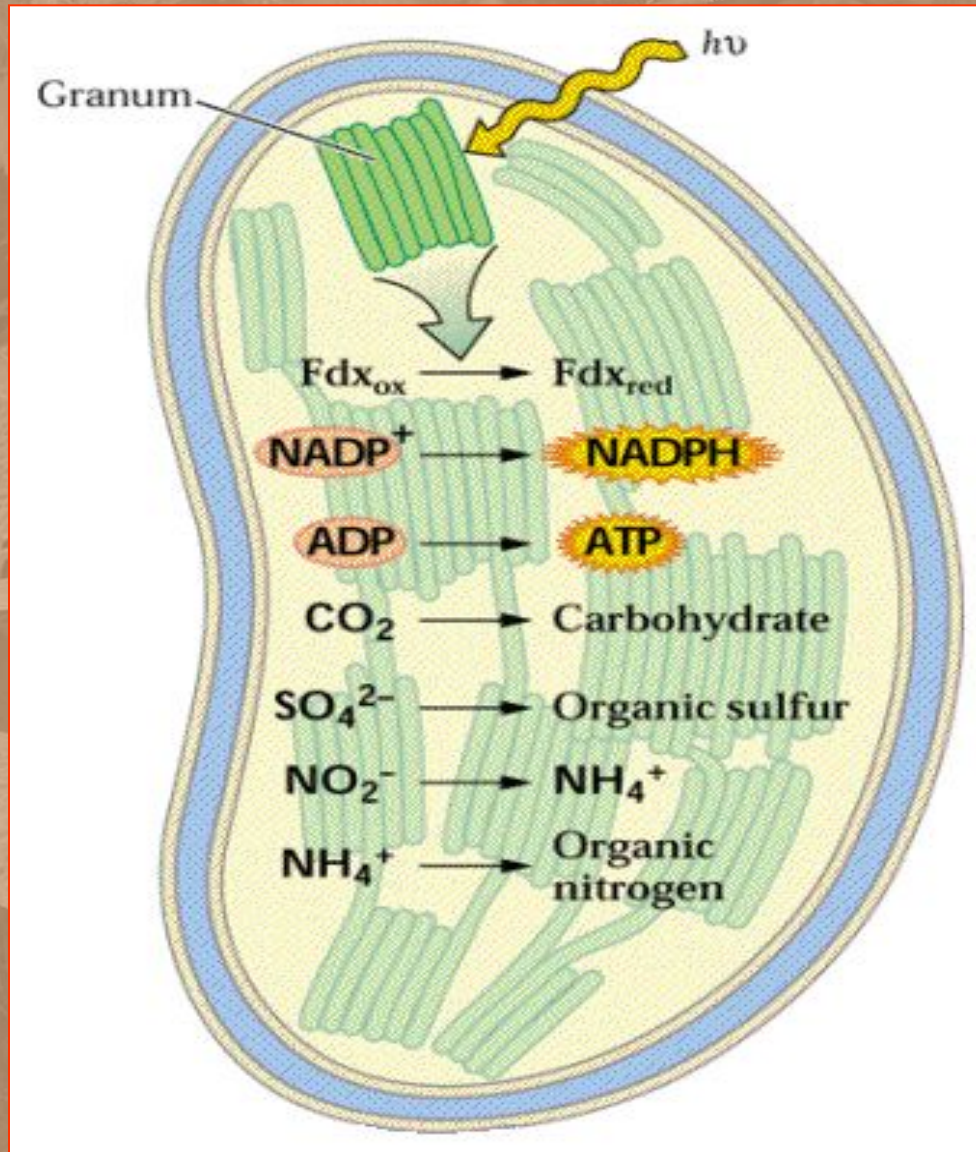


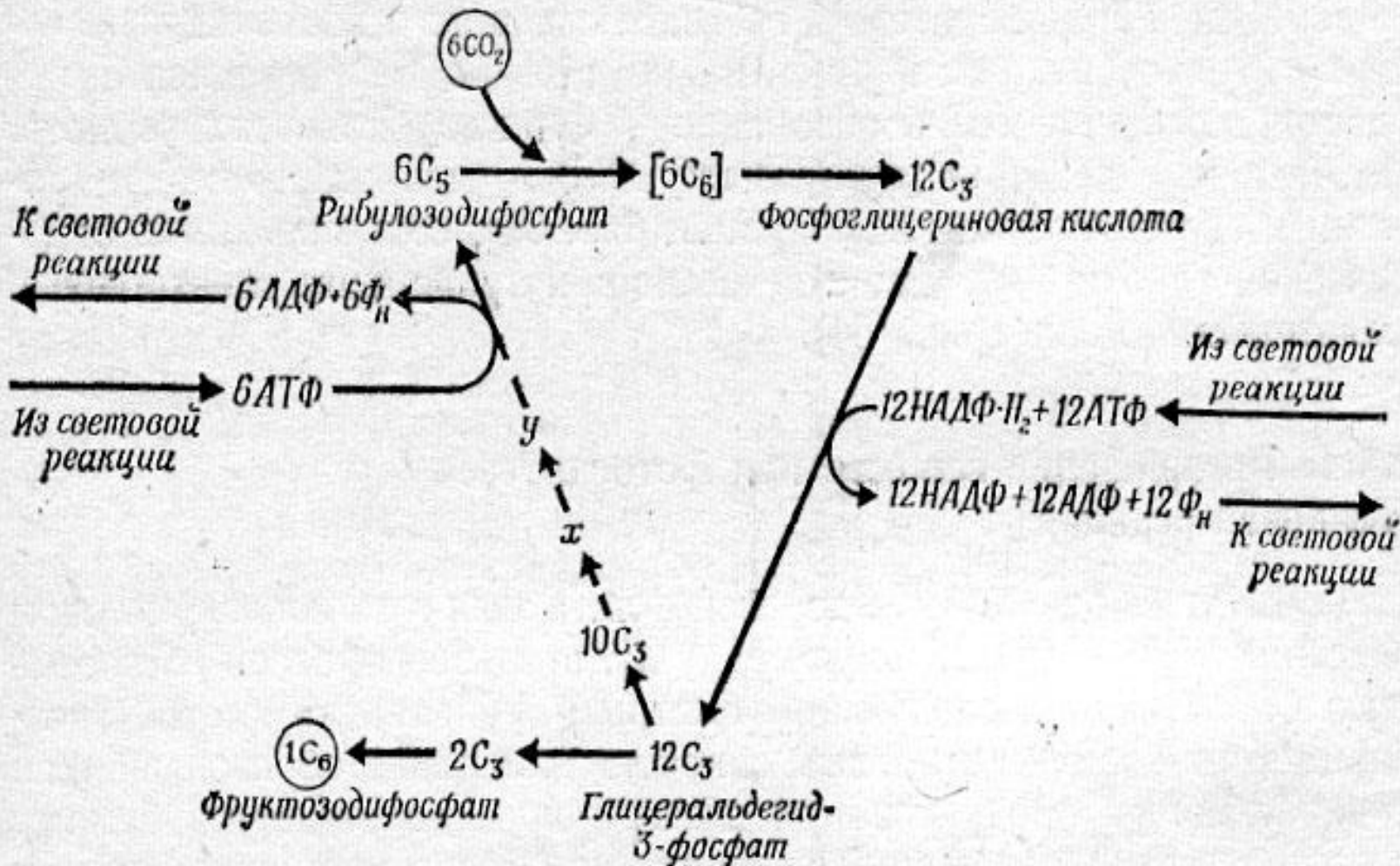
# Фотосинтез (продолжение)



# Темновая фаза фотосинтеза – образование «основных фондов» из НАДФН и АТФ



# Схема восстановительного пентозо-фосфатного цикла



## Цикл Кальвина: энергетика

$1 \text{ НАДФН} = 1.15\text{В} \times 2 = 230 \text{ кдж}$  (  $1\text{В} \sim 100 \text{ кдж.}$ , в НАДФН -  $2 \text{ e}^-$ )

$1 \text{ АТФ} = 30 \text{ кдж}$

**Затраты:**  $12 \text{ НАДФН} = 2760 \text{ кдж}$

$18 \text{ АТФ} = 540 \text{ кдж}$

**Всего:**  $3300 \text{ кдж}$

**Сжигание 1 моля глюкозы:**  $2800 \text{ кдж}$

**Эффективность преобразования энергии – 85%. Неплохо.**

**Разность в 500 кдж заставляет цикл «крутиться» в нужную сторону**

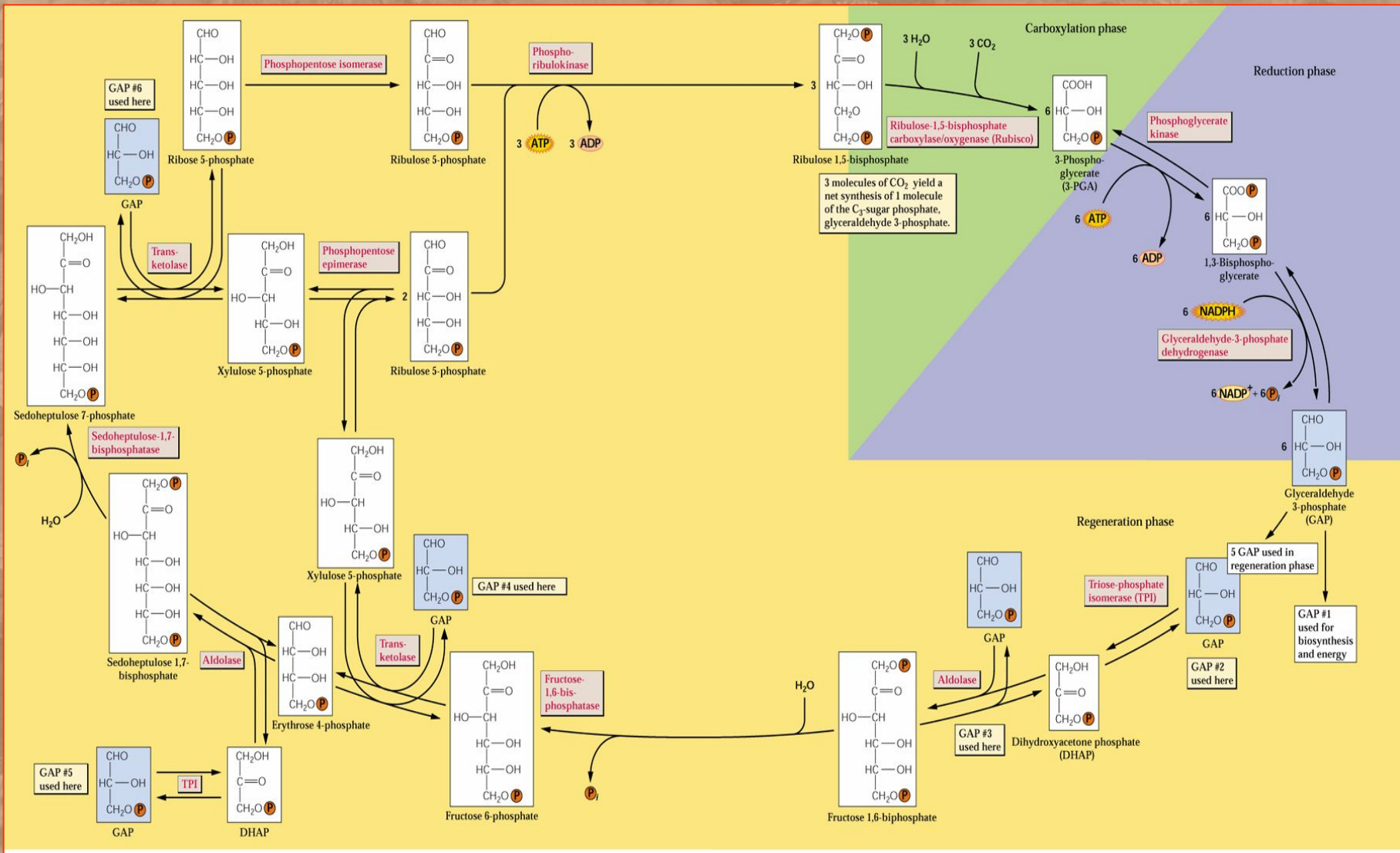
**Общая эффективность фотосинтеза «от кванта»:**

**на 1  $\text{CO}_2$  (на 1  $\text{H}_2\text{O}$ ) идет  $8 \text{ e}^-$  (по  $4 \text{ e}^-$  на каждую фотосистему)**

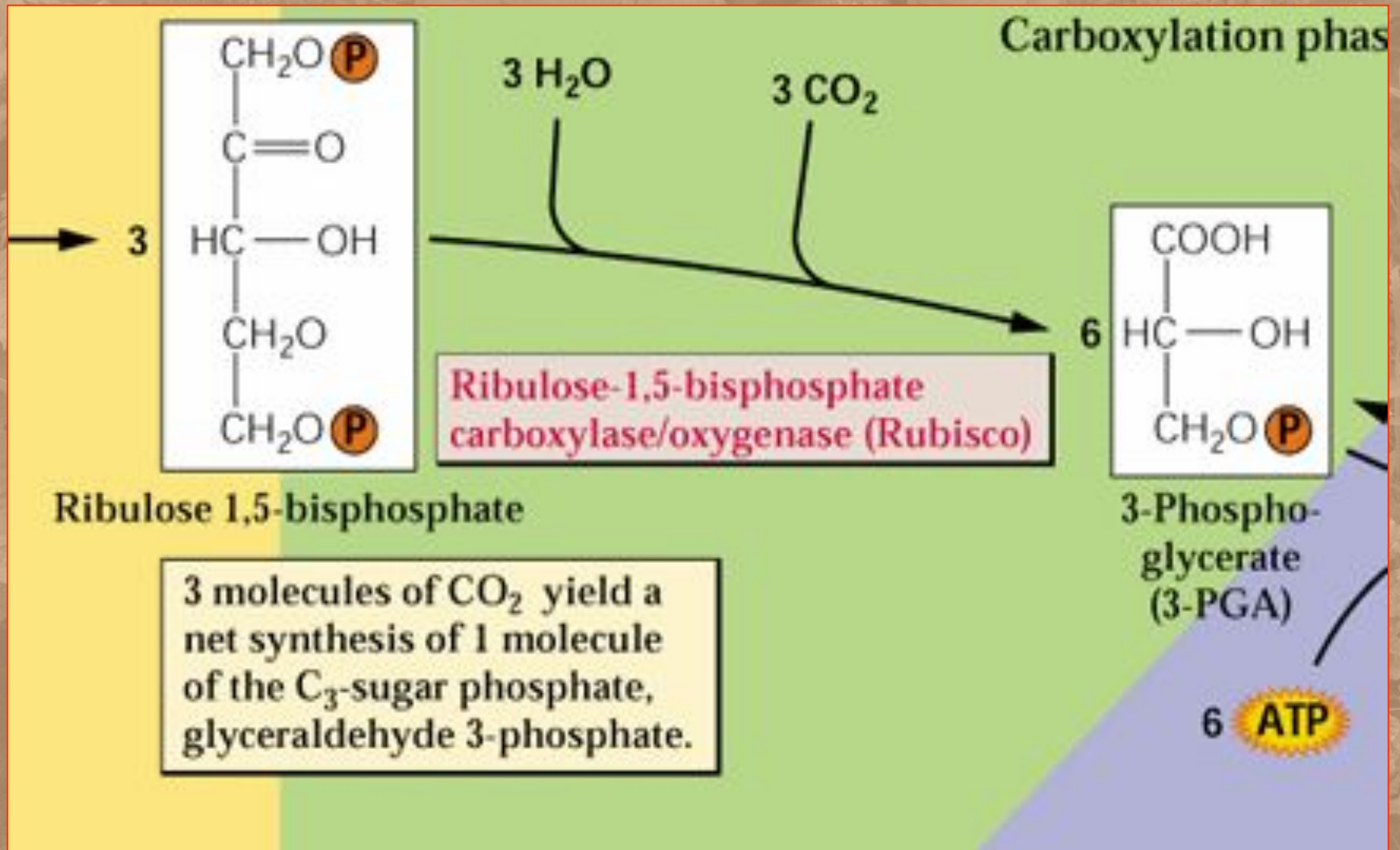
**1 моль квантов  $700\text{нм} = 1.77\text{В} = 176 \text{ кдж.}$**

**$176 \times 8 \times 6 = 8450 \text{ кдж.}$  Эффективность 33%. Очень неплохо.**

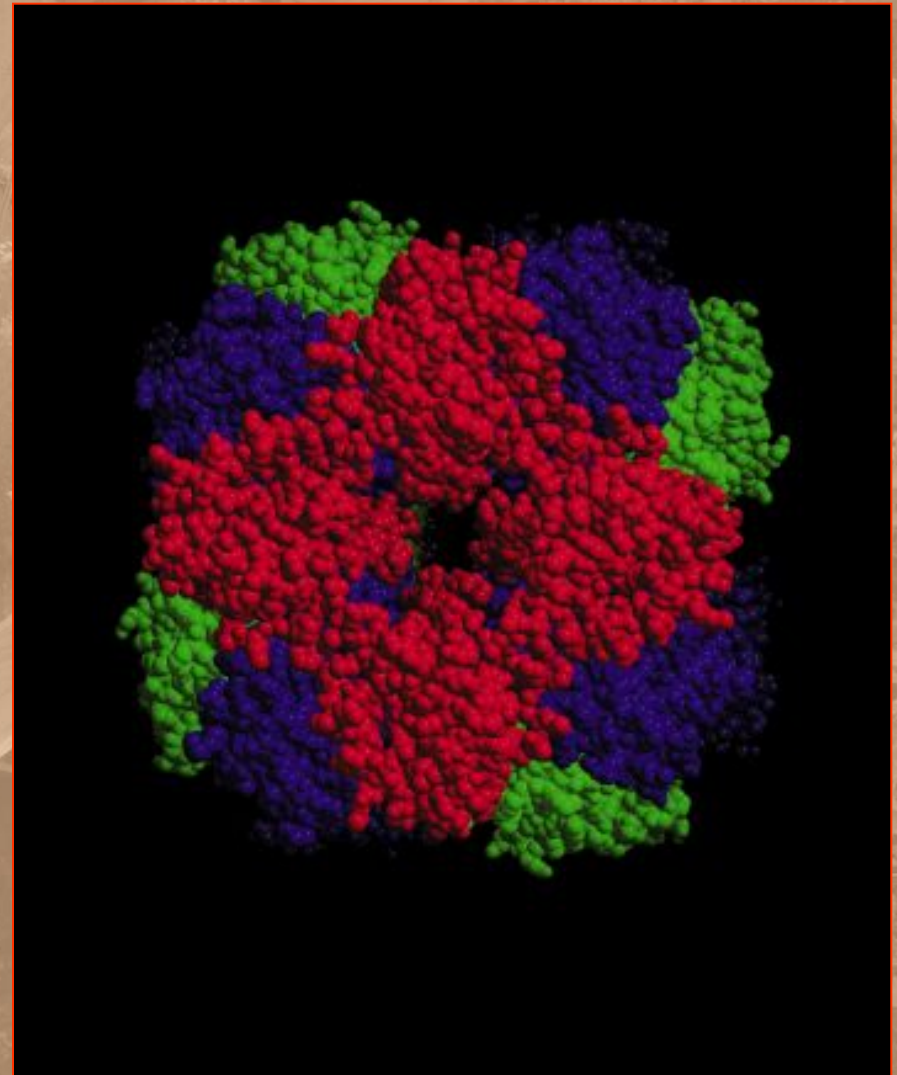
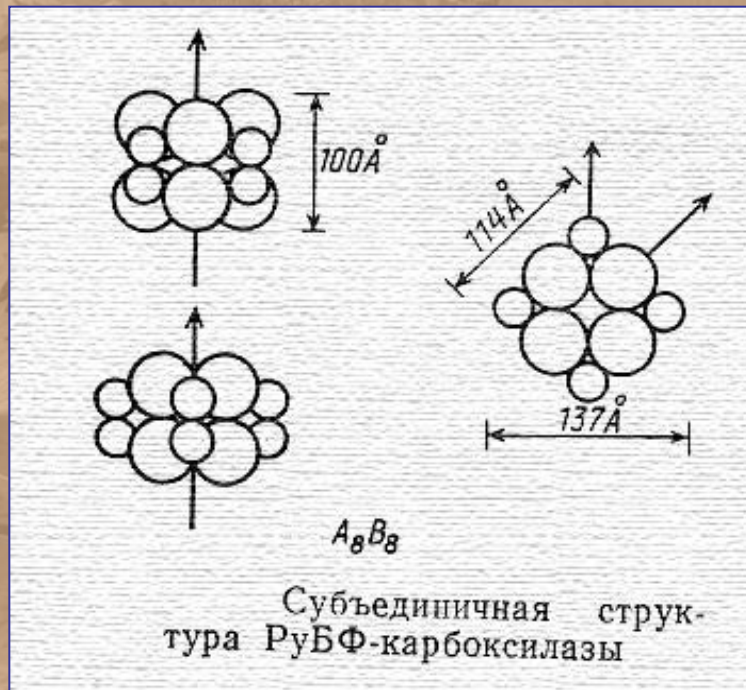
# Восстановительный пентозо-фосфатный цикл (ВЩ)



