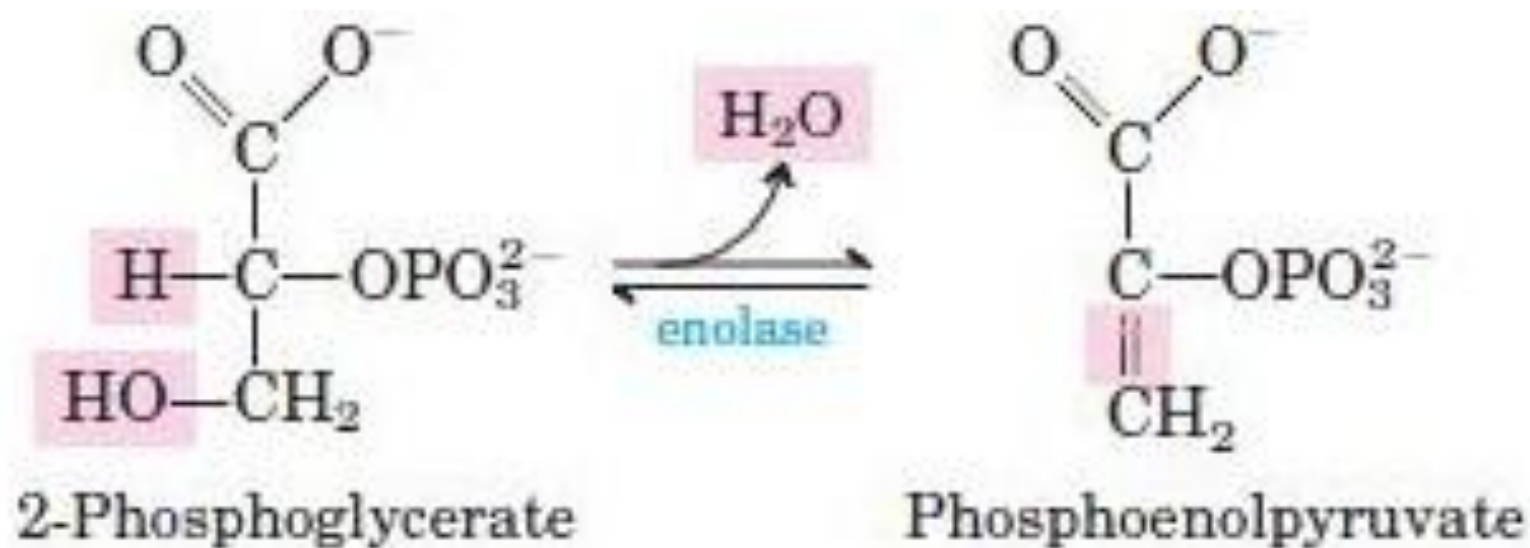


① ↓

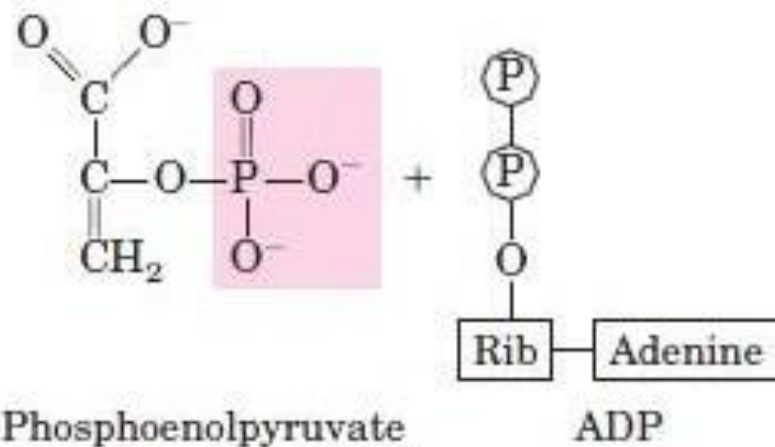


② ↙ ↘





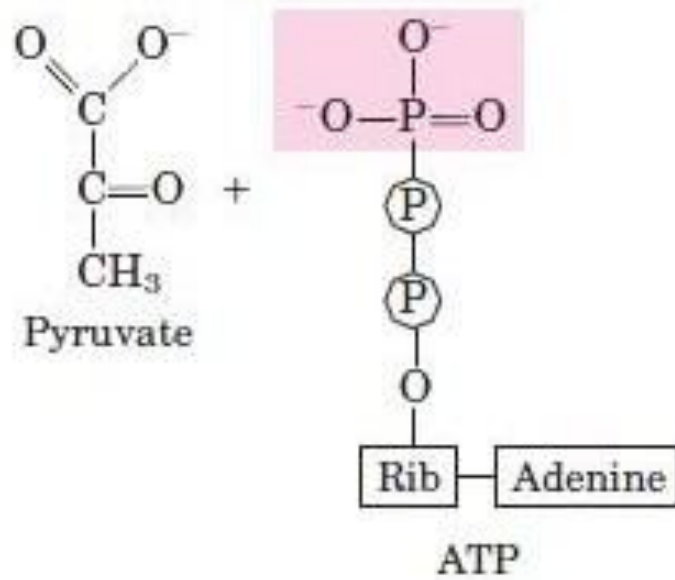
$$\Delta G'^{\circ} = 7.5 \text{ kJ/mol}$$



Phosphoenolpyruvate

ADP

$Mg^{2+}$ ,  $K^+$  pyruvate kinase

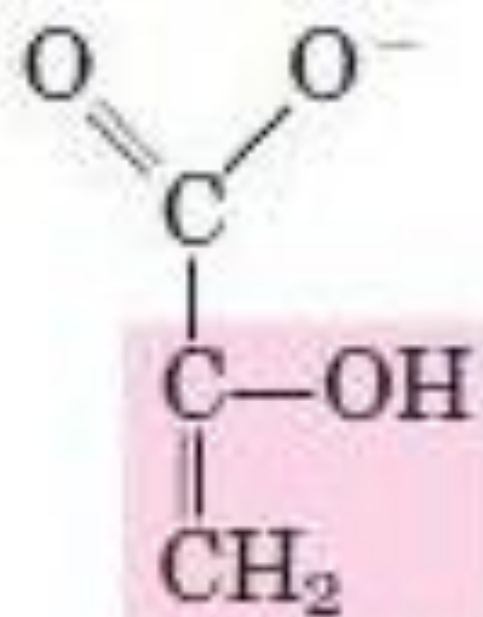


Pyruvate

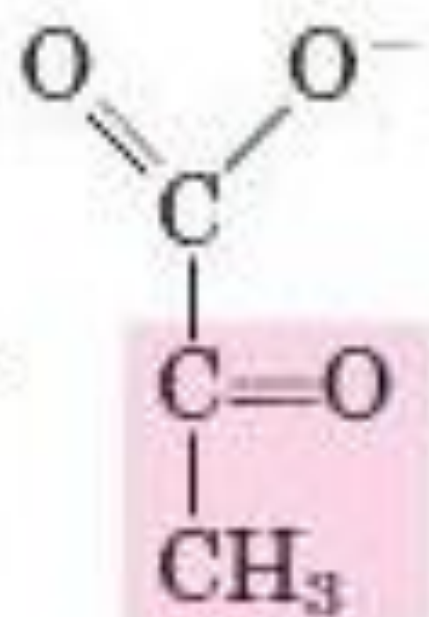
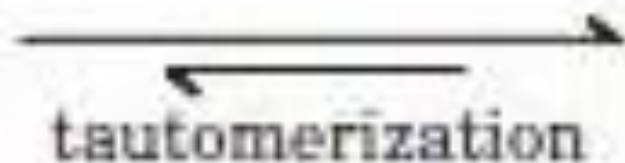
ATP

$$\Delta G'^{\circ} = -31.4 \text{ kJ/mol}$$

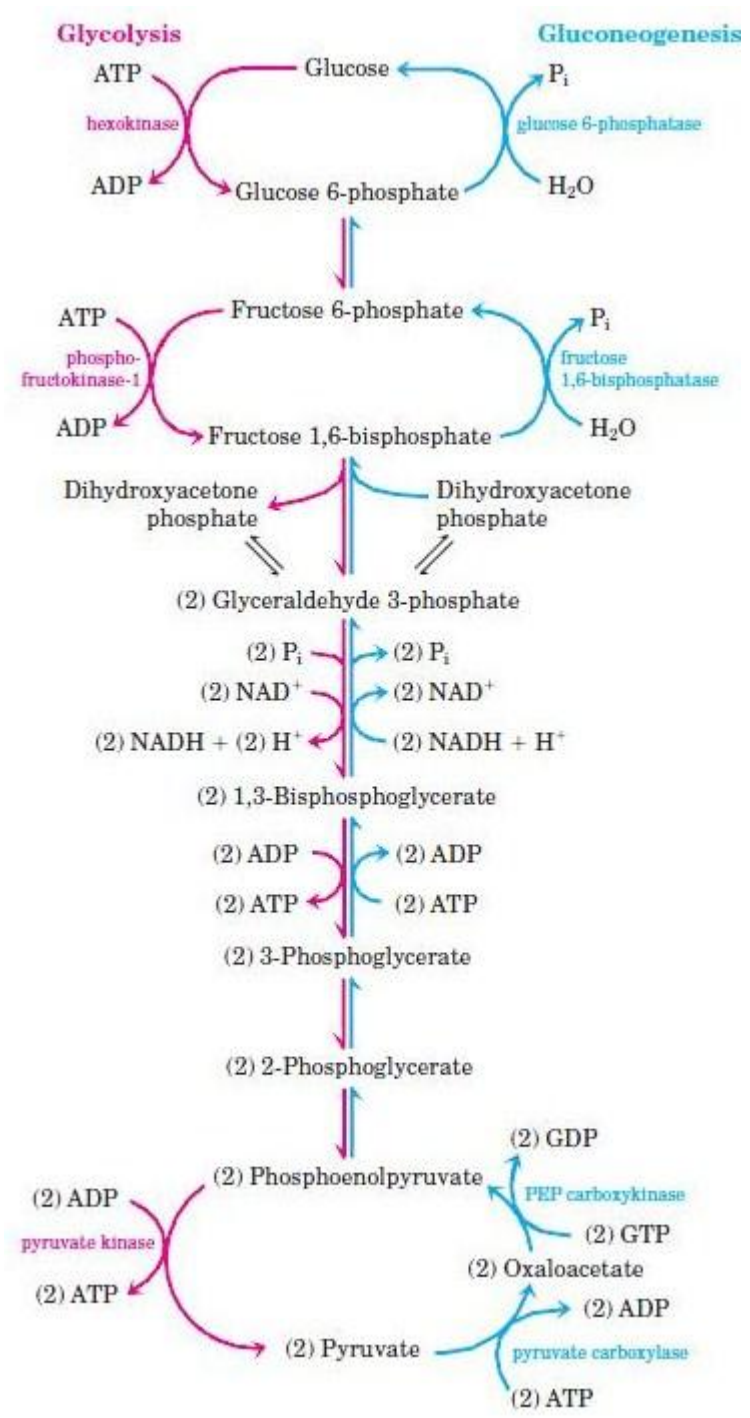
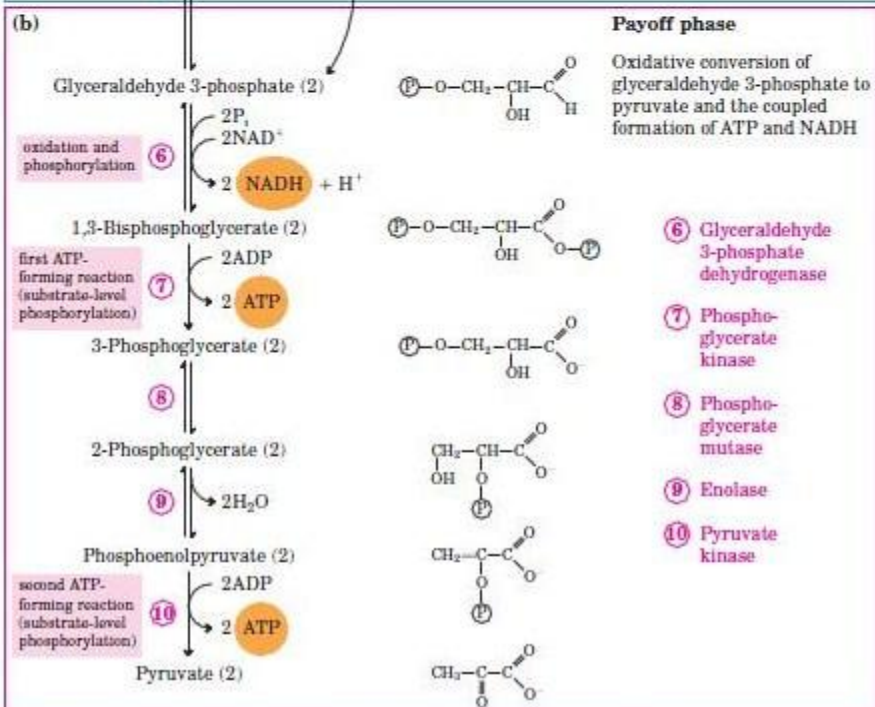
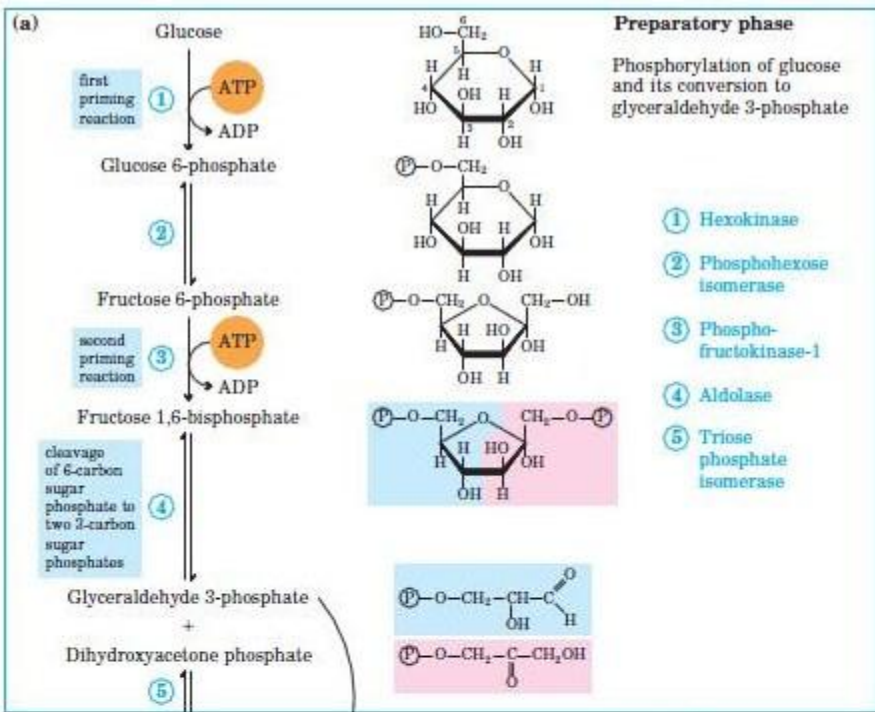




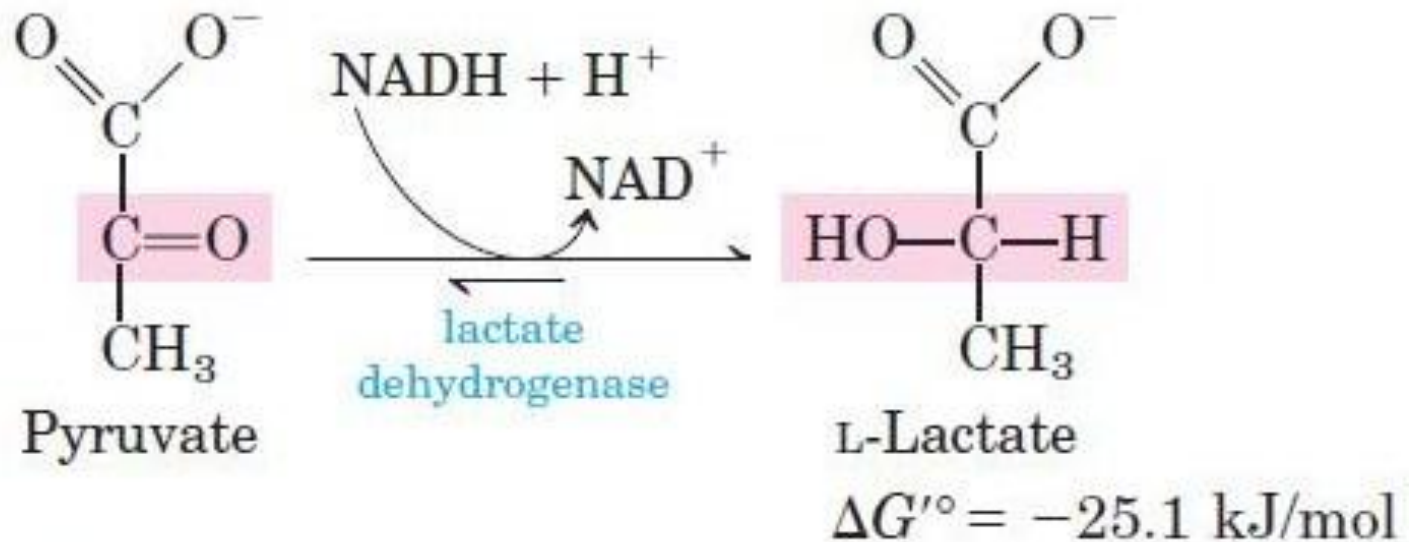
Pyruvate  
(enol form)



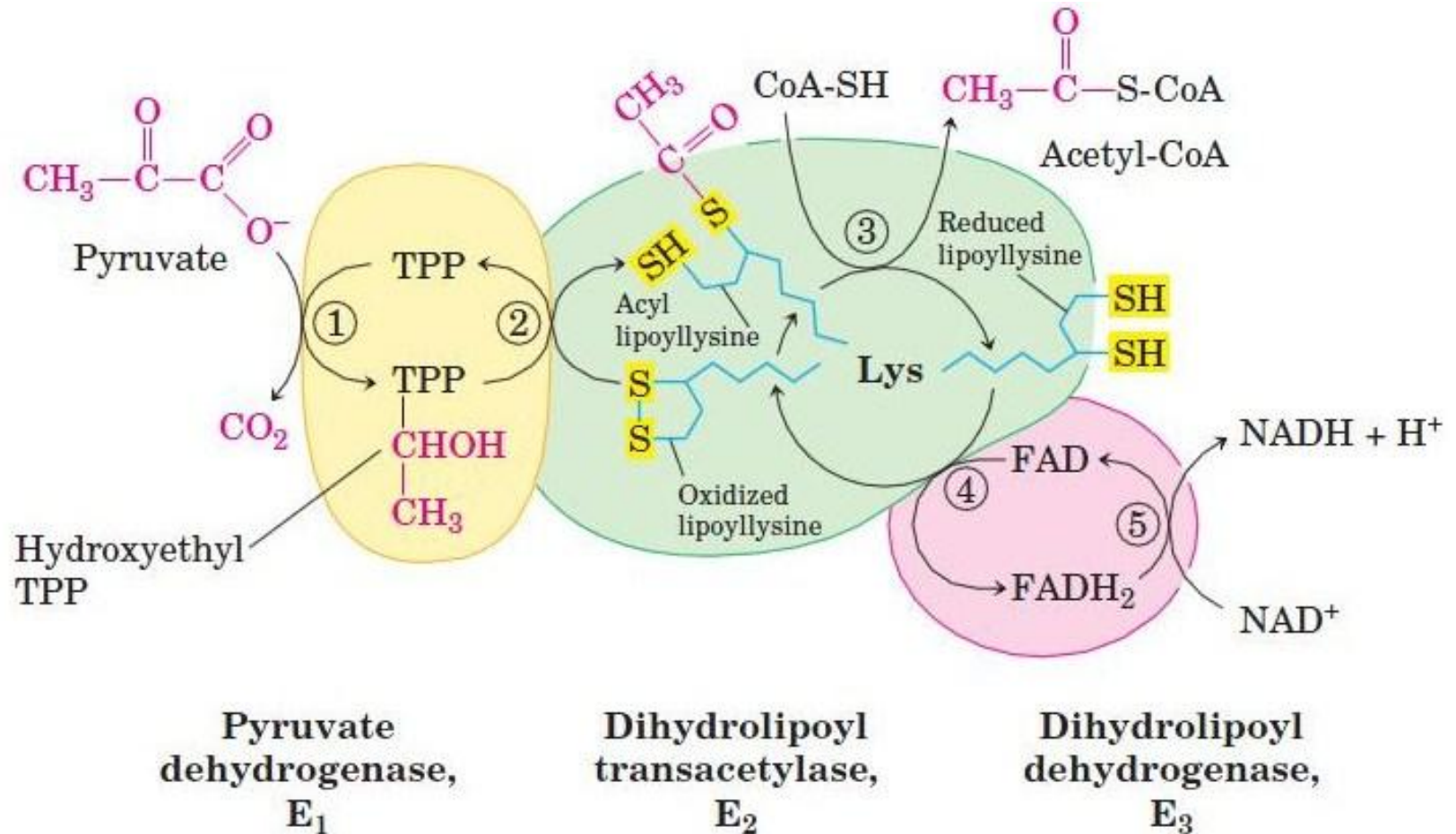
Pyruvate  
(keto form)



