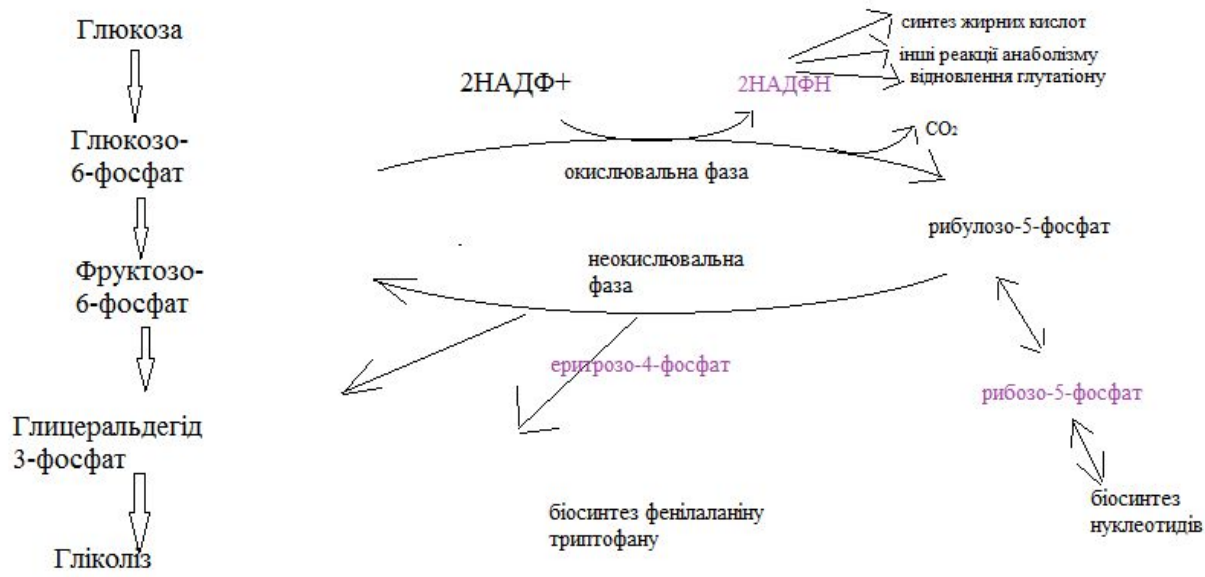


**«ПЕНТОЗНИЙ ЦИКЛ»  
(ПЕНТОЗОМОНОФОСФА  
ТНИЙ ШЛЯХ)**

Альтернативним гліколізу окислювальним шляхом катаболізму гексоз являється пентозомонофосфатний, або пентозний шлях. Так як при цьому глюкозо-6-фосфат вимикається з метаболічного перетворення по шляху гліколізу, його також називають *гексозомонофосфатним шунтом*.

Пентозний шлях широко поширений у природі (тварини, бактерії, рослини). В організмі людини активність цього шляху висока в клітинах лактуючої молочної залози, жирової тканини, зрілих еритроцитах; низький рівень цього процесу виявлений у печінці (5-10%), скелетних та серцевих м'язах (5%), мозку (10%), щитоподібній залозі (15%), легенях (15%).



Метаболічні функції пентозофосфатного шляху

По-друге, в пентозофосфатному шляху при окисленні глюкози утворюються найважливіші структурні попередники для анаболічних процесів в клітині, у тому числі рибозо-5-фосфат – для біосинтезу нуклеотидів і нуклеїнових к-т, еритрозо-4-фосфат – для біосинтезу трьох амінокислот: фенілаланіну, тирозину, триптофану. Крім цього, у аеробних умовах даний шлях може виконувати енергетичну функцію, завдяки дії ферментів, які викликають взаємоперетворення НАДФН і НАДН. Останній, як відомо, здатний запустити процес окислювального фосфорилування для синтезу АТФ. У деяких анаеробних мікроорганізмів, наприклад облігатних гетероферментативних молочнокислих бактерій (*Leuconostoc mesenteroides*), пентозний шлях являється єдиним шляхом зброджування вуглеводів, тобто забезпечення їх енергією.

# РЕАКЦІЇ ПЕНТОЗОМОНОФОСФАТНОГО ШЛЯХУ

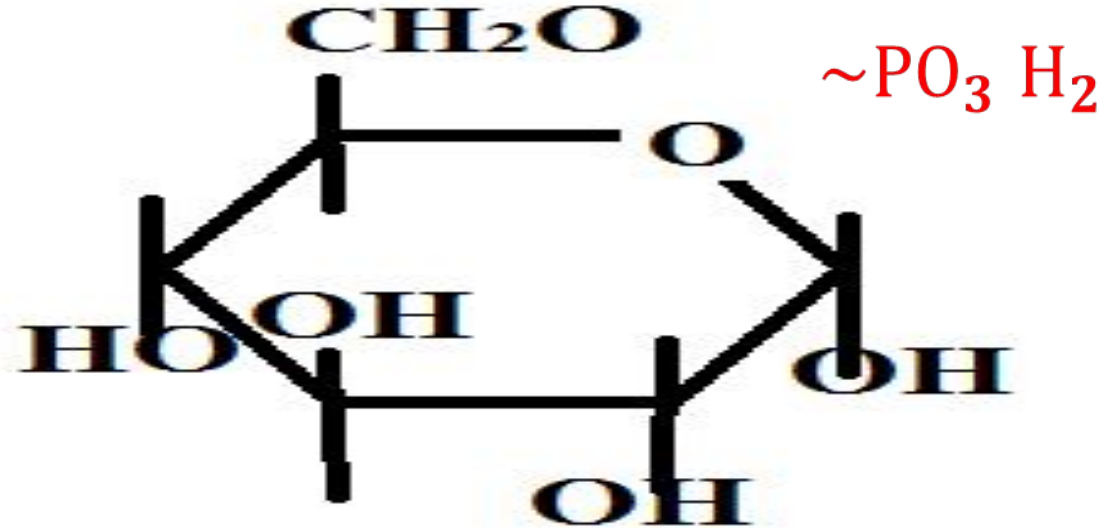
Пентозомонофосфатний шлях складають вісім реакцій, в ньому умовно виділяють дві фази.