## Фаза карбоксилирования ВПЦ

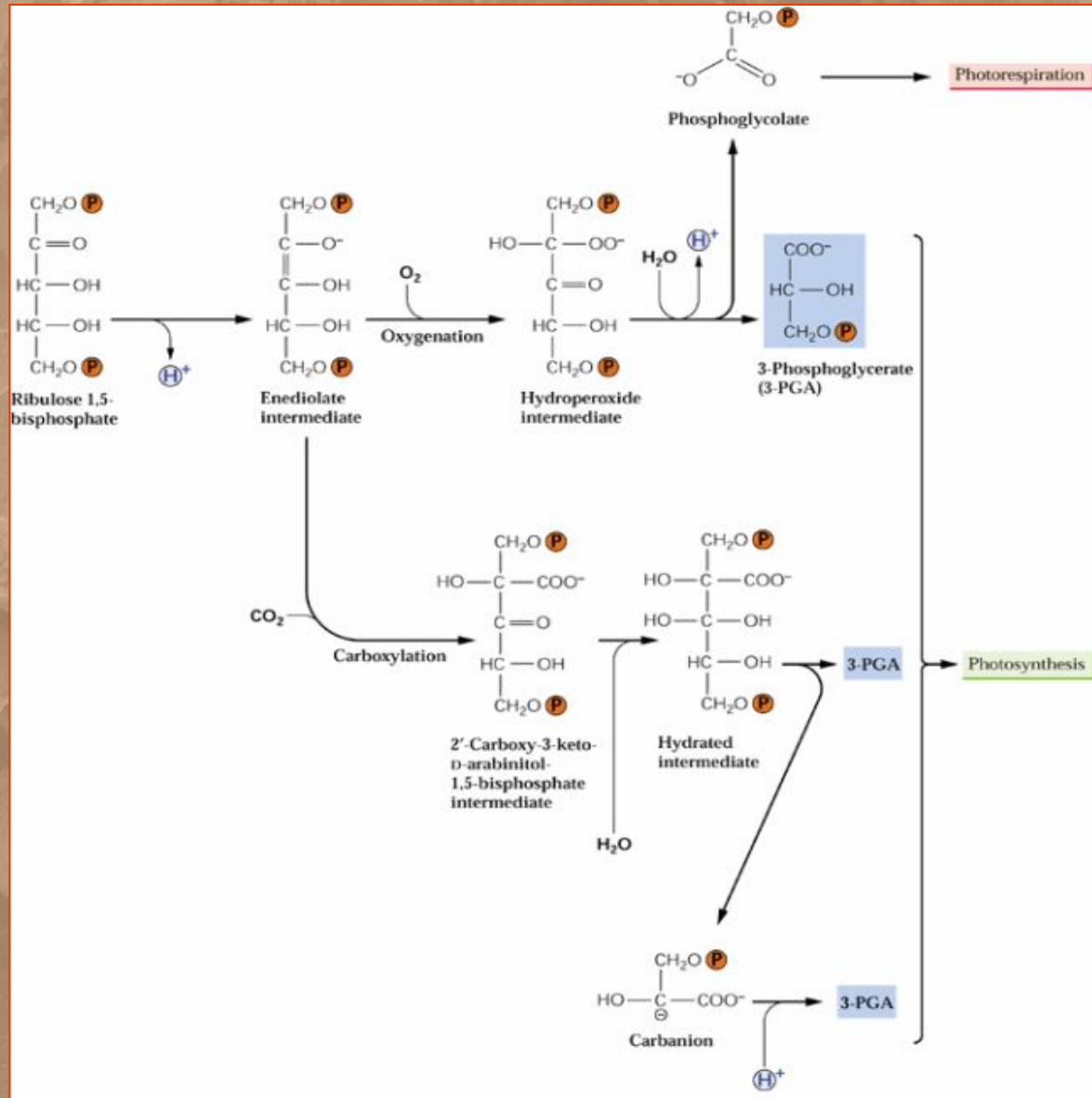


# Рибулозо-бисфосфат карбоксилаза-оксигеназа (Rubisco) самый главный фермент на планете Земля (10млн. тонн)



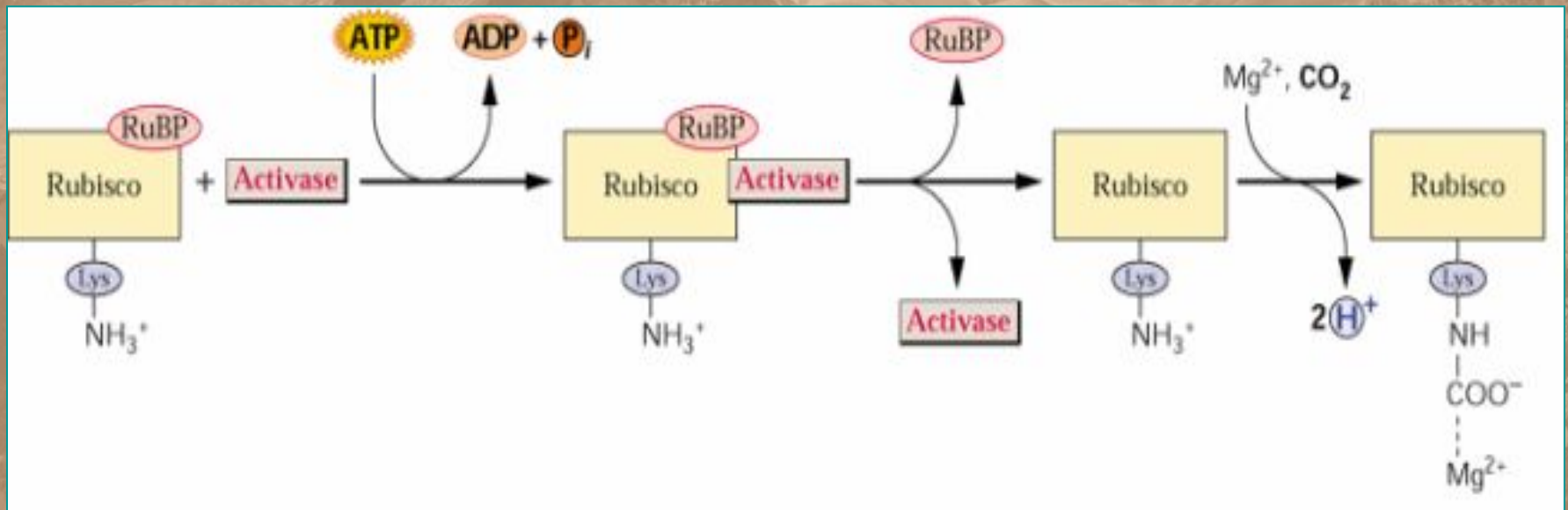
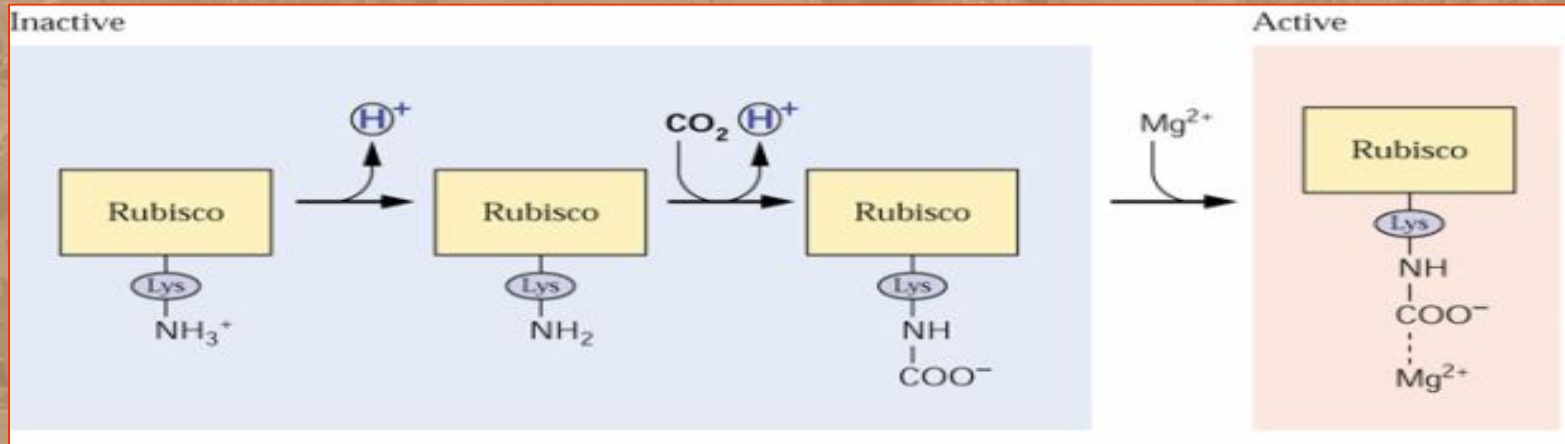
**М.в. ~560 kDa,  
8L (55 kDa), 8S (15 kDa)**  
 **$K_{mCO_2} = 12\mu M$**   
 **$K_{mO_2} = 250\mu M$**   
 **$K_{mPUBP} = 40\mu M$**

# Rubisco катализирует две взаимоисключающие реакции

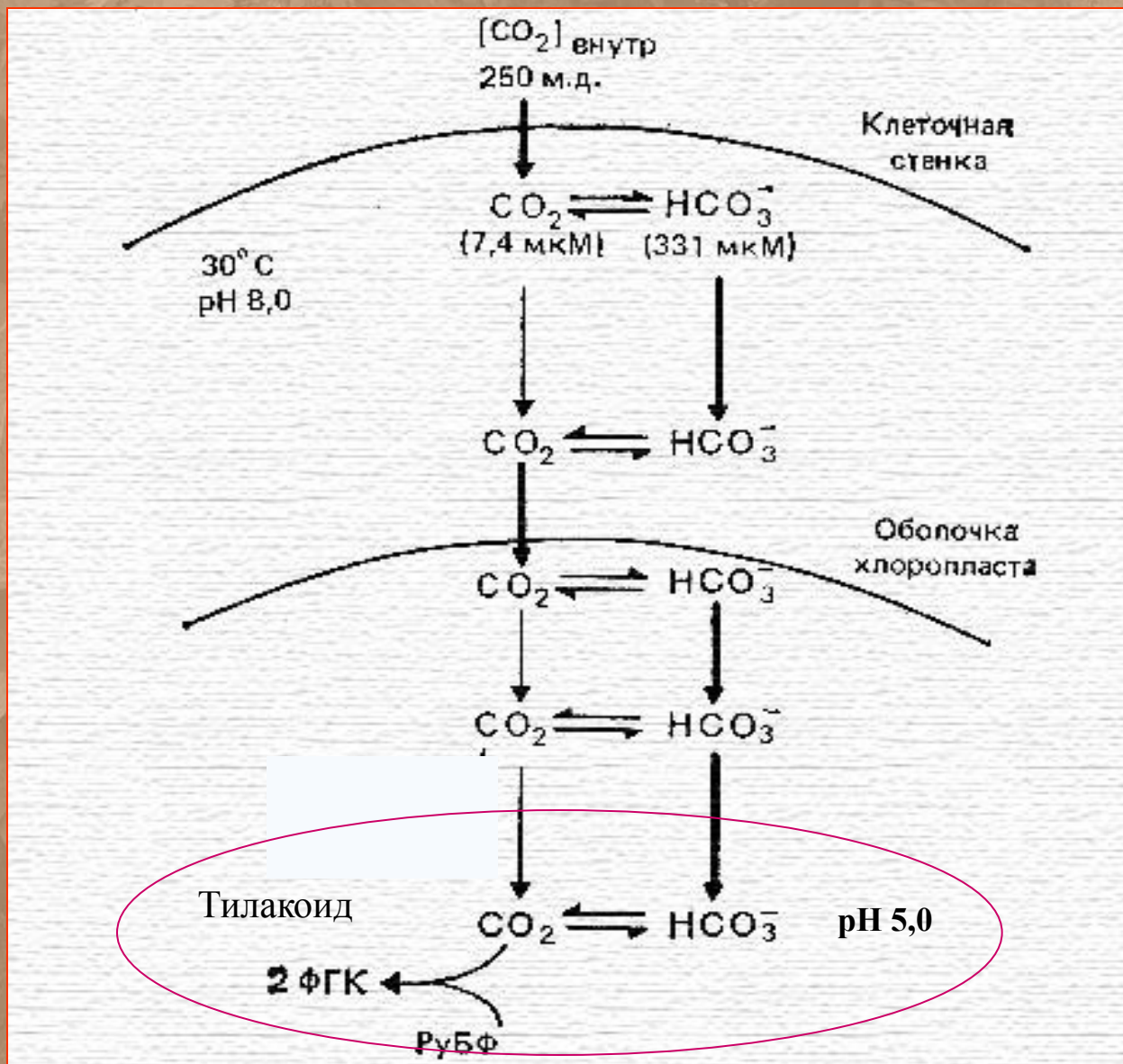




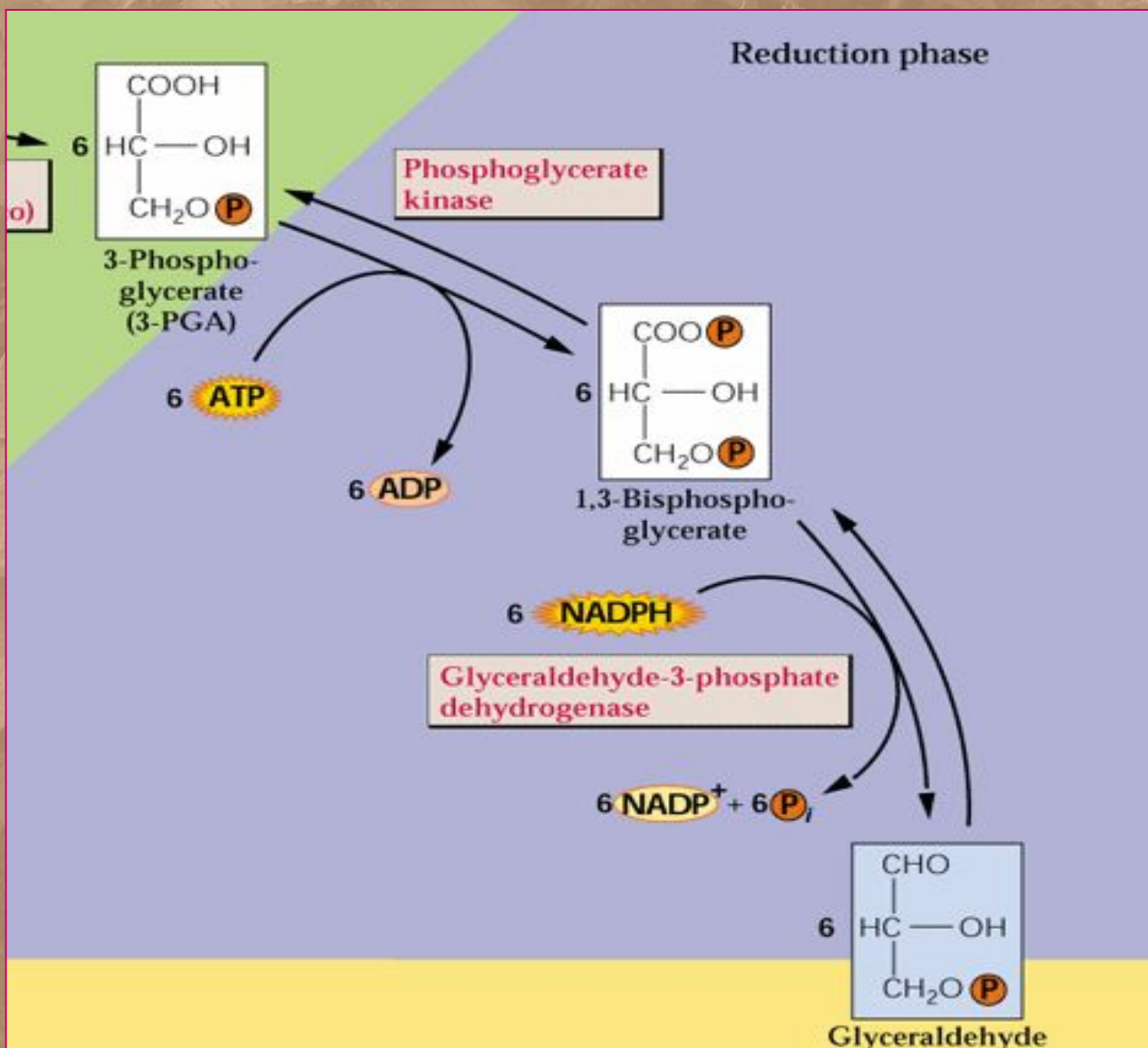
# Решение проблемы низкого $\text{CO}_2$ : активация Rubisco (активаза)