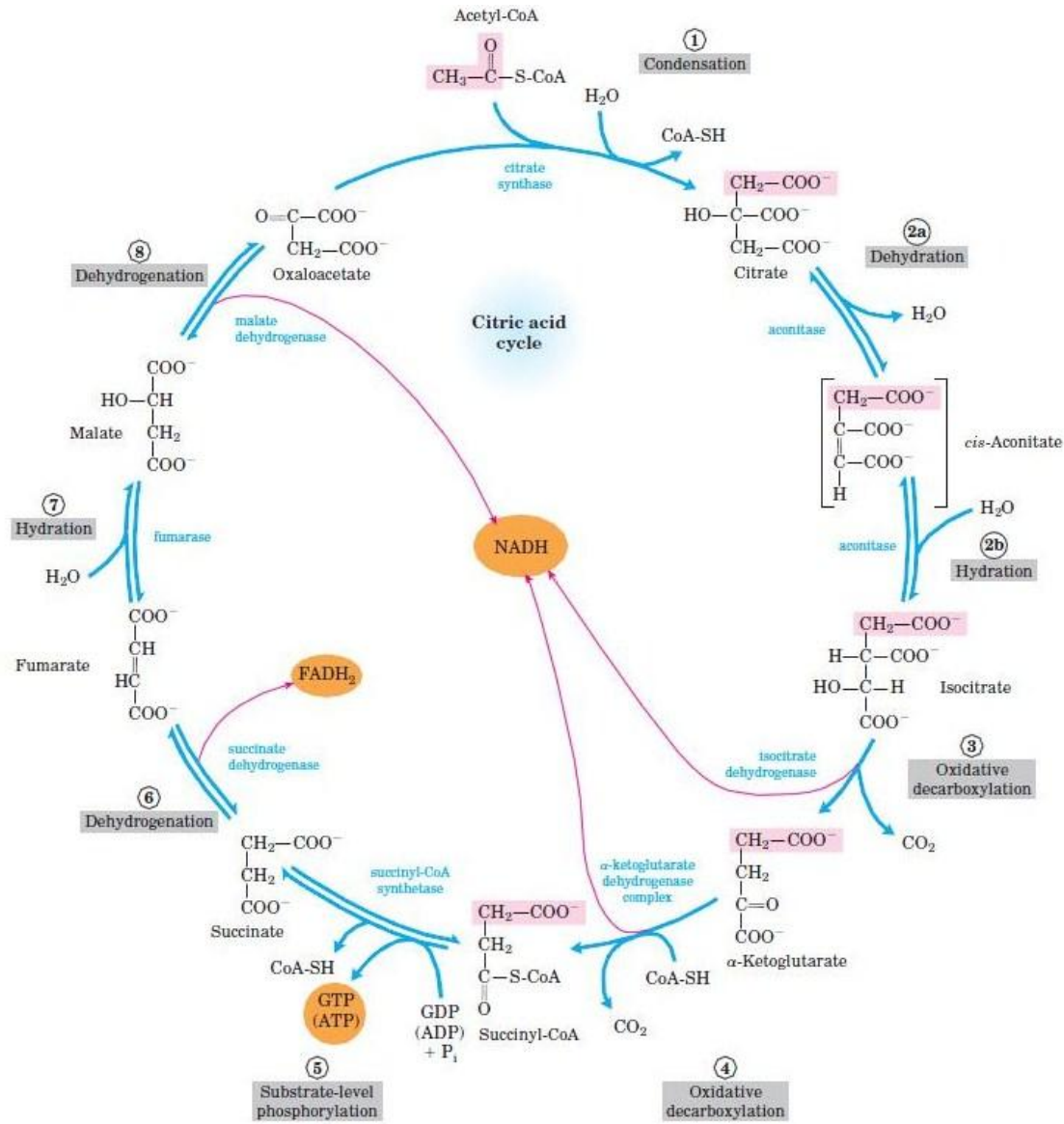
# Анаеробний шлях

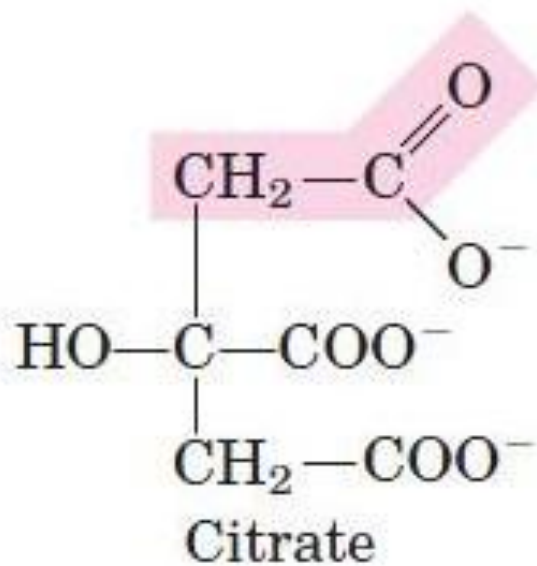
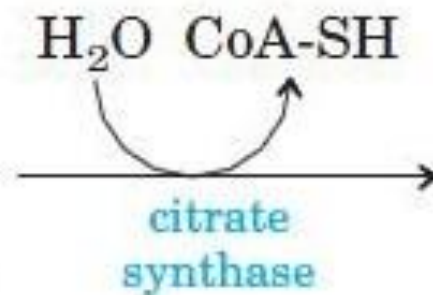
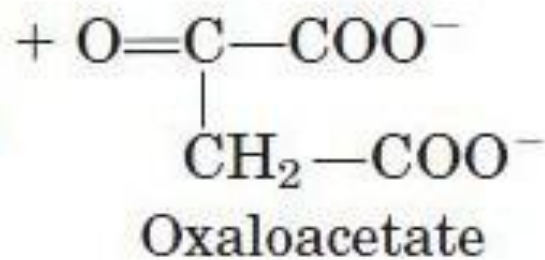
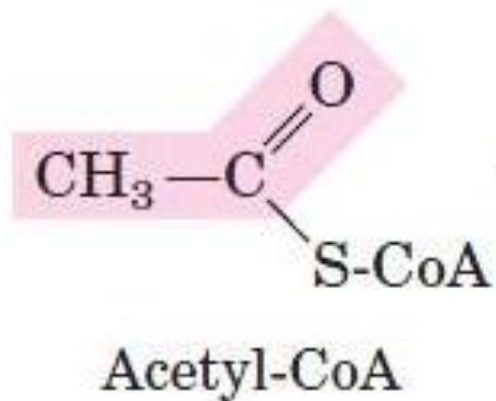


# Декарбоксілювання ПВК

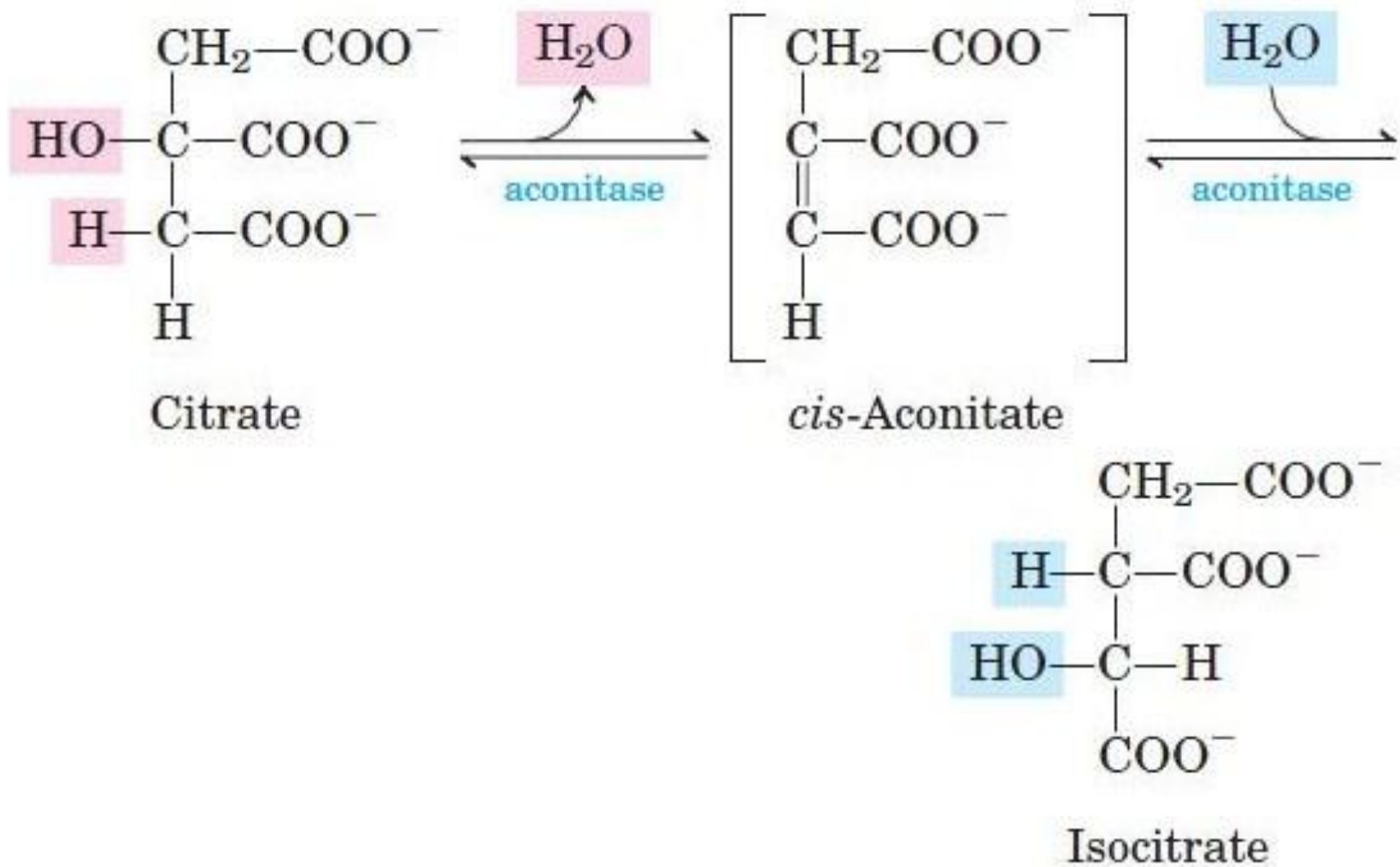


# Цикл лимонної кислоти

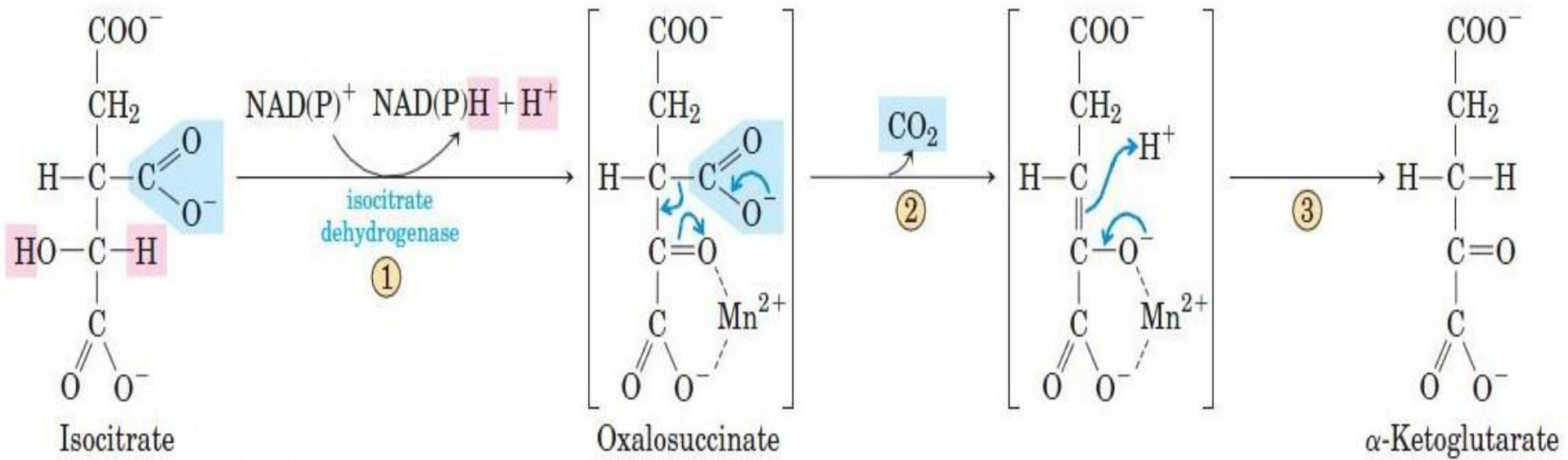




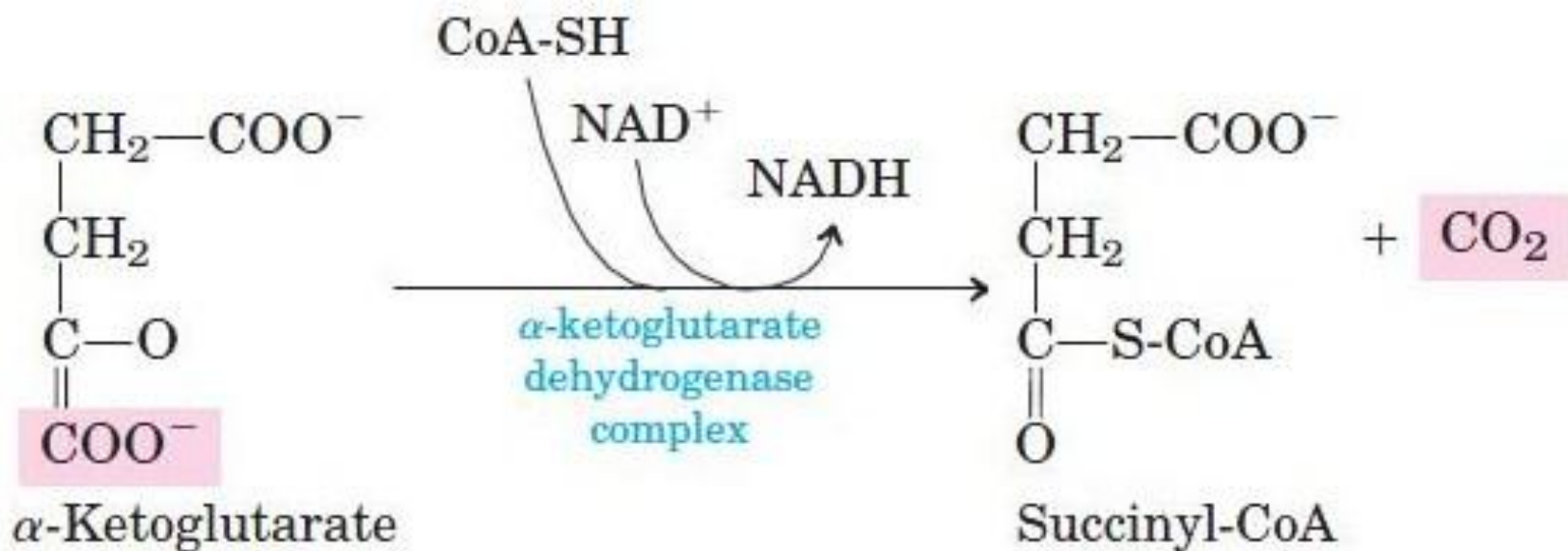
$$\Delta G'^{\circ} = -32.2 \text{ kJ/mol}$$



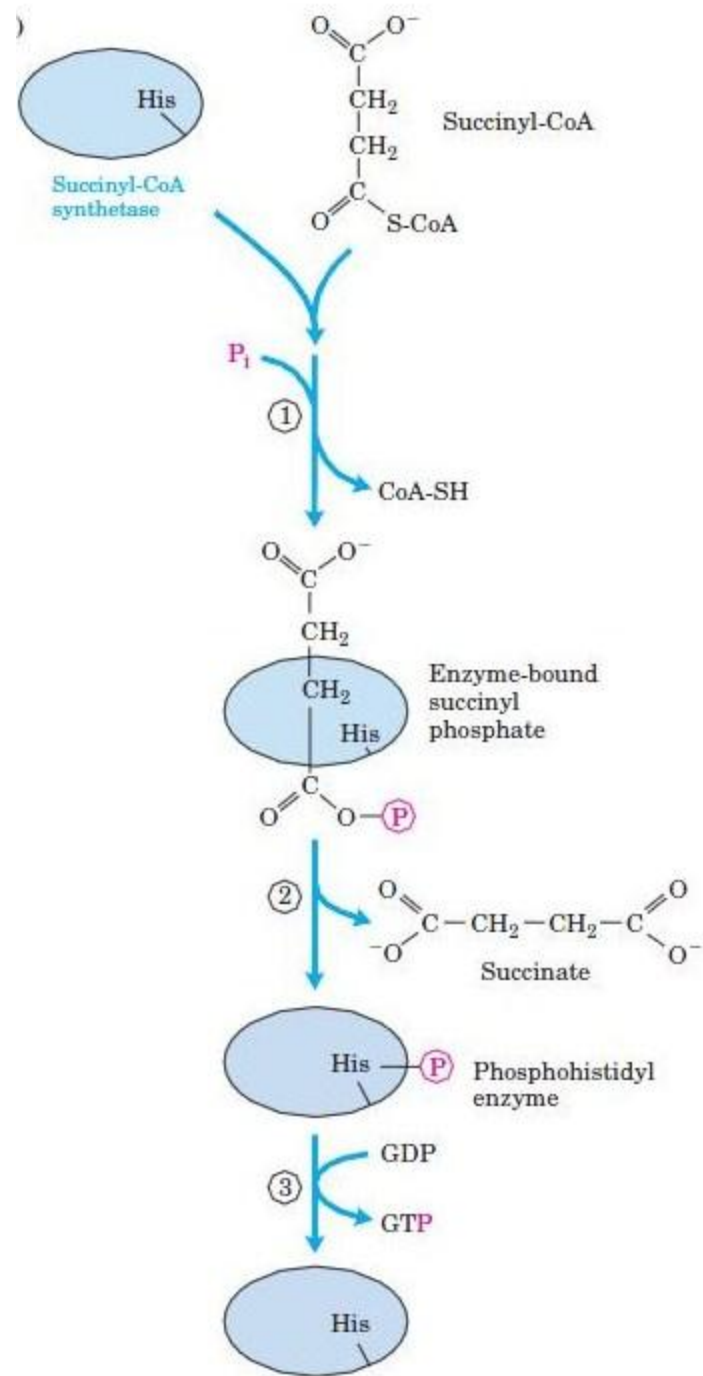
$$\Delta G'^{\circ} = 13.3 \text{ kJ/mol}$$

