

Фотосинтез (продолжение)



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

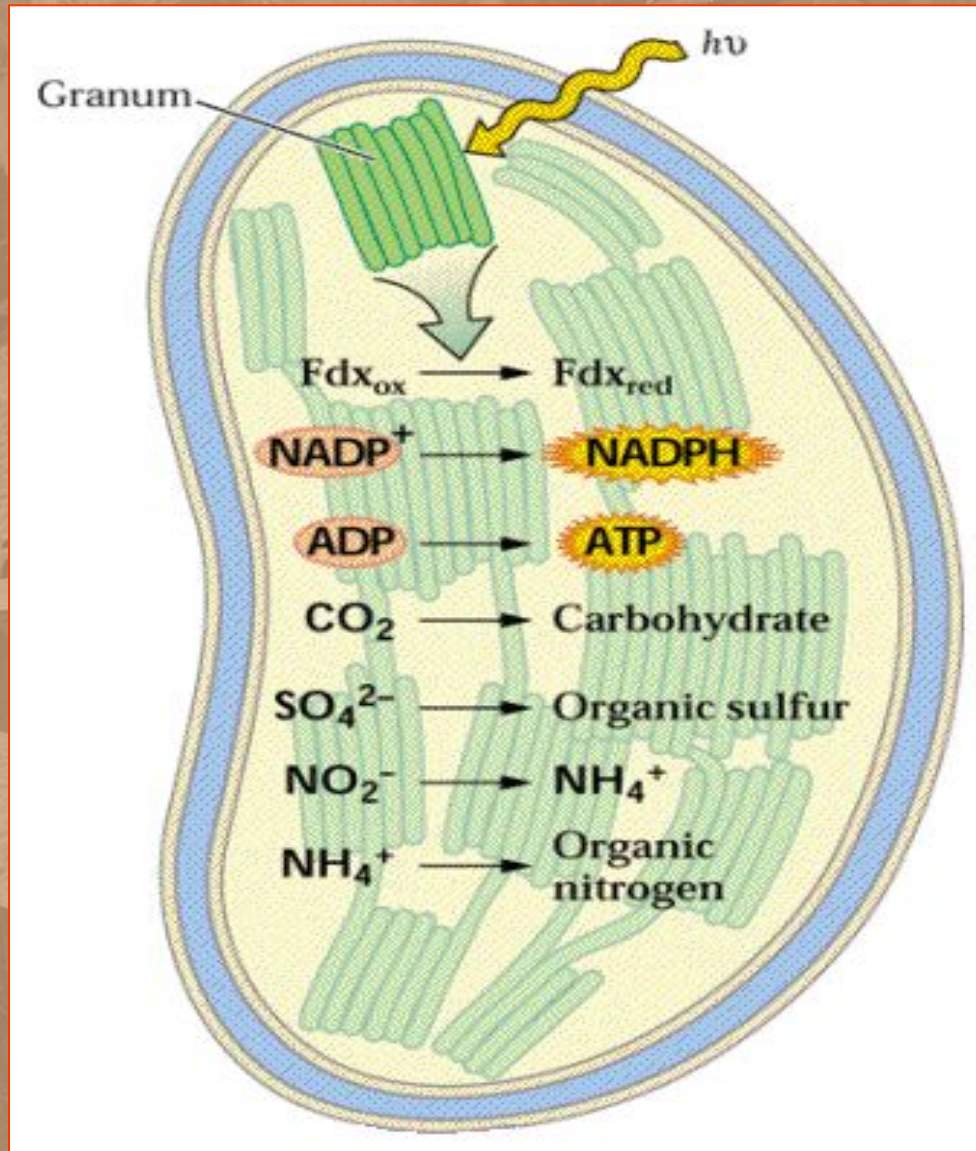
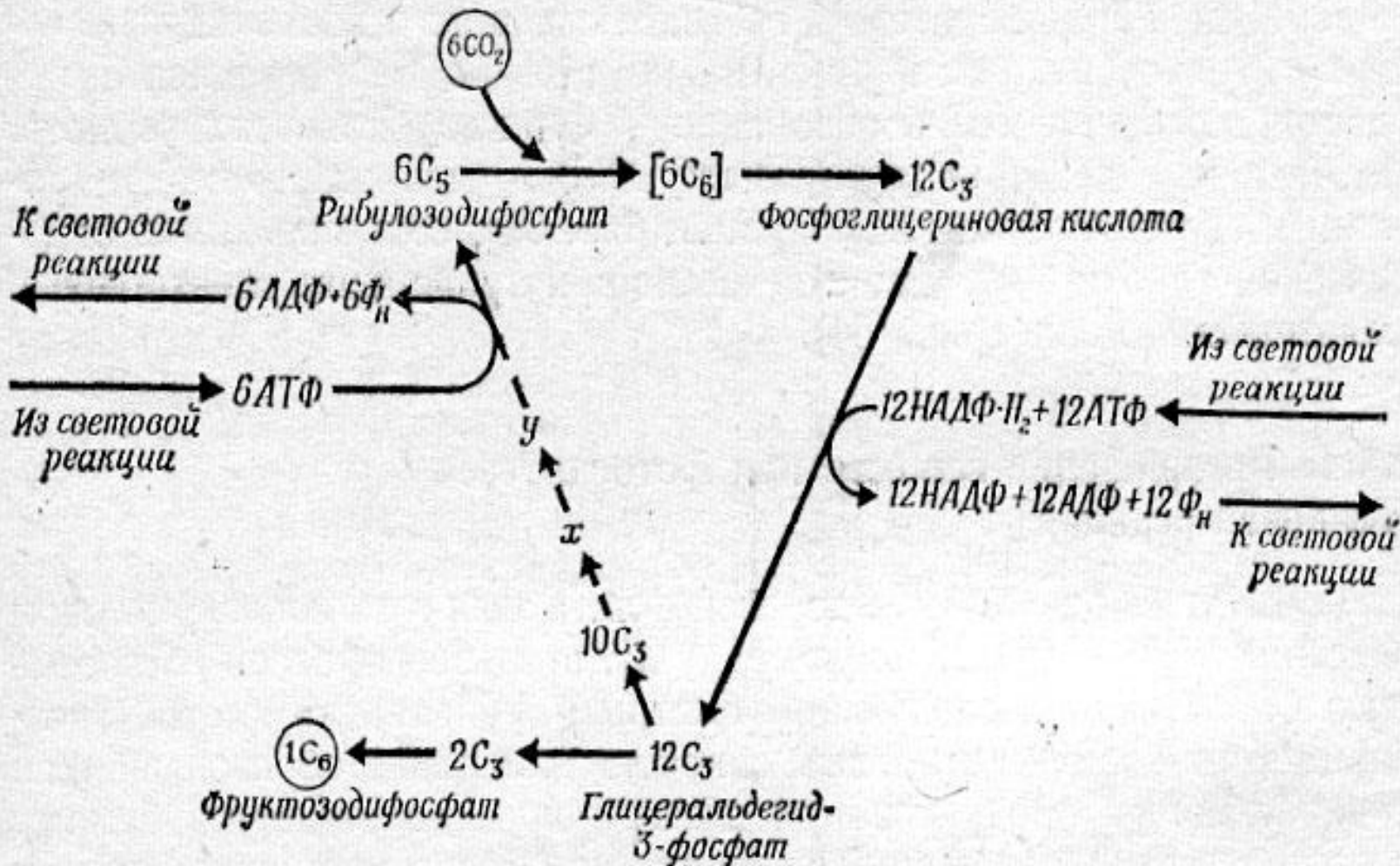


Схема восстановительного пентозо-фосфатного цикла



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 e^-)

$1 \text{ АТФ} = 30 \text{ кдж}$

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

$18 \text{ АТФ} = 540 \text{ кдж}$

Всего: 3300 кдж

Сжигание 1 моля глюкозы: 2800 кдж

Эффективность преобразования энергии – 85%. Неплохо.