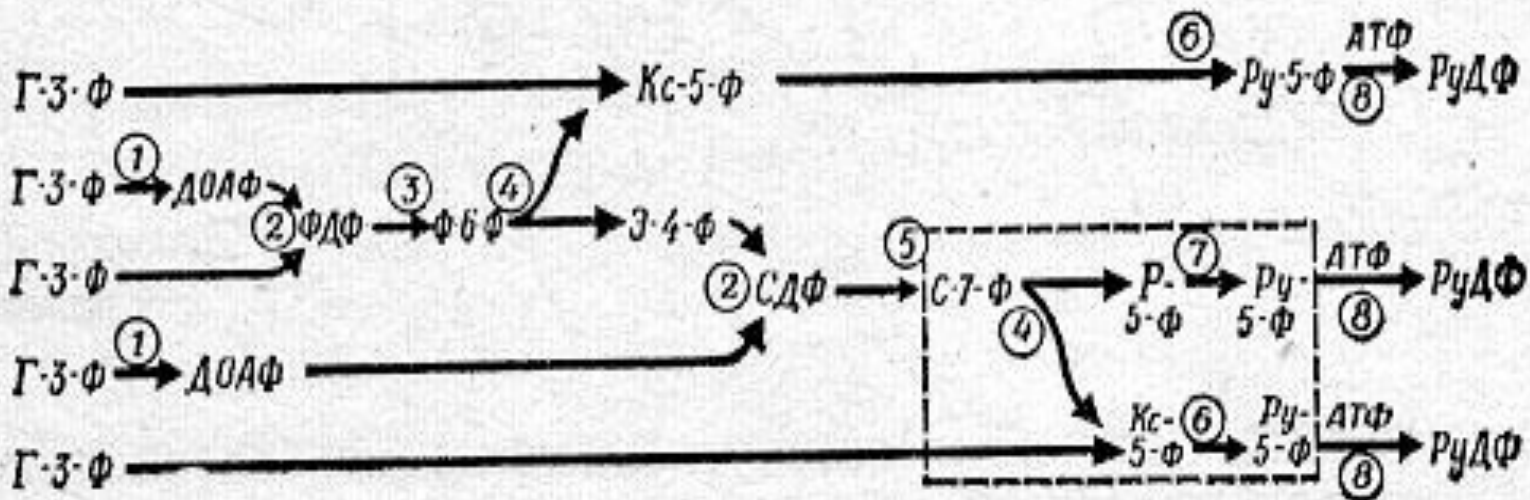
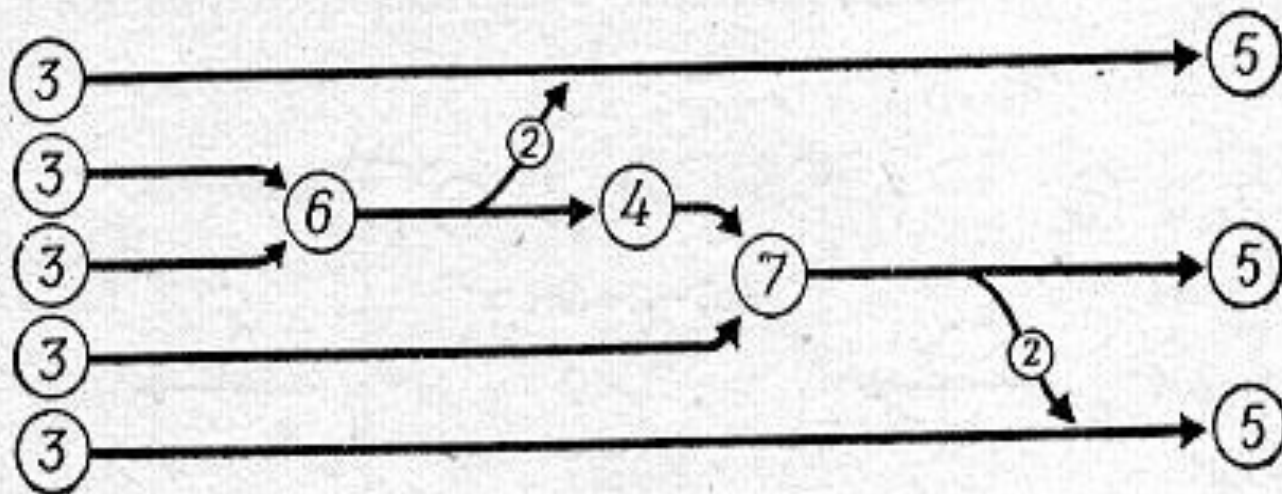
# Решение проблемы низкого $\text{CO}_2$ : «запас» $\text{CO}_2$ (карбоангидраза)



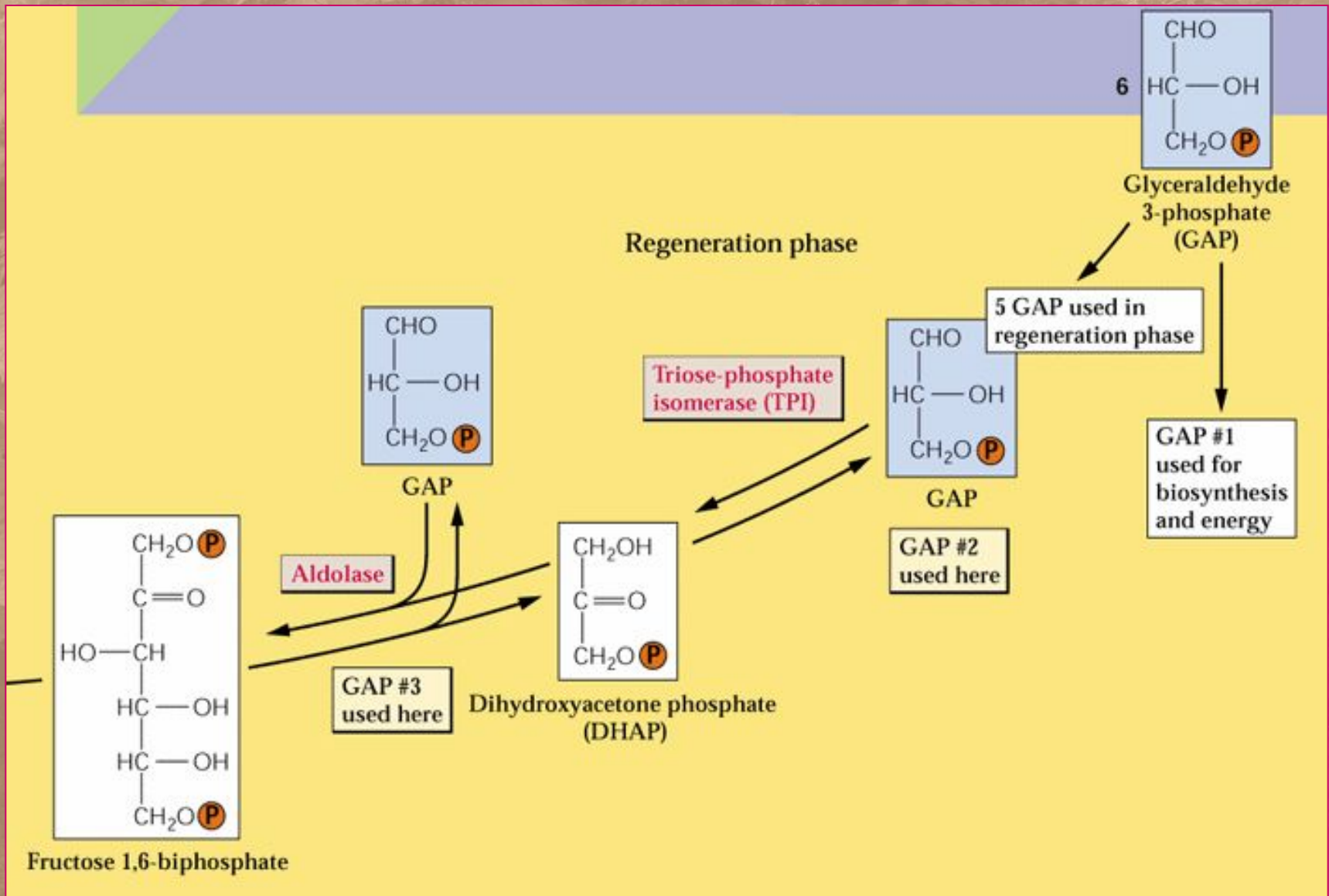
## Восстановительная фаза цикла Кальвина: «гликолилиз наоборот»



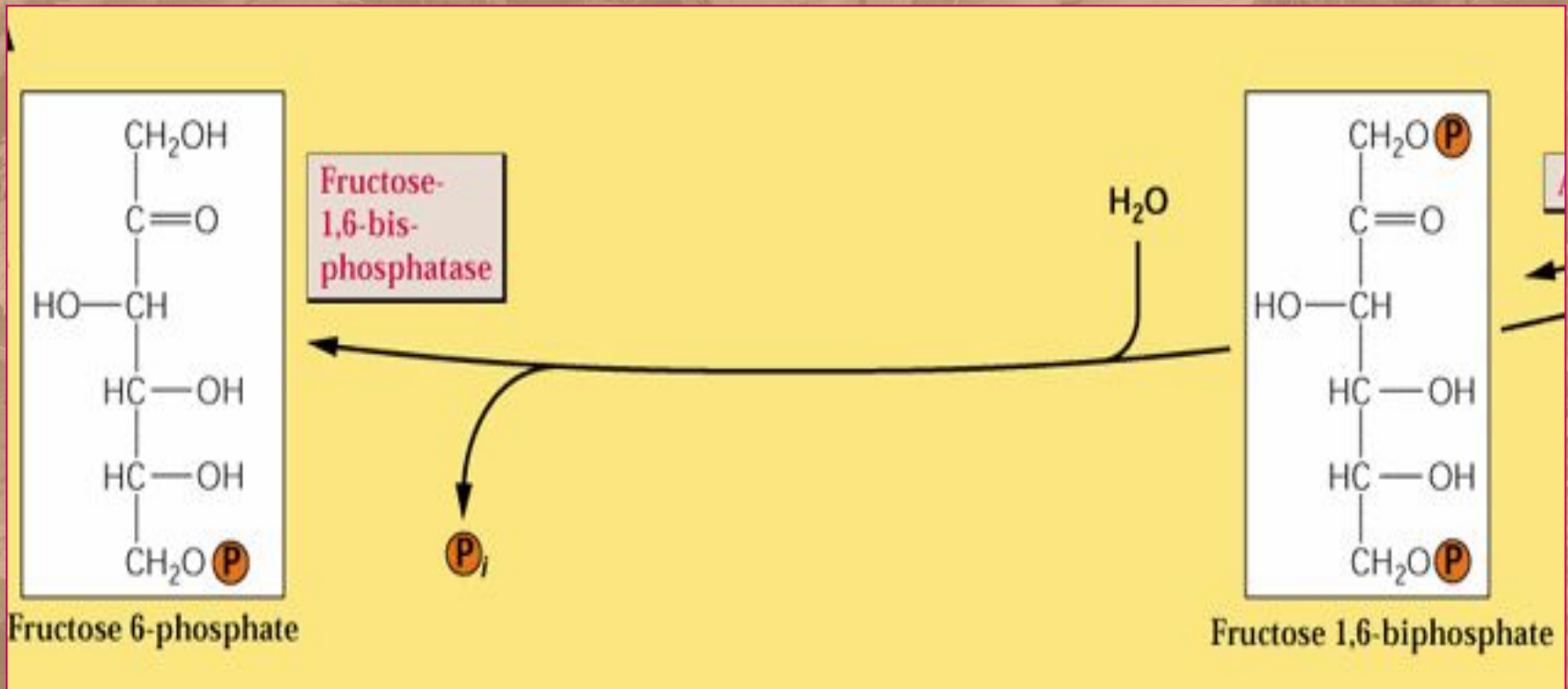
## Фаза регенерации: общая схема перегруппировок



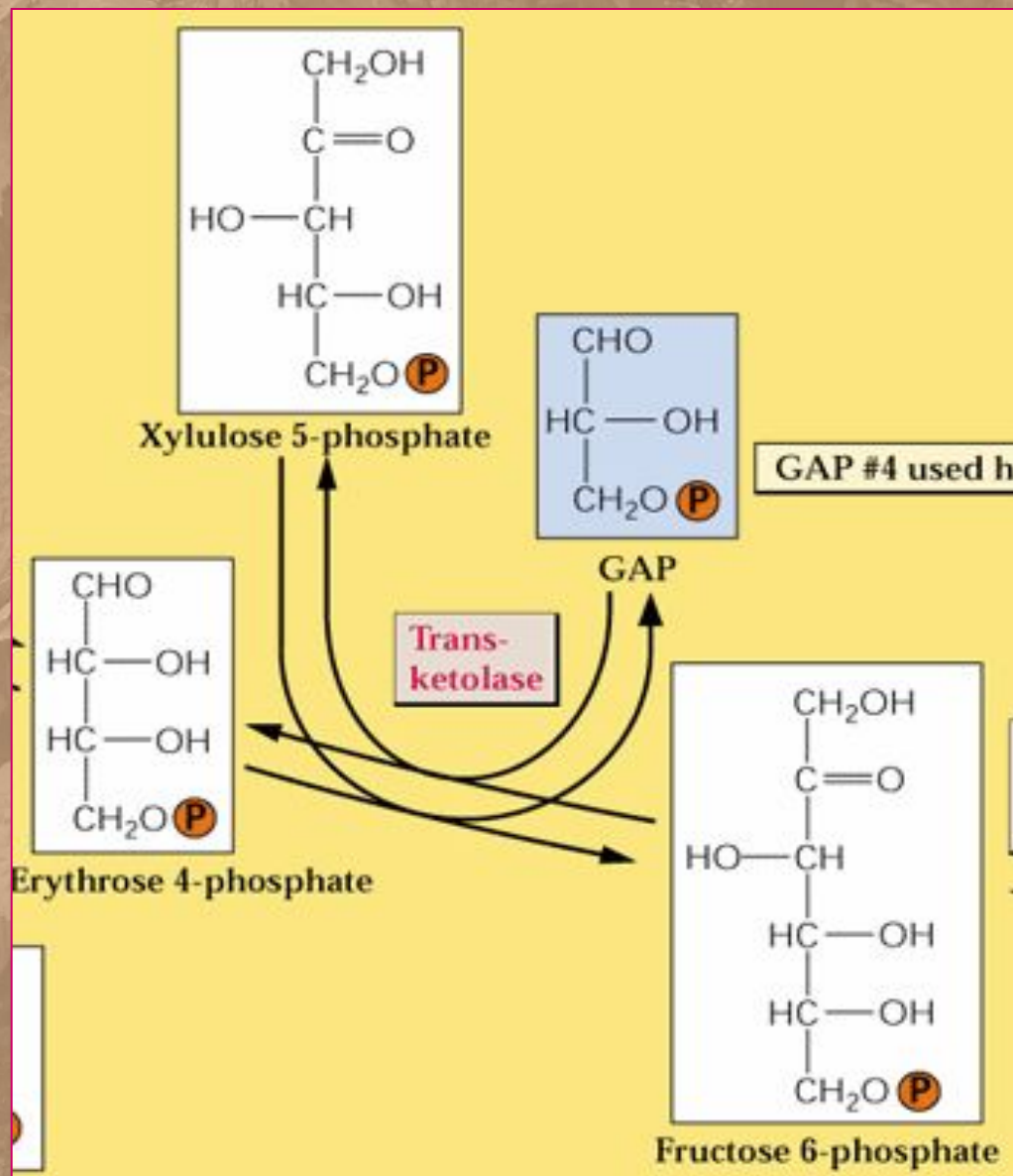
# Фаза регенерации: образование фруктозо-1,6-бисфосфата



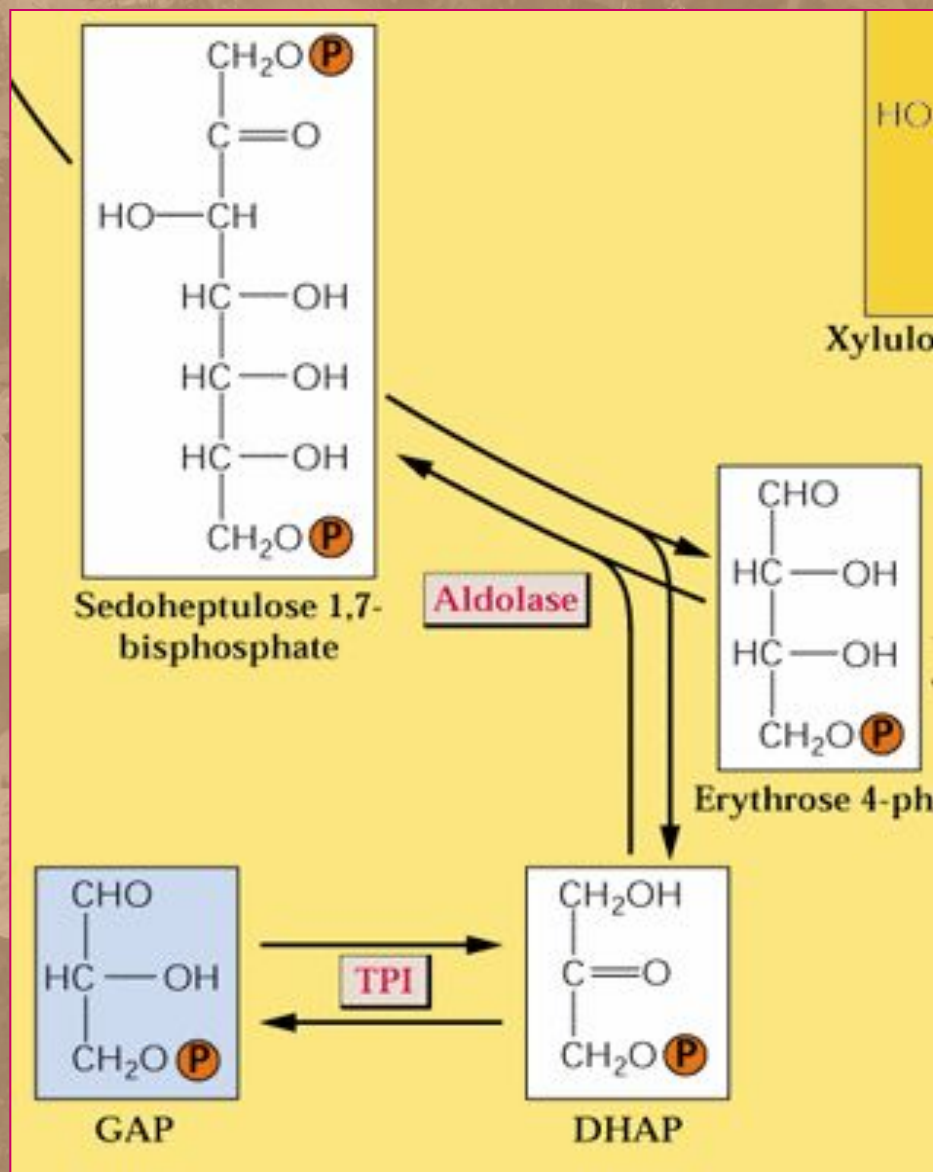
## Фаза регенерации: образование фруктозо-6-фосфата