Перша фаза - *окислювальна*, включає 3 реакції та завершується окисненням глюкозо-6-фосфату до пентозофосфатів.

Друга фаза – *неокислювальна* (5 реакцій). Вона представляє собою взаємоперетворення трьох, чотирьох, п'яти, шести та семивуглеводних сахарофосфатів, в результаті яких регенерується гексозо-6-фосфат. Всі реакції протікають у цитоплазмі клітини і являються *оборотними*.

*Окислювальна фаза.* Вона містить у собі наступні реакції:

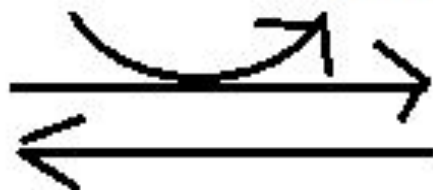
1. Реакція дегідрування глюкозо-6-фосфату при дії *глюкозо-6-фосфатдегідрогенази*, коферментом якої є  $\text{НАДФ}^+$



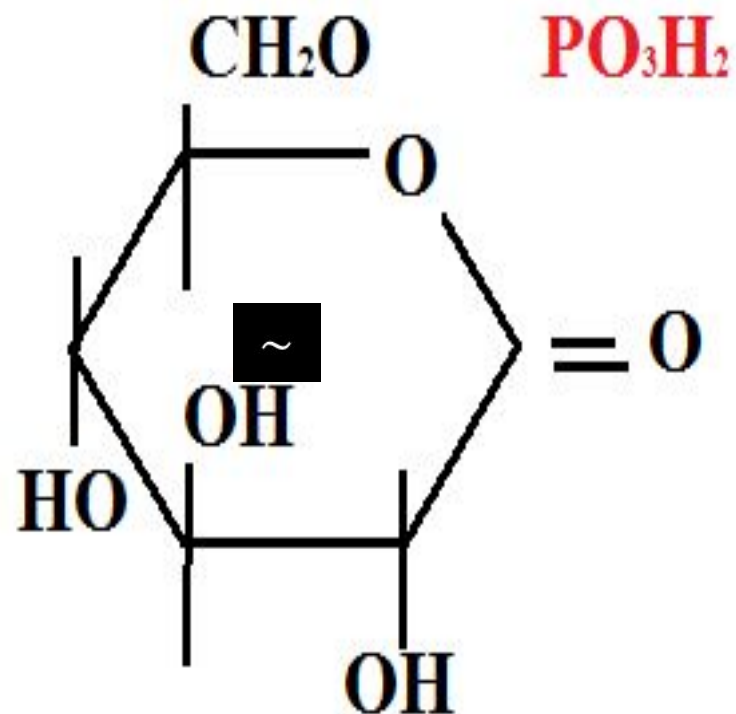
**глюкозо-6-фосфат**

НАДФ<sup>+</sup>

НАДФН<sub>x</sub>H



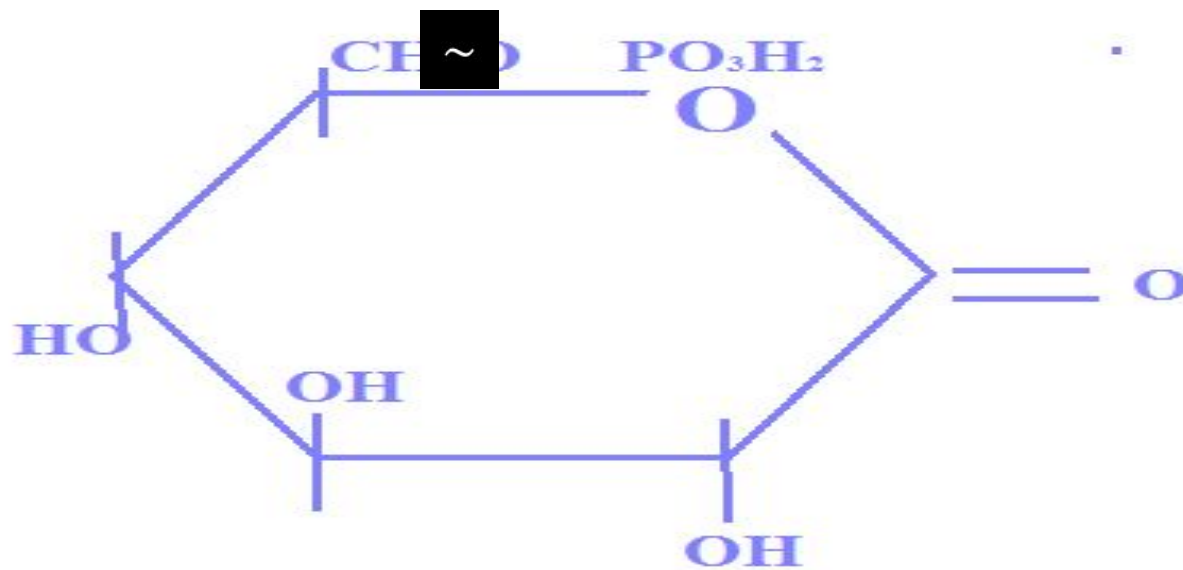
Глюкозо-6-фосфат-дегидрогеназа,  
Mg<sup>2+</sup>