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

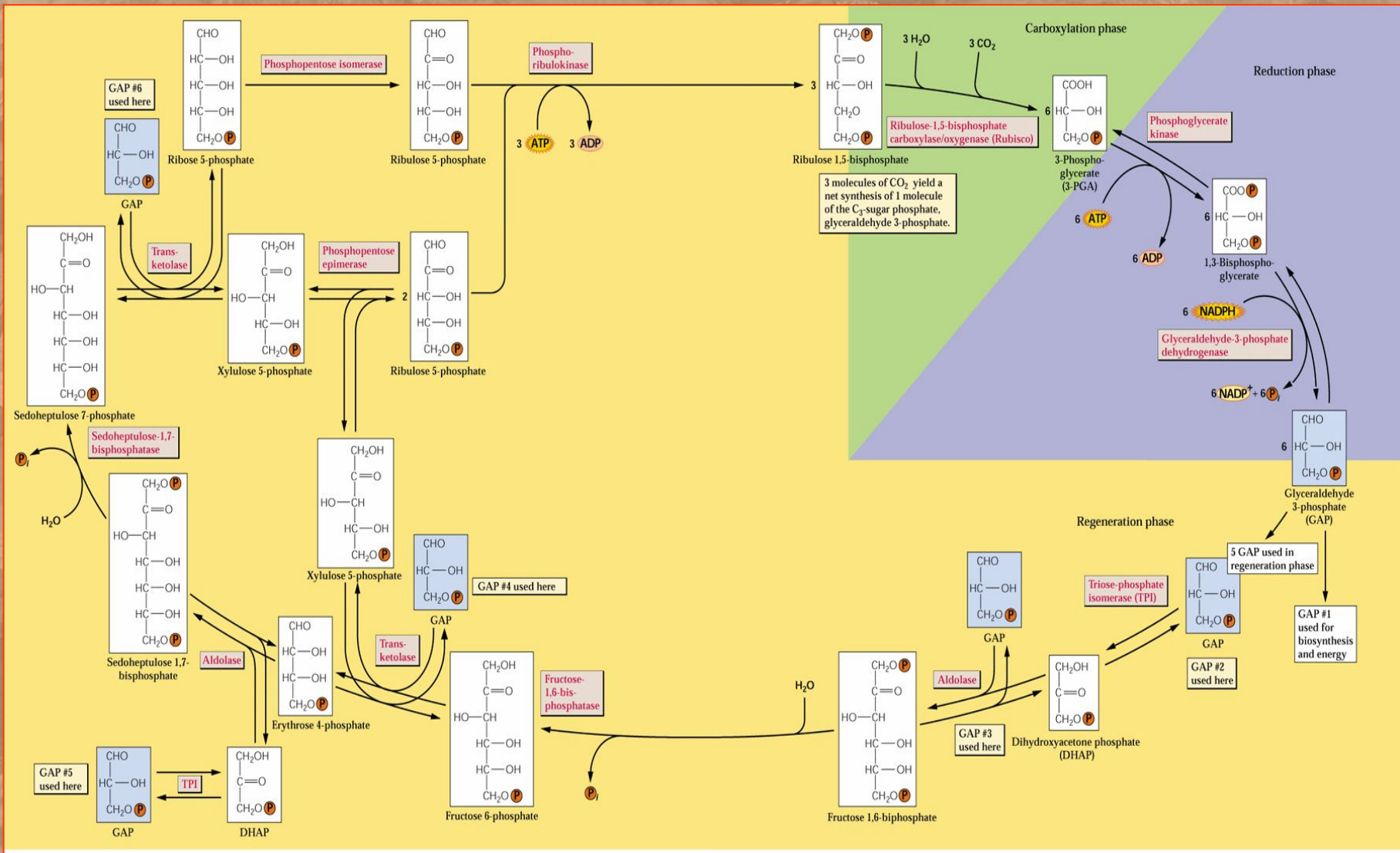
Общая эффективность фотосинтеза «от кванта»:

на 1 CO_2 (на 1 H_2O) идет 8 e^- (по 4 e^- на каждую фотосистему)

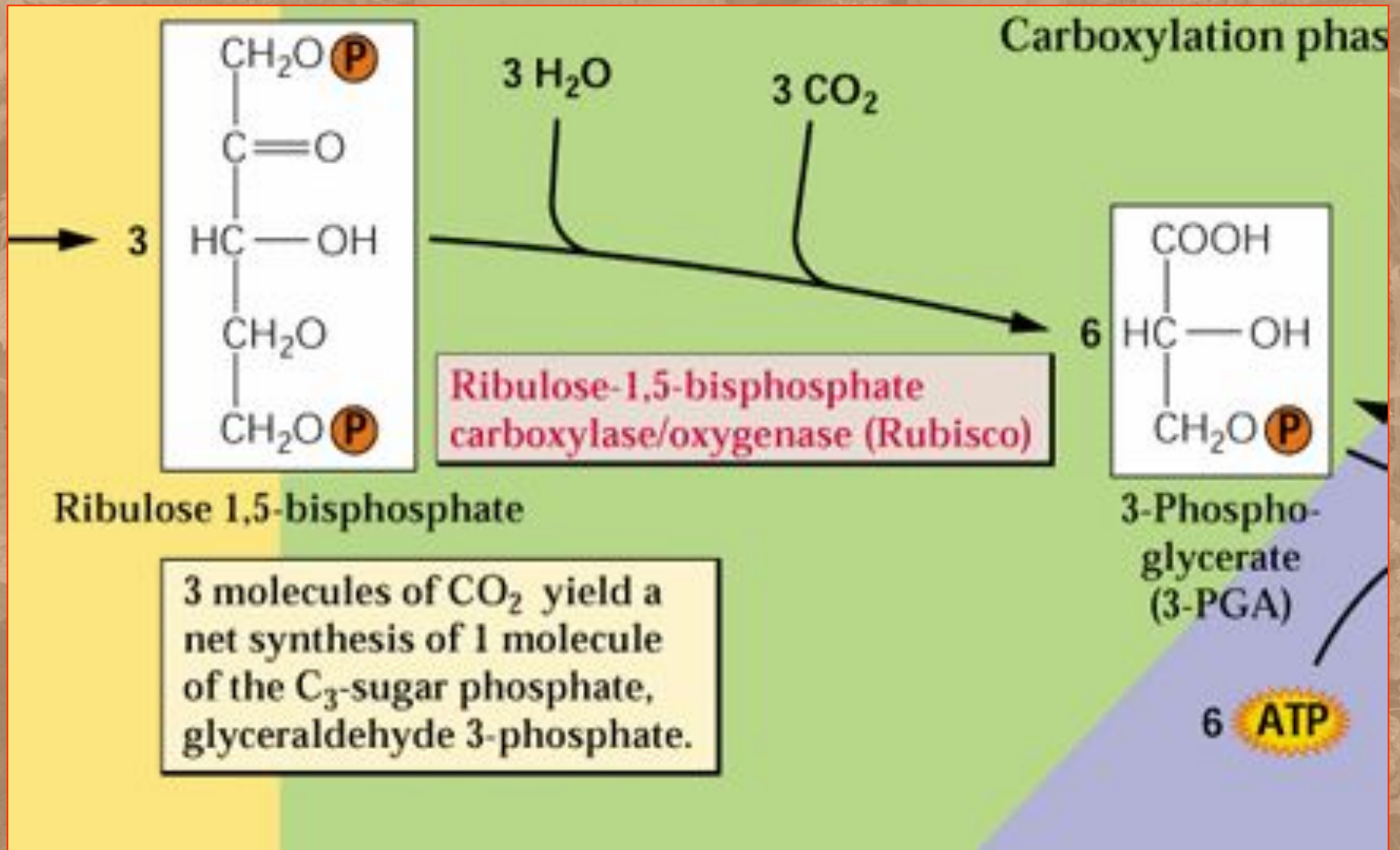
1 моль квантов $700\text{нм} = 1.77\text{В} = 176 \text{ кдж.}$

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

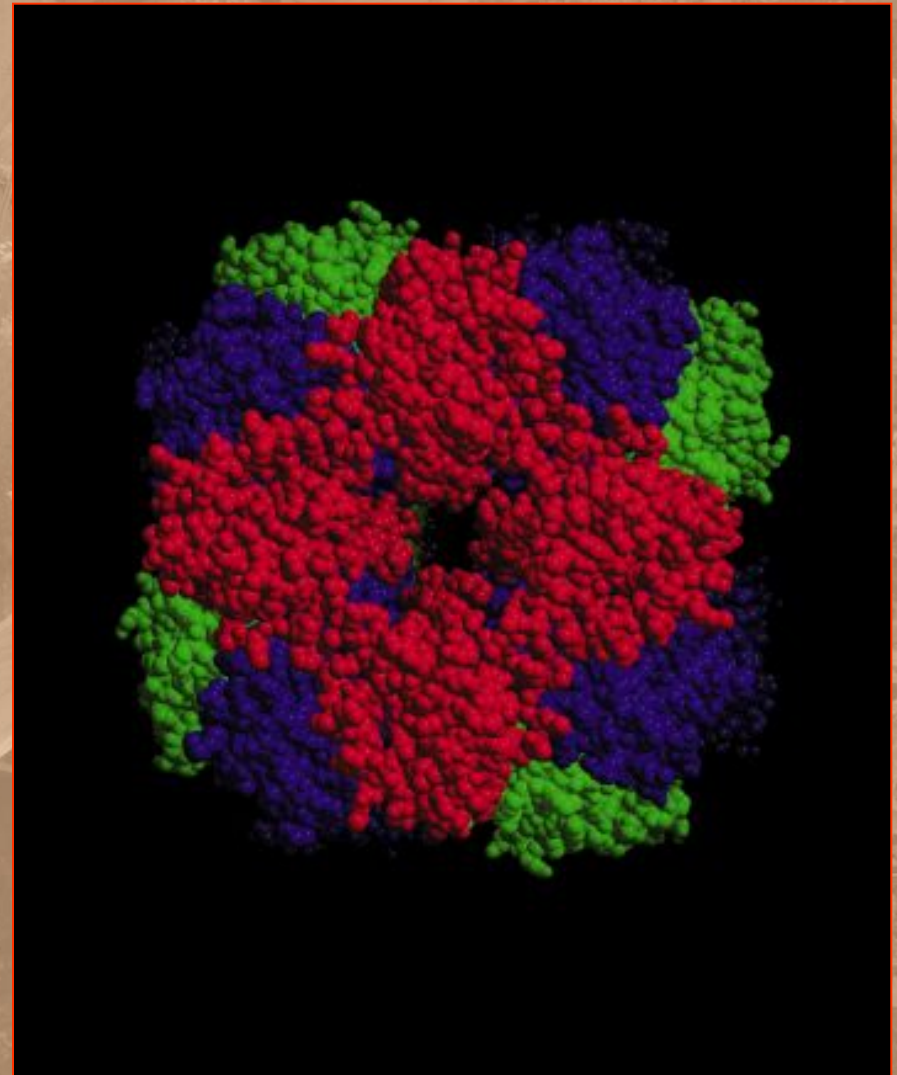
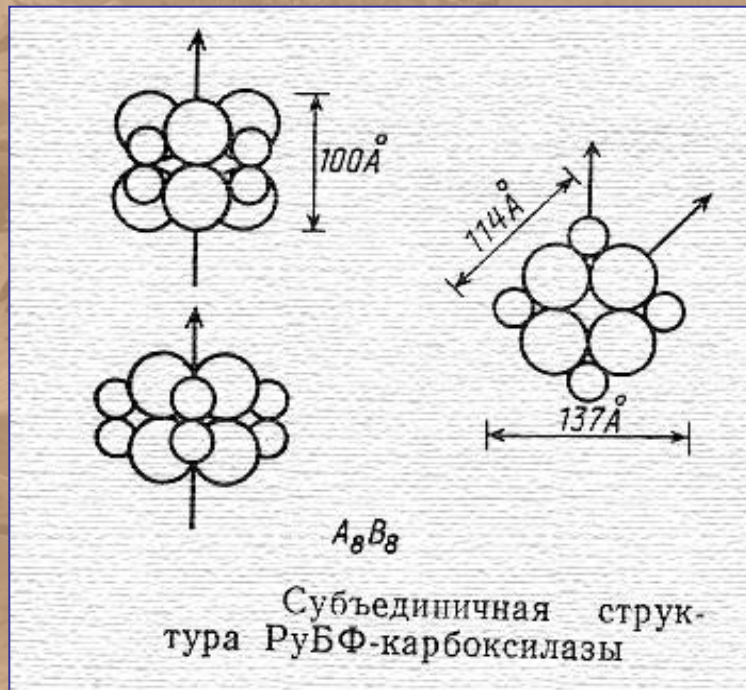
Восстановительный пентозо-фосфатный цикл (ВЩ)