## Фаза регенерации: первая транскетолазная реакция

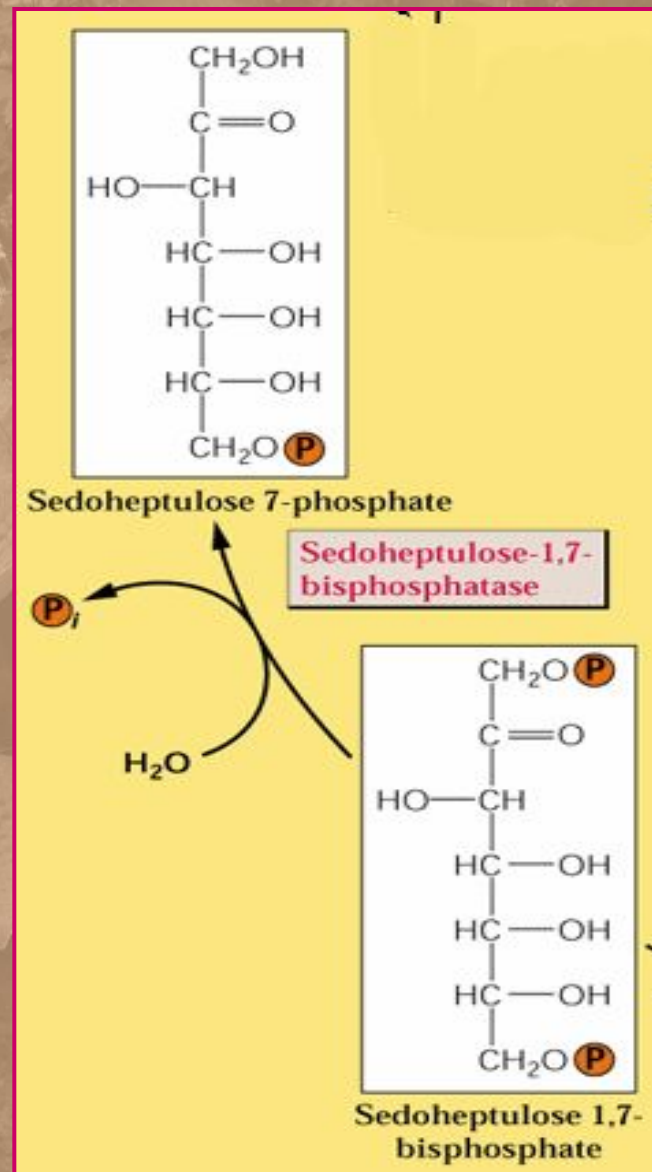


## Фаза регенерации: образование седогептулезо-1,7-бисфосфата

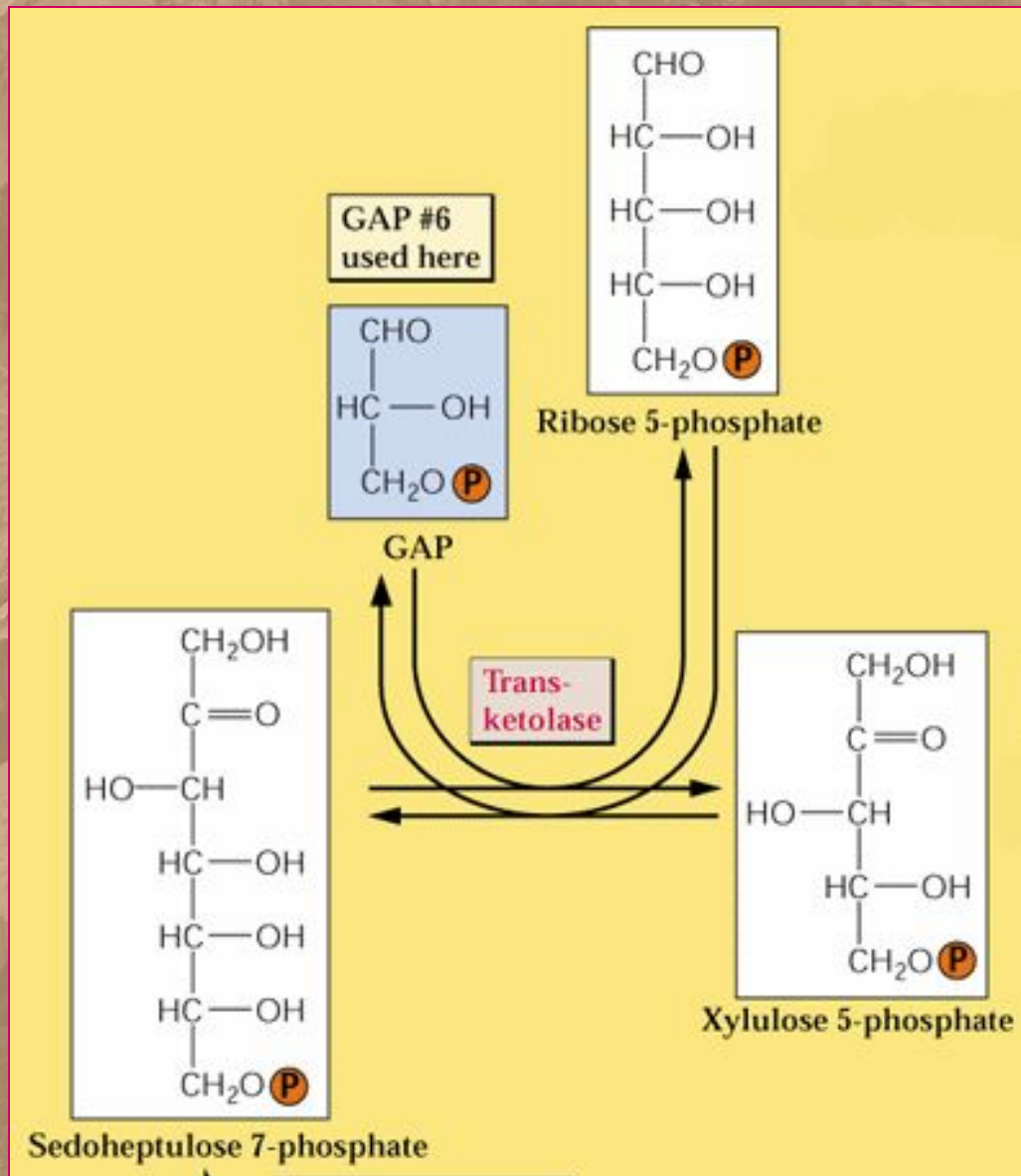




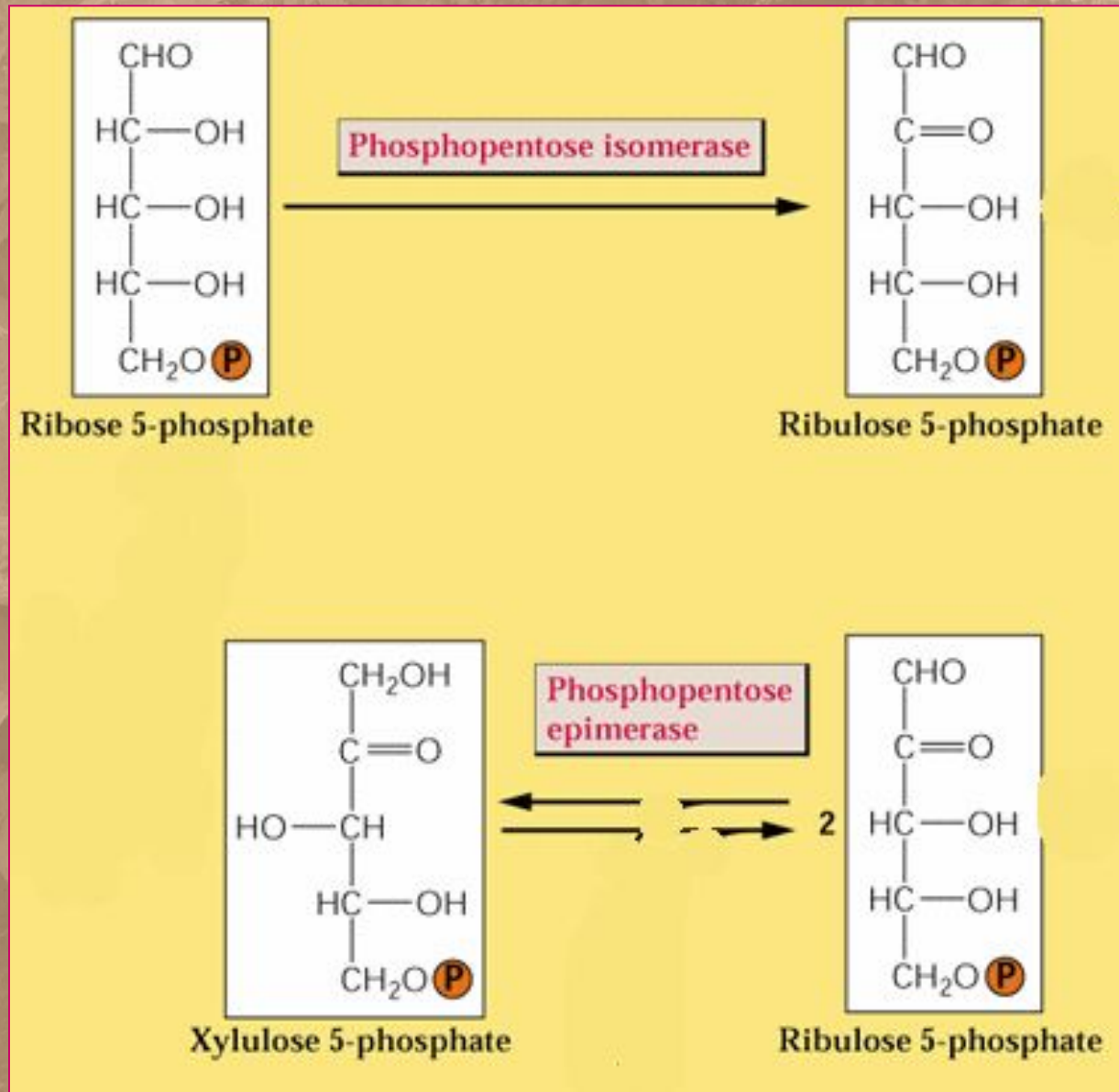
# Фаза регенерации: образование седогептулезо-7-фосфата



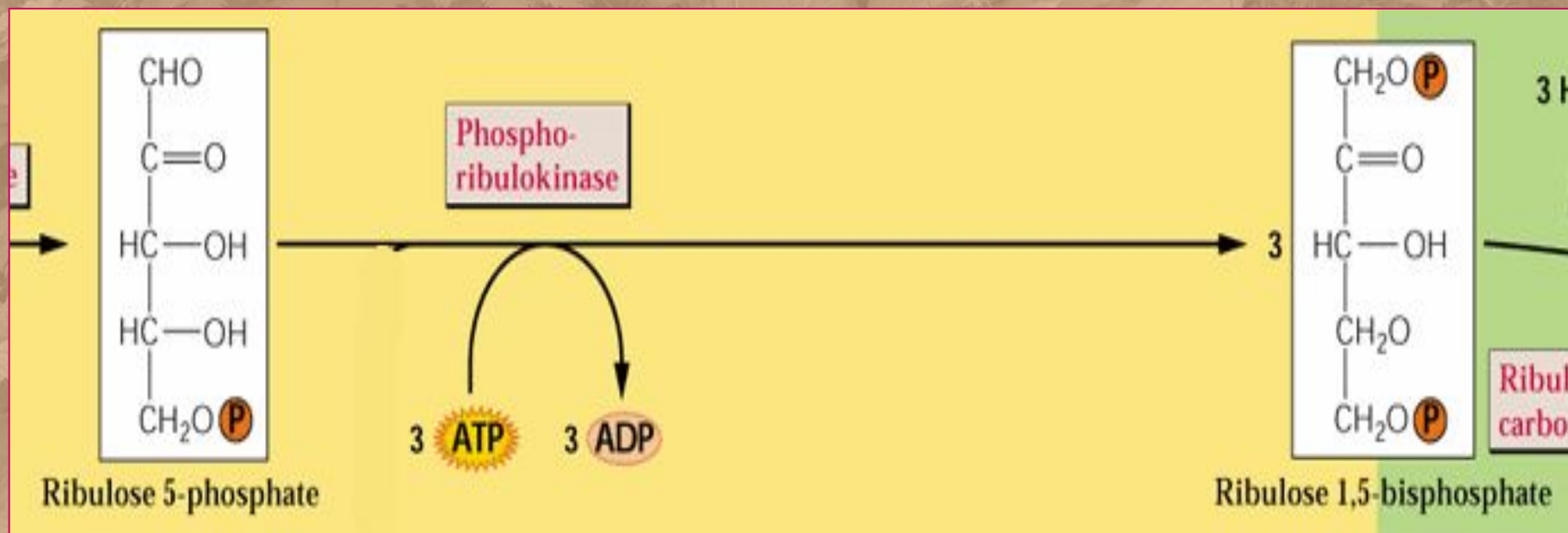
## Фаза регенерации: вторая транскетолазная реакция



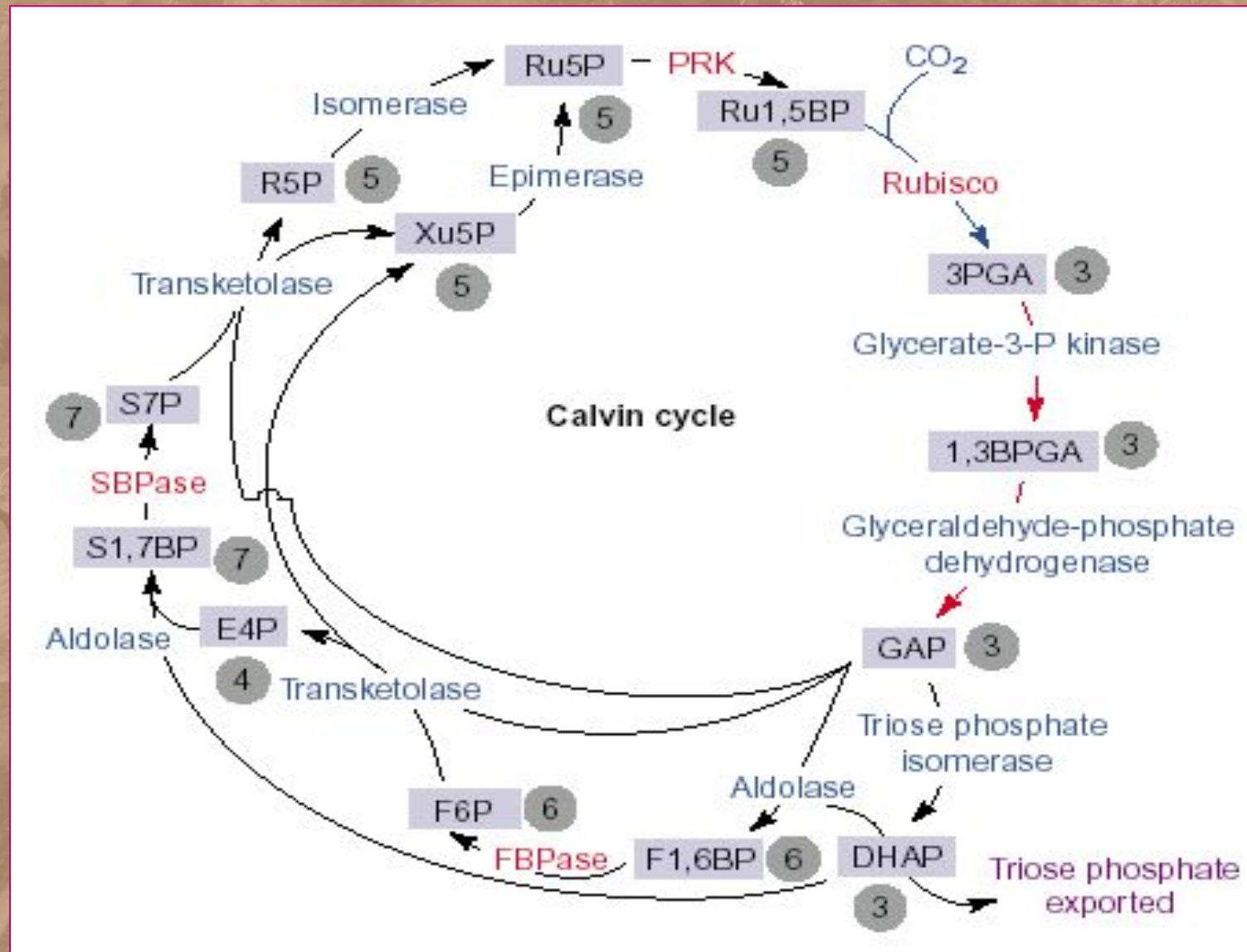
## Фаза регенерации: образование рибулезо-5-фосфата



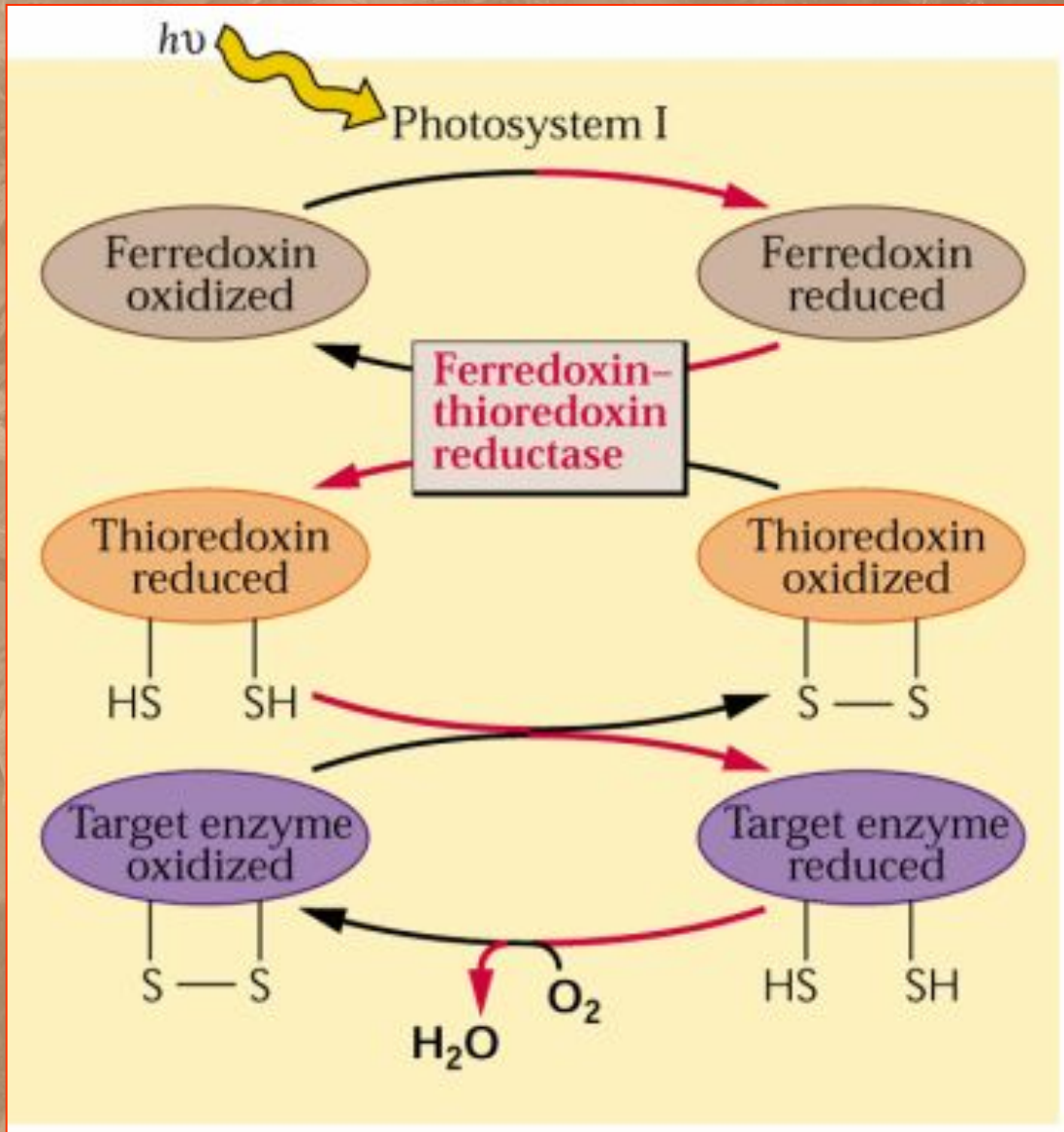
## Фаза регенерации: образование рибулезо-1,5-бисфосфата