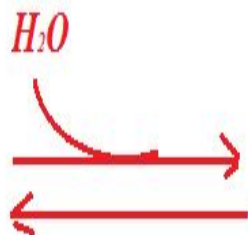
6-фосфоглюконо--  
лактон



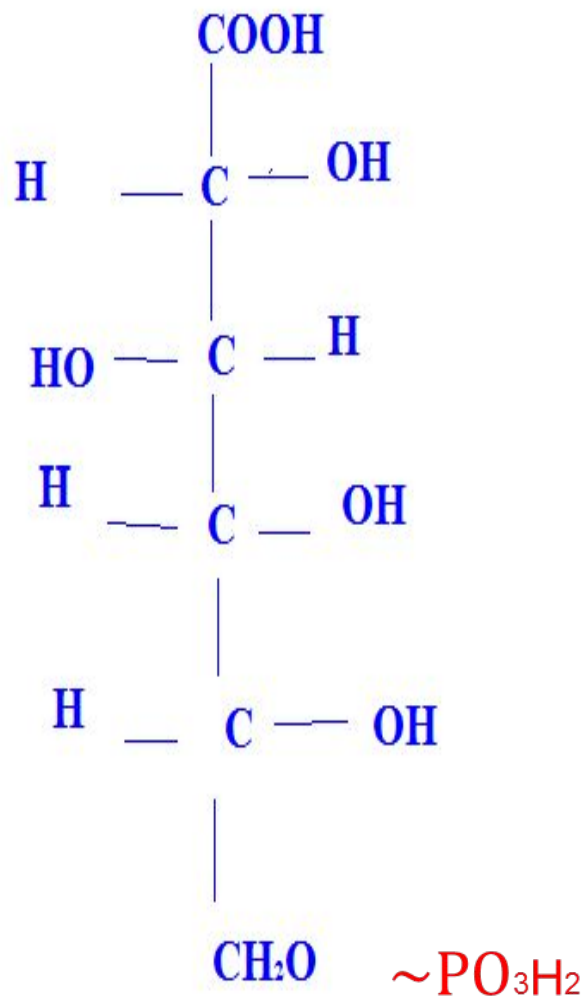
2. Реакція гідролізу лактону, яка відбувається спонтанно або за допомогою ферменту *б-фосфоглюконолактази*