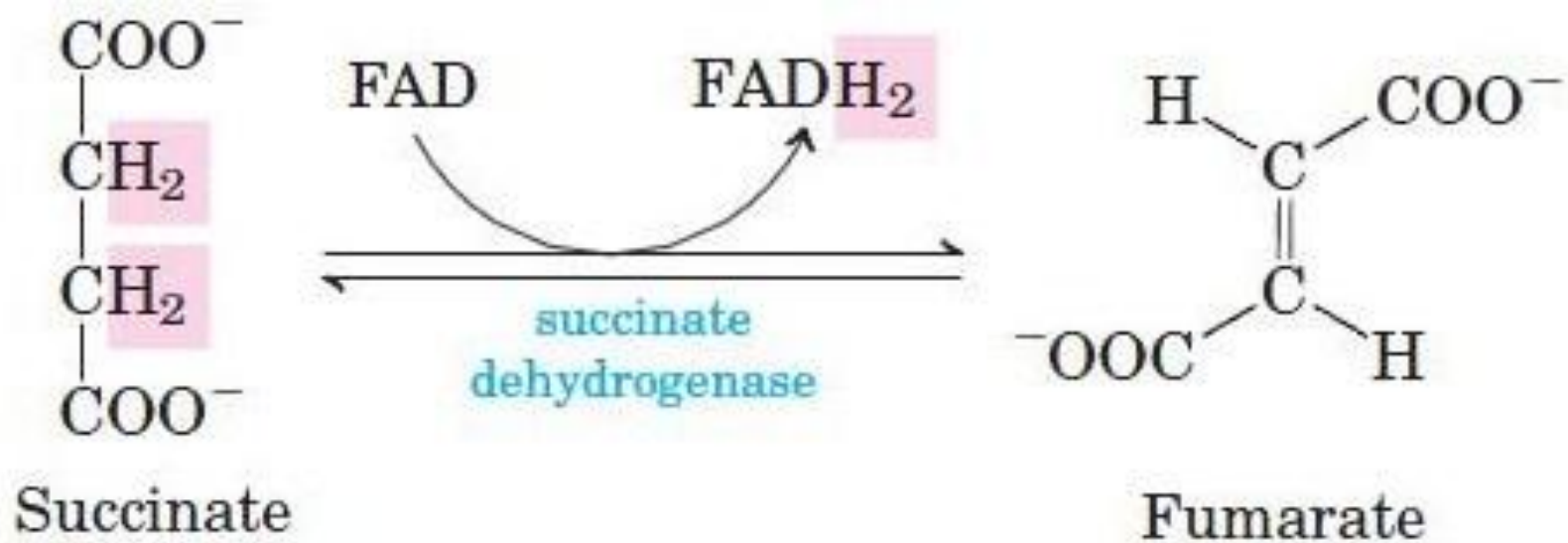




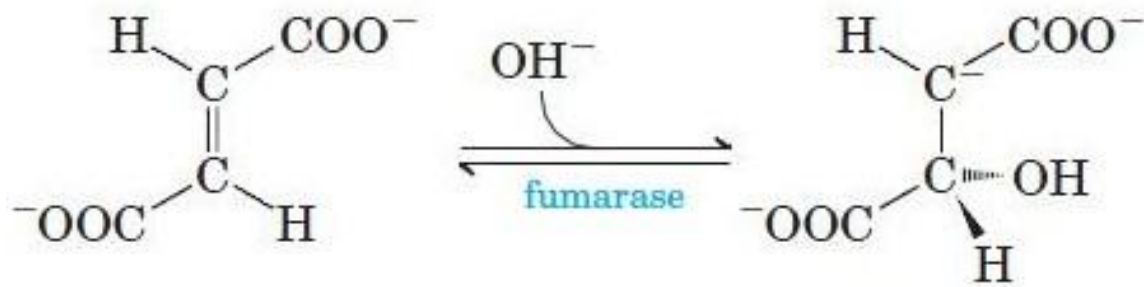


$$\Delta G'^{\circ} = -33.5 \text{ kJ/mol}$$



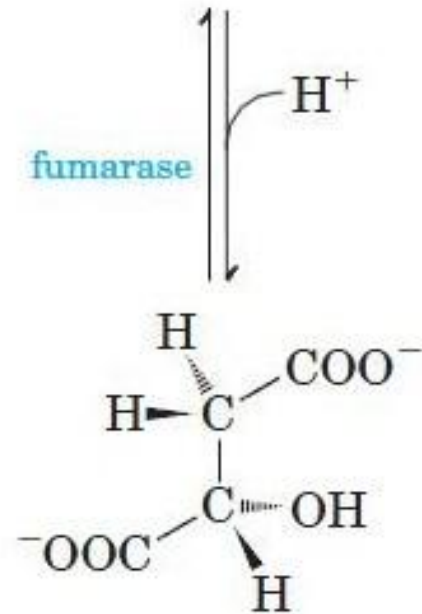


$$\Delta G'^{\circ} = 0 \text{ kJ/mol}$$



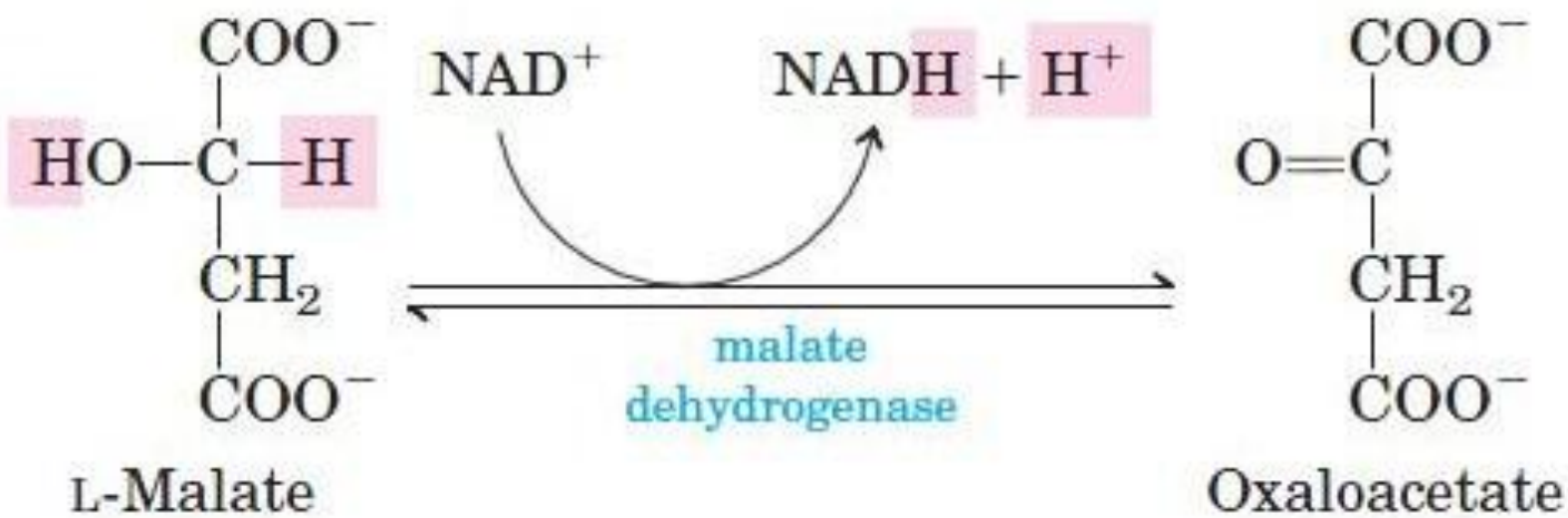
Fumarate

Carbanion  
transition state

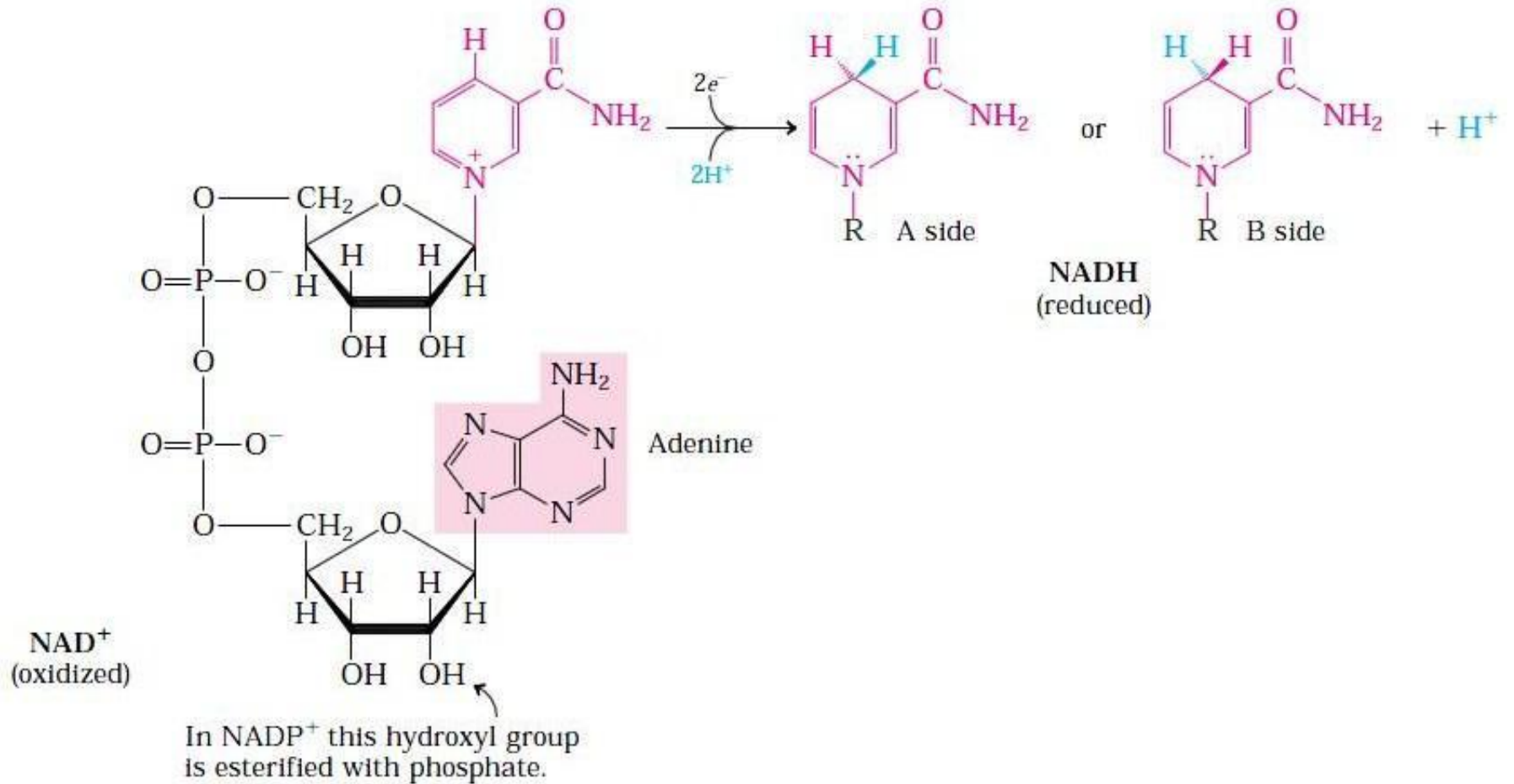


Malate

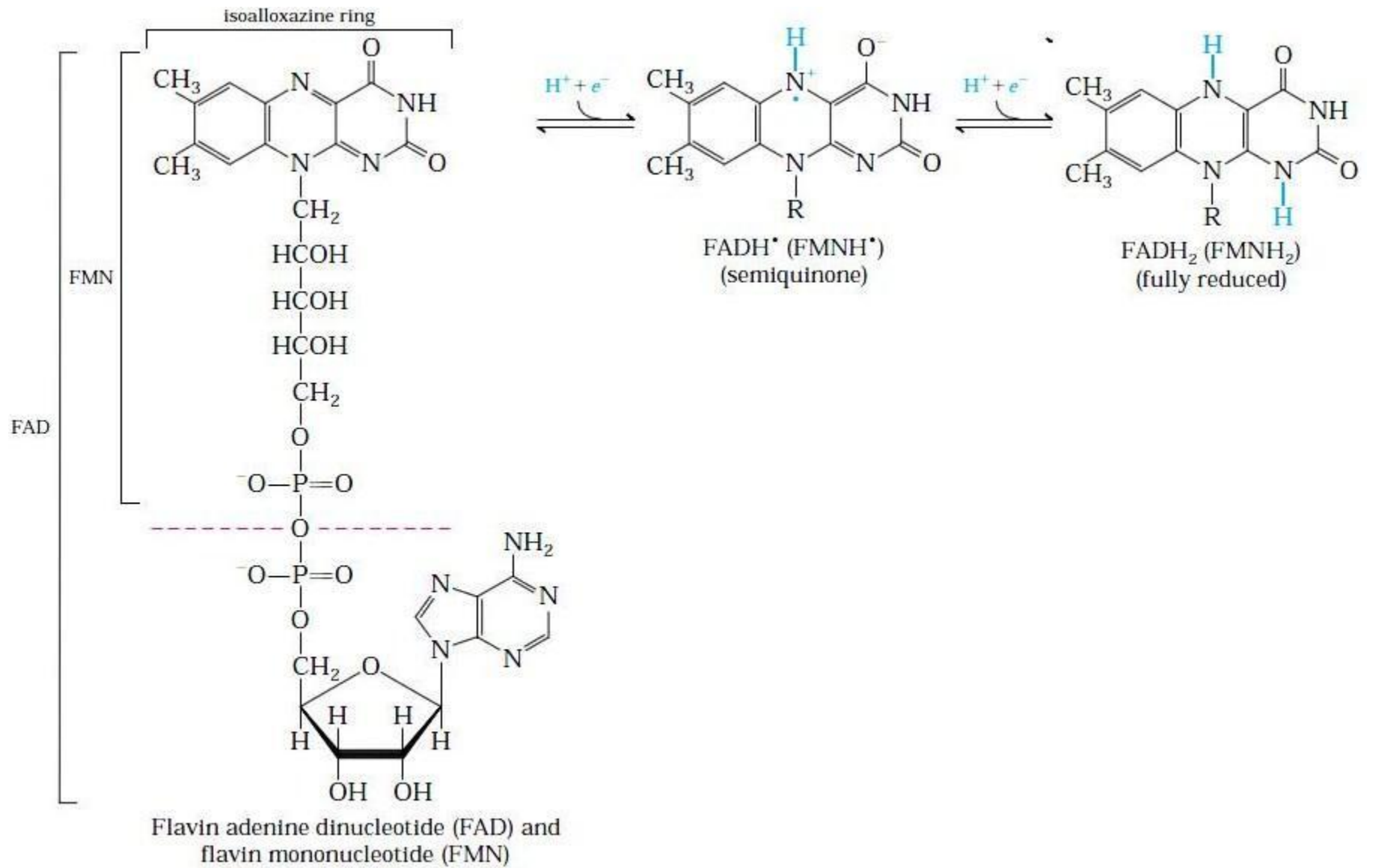
$\Delta G'^{\circ} = -3.8 \text{ kJ/mol}$



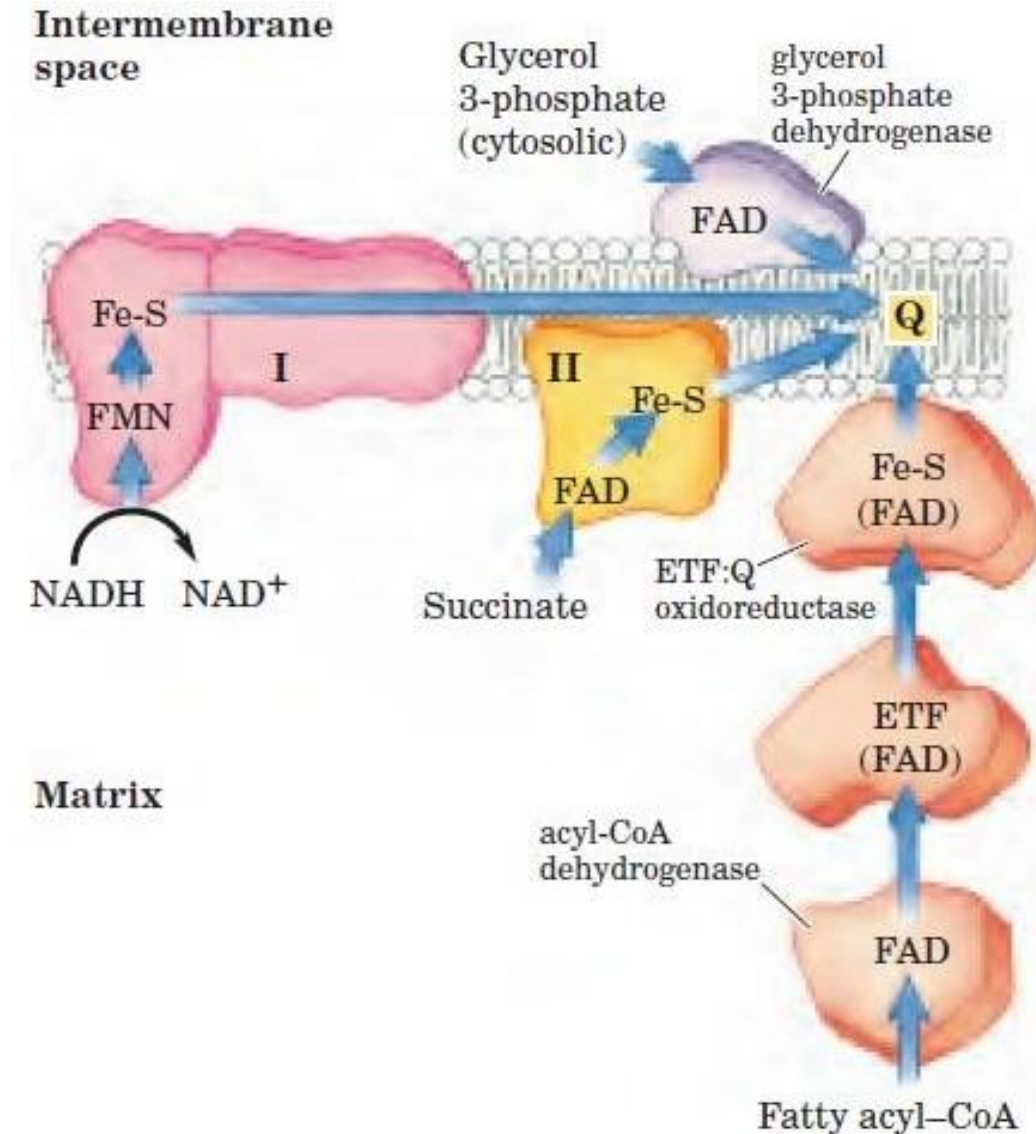
$$\Delta G'^{\circ} = 29.7 \text{ kJ/mol}$$