# Восстановительный пентозо-фосфатный цикл: общий вид

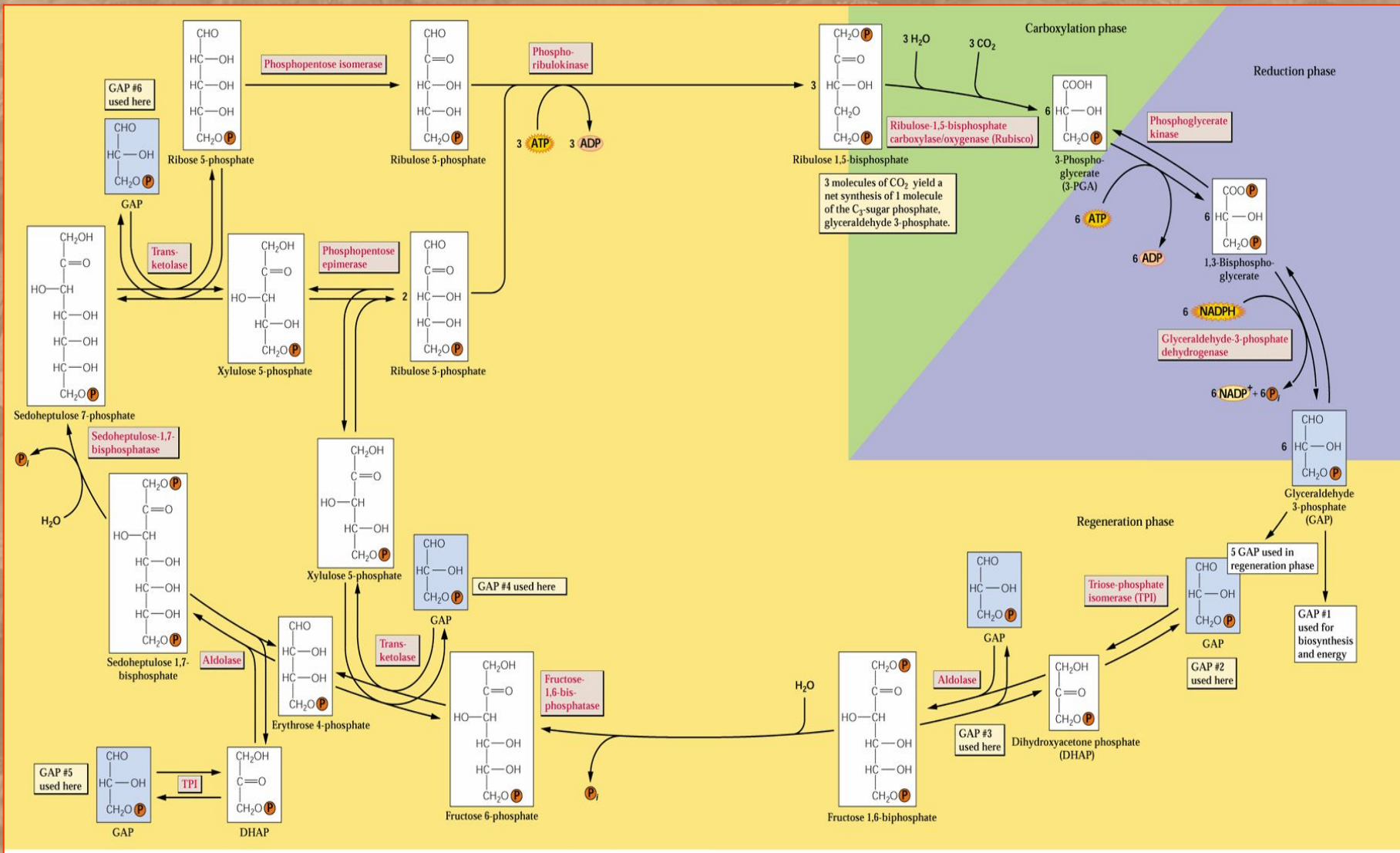


# Светом регулируется активность минимум четырех ферментов ВЦЦ

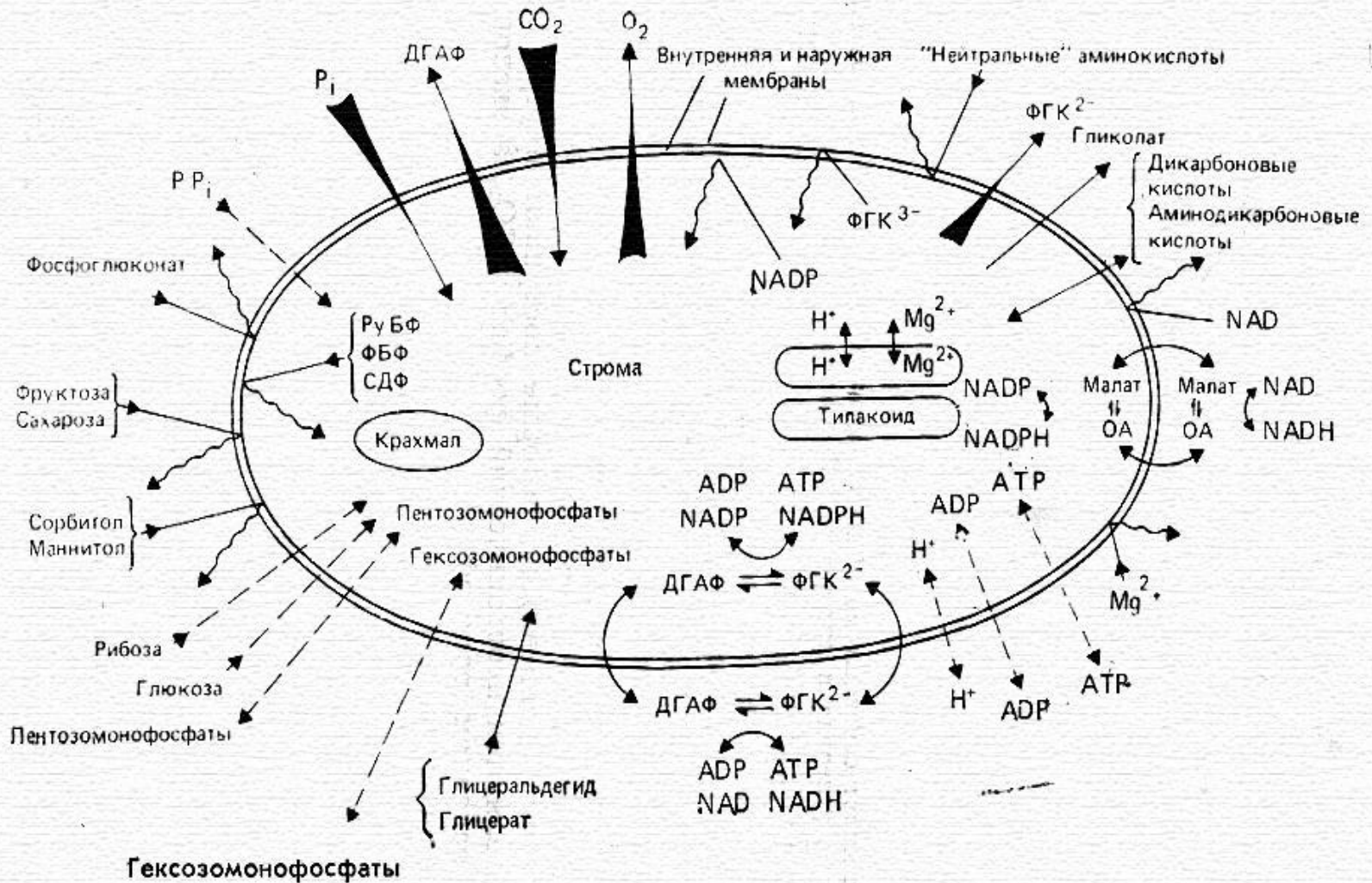


- ФБФ-за
- СБФ-за
- Ру5Ф-за
- Триозофосфат-дегидрогеназа
- Рубиско?

# Восстановительный пентозо-фосфатный цикл (ВЩ)

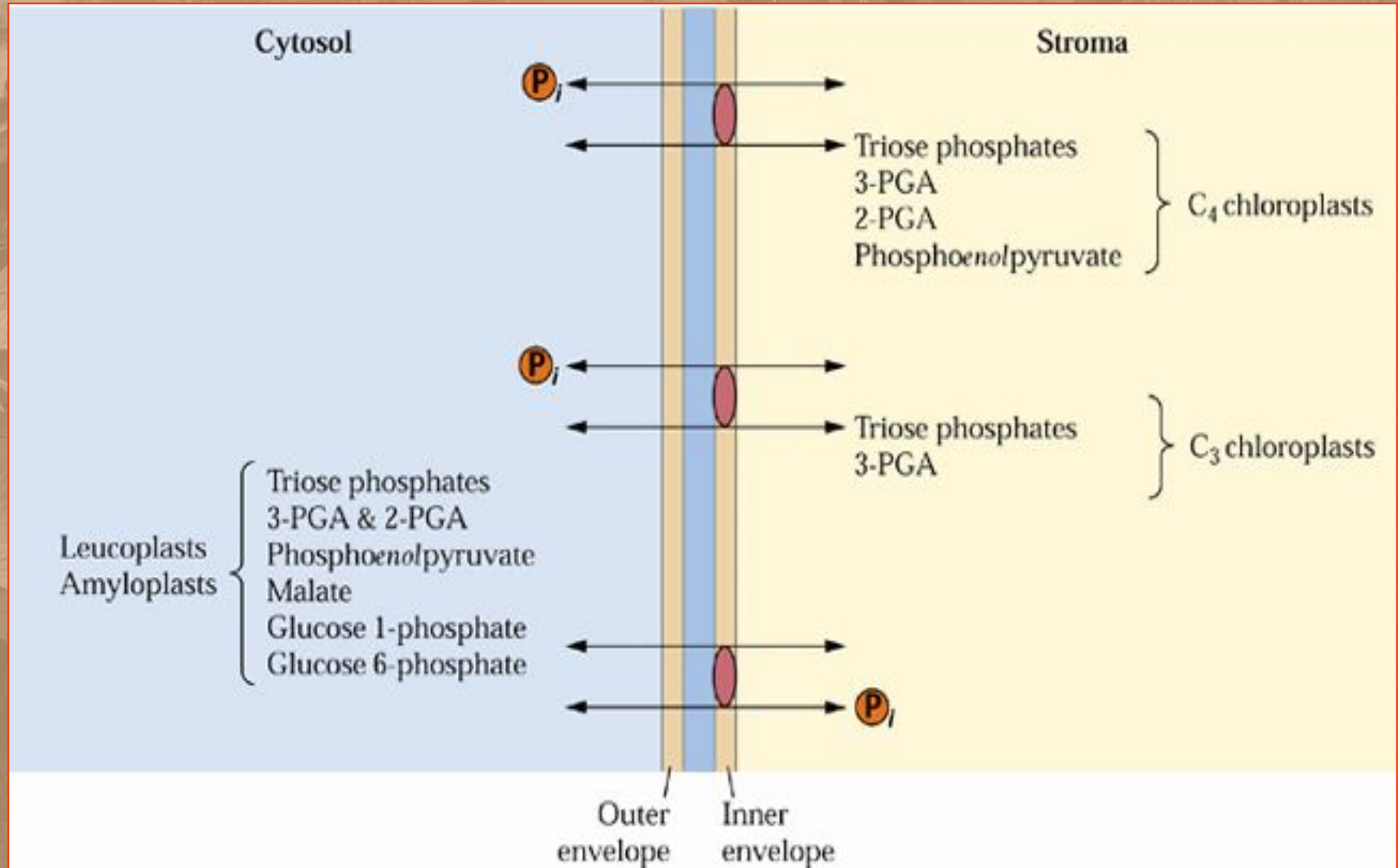


# Транспорт интермедиатов через хлоропластную мембрану



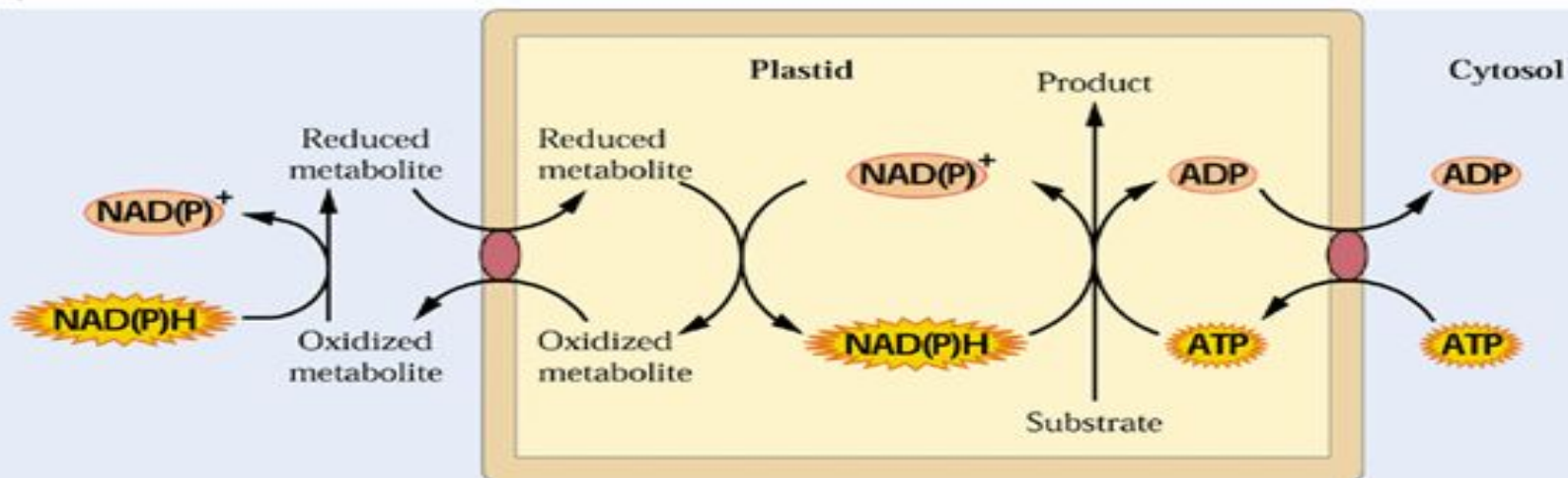


# Транспорт интермедиатов через хлоропластную мембрану

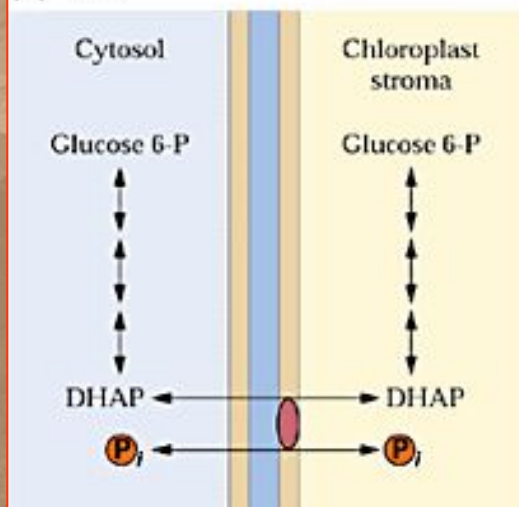


# Челночные механизмы выноса из хлоропластов НАДФН и АТФ.

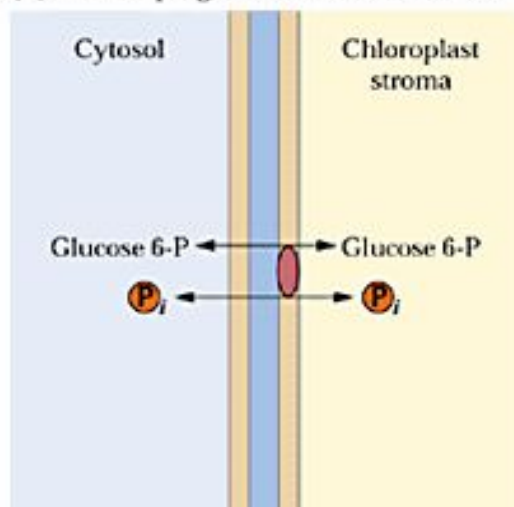
(B)



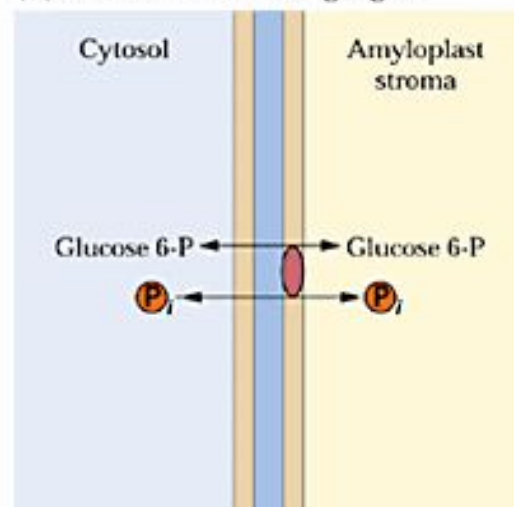
(A) Leaf



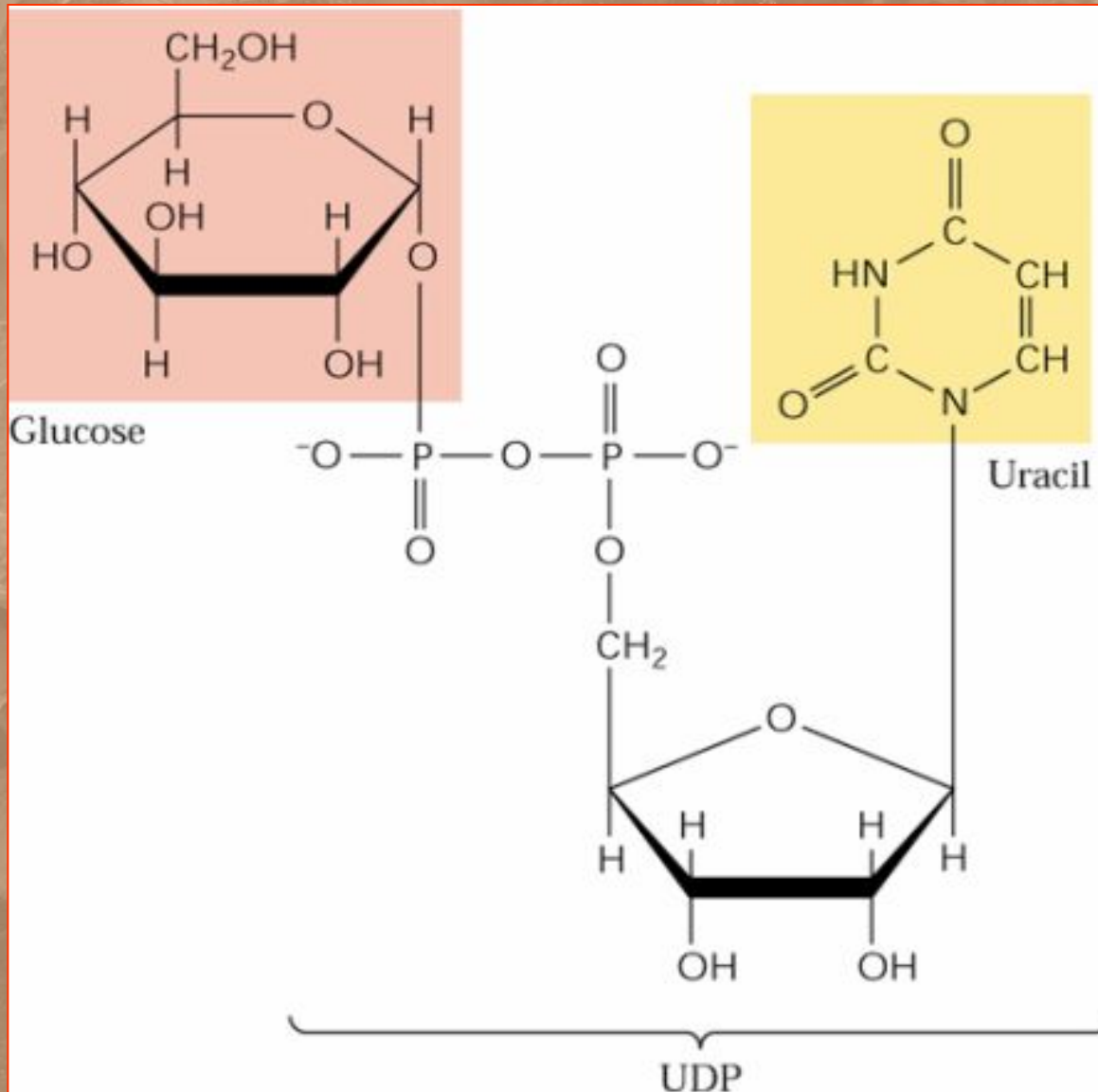
(B) Developing fruit or sucrose-fed leaf