*б-фосфоглюконо-<sup>δ</sup>-лактон*

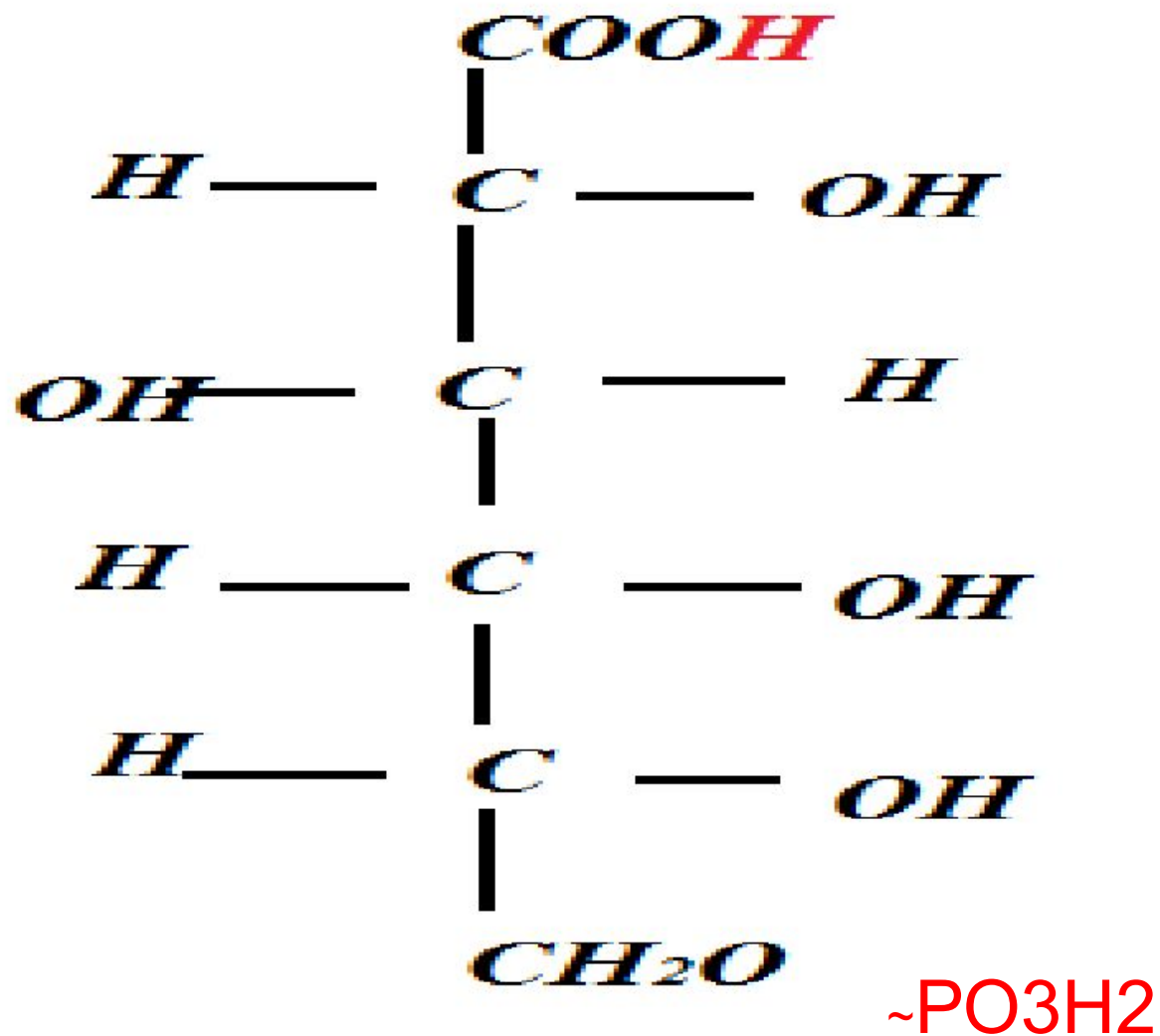


6-фосфоглюконолактоназа



6-фосфоглюконат

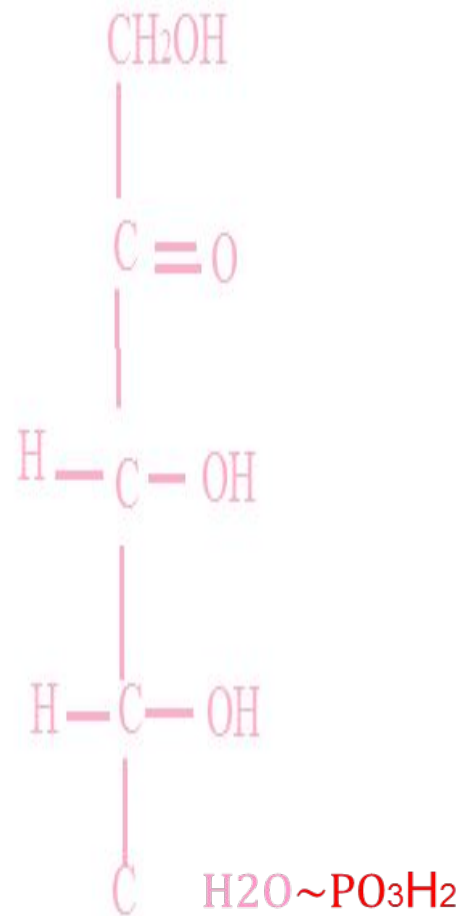
3. Реакція окислювального декарбоксилювання 6-фосфоглюконату, яка каталізується ферментом *6-фосфоглюконатдегідрогеназою*, НАДФ<sup>+</sup> залежною, активуючою іонами Mg<sup>2+</sup>. В результаті реакції утворюється перша кетопентоза-рибулозо-5-фосфат:



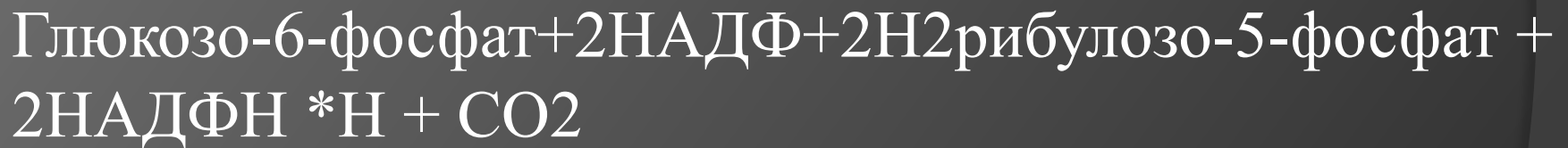
**6- фосфоглюконат**



6-фосфоглюконатдегідрогеназа,  $\text{Mg}^{2+}$



Цією реакцією завершується *окислювальна фаза*, в якій глюкозо-6-фосфат окислюється до рибулозо-5-фосфату і відновлюється 2НАДФН x Н<sup>+</sup>, останні використовуються як донори відновлювальних еквівалентів для анаболічних реакцій процесів метаболізму. Стереохімічне рівняння окислювальної фази пентозофосфатного шляху описується рівнянням:



*Неокислювальна фаза.* Основними ферментами неокислювальної фази є : *транскетолаза і трансальдолаза.*