Фаза карбоксилирования ВПЦ

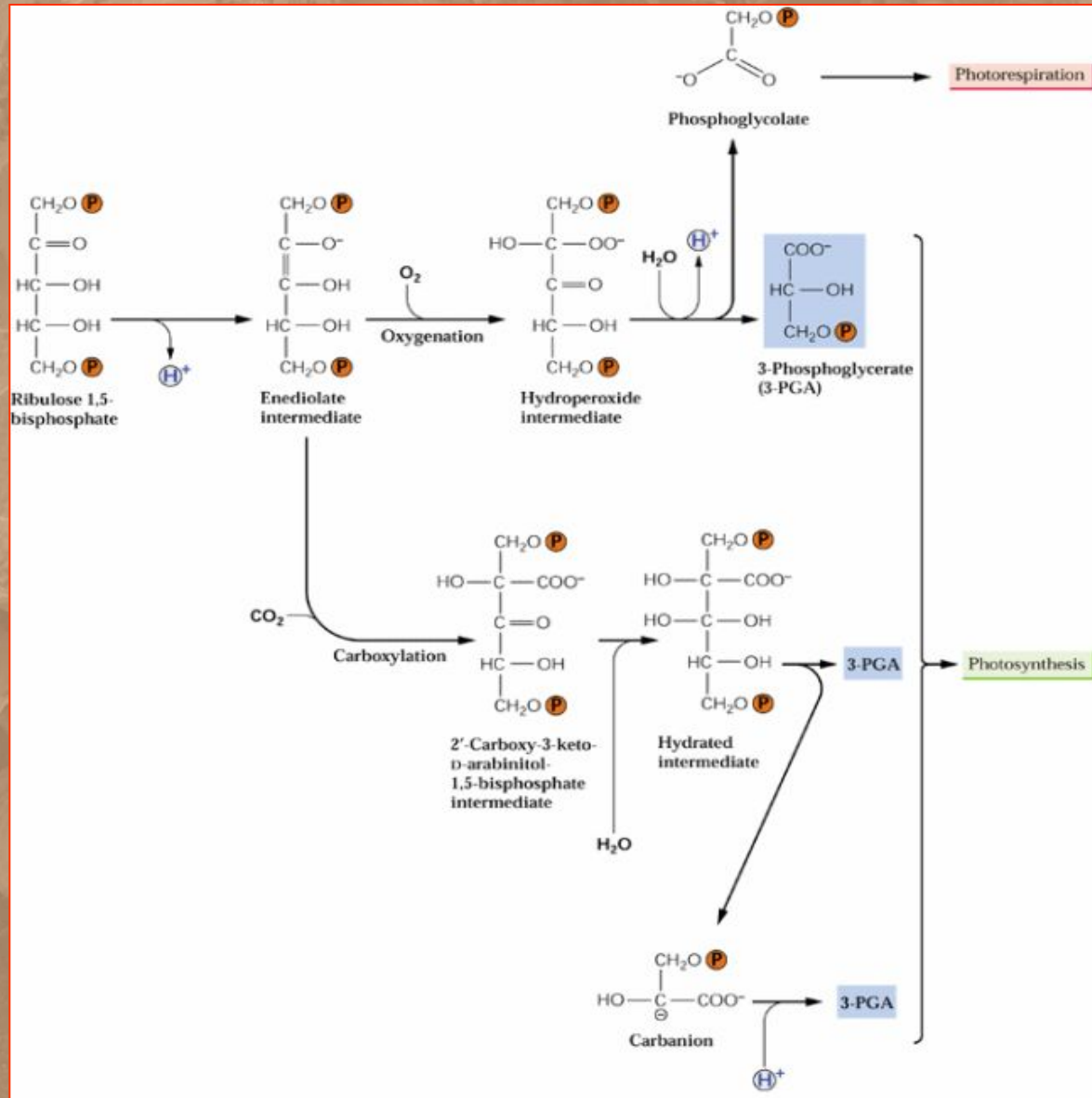


**Рибулозо-бисфосфат карбоксилаза-оксигеназа (Rubisco)
самый главный фермент на планете Земля (10млн. тонн)**

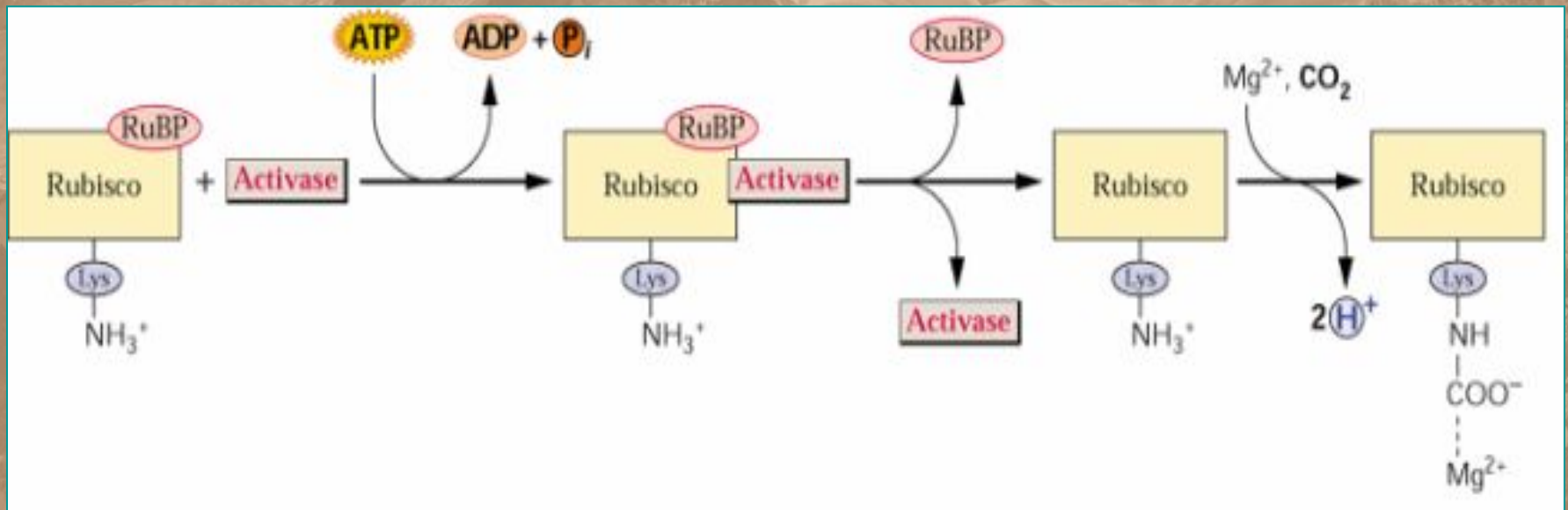
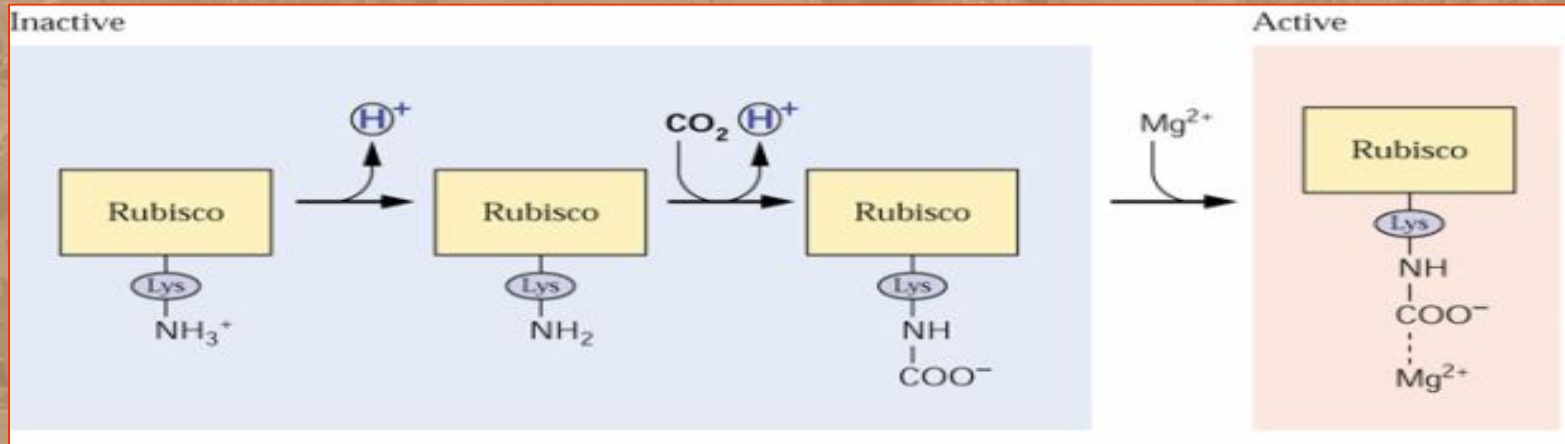