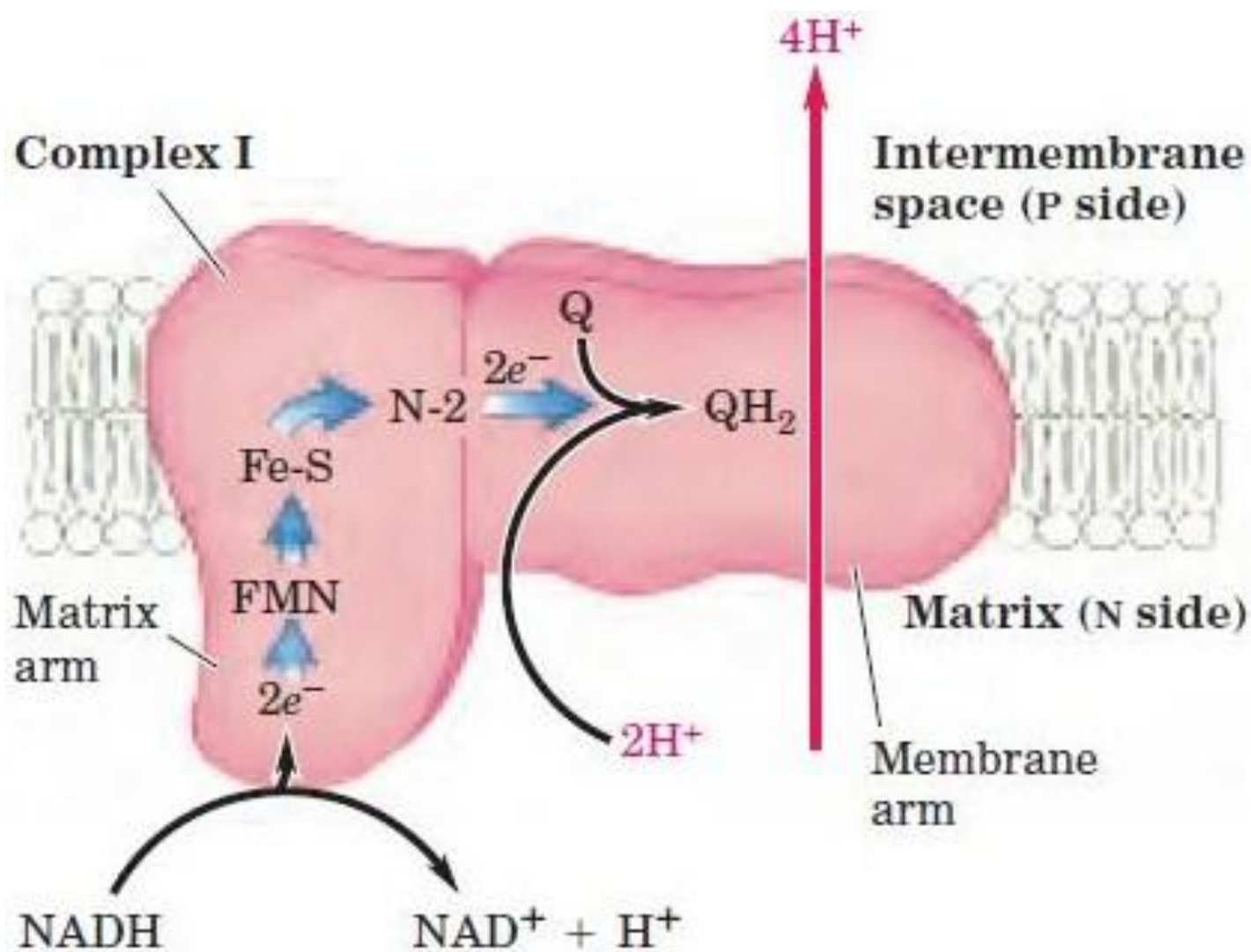
(a)

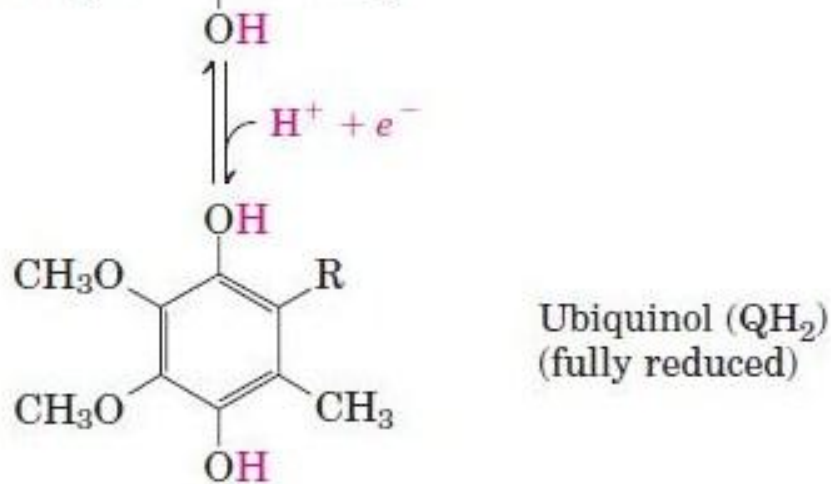
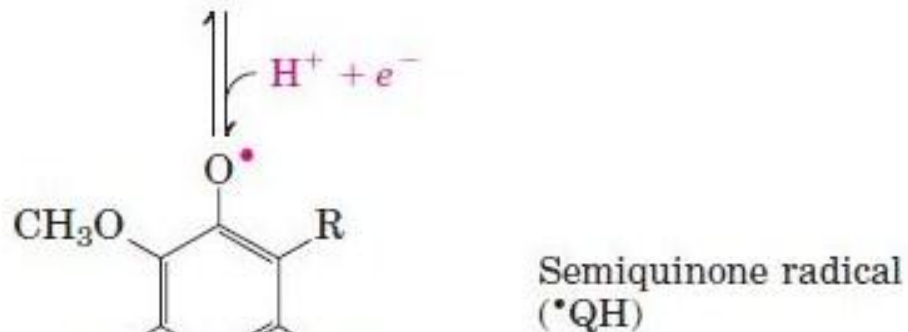
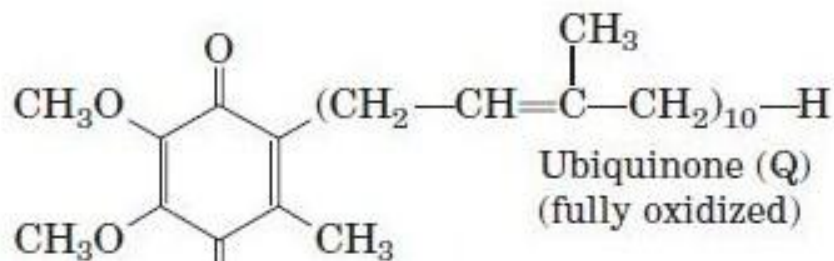


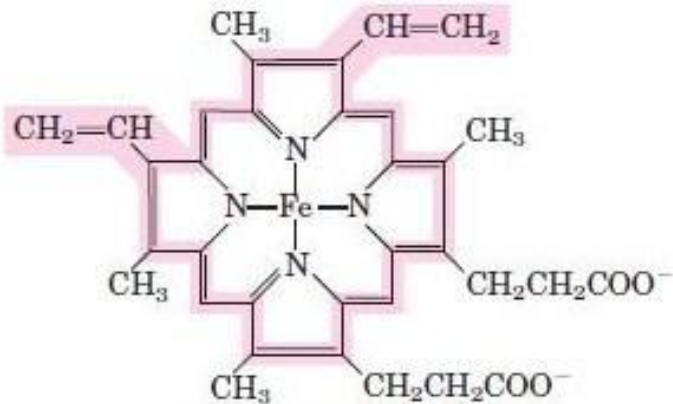
# Дихальний ланцюг



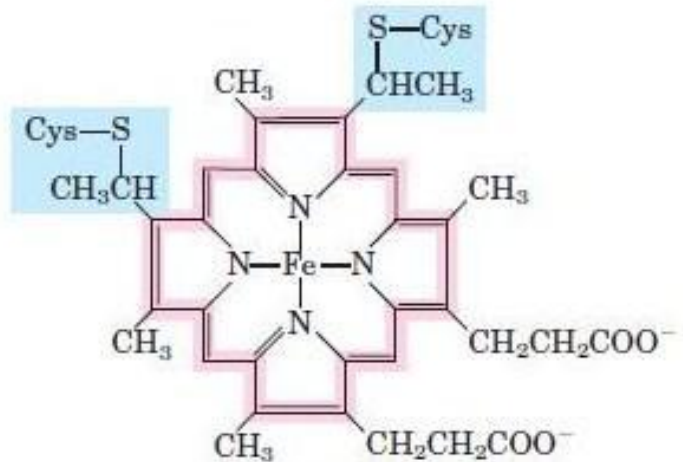




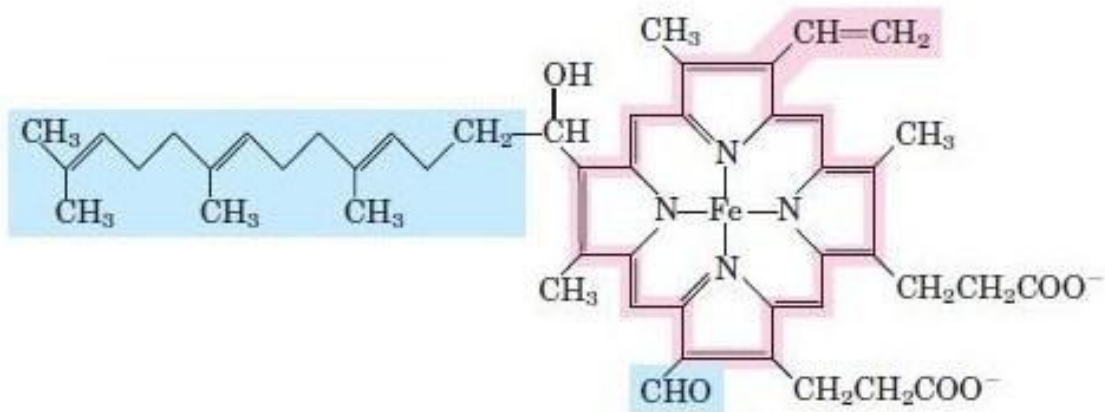




Iron protoporphyrin IX  
(in *b*-type cytochromes)



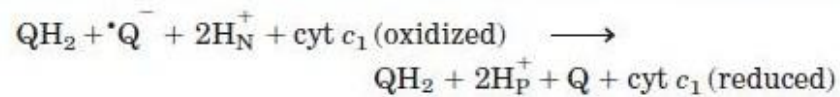
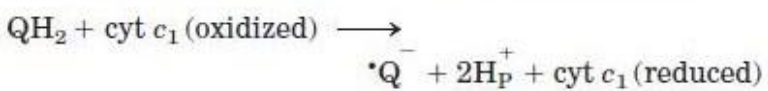
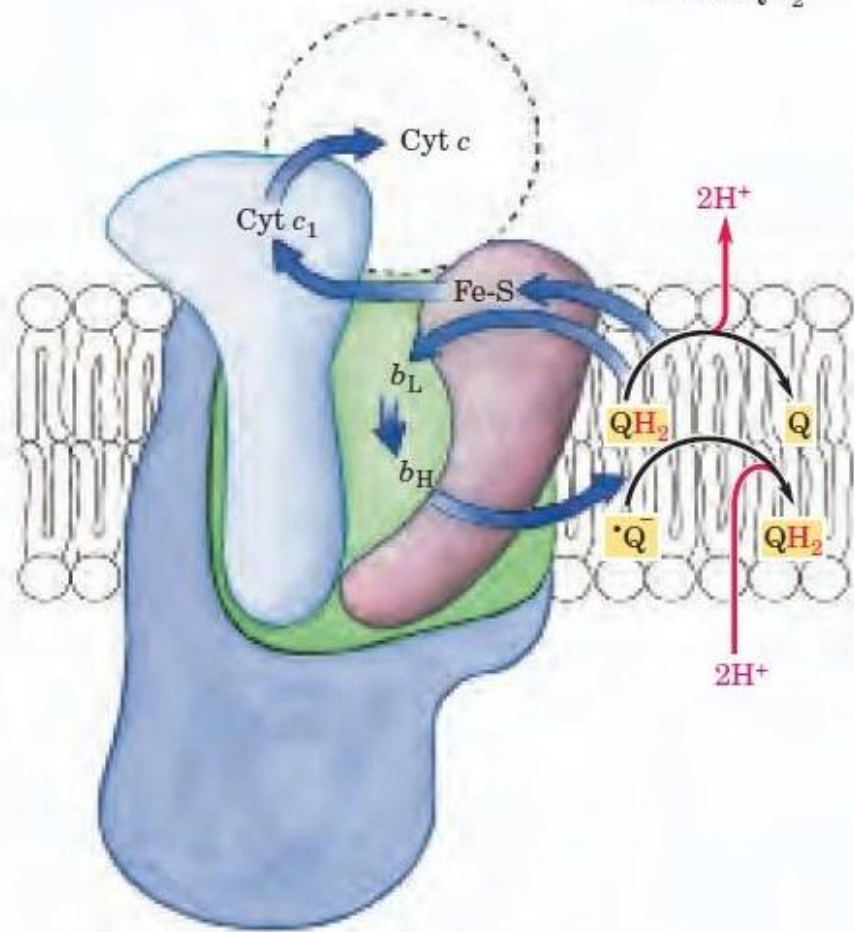
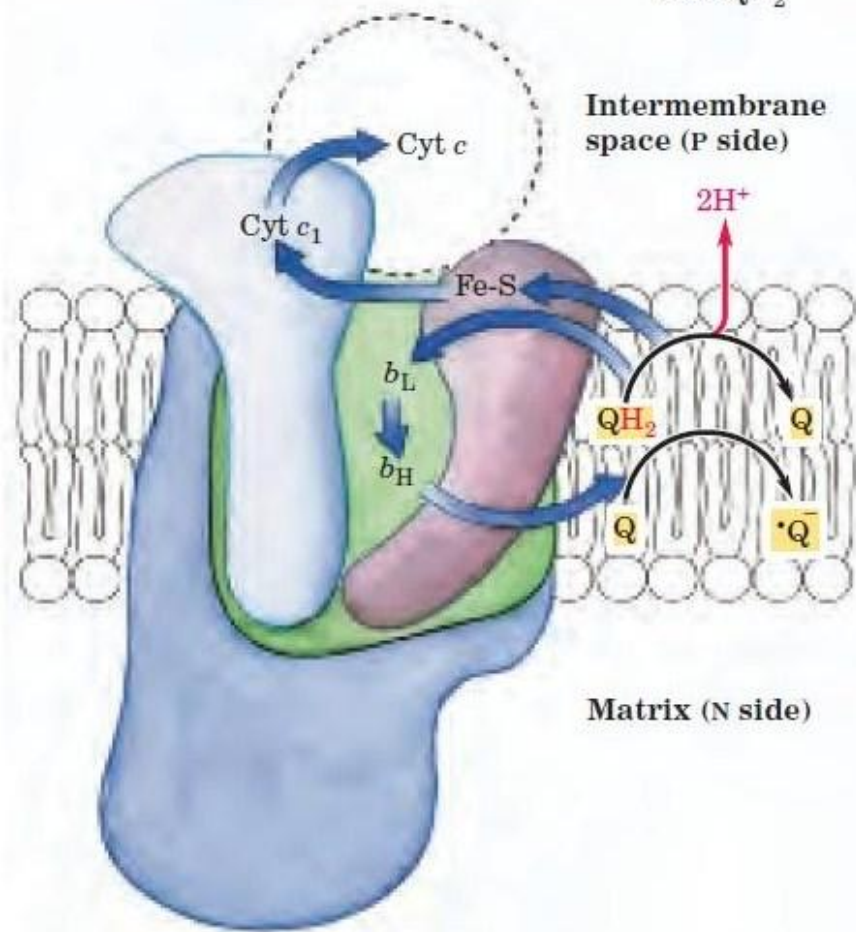
Heme C  
(in *c*-type cytochromes)



Heme A  
(in *a*-type cytochromes)