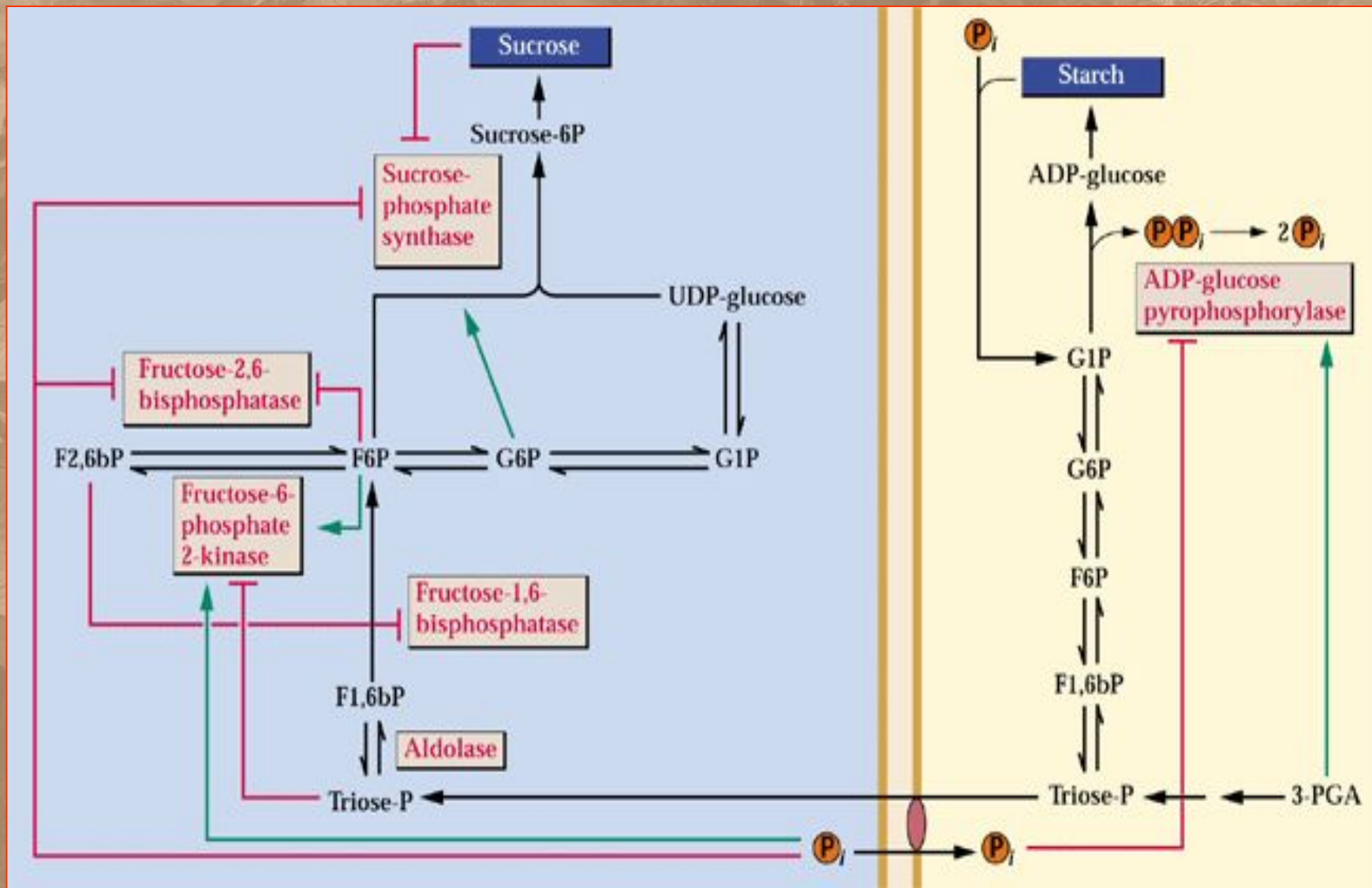
(C) Seed or starch-storing organ



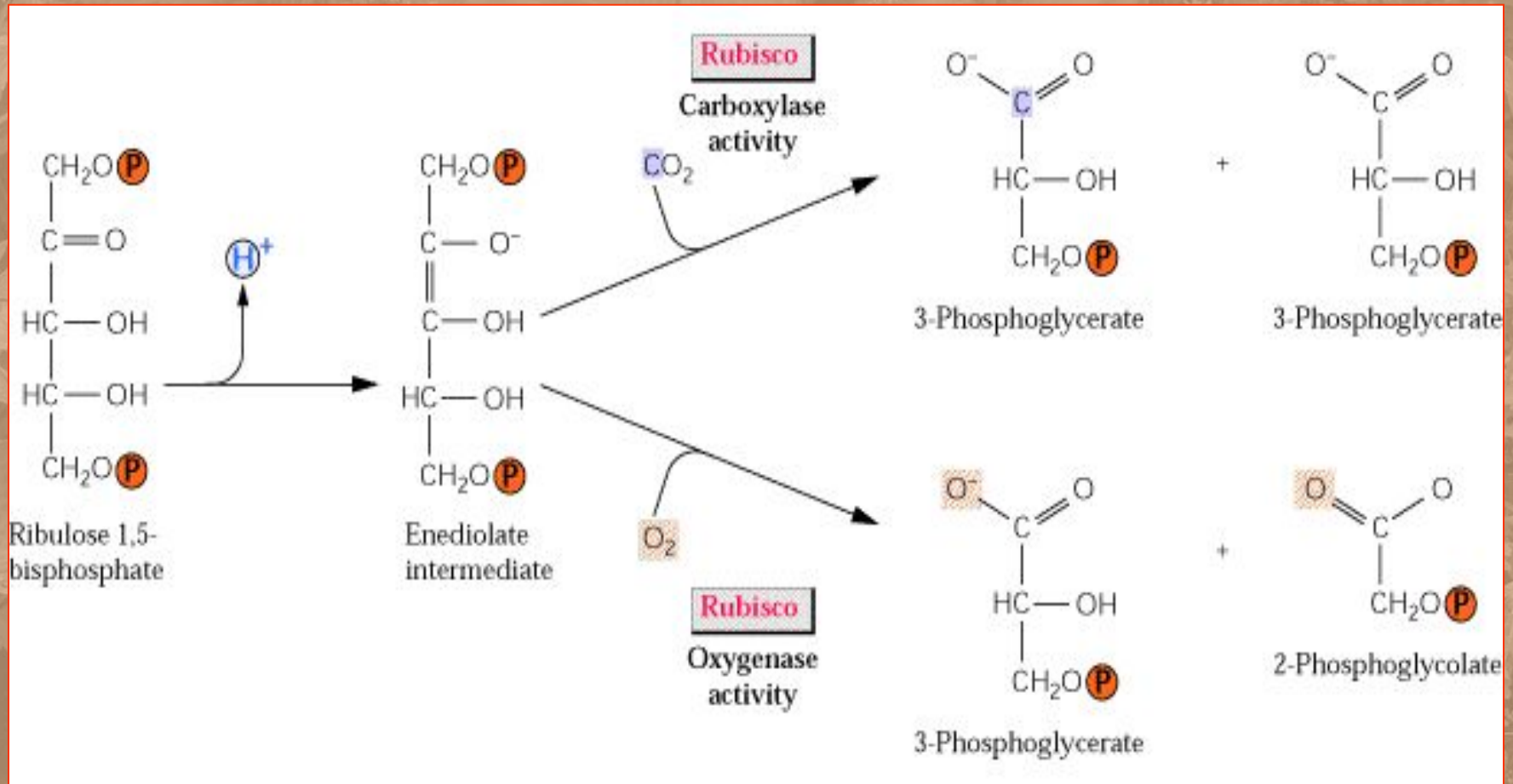
# УДФ- и АДФ-гексозы – активированные формы сахаров



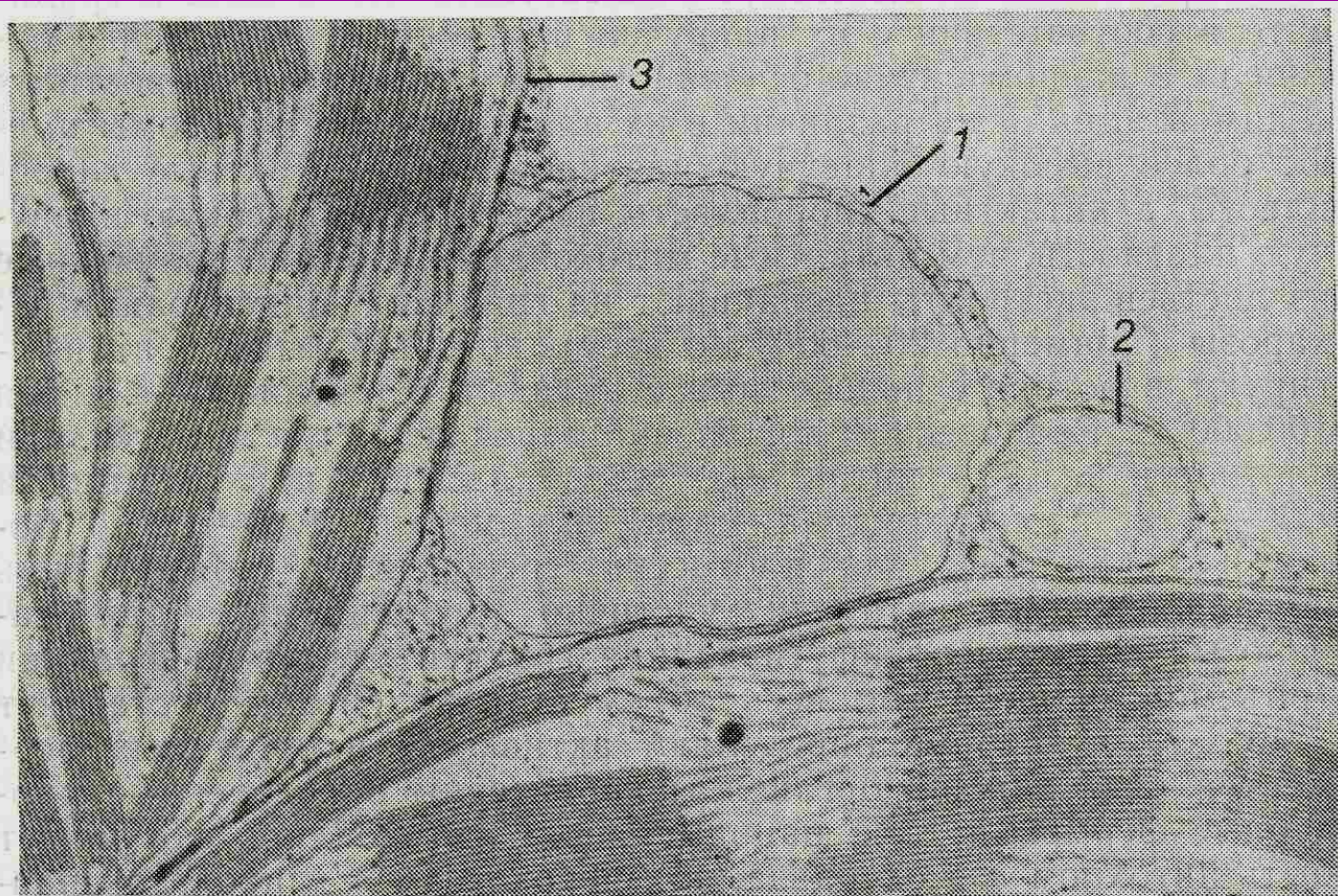
# Образование крахмала в пластидах и сахарозы в цитозоле.



# Итак, Rubisco катализирует две взаимоисключающие реакции

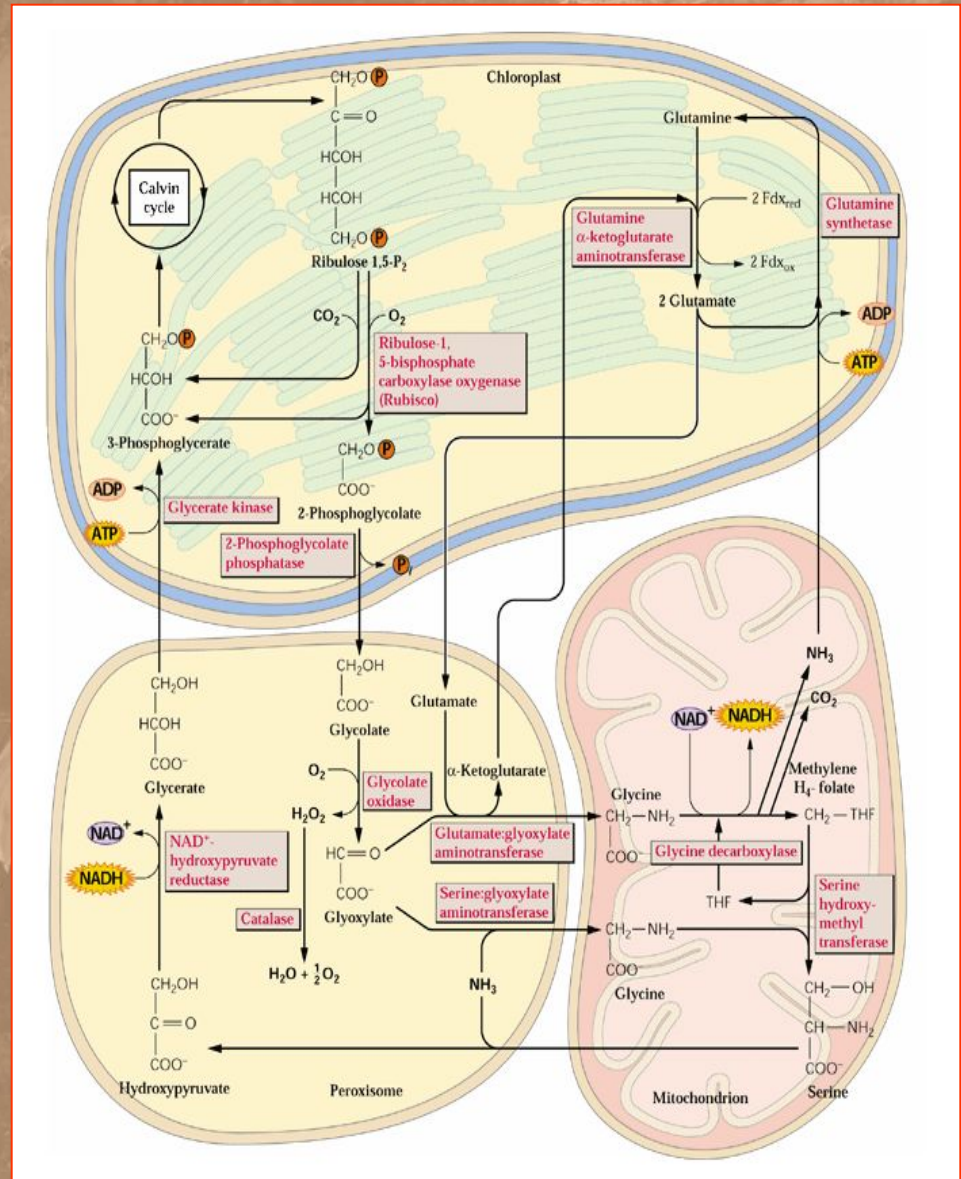
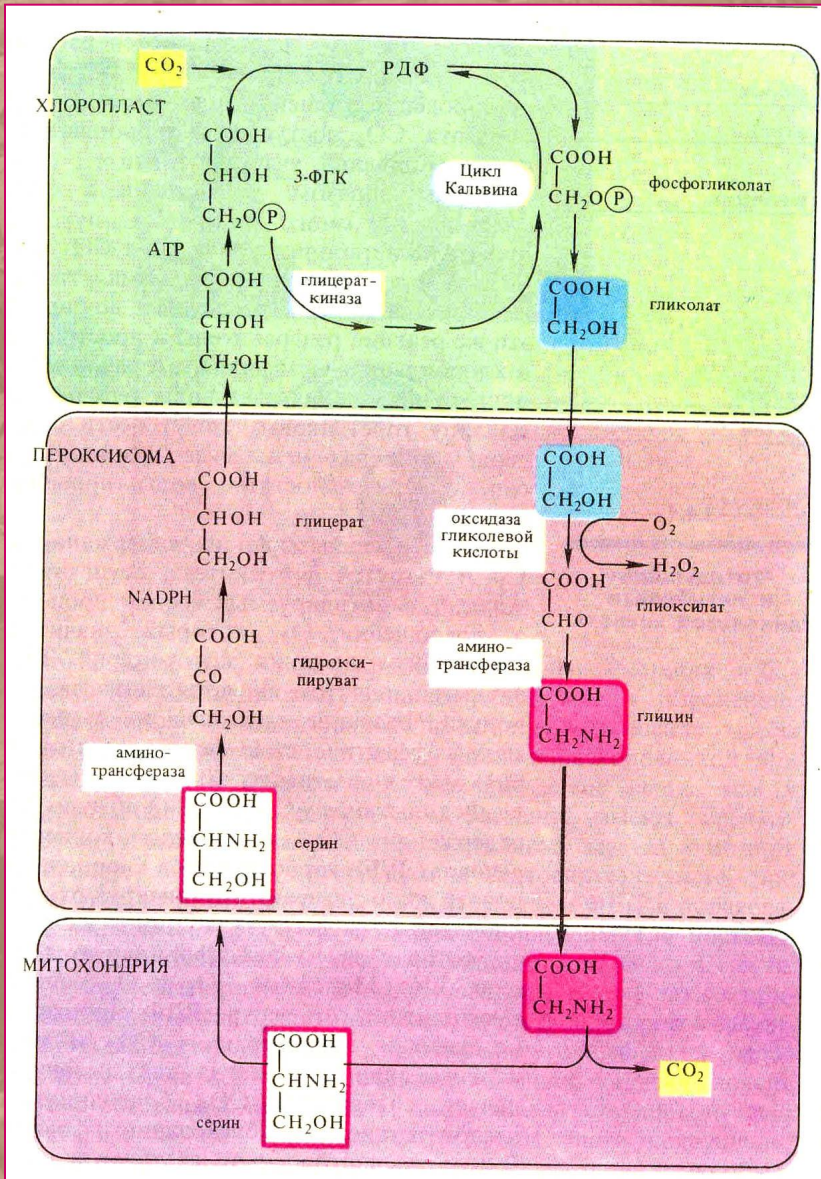