**М.в. ~560 kDa,
8L (55 kDa), 8S (15 kDa)
 $K_{mCO_2} = 12\mu M$
 $K_{mO_2} = 250\mu M$
 $K_{mPUBP} = 40\mu M$**

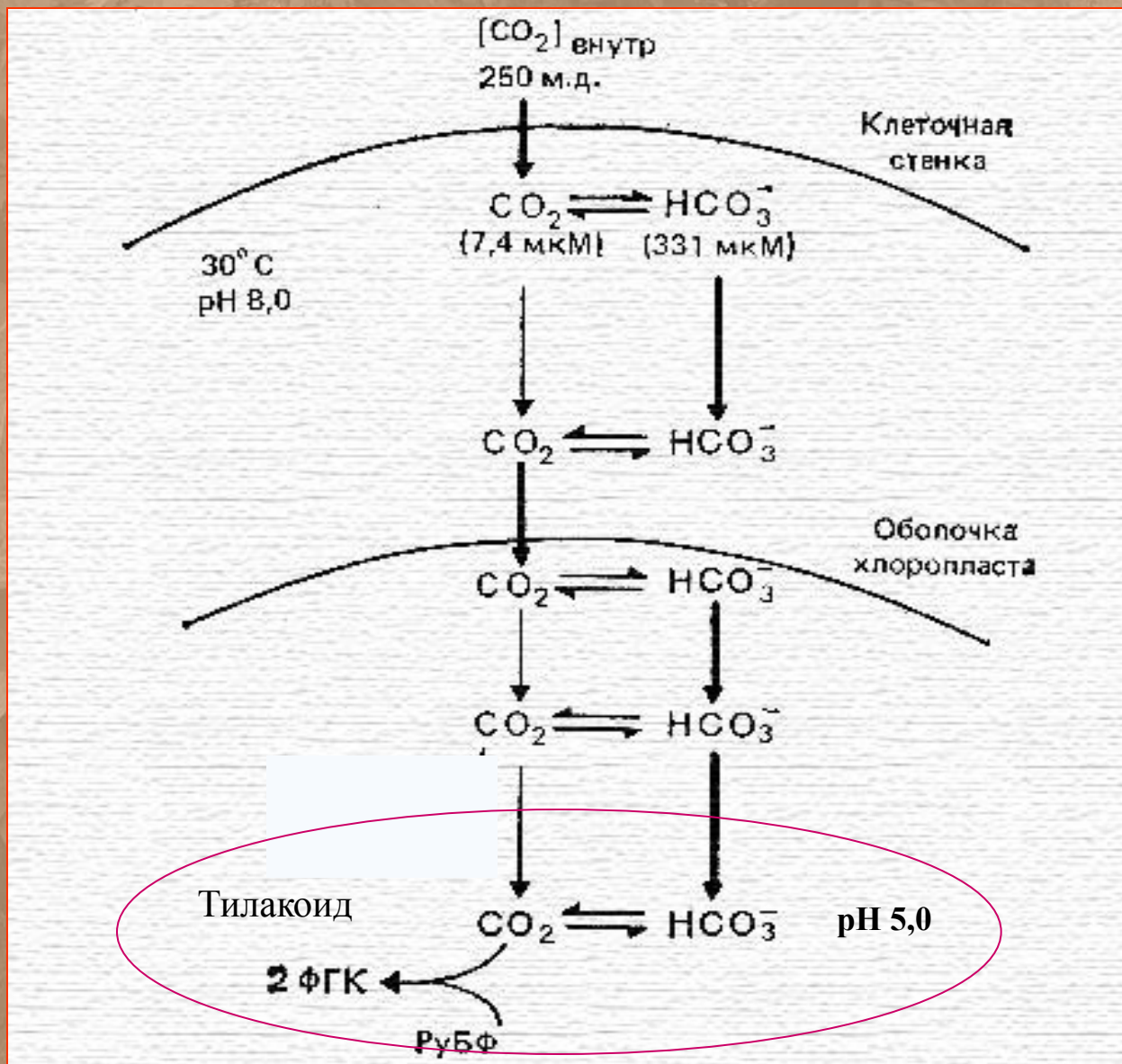
Rubisco катализирует две взаимоисключающие реакции



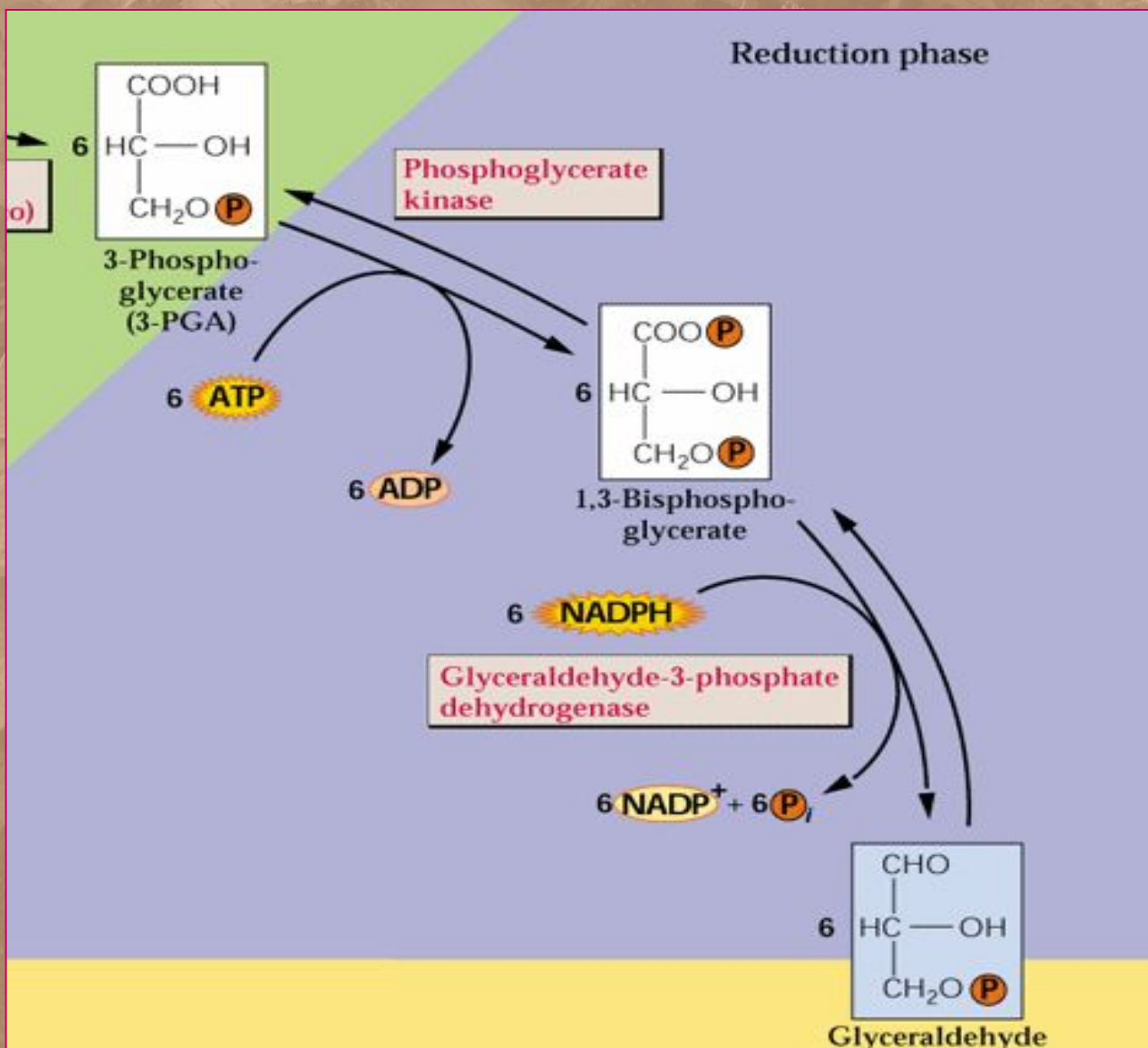
Решение проблемы низкого CO_2 : активация Rubisco (активаза)