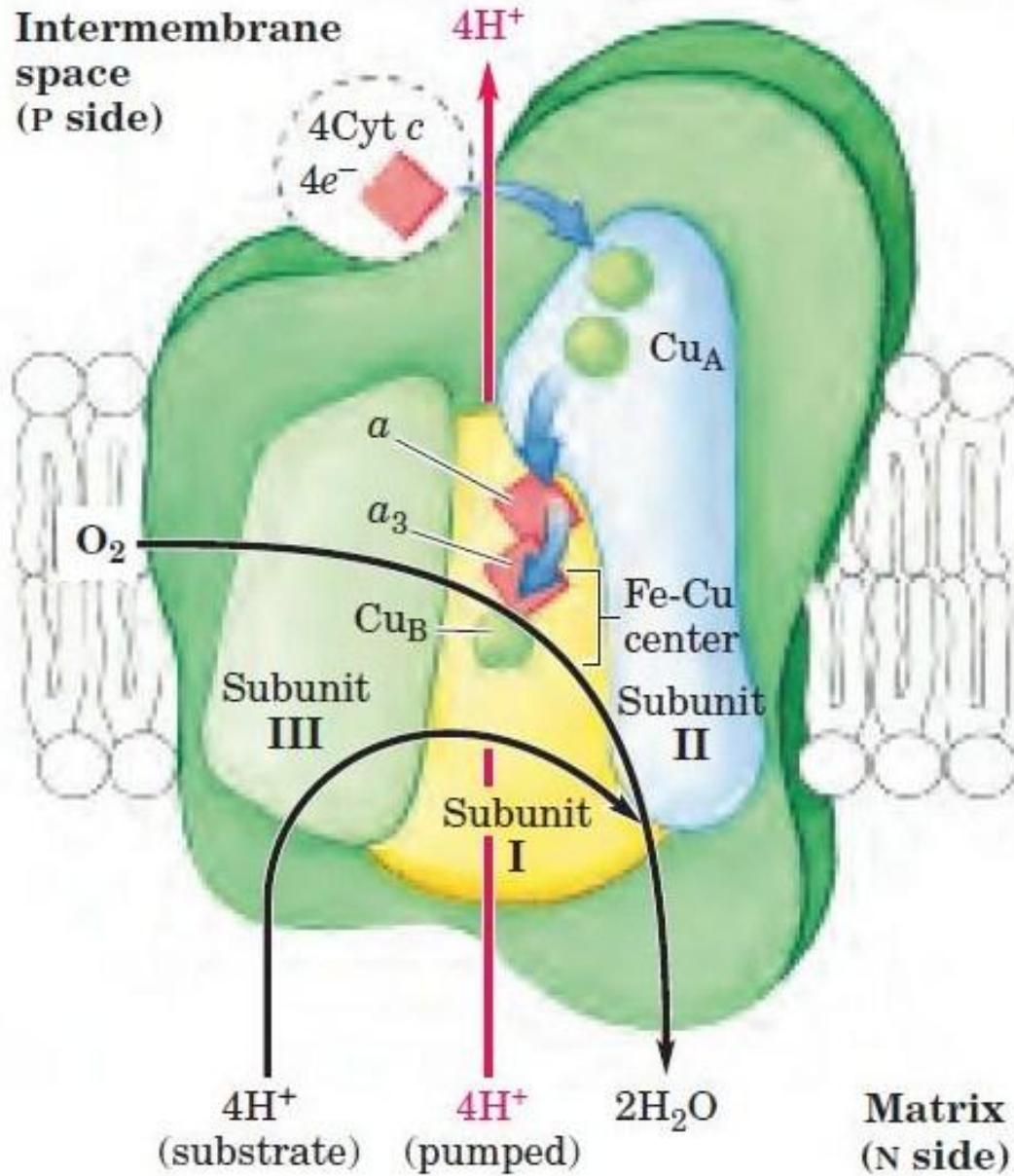
Oxidation of first QH<sub>2</sub>

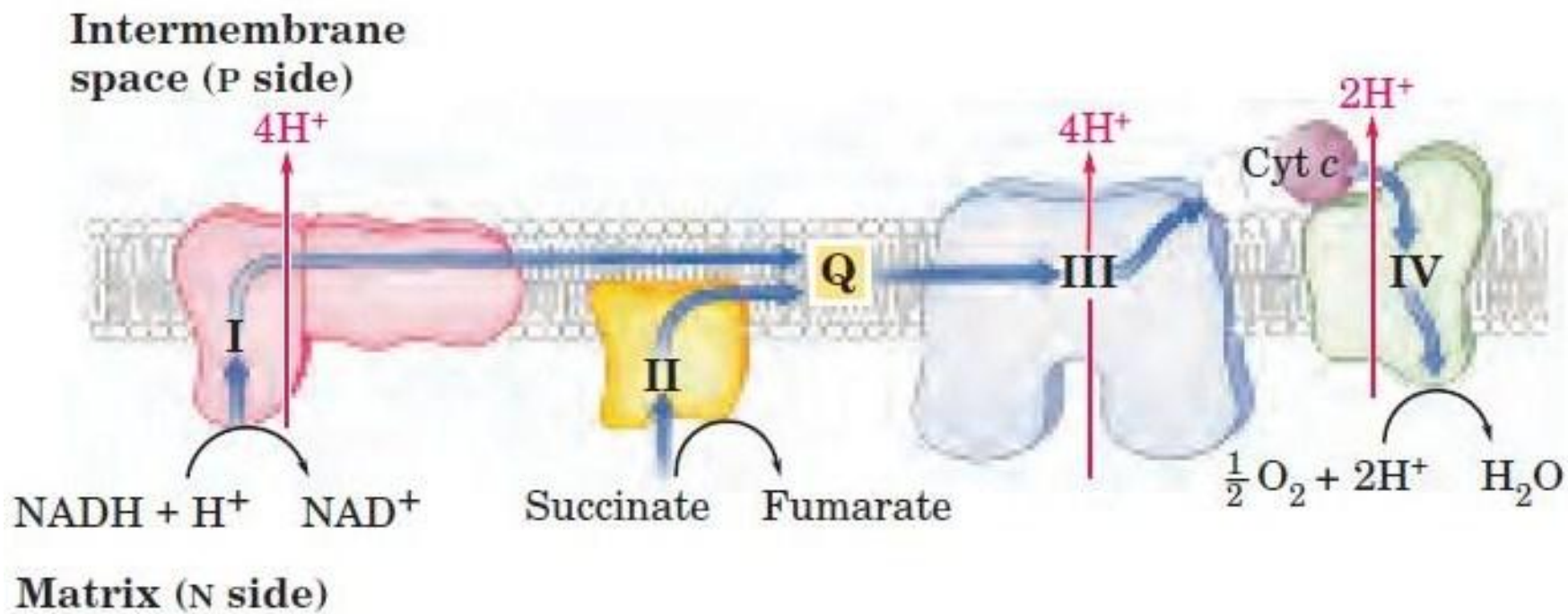
Oxidation of second QH<sub>2</sub>



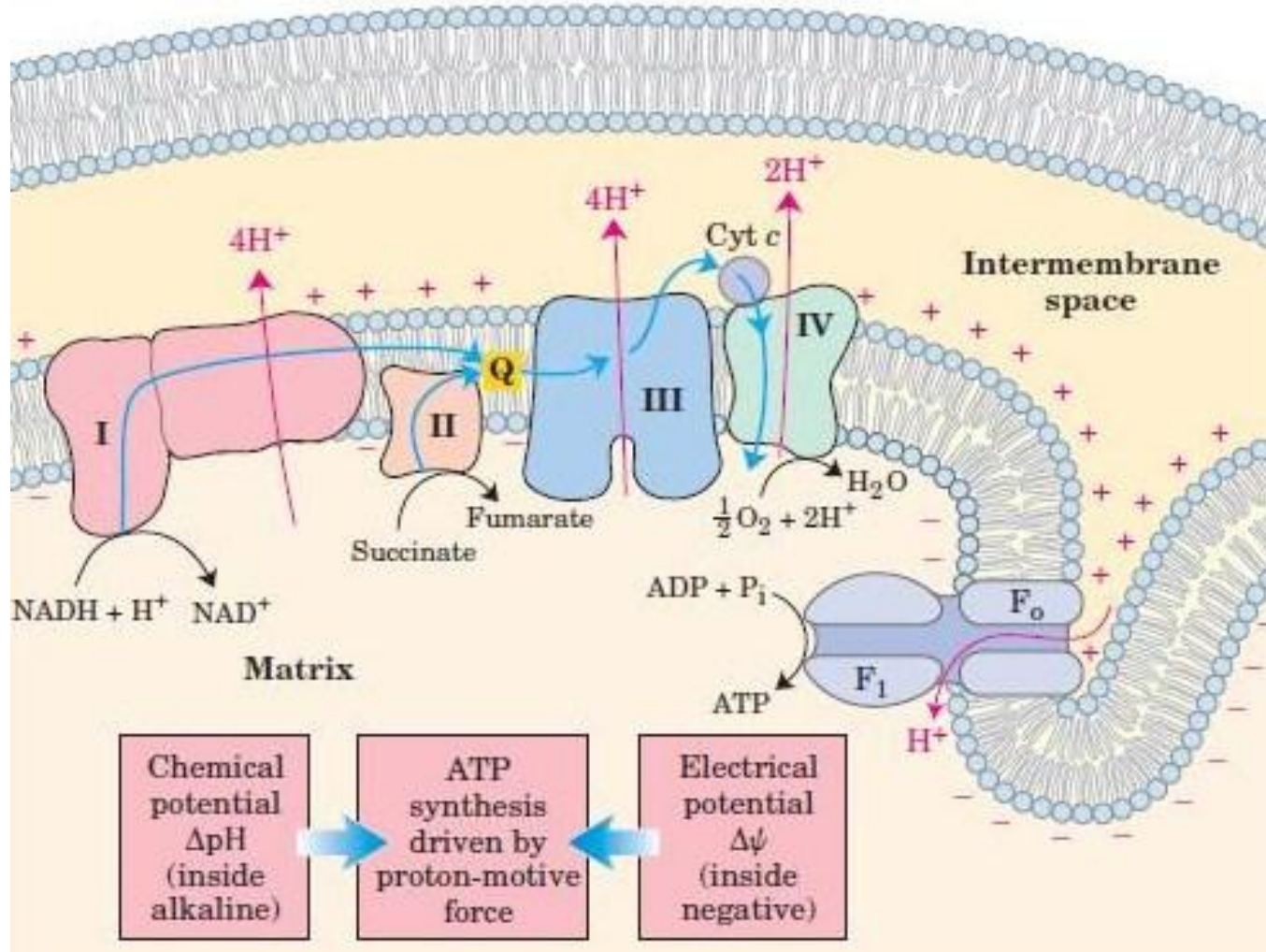
Net equation:



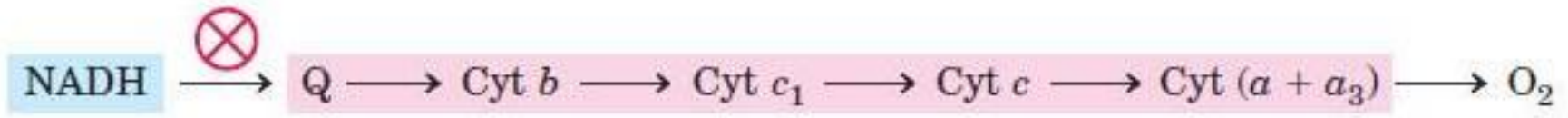




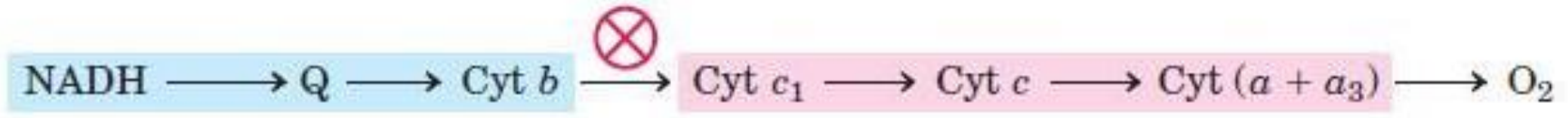
# ЦЛК + ДЛ = «Тканинне дихання»



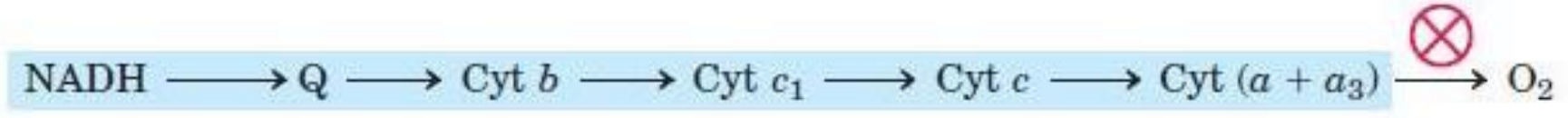
rotenone



antimycin A

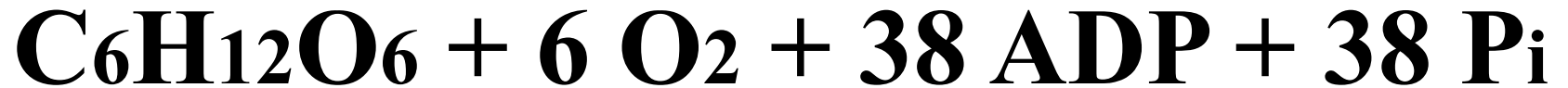


CN<sup>-</sup> or CO





# Сумарна формула

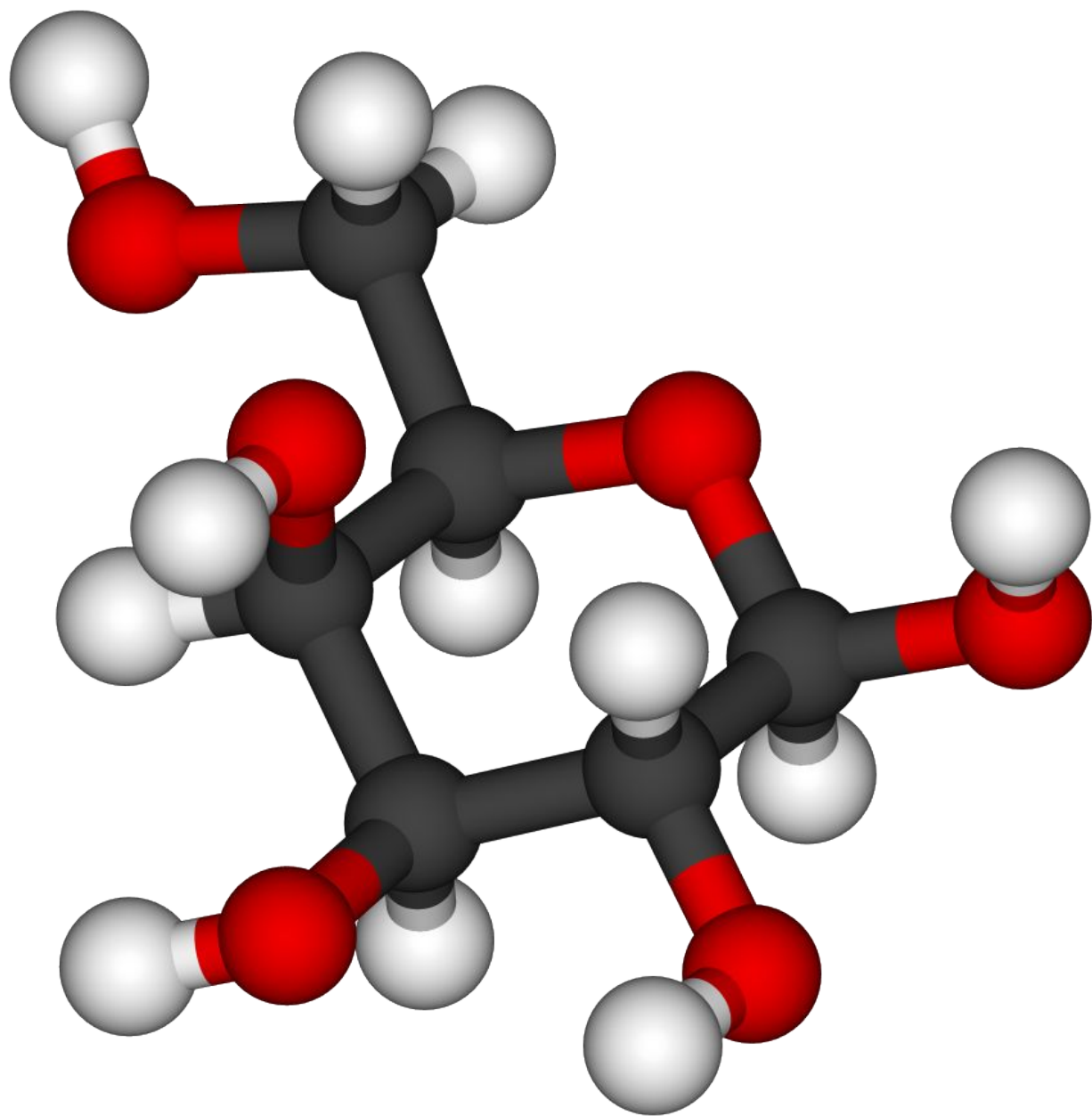


=



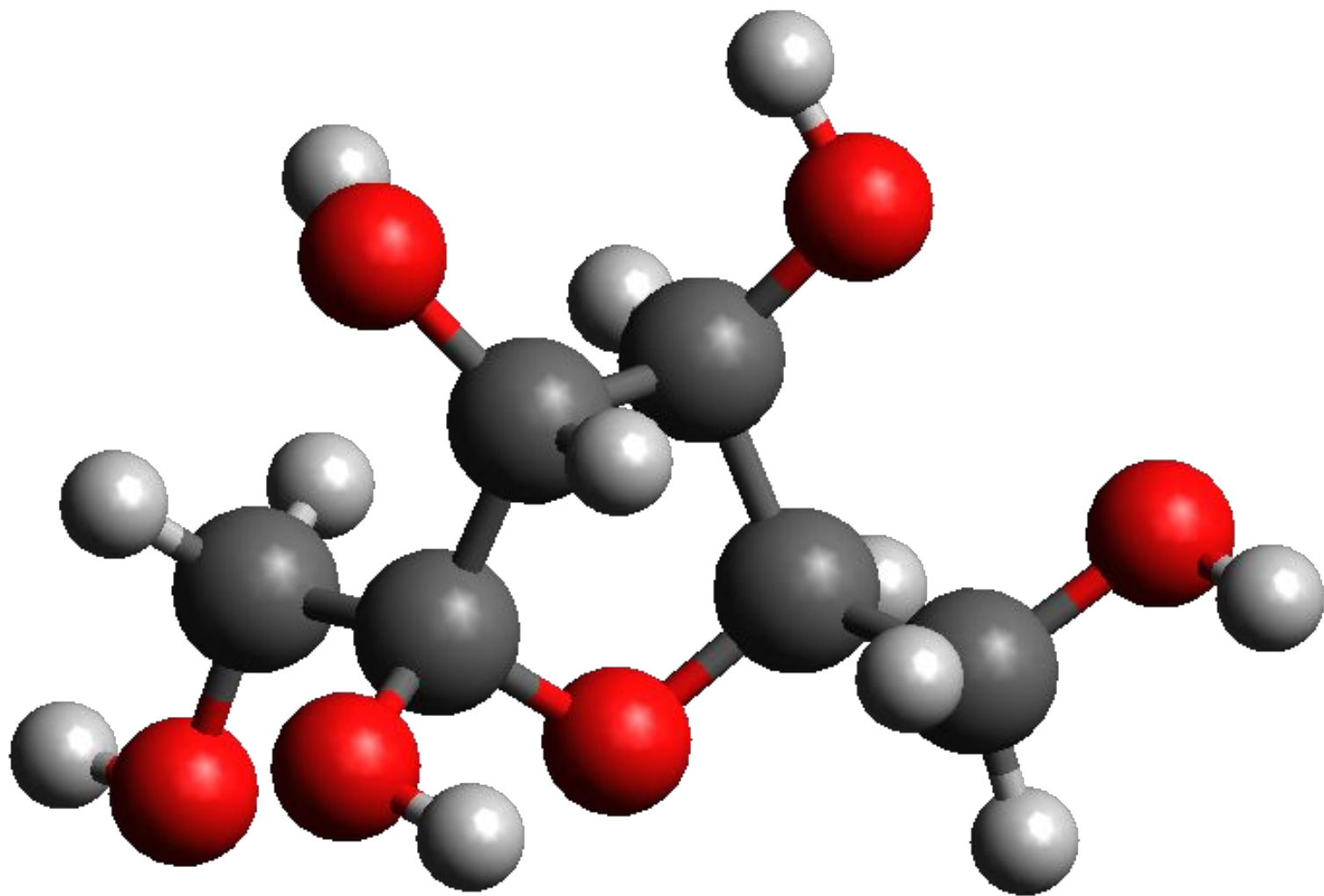
# Галактоза

- Скорочена формула:  $C_6H_{12}O_6$
- Молекулярна маса: 180 г/моль
- Тип вуглеводу: альдогексоза
- Оптичний ізомер у людини: D
- Додаткова інформація: основний мономерний вуглевод у молочних продуктах.