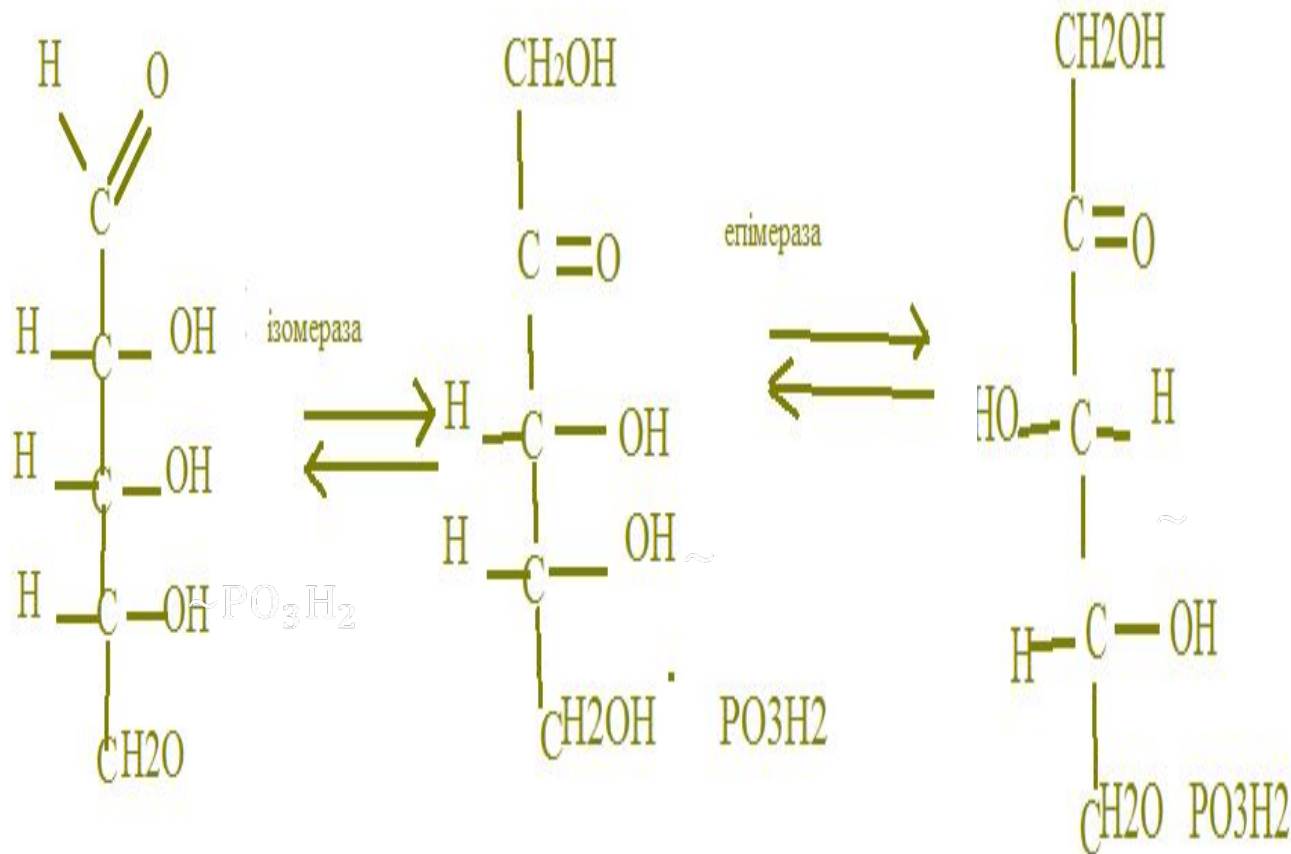
Вони відщеплюються від фосфорильованих кетосахарів відповідно C2 та C3-фрагменти, переносячи їх на фосфоальдосахари. У результаті взаємодії фосфосахарів регулюється їх кількість у відповідності з потребами клітини.

Неокислювальна стадія починається з реакції ізомеризації(4) і (5).

В процесі цих реакцій одна частина рибулозо-5-фосфату ізомеризується в рибозо-5-фосфат(акцептор C2-фрагменту), друга- в ксилулозо-5-фосфат, який слугує донором цього фрагменту.

4. Реакція кето-альдозної ізомеризації рибулозо-5-фосфату при дії ферменту ізомерази, в результаті якої утворюється рибозо-5-фосфат.

5. Реакція епімеризації, в процесі якої іде звернення конфігурації рибулозо-5-фосфату при третьому вуглеводі під дією ферменту епімерази і утворюється інша фосфопентоза – ксилулозо-5-фосфат



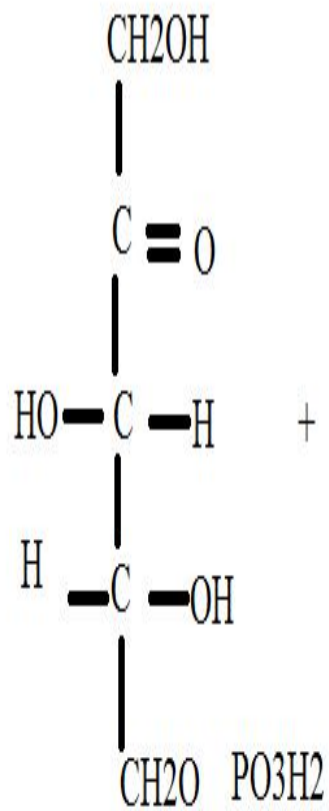
Рибозо-5-фосфат

рибулоза-5-фосфат

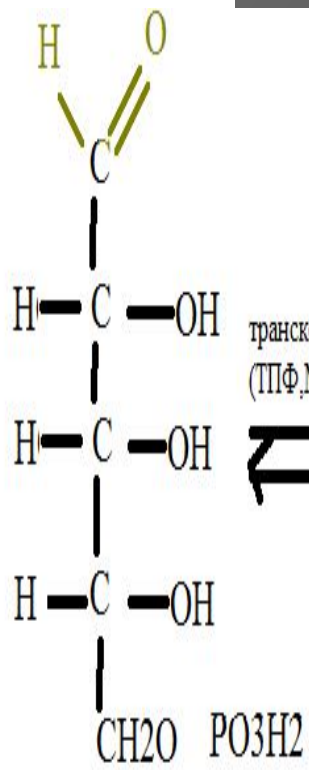
ксилулозо-5-фосфат



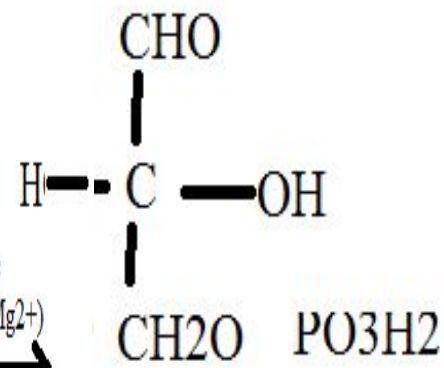
- Перша транскетолазна реакція іде між продуктами 4 та 5 реакції під дією ферменту транскетолази, кофакторами якого є тіамініпрофосфат (ТПФ) та катіони двухвалентних металів. Реакцію можна розглядати як оборотний перенос глікоальдегідного залишку від донору кетози на акцептор альдозу:



+

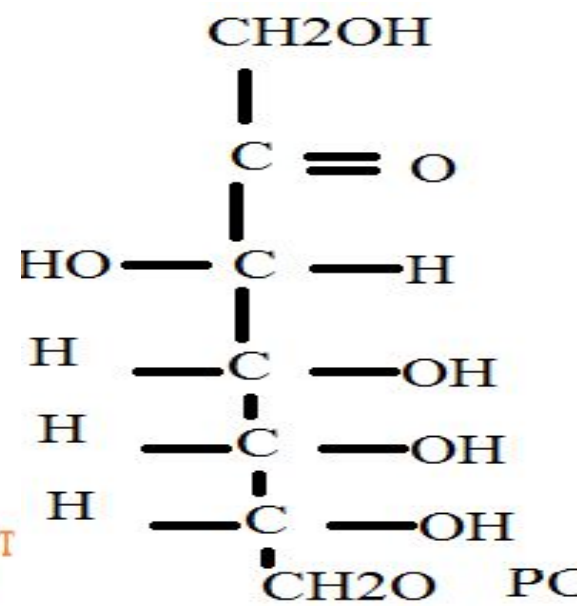


транске  
(ТПФ, Mg<sup>2+</sup>)



~ глицеральдегид-3-фосфат

+

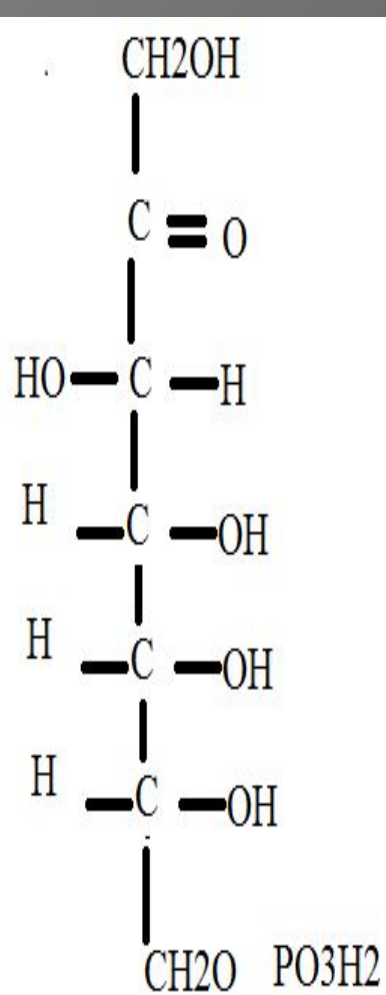


седогентулозо-  
фосфат

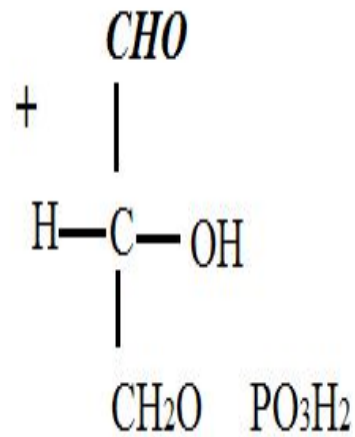
рибозо-5-фосфат

ксилулозо-5-фосфат

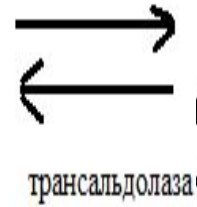
Трансальдозазна реакція протікає за допомогою ферменту трансальдолази, який каталізує переніс залишку діоксиацетона від донора кетози,, представленою седогептулозо-7-фосфатом, на акцептор альдозу- гліцеральдегід-3-фосфат:



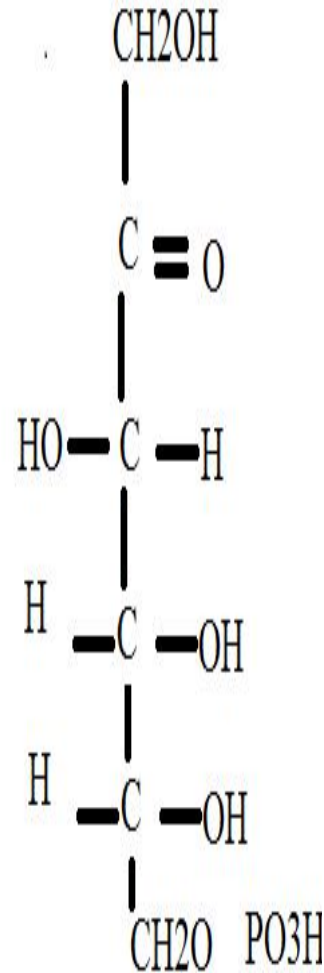
седогептулозо-7-фосфат



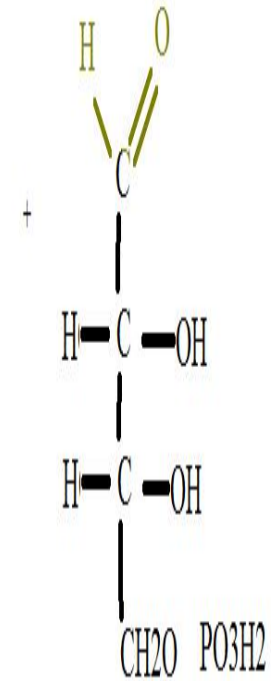
гліцеральдегід-3-фосфат



за

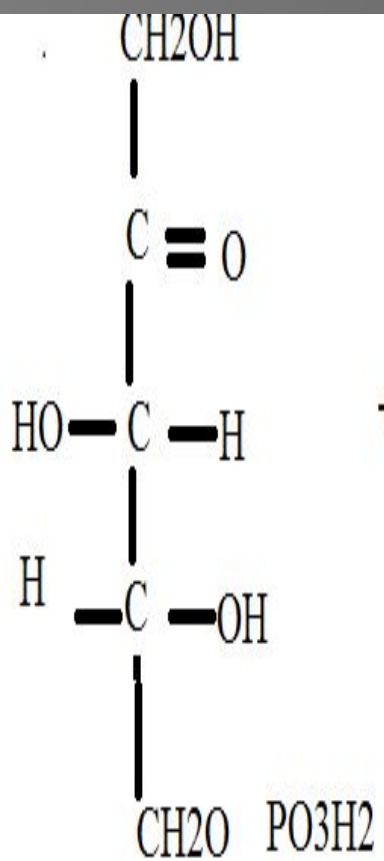


фруктозо-6-фосфат



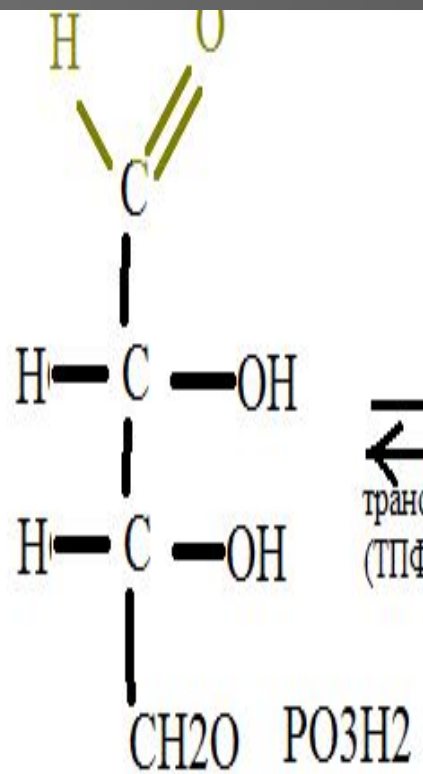
еритрозо-4-фосфат

8. Друга транскетолазна реакція, в якій донором глікоальдегідної групи виступає, як і в реакції, ксилулозо-5-фосфат, акцептором - продукт сьомої реакції еритрозо-4-фосфат:

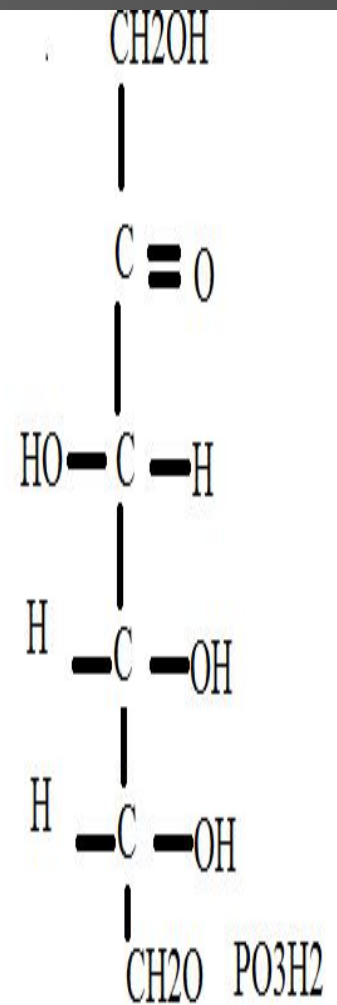


ксилулозо-5-фосфат

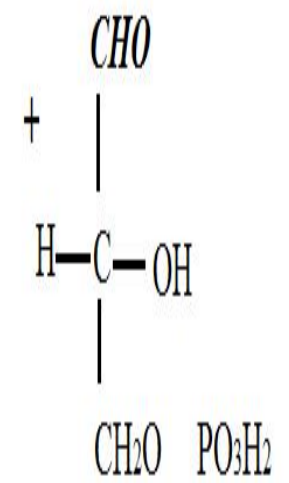
+



еритрозо-4-фосфат



фруктозо-6-фосфат



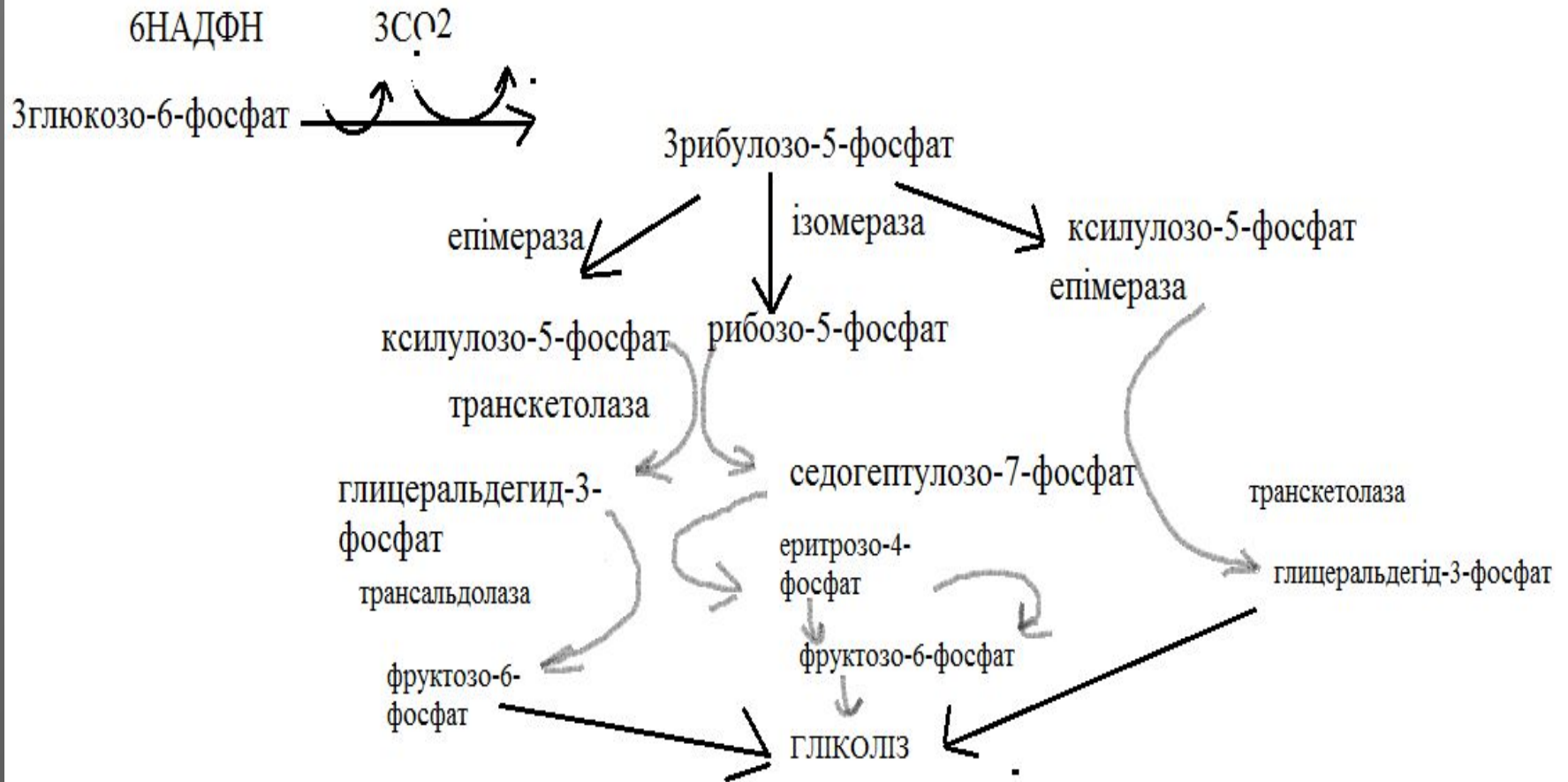
глицеральдегід-3-фосфат

В результаті цих реакцій три молекули С5-сахарів перетворюються в дві молекули С6 сахарів і одне С3-з'єднання- гліцеральдегід-3-фосфат. *Цей процес можна записати у вигляді рівняння:*

3глюкозо-6-фосфат+6НАДФ + 3СО2 + 2фруктозо-6-фосфат + гліцеральдегід-3-фосфат+6НАДФН\* Н+

# Схема реакції пентозофосфатного шляху

рибозо-5-фосфат  $\rightleftharpoons$  5глюкозо-6-фосфат





Якщо клітина не має потреби у НАДФН, а їй потрібен рибозо-5-фосфат для синтезу нуклеотидів, то проміжні метаболіти гліколізу-фруктозо-6-фосфат та 3-фосфогліцериновий альдегід – при дії ферменту неокислювальної пентозофосфатного шляху можуть перетворюватися в рибозо-5-фосфат. Під дією пентозофосфатного шляху може відбуватися повне окислення  $\xrightarrow{\text{глюкозо-6-фосфату}}$  до  $\text{CO}_2$ .

$$6\text{глюкозо-6-фосфат} + 7\text{H}_2\text{O} + 12\text{НАД} + 5\text{глюкозо-6-фосфат} + 6\text{CO}_2 + 12\text{НАДФН} \cdot \text{H}^+ + \text{H}_3\text{PO}_4$$

після скорочення спільних членів отримуємо:

$$6\text{глюкозо-6-фосфат} + 7\text{H}_2\text{O} + 12\text{НАД} + 6\text{CO}_2 + 12\text{НАДФН} \cdot \text{H}^+ + \text{H}_3\text{PO}_4$$

Головним регуляторним ферментом пентозного шляху є глюкозо-6-фосфатдегідрогеназа, яка каталізує першу реакцію. Активатором ферменту є НАДФ<sup>+</sup>, а роль інгібітора виконує відновлена форма цього кофермента НАДФН\*H<sup>+</sup>

Якщо пентозофосфатів багато, то еритрозо-4-фосфат приймає участь у транскетолазній реакції, яка призводить до утворення фруктозо-6-фосфату. Якщо ж мало гексозофосфатів, то еритрозо-4-фосфат вступає в трансальдолазну реакцію, яка поповнює пул седогептулозо-7-фосфату.