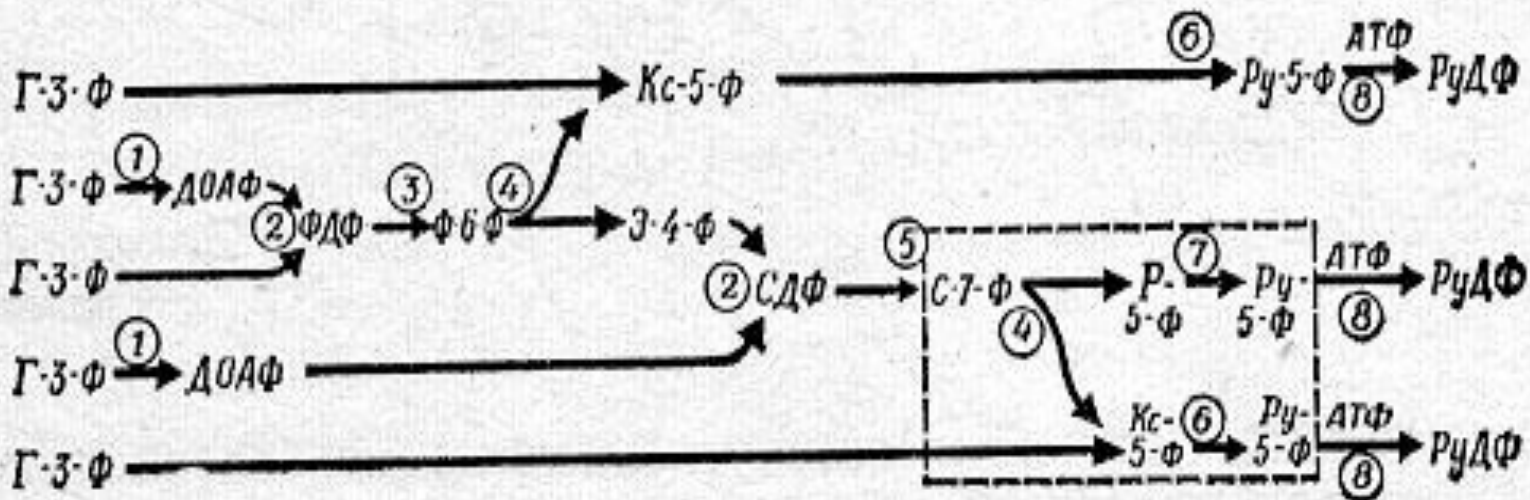
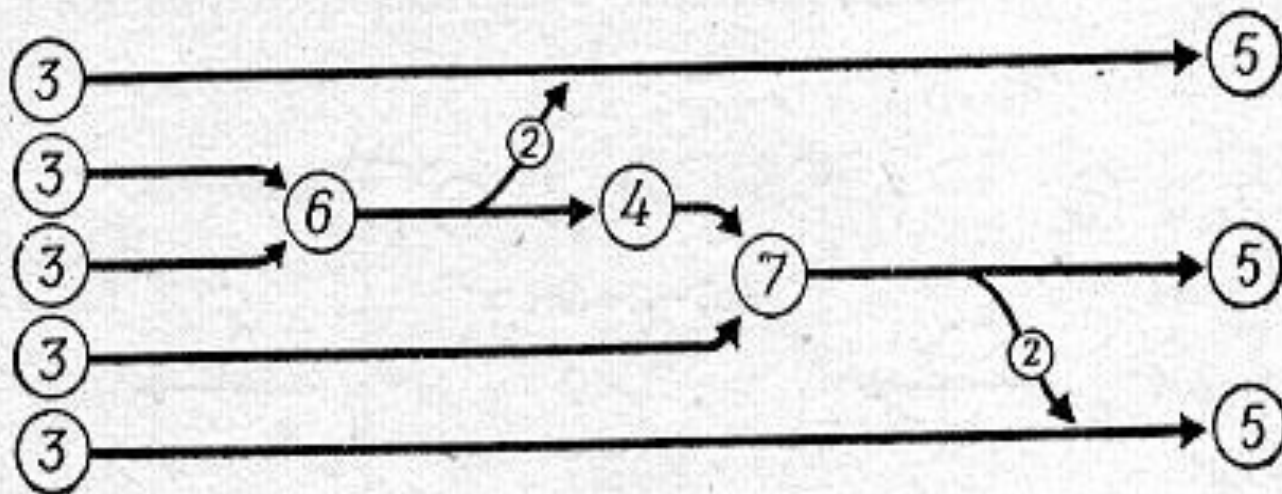
Решение проблемы низкого CO_2 : «запас» CO_2 (карбоангидраза)



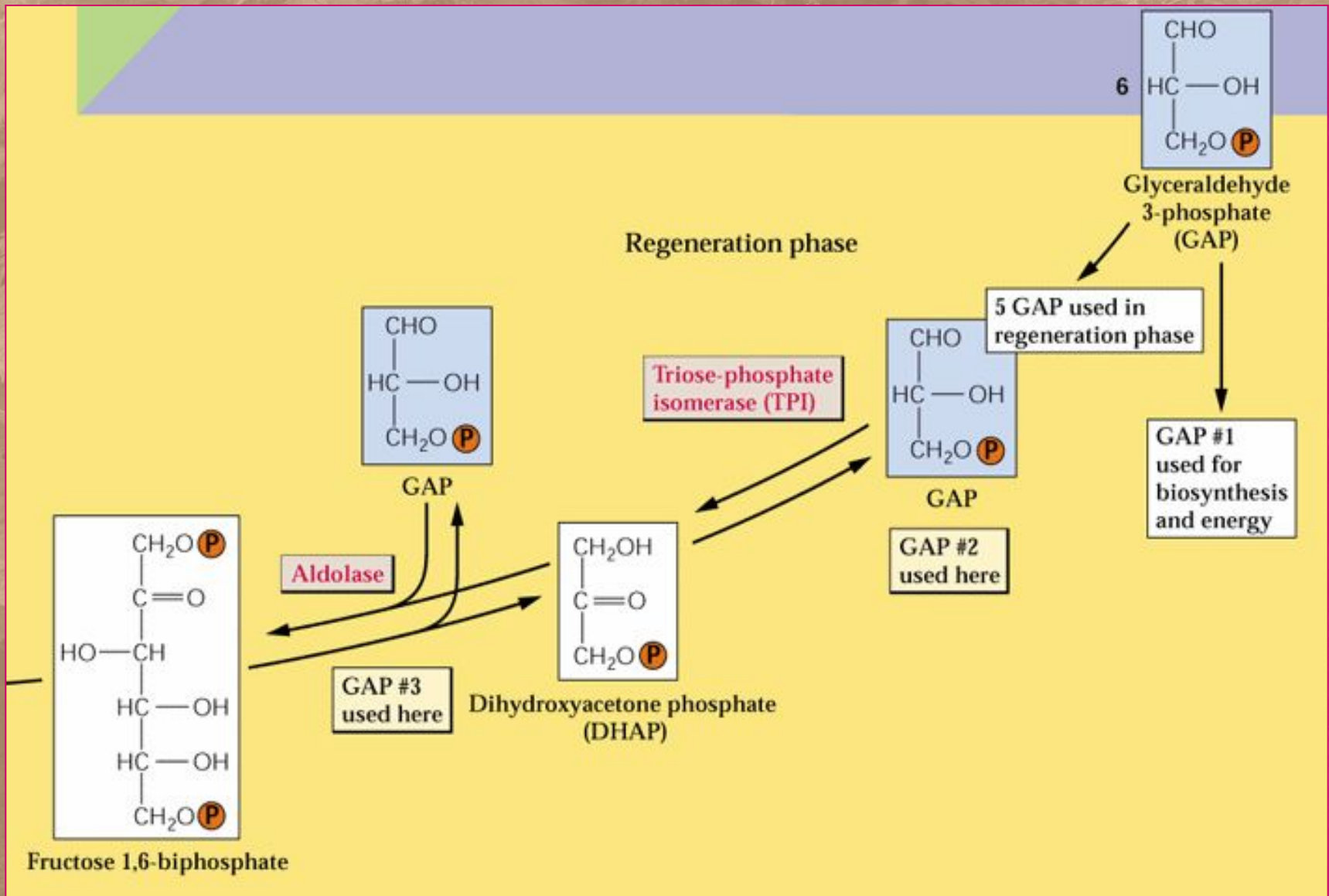
Восстановительная фаза цикла Кальвина: «гликолилиз наоборот»