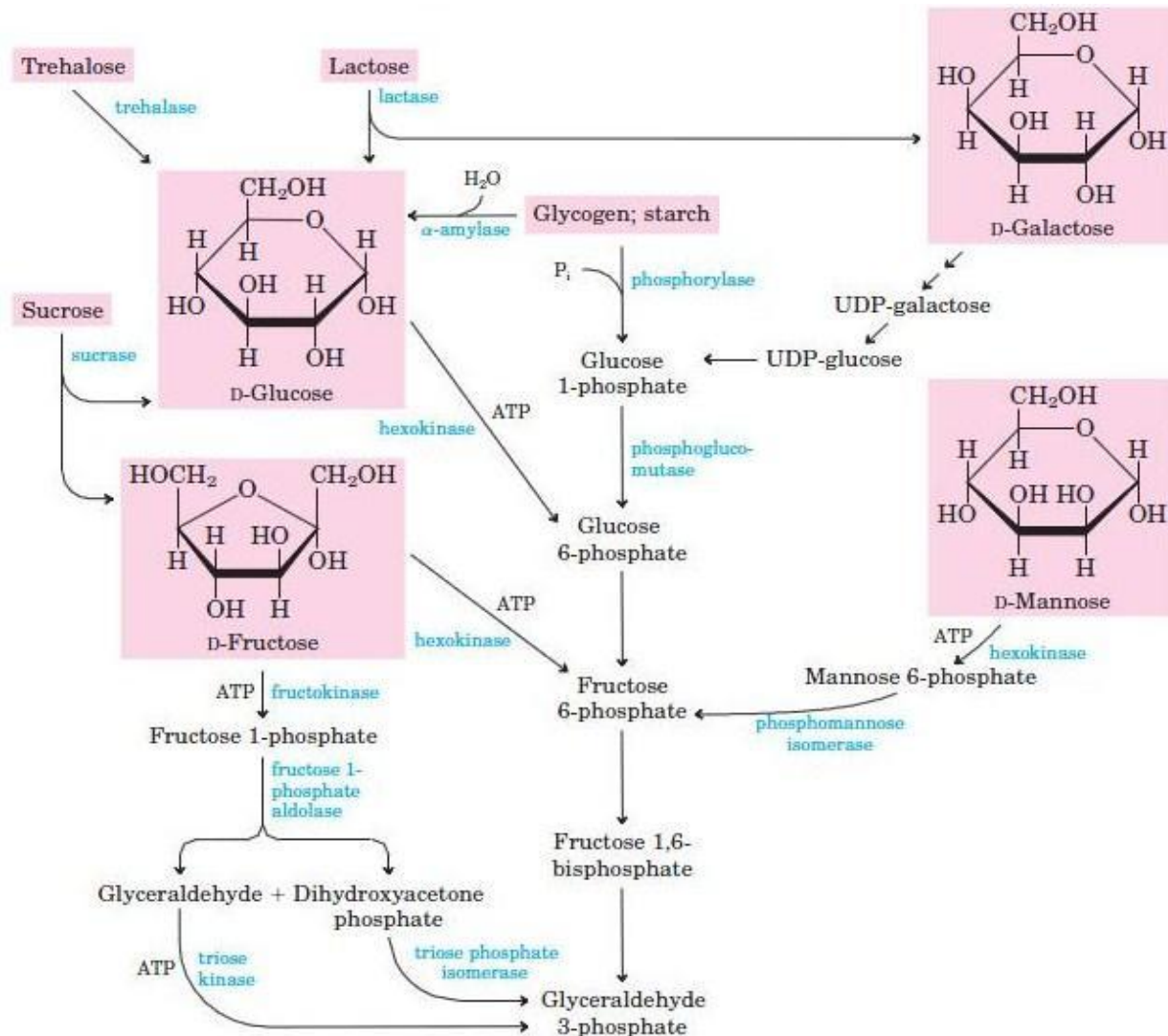


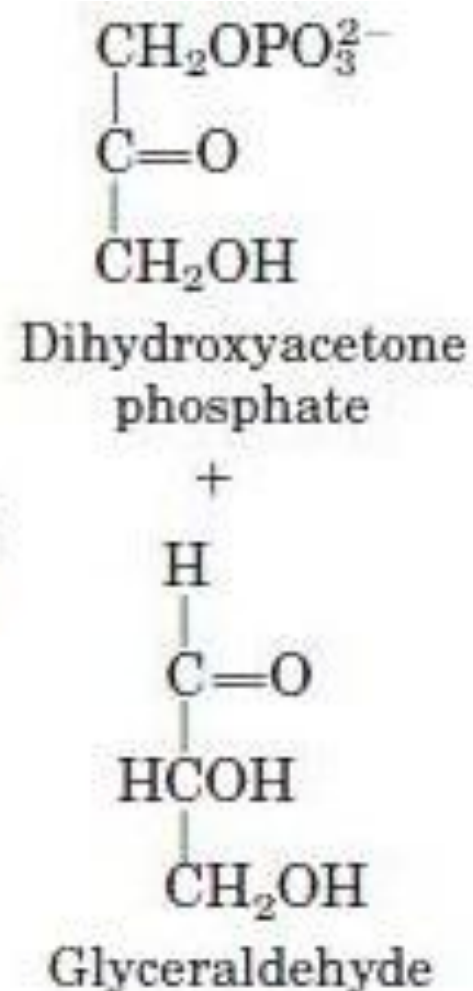
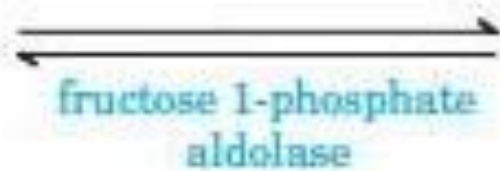
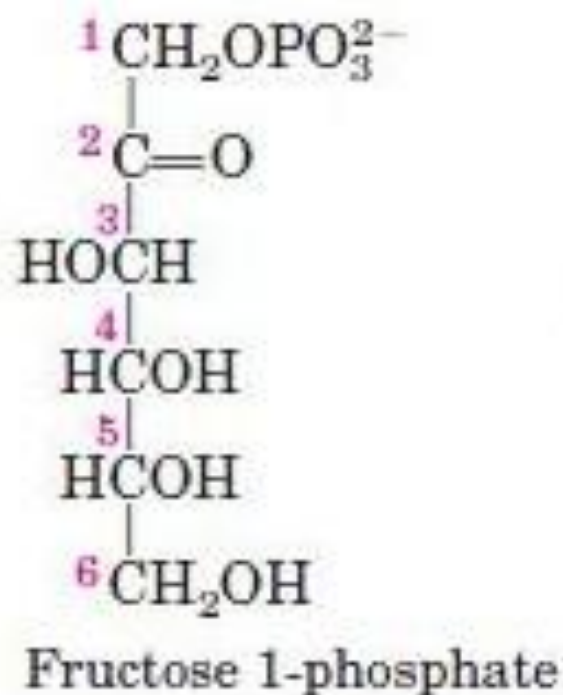
# Фруктоза

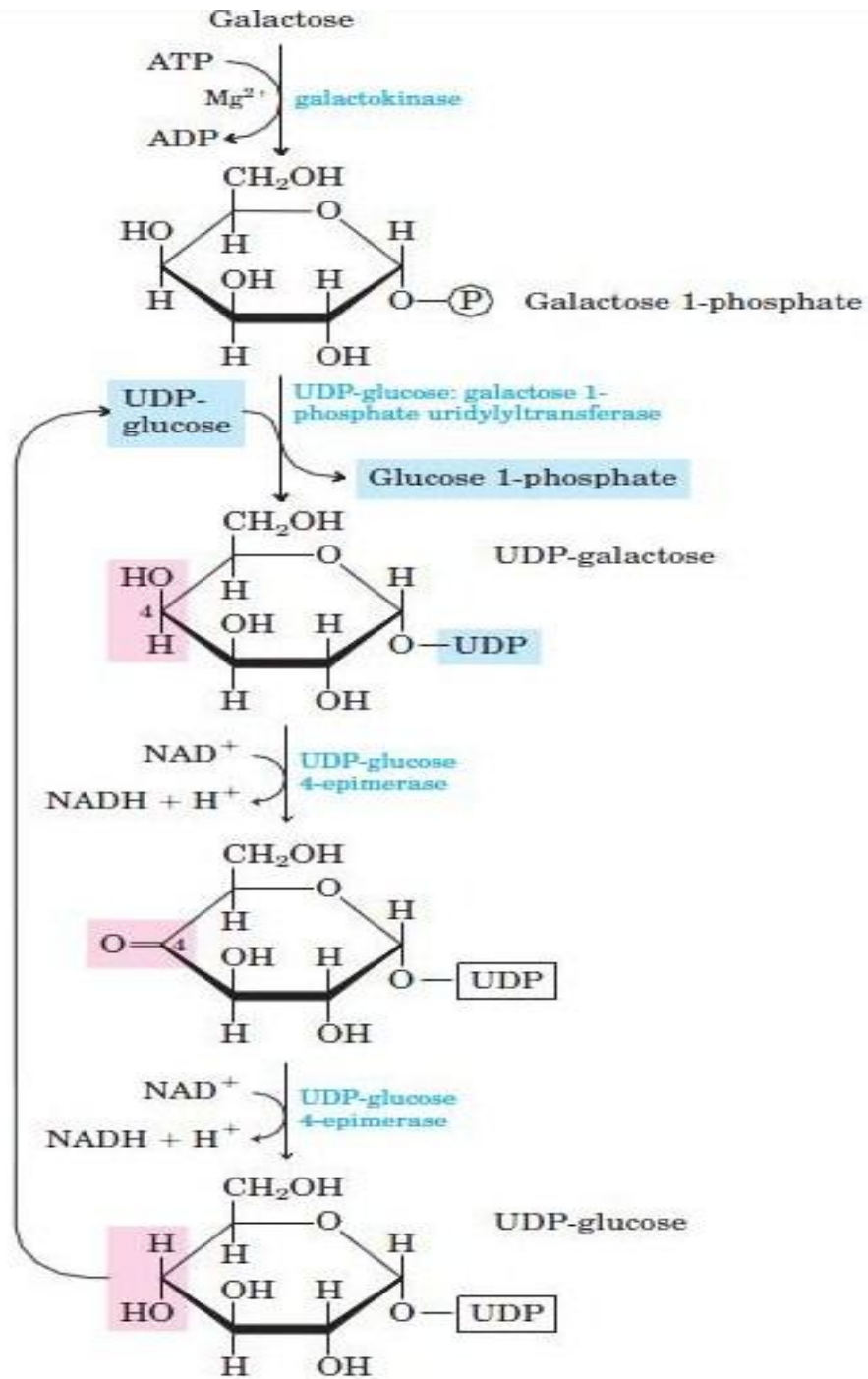
- Скорочена формула:  $C_6H_{12}O_6$
- Молекулярна маса: 180 г/моль
- Тип вуглеводу: кетогексоза
- Оптичний ізомер у людини: D
- Додаткова інформація: основний мономерний вуглевод у всіх покритонасінних (у плодах).



# Фруктоза і галактоза у гліколізі



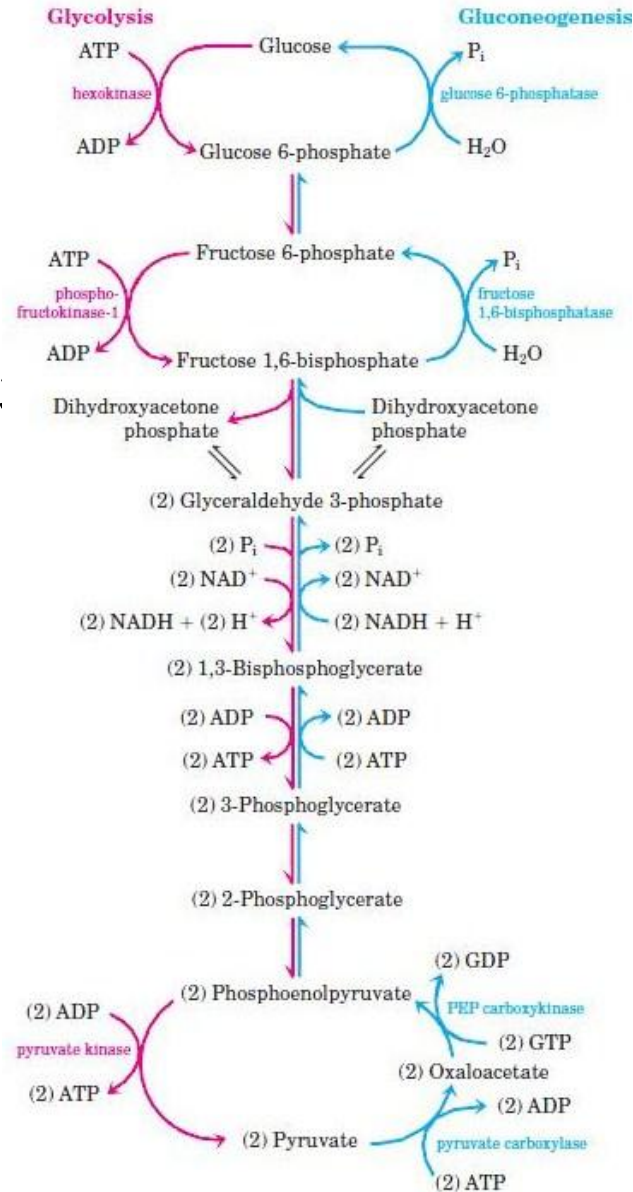


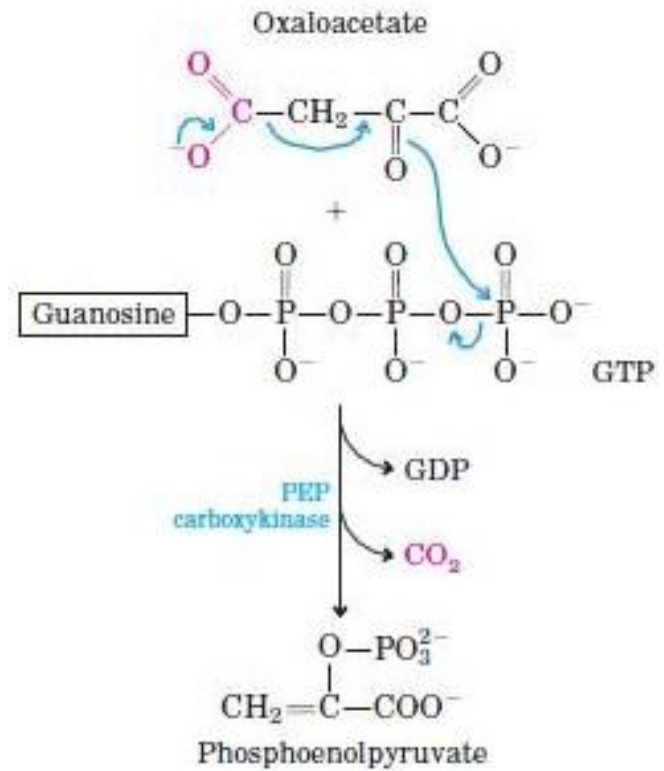
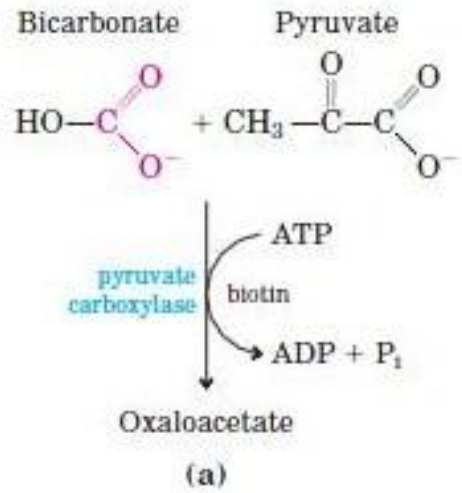