## Фотодыхание – процесс, происходящий в трех органеллах

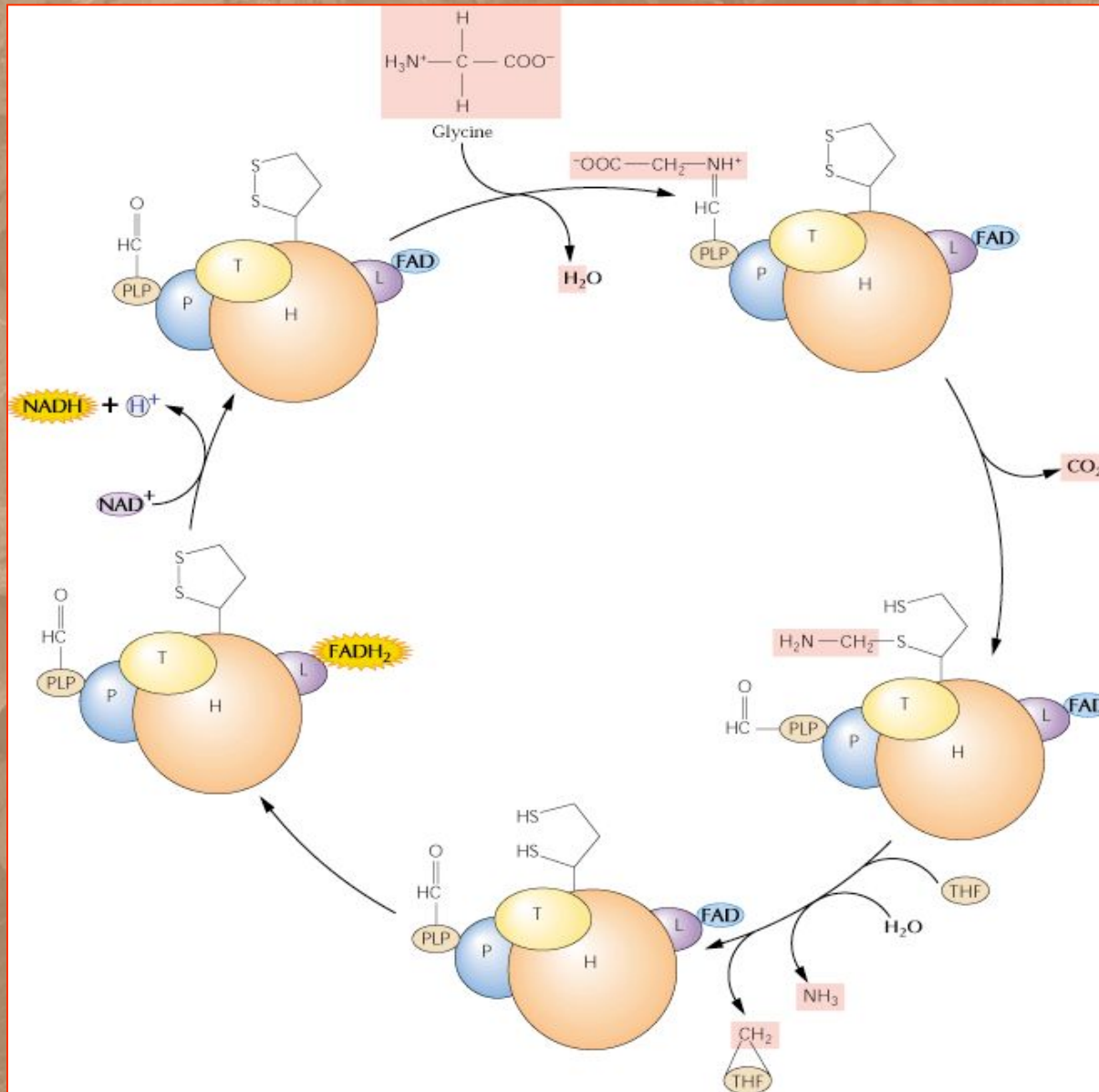


**Клетка мезофилла молодого листа табака *Nicotiana tabacum* (x 48 000)**  
**1 – пероксисома, 2 – митохондрия, 3 – хлоропласт**

# Общая схема фотодыхания

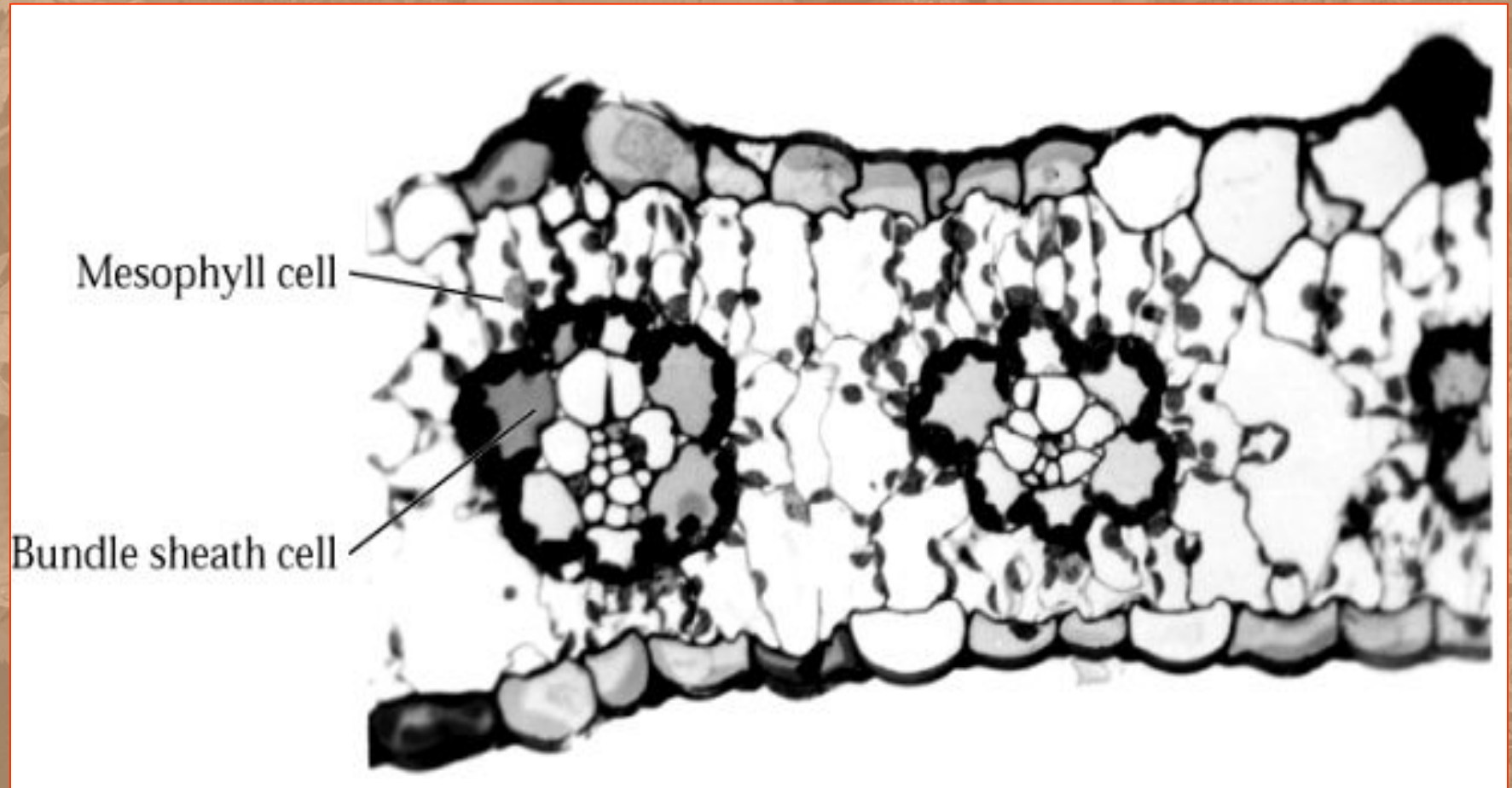


# Глицин-декарбоксилазный комплекс в митохондриях

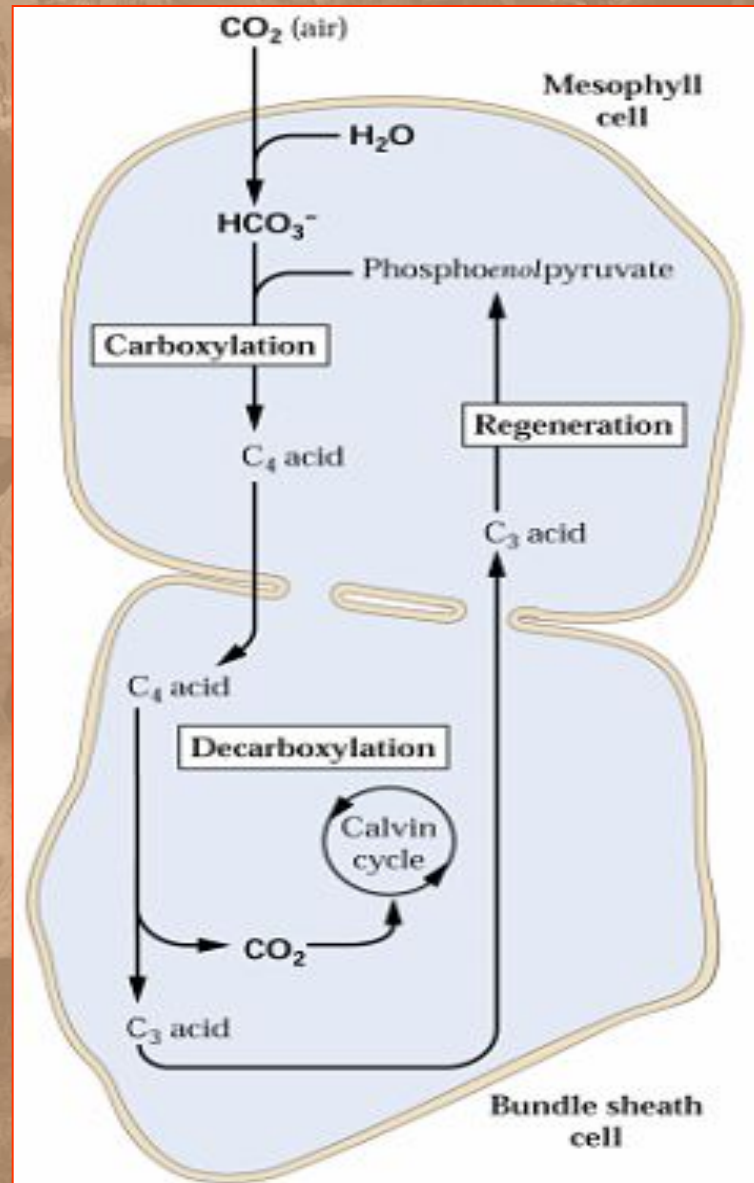




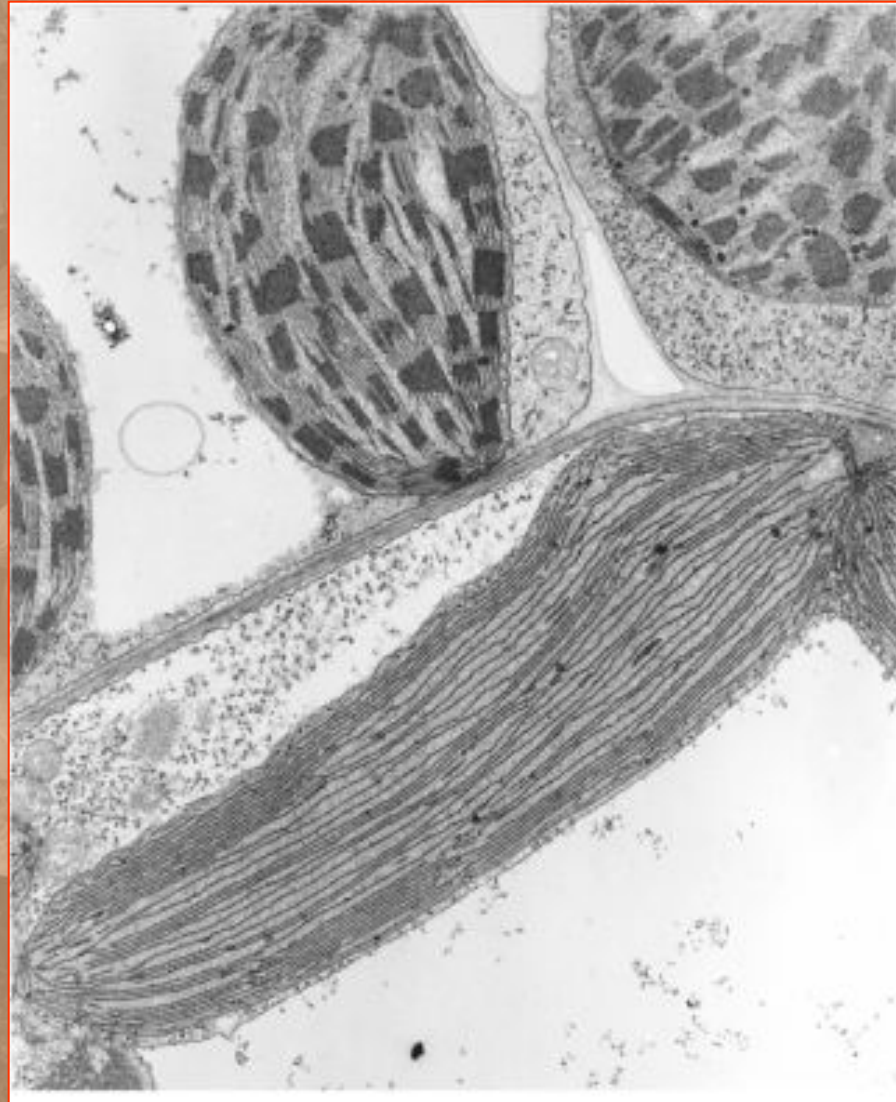
## $C_4$ -фотосинтез: Кранц-анатомия



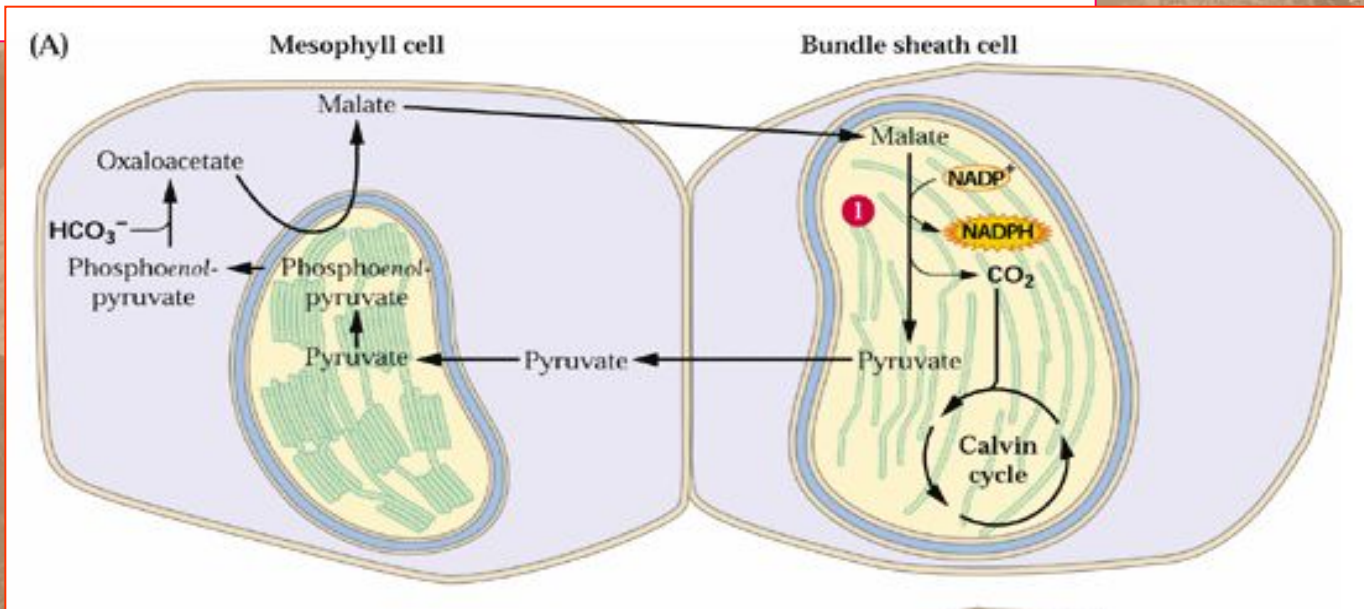
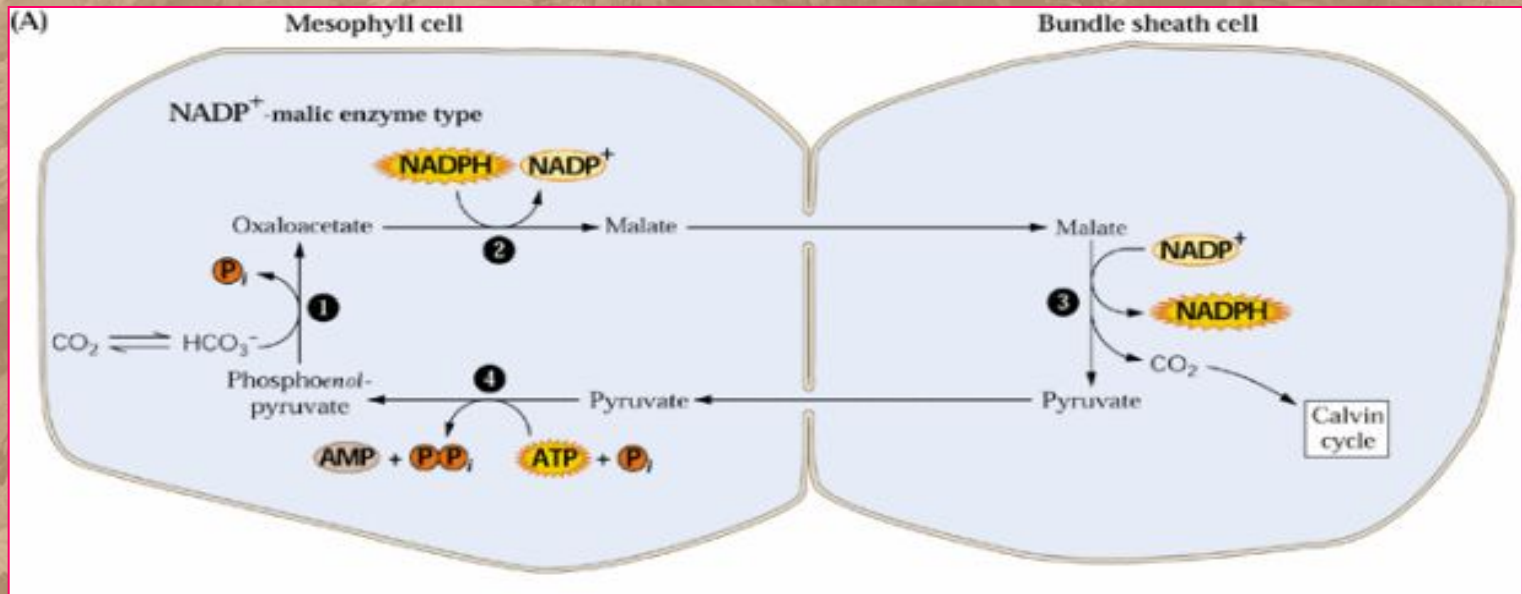
# $C_4$ -фотосинтез: « $CO_2$ -насос», принципиальная схема