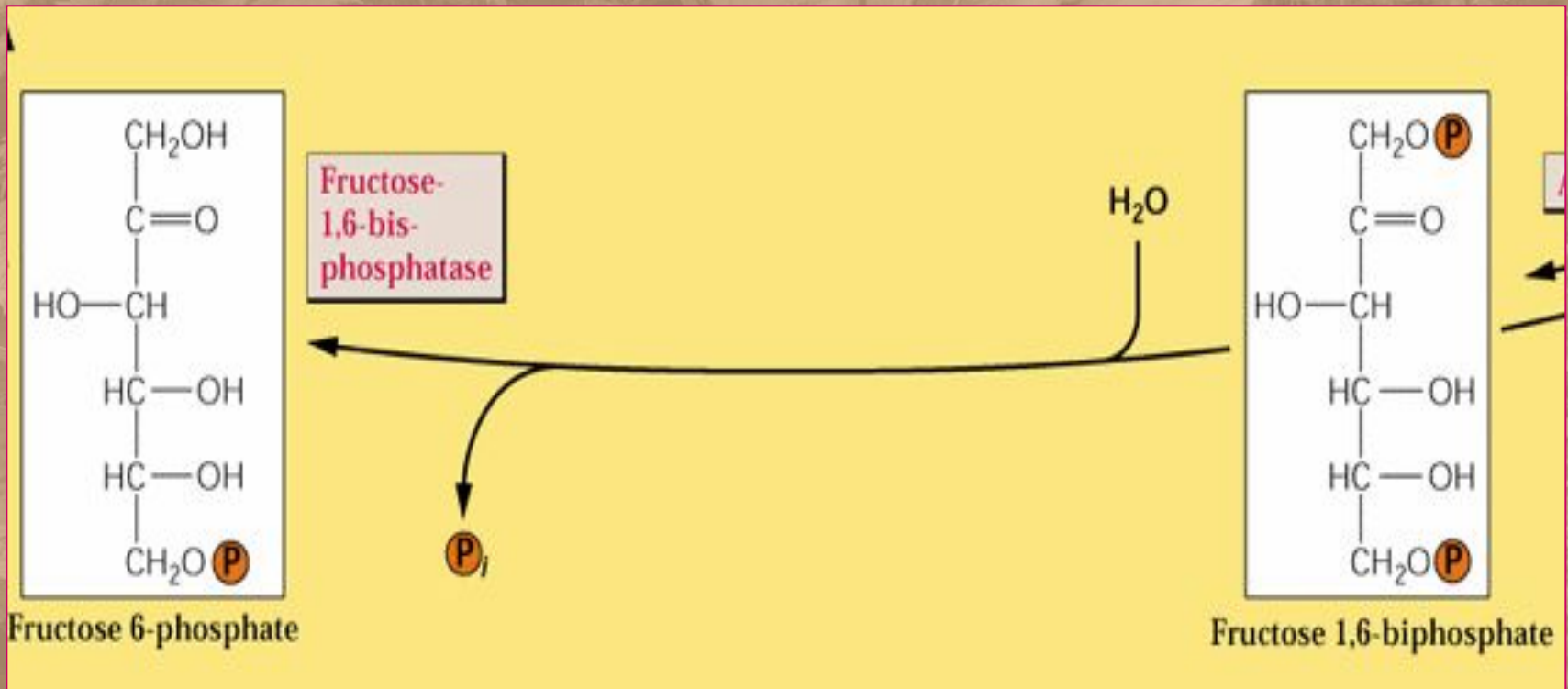
Фаза регенерации: общая схема перегруппировок



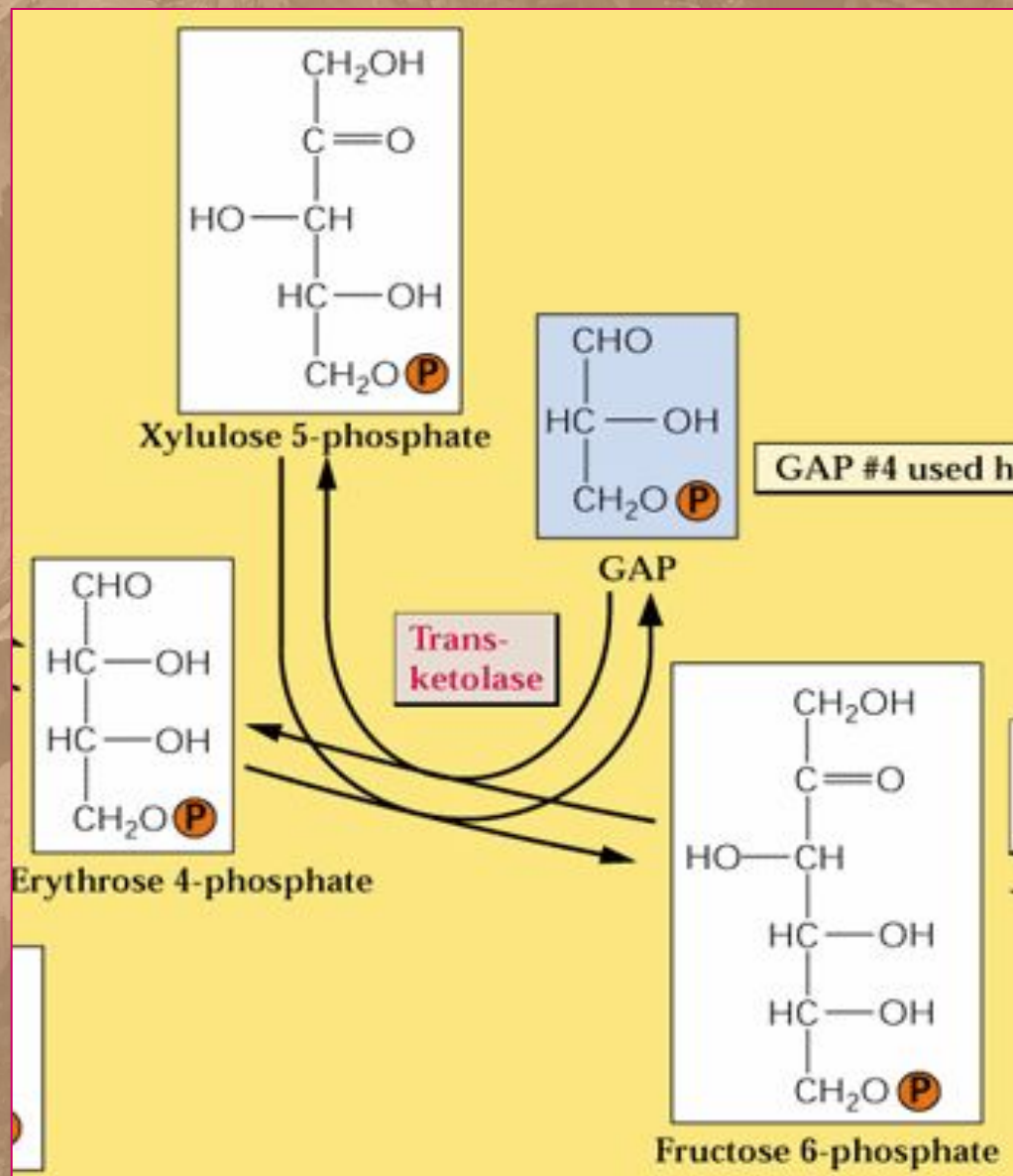
Фаза регенерации: образование фруктозо-1,6-бисфосфата



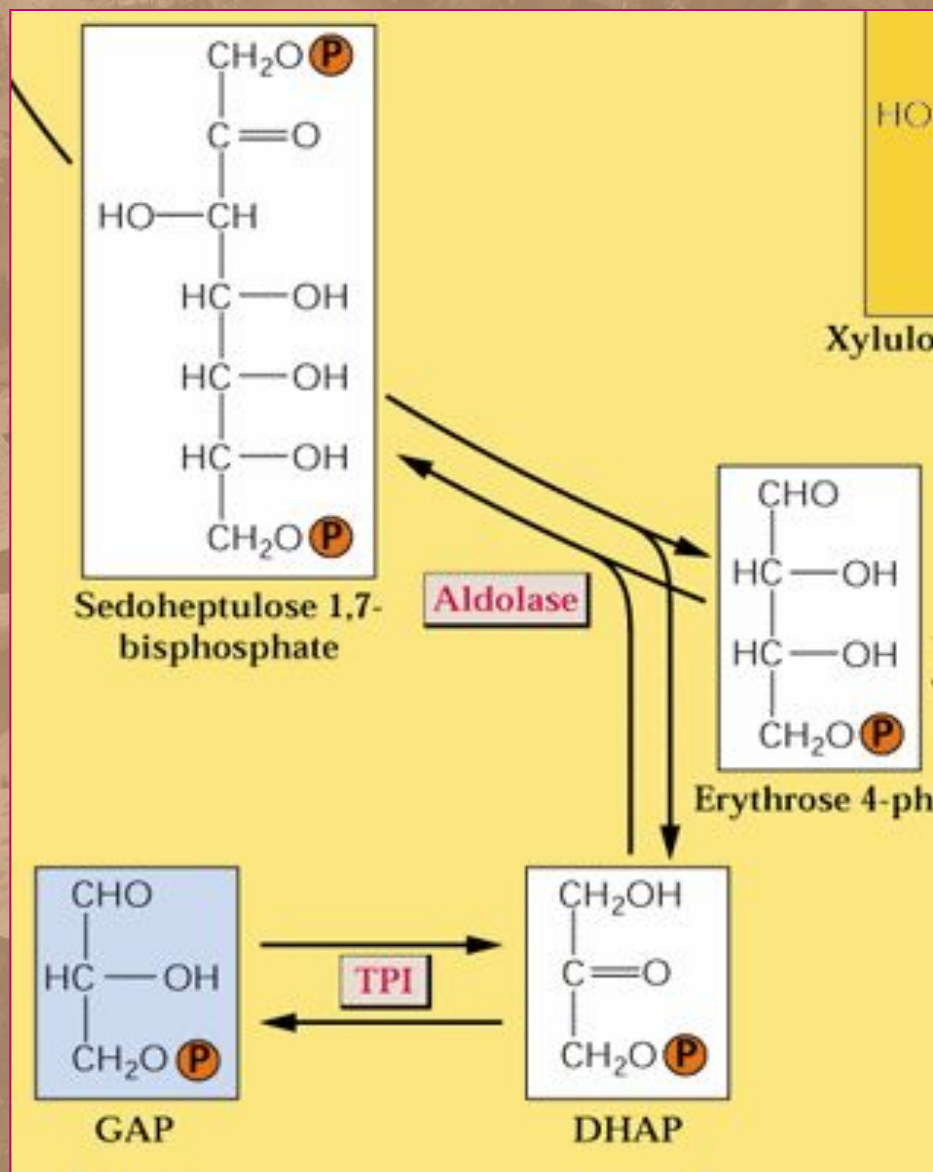
Фаза регенерации: образование фруктозо-6-фосфата