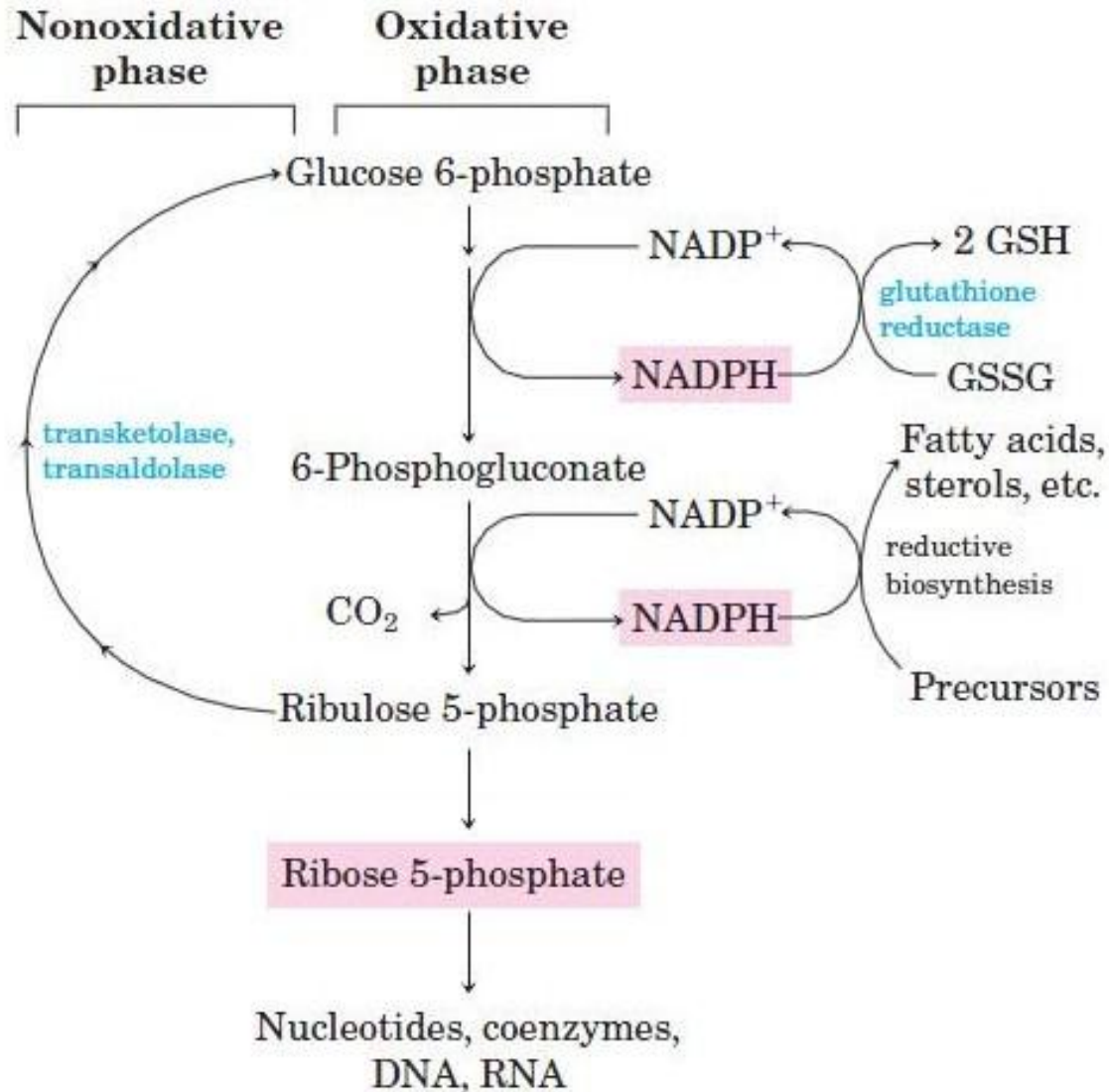
# «Відкат» гліколізу

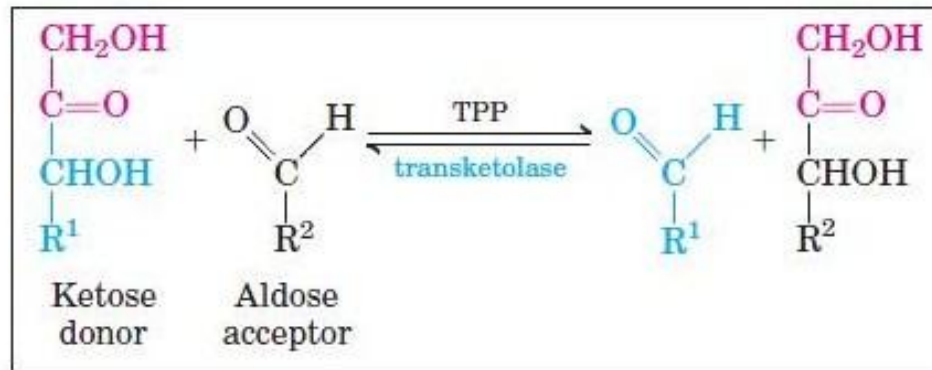
Синонім:  
Глюконеогенез



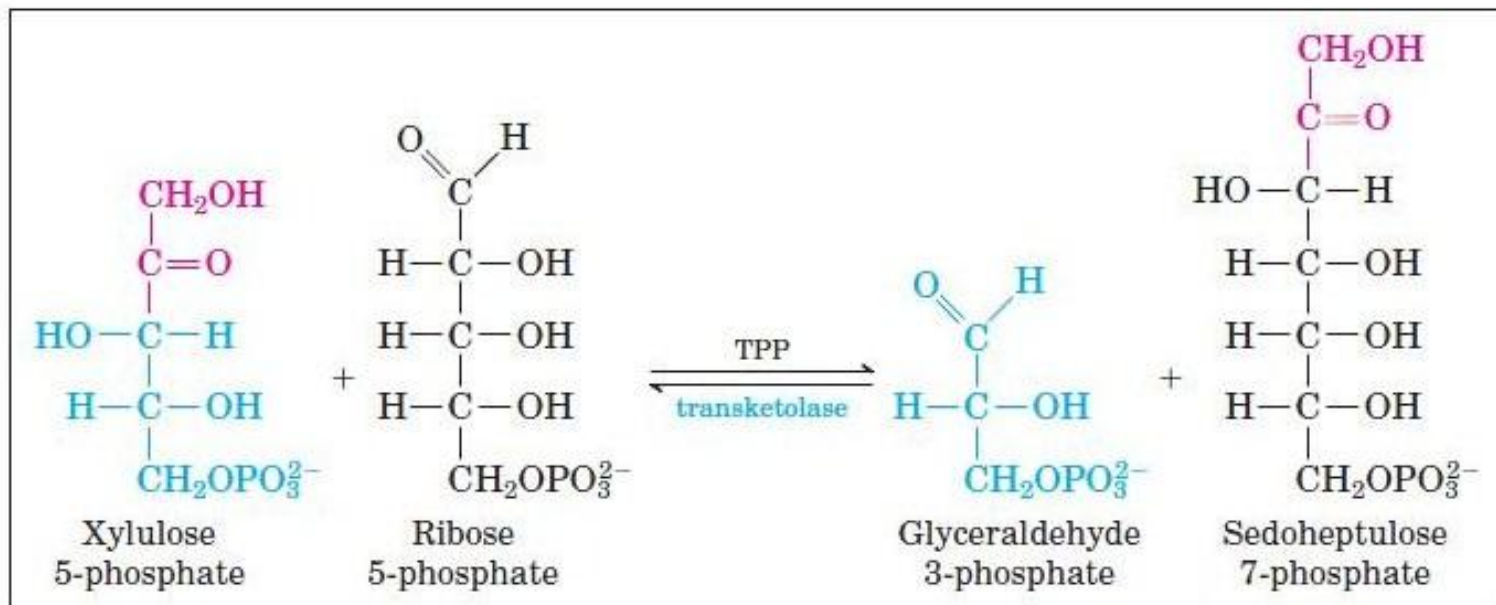


# Пентозо-фосафтний цикл

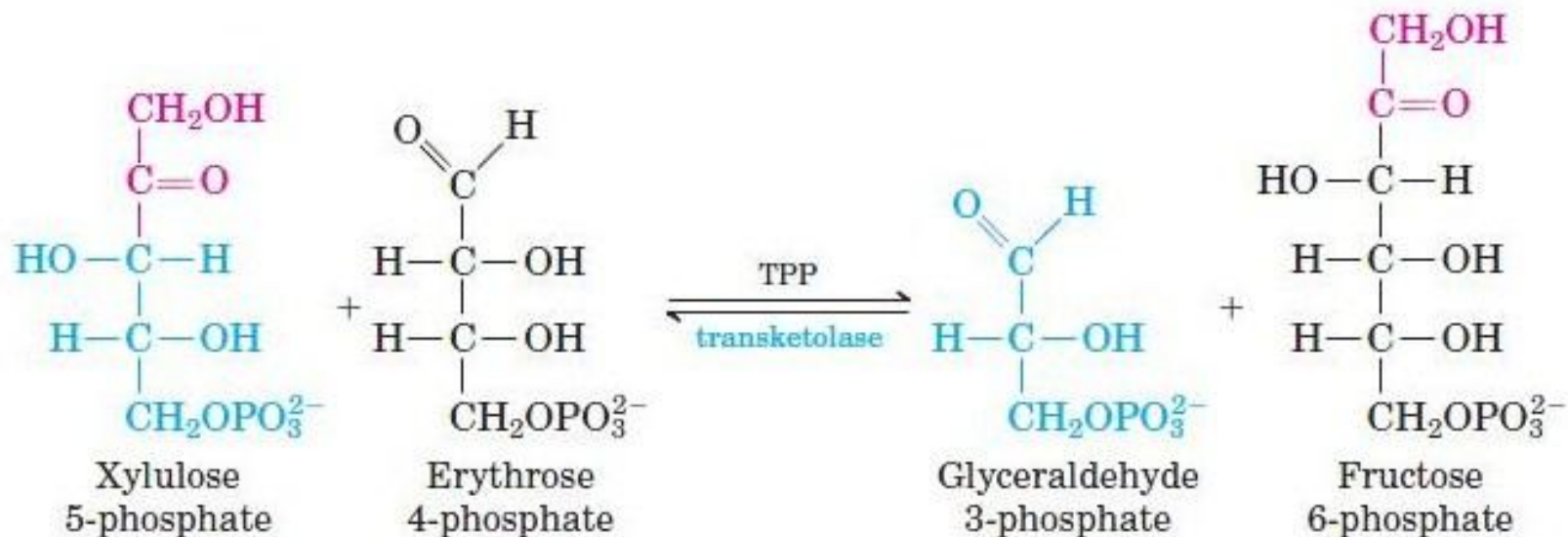
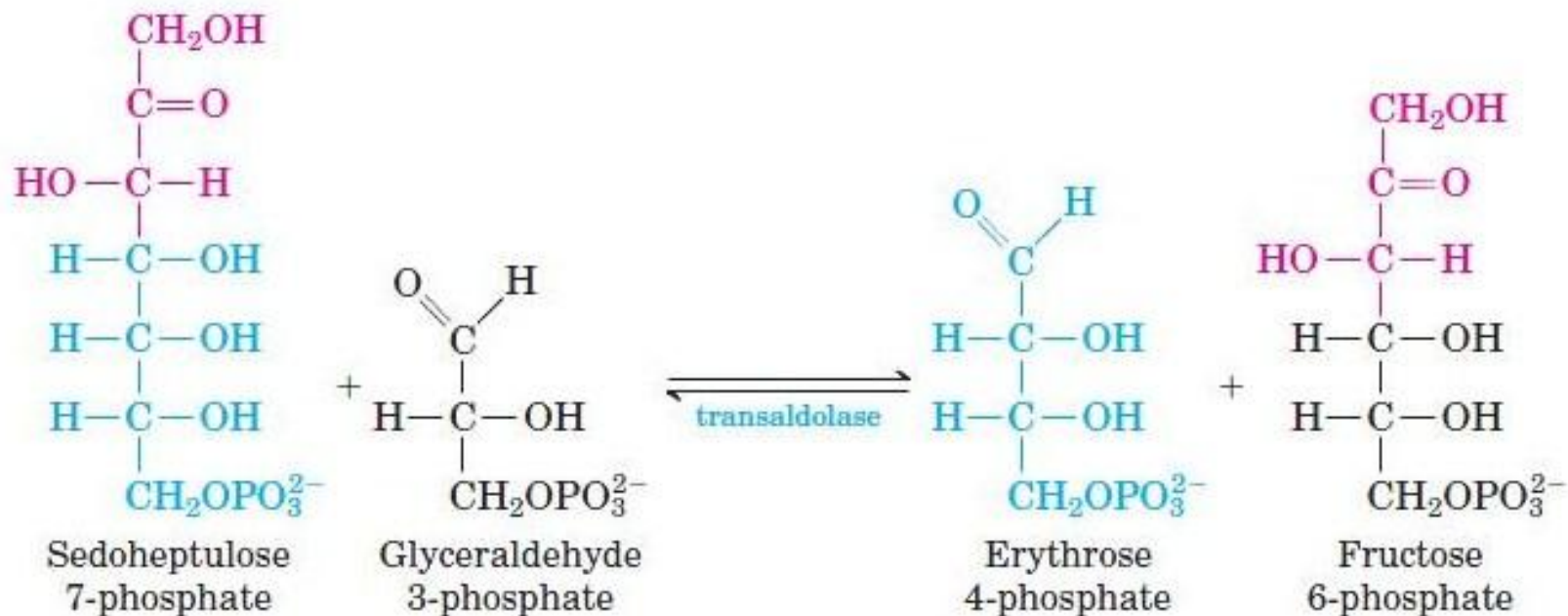




(a)



(b)



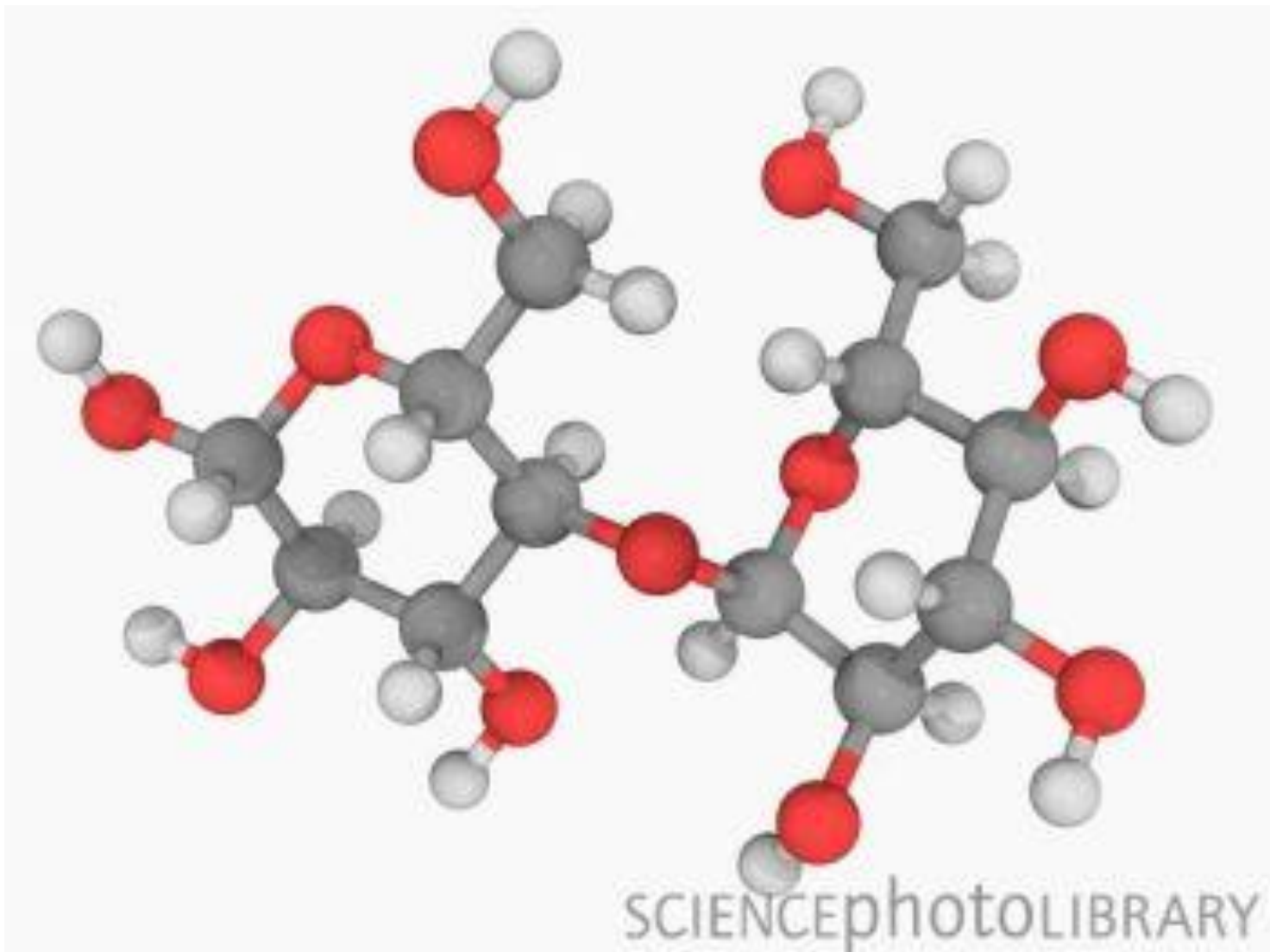
# Полімери вуглеводів

**Полімери вуглеводів** – це речовини, що містять за свою основу один чи декілька мономерних вуглеводів, що можуть повторюватися в певній послідовності у межах молекули.

Полімери, які містять у ланцюгу не більше 10 вуглеводів, часто іменують **олігополімерами**. В більшості випадків послідовність мономерів в них не повторюється.

# Мальтоза

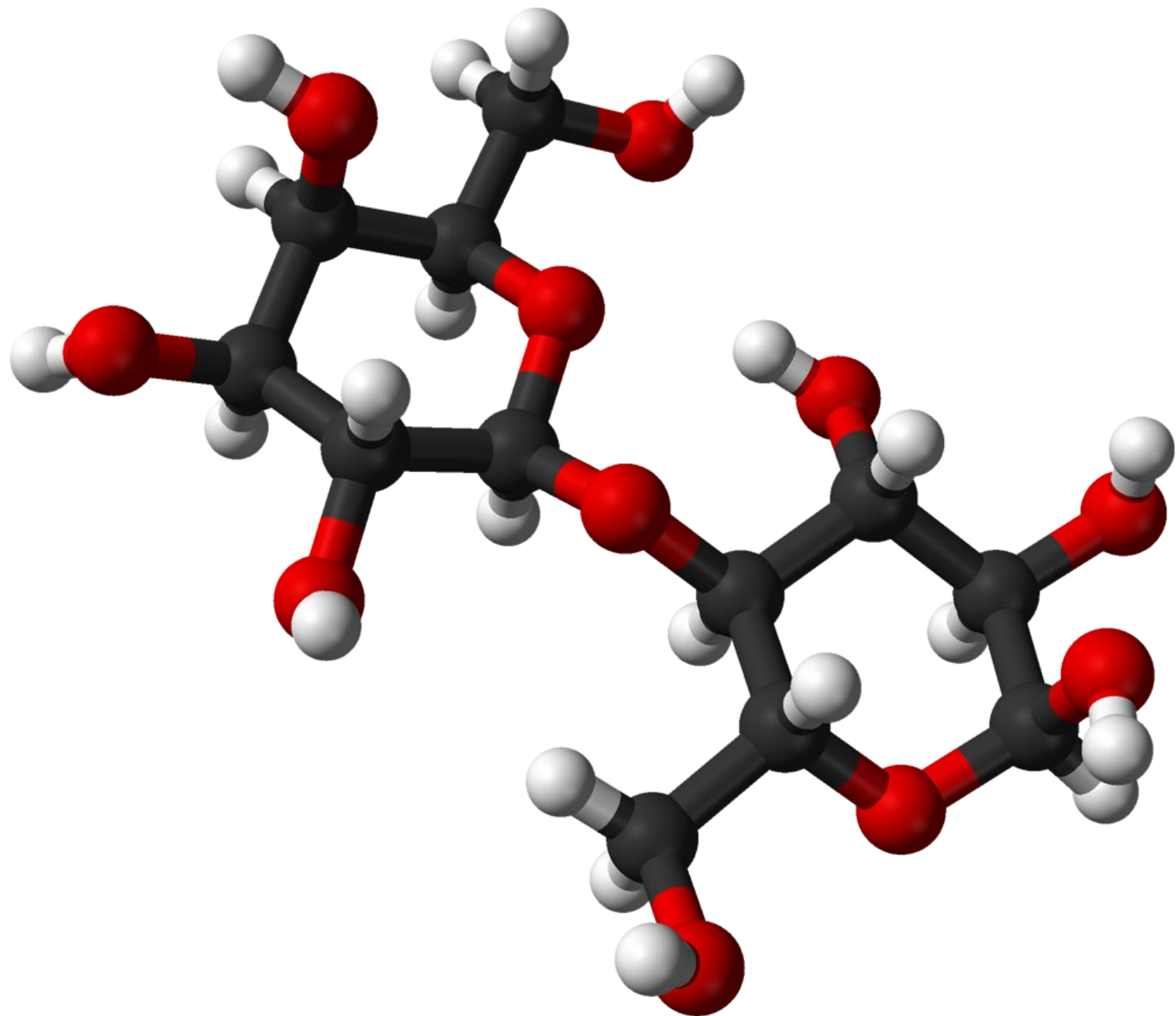
- Скорочена формула:  $C_{12}H_{22}O_{11}$
- Молекулярна маса: 342 г/моль
- Оптичний ізомер у людини: D
- Тип полімеру: димер
- Задіяні мономери: Глюкоза+Глюкоза
- Полімерний тип зв'язку: альфа-1-6,  
бета-1-6





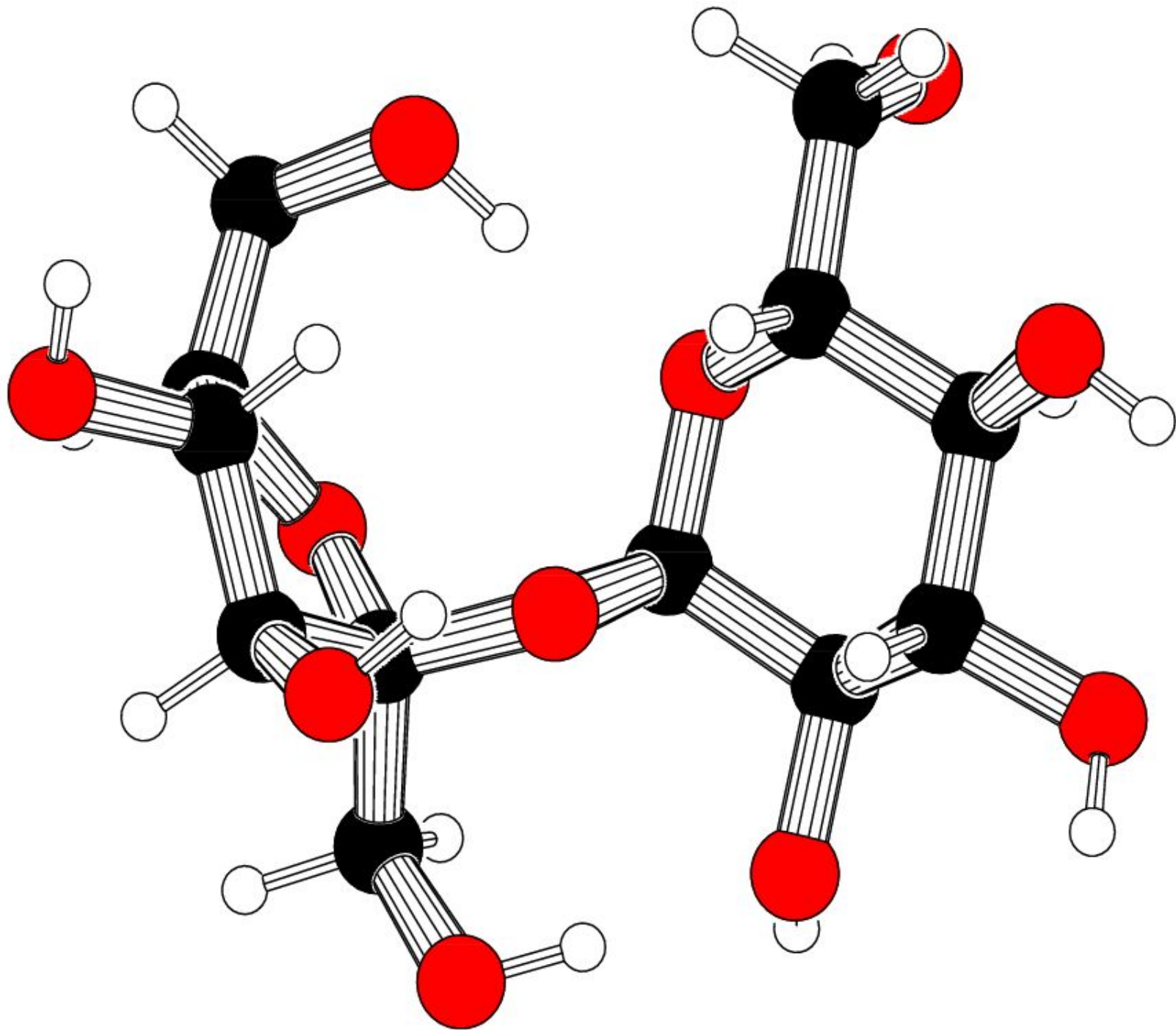
# Лактоза

- Скорочена формула:  $C_{12}H_{22}O_{11}$
- Молекулярна маса: 342 г/моль
- Оптичний ізомер у людини: D
- Тип полімеру: димер
- Задіяні мономери: Глюкоза+Галактоза
- Полімерний тип зв'язку: альфа-1-6,  
бета-1-6