**Электронная фотография хлоропластов мезофилла (вверху) и  
клеток обкладки (внизу)  $C_4$  растения (сорго)**

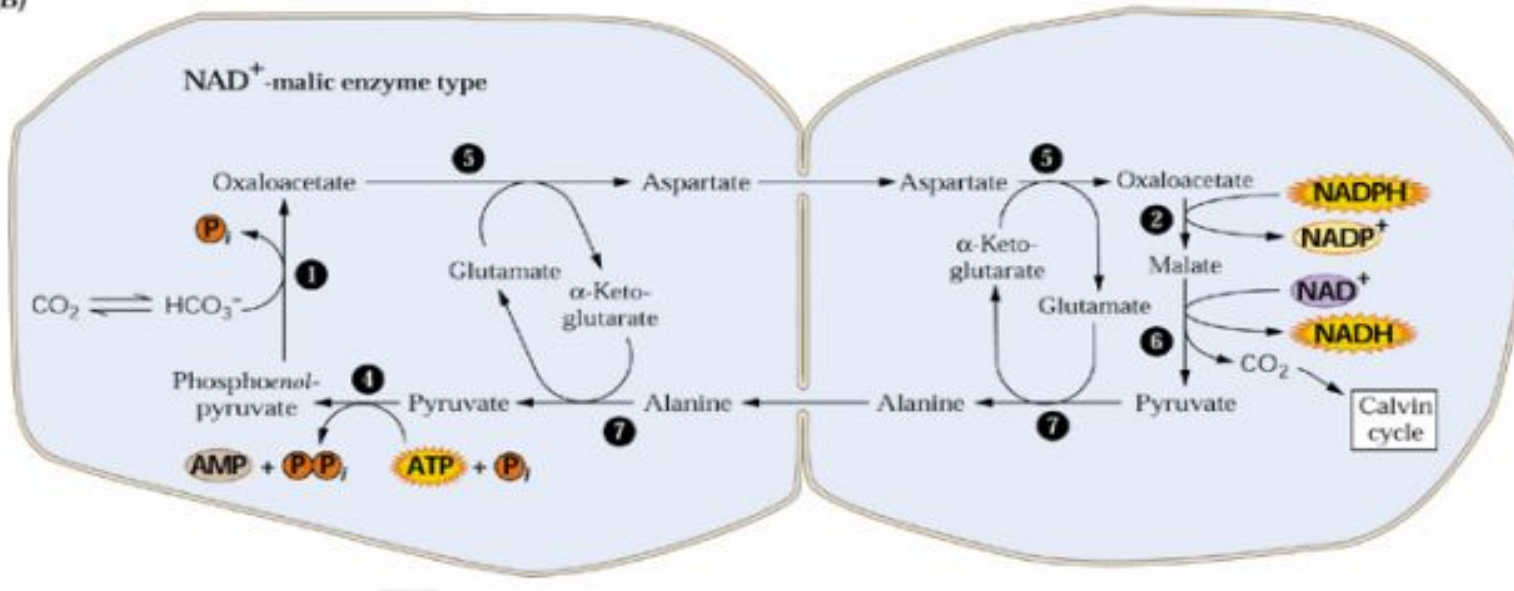


# Три варианта $C_4$ – растений: НАДФ-МДГ (малик-энзим)

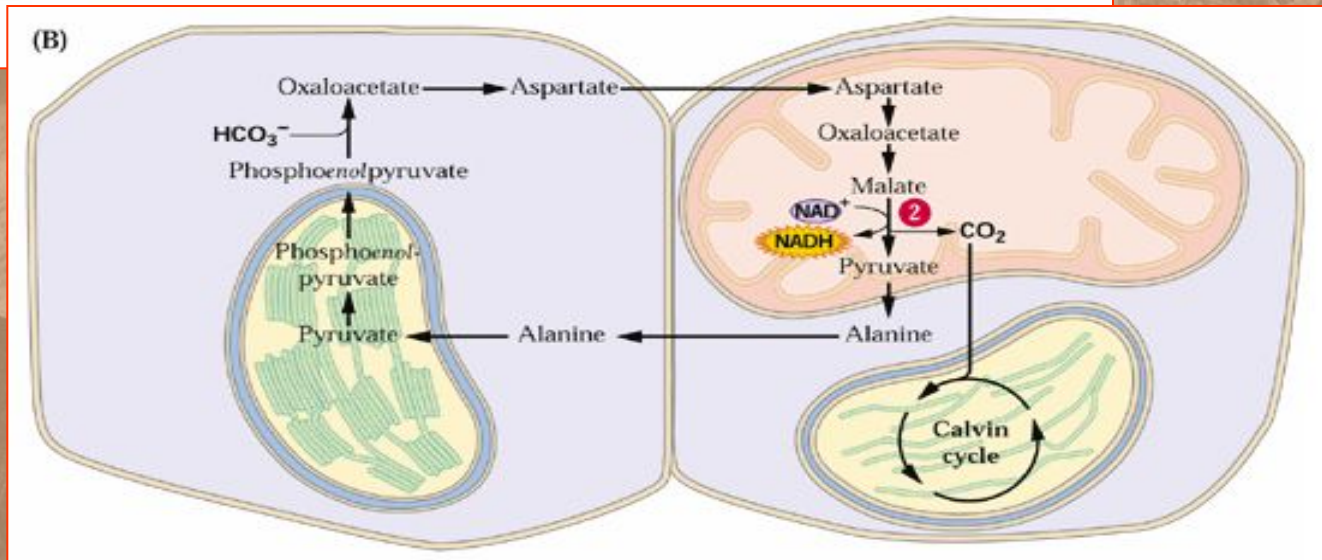


# Три варианта C<sub>4</sub> – растений: НАД-МДГ (малик-энзим)

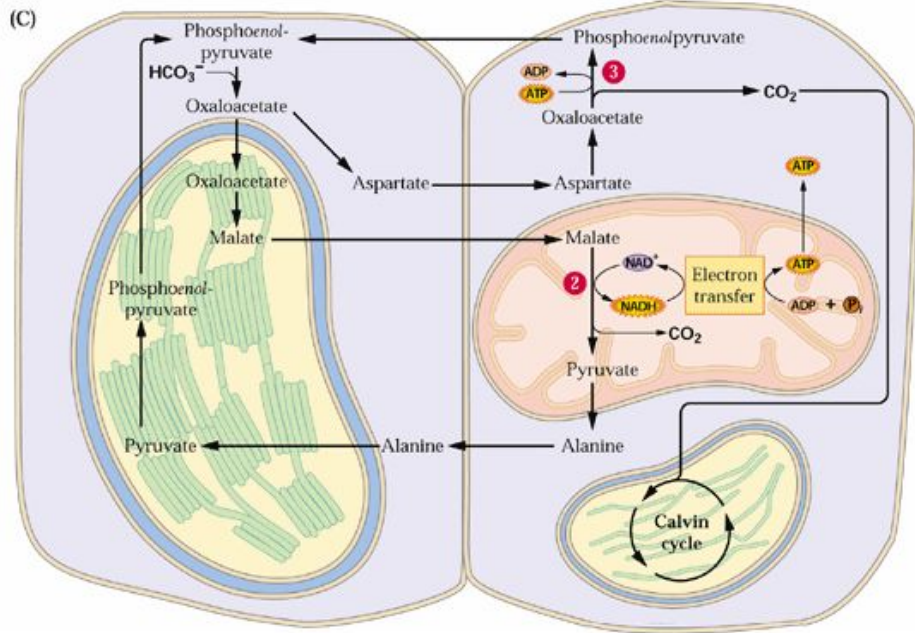
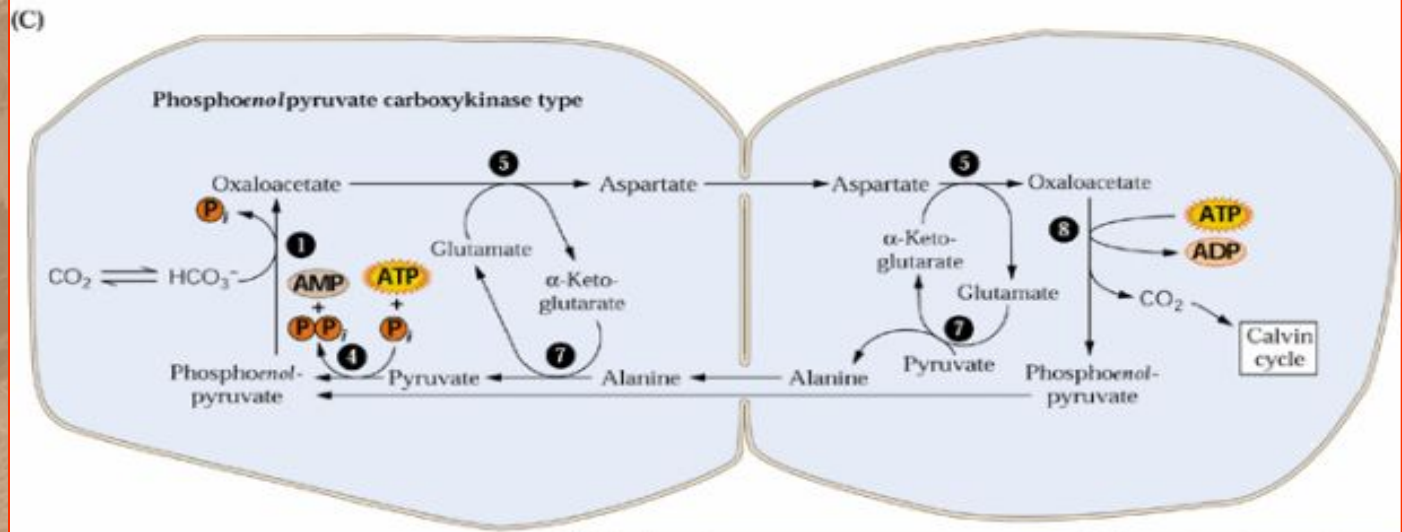
(B)



(B)

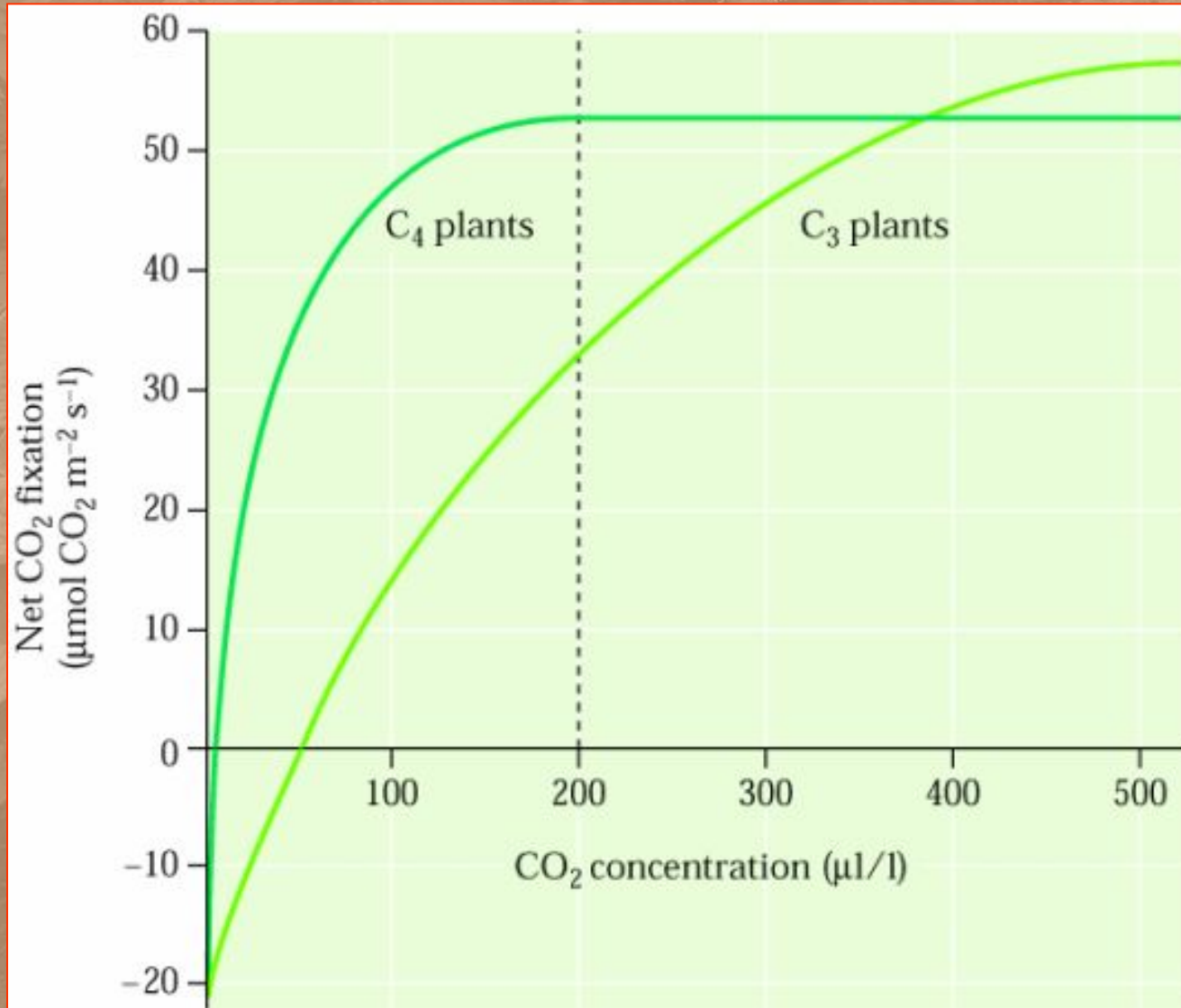


# Три варианта C<sub>4</sub> – растений: ФЕП-КК (карбоксикиназный)

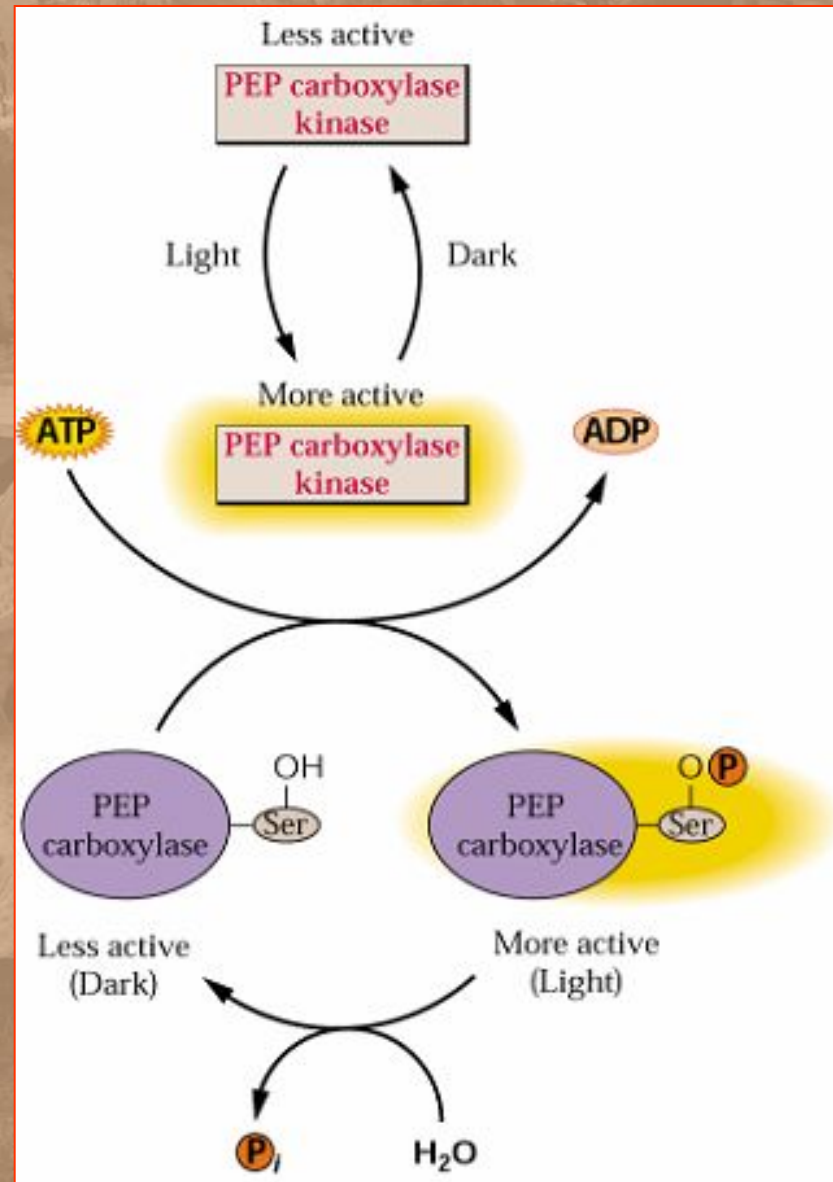


- |  |                                   |
|--|-----------------------------------|
| 1. PEP carboxylase                         | 5. Aspartate aminotransferase     |
| 2. NADP <sup>+</sup> -malate dehydrogenase | 6. NAD <sup>+</sup> -malic enzyme |
| 3. NADP <sup>+</sup> -malic enzyme         | 7. Alanine aminotransferase       |
| 4. Pyruvate-orthophosphate dikinase (PPDK) | 8. PEP carboxykinase              |

## Фиксация $\text{CO}_2$ у $\text{C}_3$ и $\text{C}_4$ растений в зависимости от ее концентрации

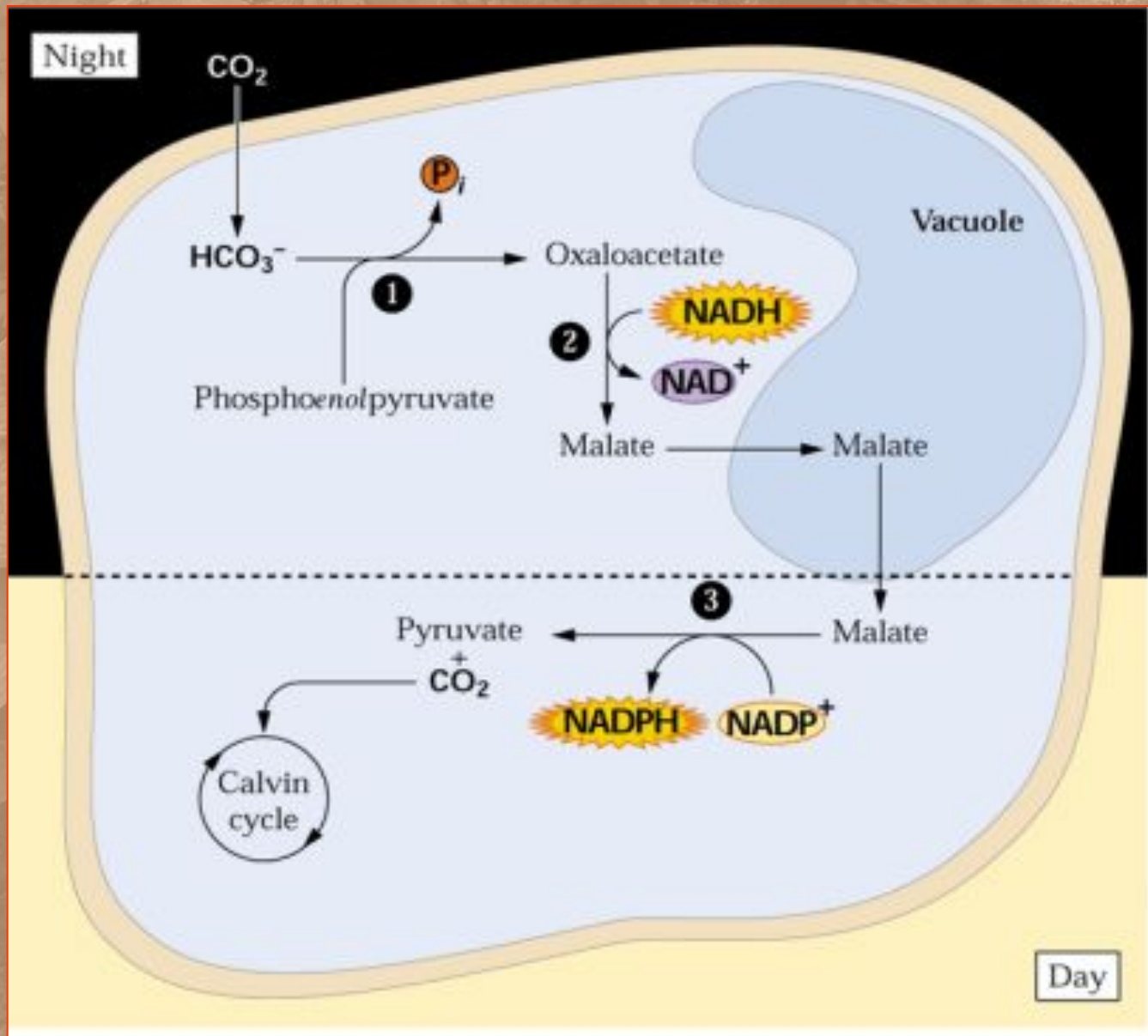


# Регулирование активности ФЕП-карбоксилазы





# CAM-метаболизм: временное разделение карбоксилирования и фиксации CO<sub>2</sub>



# CAM-метаболизм: малат поступает в вакуоль из цитозоля и митохондрий.