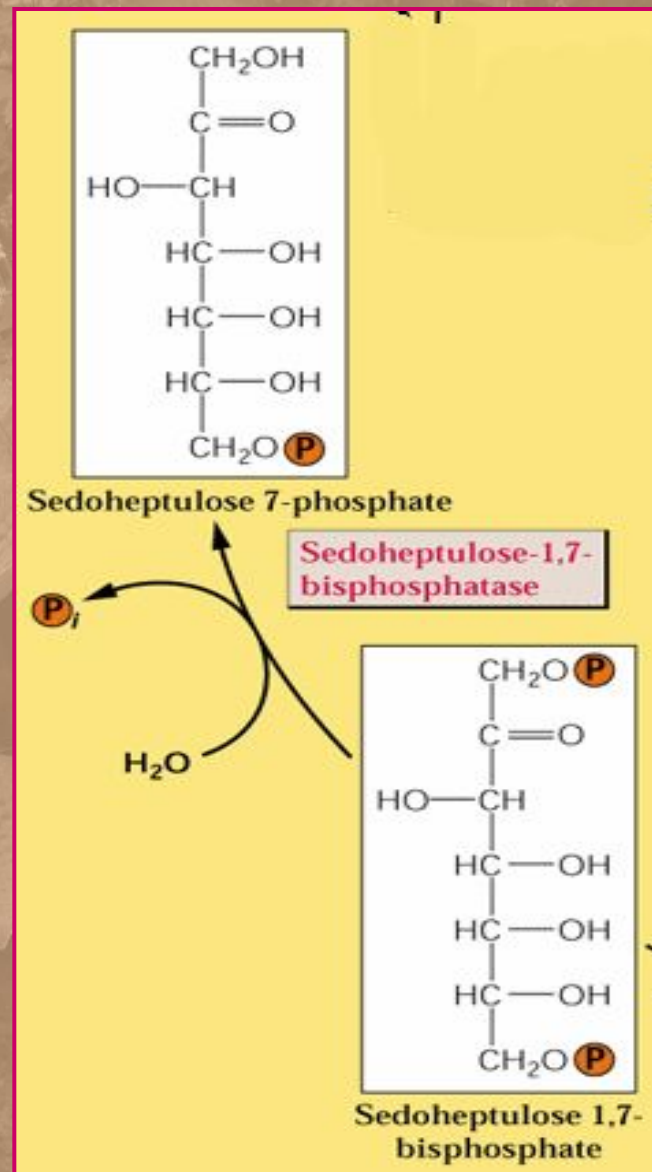
Фаза регенерации: первая транскетолазная реакция



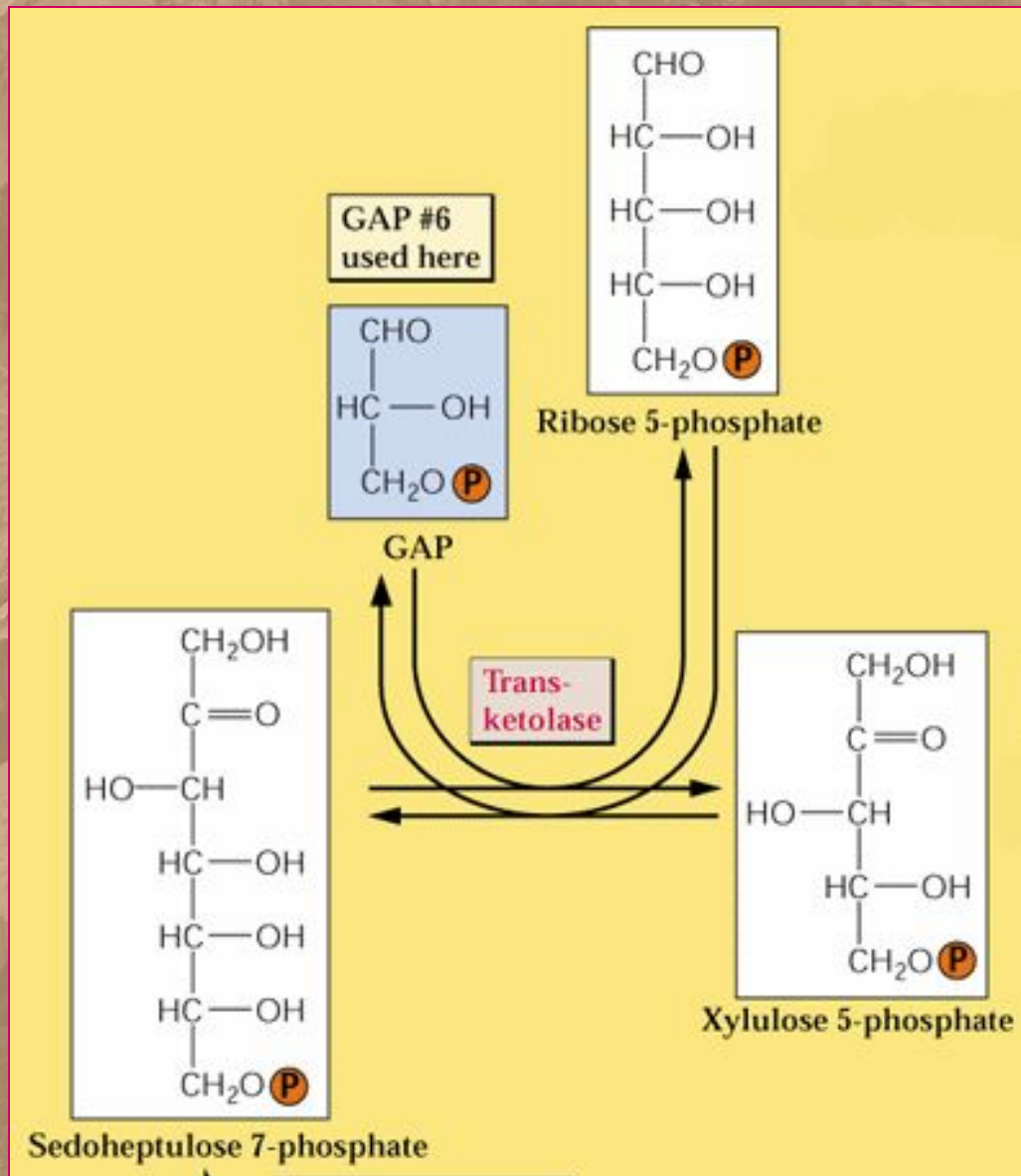
Фаза регенерации: образование седогептулезо-1,7-бисфосфата



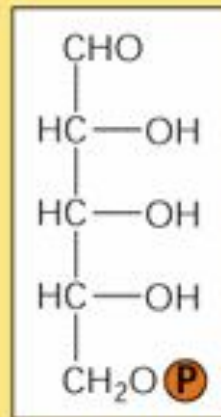
Фаза регенерации: образование седогептулезо-7-фосфата