# Сахароза

- Скорочена формула:  $C_{12}H_{22}O_{11}$
- Молекулярна маса: 342 г/моль
- Оптичний ізомер у людини: D
- Тип полімеру: димер
- Задіяні мономери: Глюкоза+Фруктоза
- Полімерний тип зв'язку: альфа-1-5,  
бета-1-5



# Крохмаль

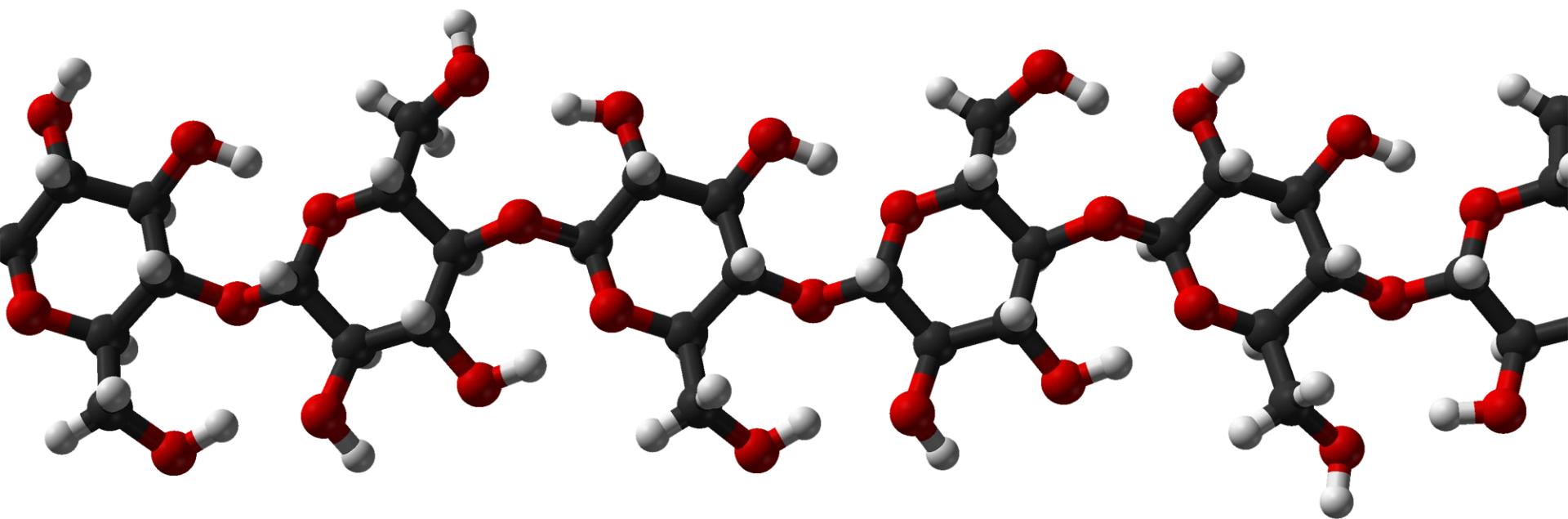
- Скорочена формула:  $[C_6H_{10}O_5]_n$
- Молекулярна маса:  $162n$  г/моль
- Оптичний ізомер у людини: D
- Задіяні мономері: Глюкоза
- Тип зв'язку в основному ланцюгу: альфа-1-6
- Тип зв'язку у розгалуженні: альфа-1-4
- Частота розгалужень: кожні 12 мономерів

# Глікоген

- Скорочена формула:  $[C_6H_{10}O_5]_n$
- Молекулярна маса:  $162n$  г/моль
- Оптичний ізомер у людини: D
- Задіяні мономери: Глюкоза
- Тип зв'язку в основному ланцюгу: альфа-1-6
- Тип зв'язку у розгалуженні: альфа-1-4
- Частота розгалужень: кожні 24 мономери

# Целюлоза

- Скорочена формула:  $[C_6H_{10}O_5]_n$
- Молекулярна маса:  $162n$  г/моль
- Оптичний ізомер у людини: D
- Задіяні мономері: Глюкоза
- Тип зв'язку в основному ланцюгу: альфа-1-6
- Тип зв'язку у розгалуженні: бета-1-4
- Частота розгалужень: кожні 18 мономерів

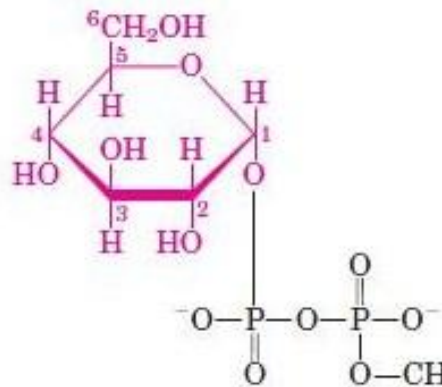




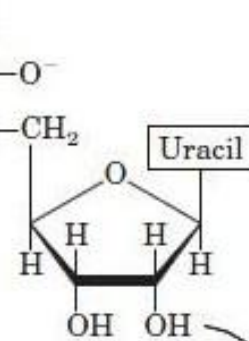
# Глікогенез

**Глікогенез** – процес утворення полімерного вуглеводу глікогену з мономерних вуглеводів.

Процес відбувається в усіх клітинах, але найінтенсивніше протікає у гепатоцитах (клітинах печінки), скелетних м'язах та атипових клітинах серцевого м'яза

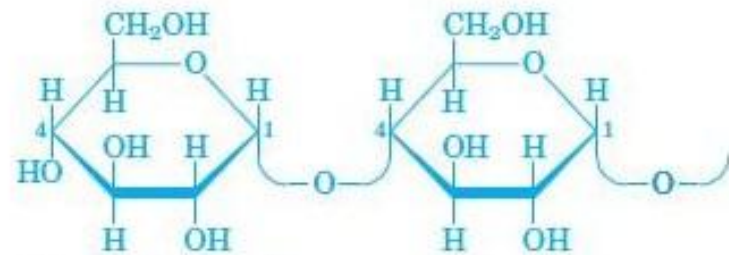


UDP-glucose



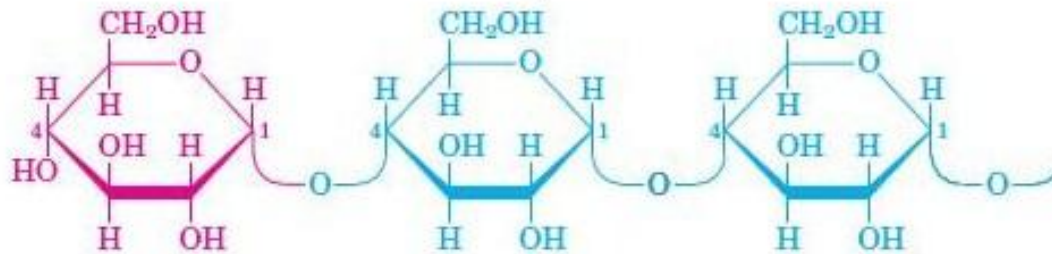
glycogen  
synthase

UDP

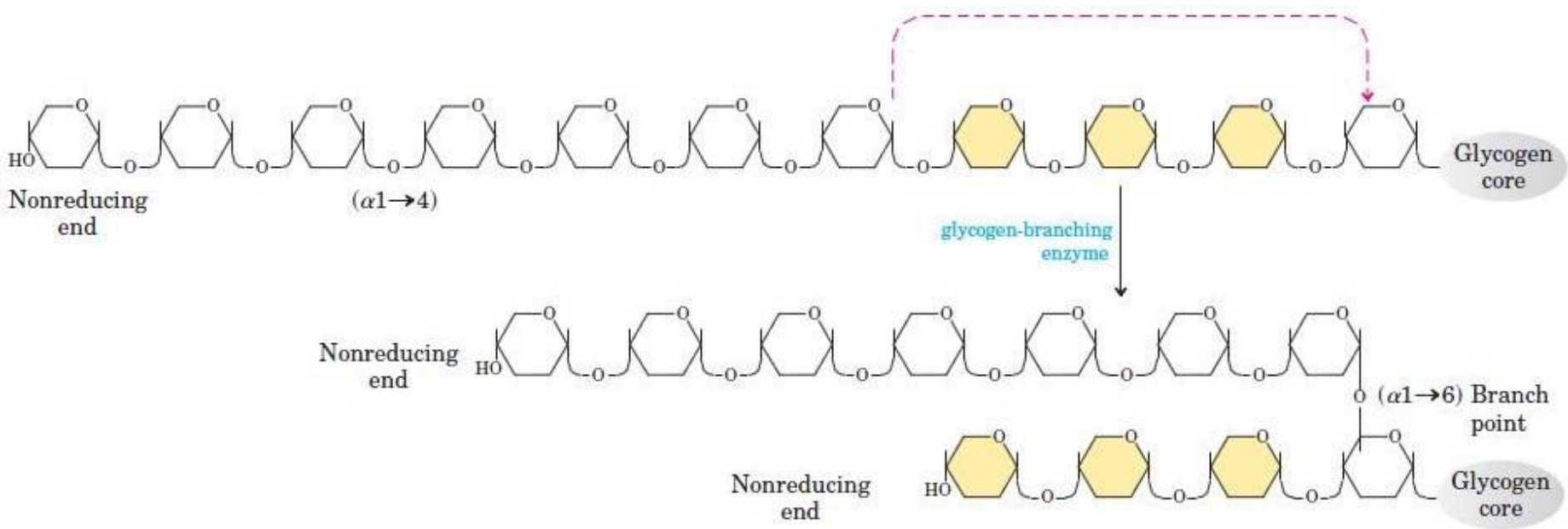


Nonreducing end of  
a glycogen chain  
with  $n$  residues  
( $n > 4$ )

New nonreducing  
end



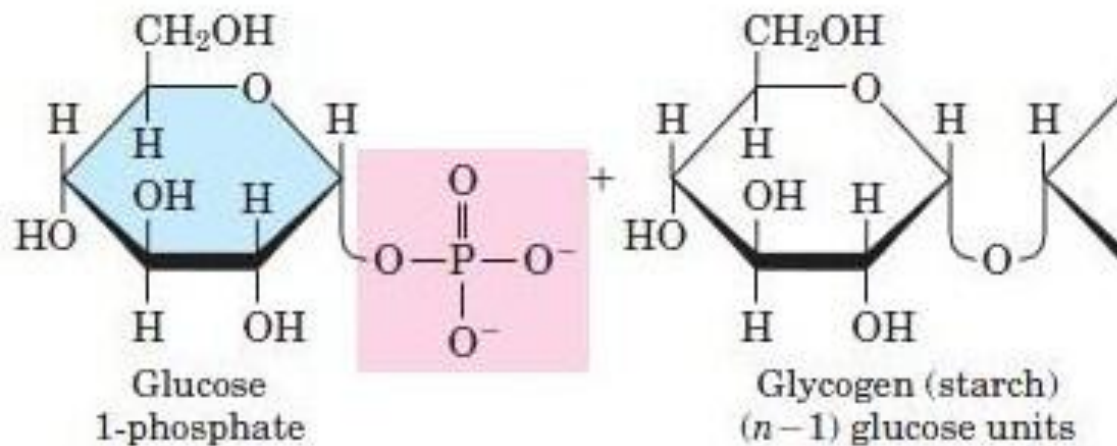
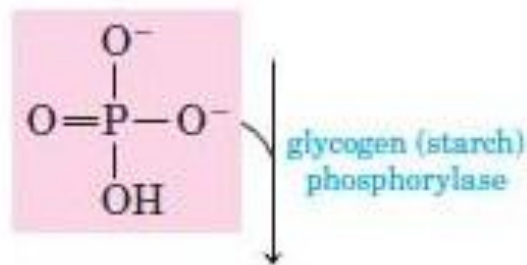
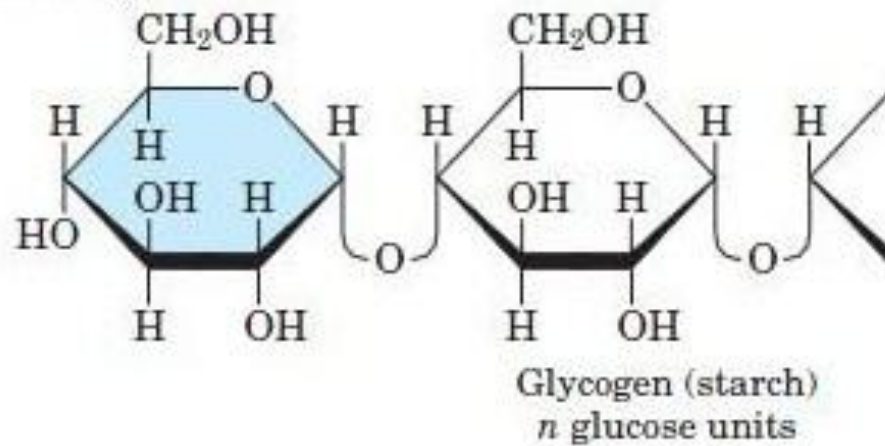
Elongated glycogen  
with  $n + 1$  residues



# Глікогеноліз

**Глікогеноліз** – процес, зворотний до глікогенезу. Відбувається для того, щоб поповнити кількість мономерних вуглеводів в організмі при умові їх виснаження

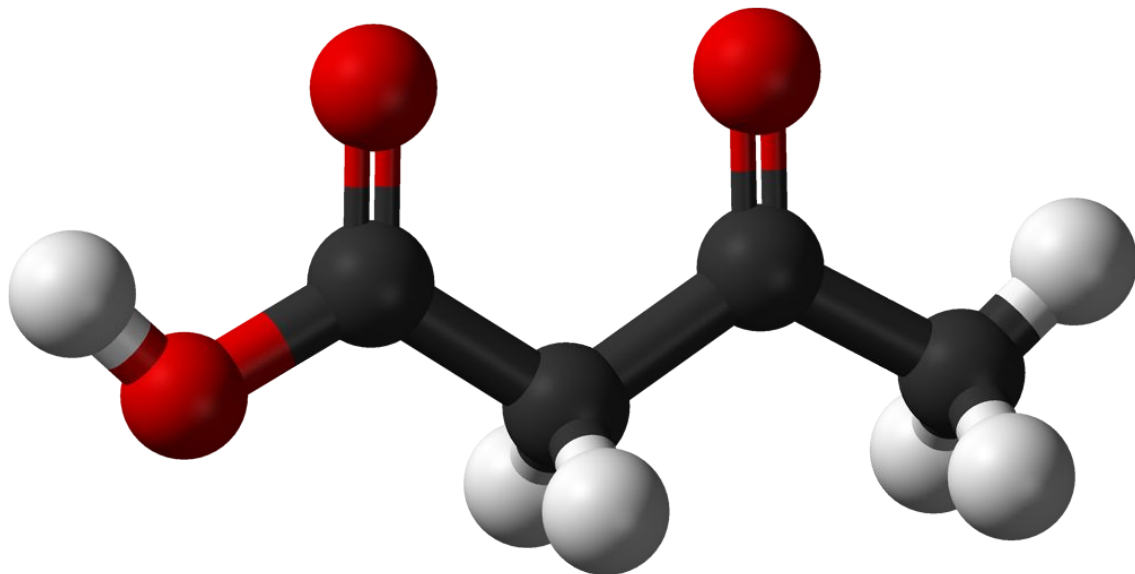
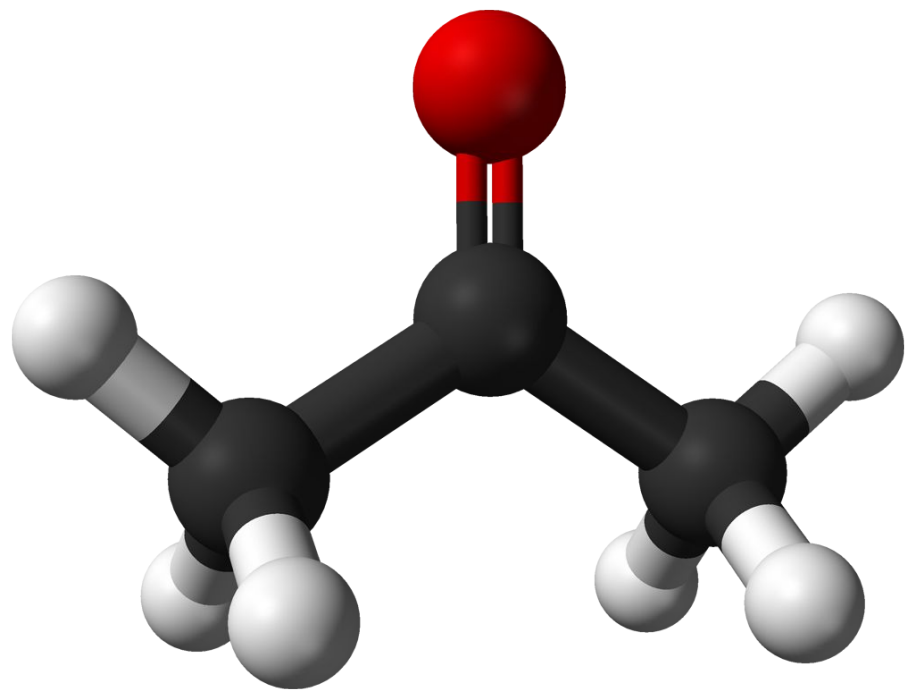
Nonreducing end



# Кетогенез

**Кетогенез** – процес утворення кетонових тіл. Кетонові тіла утворюються в організмі тоді, коли є недостаток мономерних вуглеводів, і наявний надлишок АКоА. В даному випадку його треба “ліквідувати” – і АКоА спонтанно декарбоксилюється, запускаючи кетогенез.

В організмі людини виділяють 3 основних кетонових тіла: ацетон, ацетооцтова кислота, гамма-оксимасляна кислота (γ-оксибутаноат)



# **Наступна лекція**

**Тема: «Метаболізм жирів та білків»**

**Дата проведення: 5 вересня 2014 року**

*Пропозиції та побажання, а також  
заохочення та підтримку кидайте в урну*