Фаза регенерации: вторая транскетолазная реакция

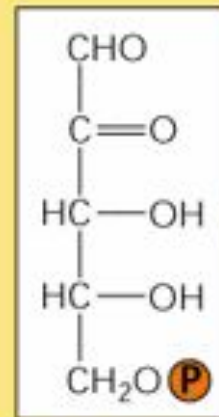


Фаза регенерации: образование рибулезо-5-фосфата

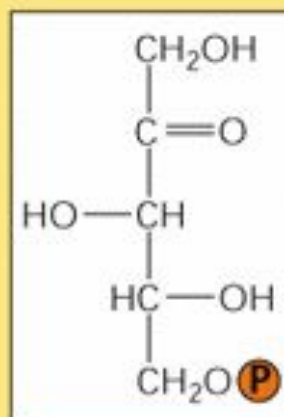


Ribose 5-phosphate

Phosphopentose isomerase

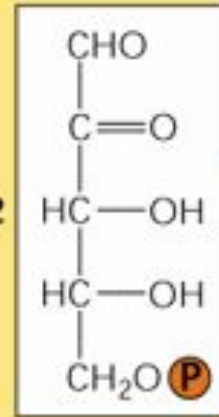


Ribulose 5-phosphate



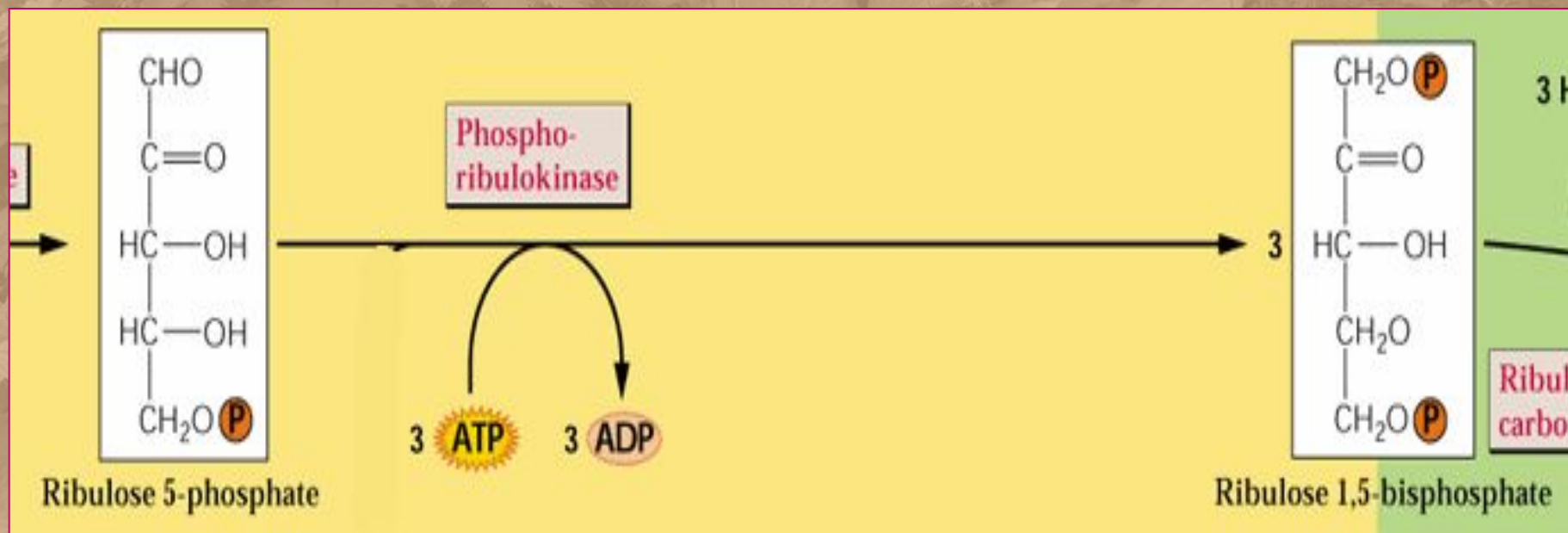
Xylulose 5-phosphate

Phosphopentose epimerase

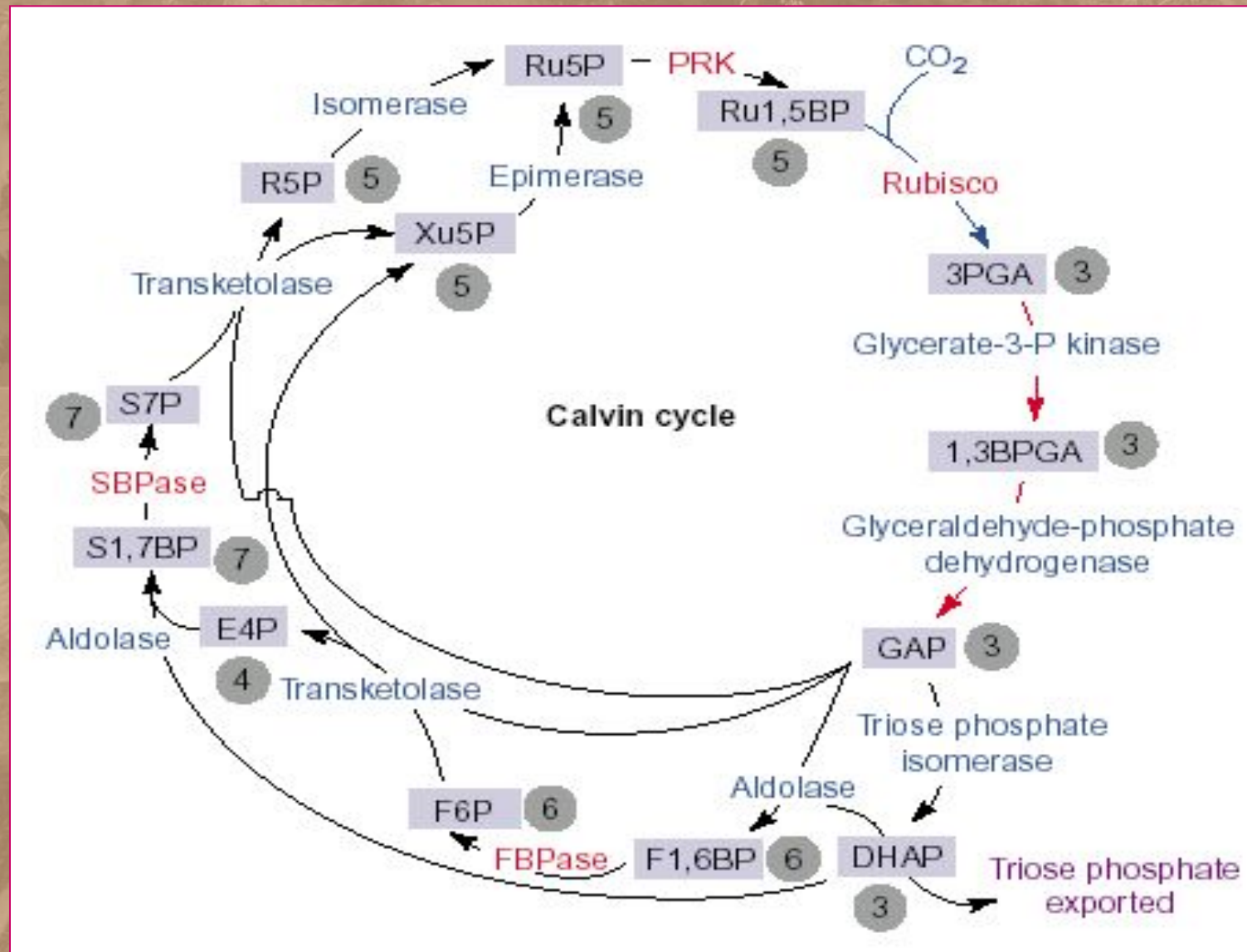


Ribulose 5-phosphate

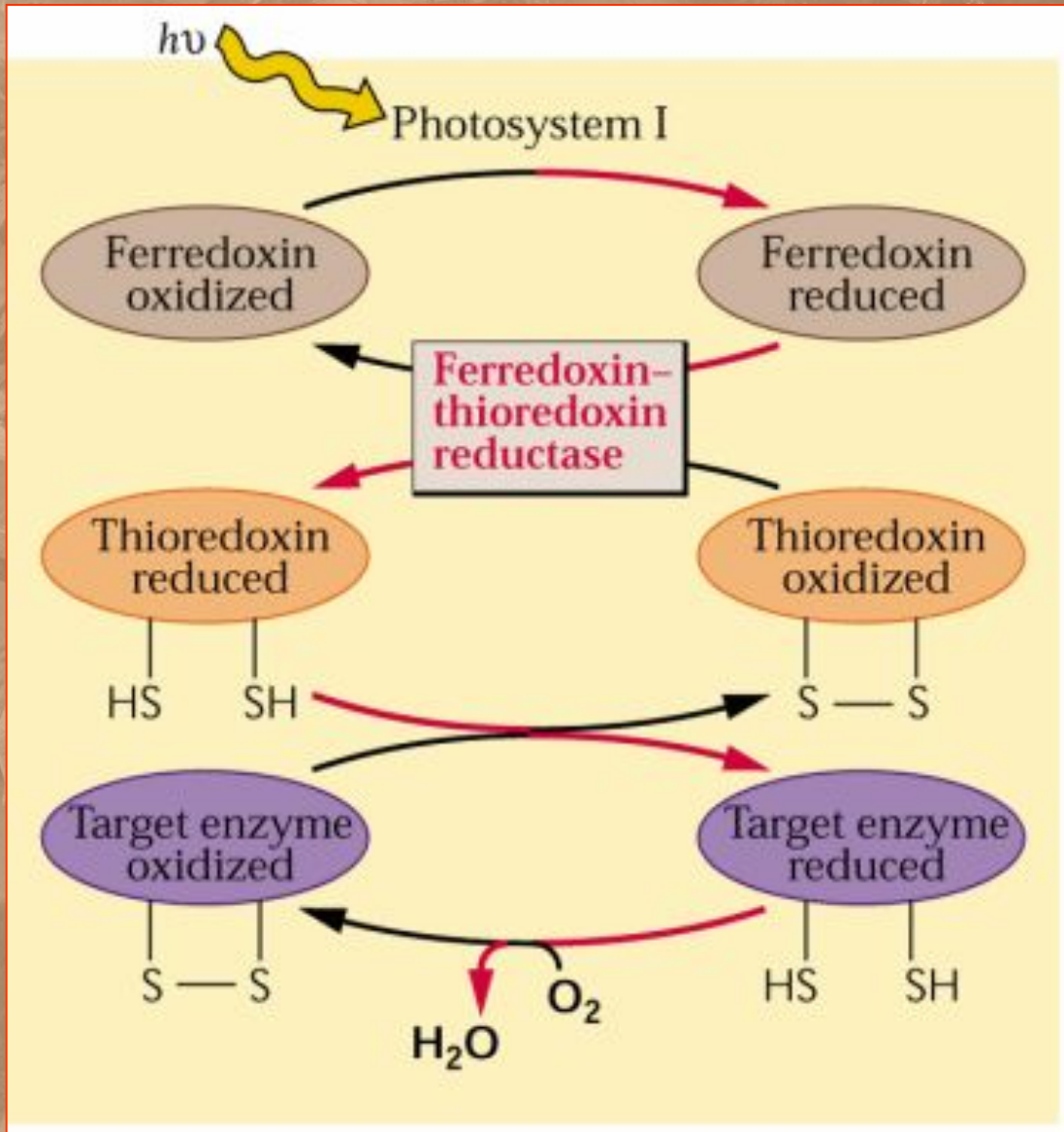
Фаза регенерации: образование рибулезо-1,5-бисфосфата



Восстановительный пентозо-фосфатный цикл: общий вид

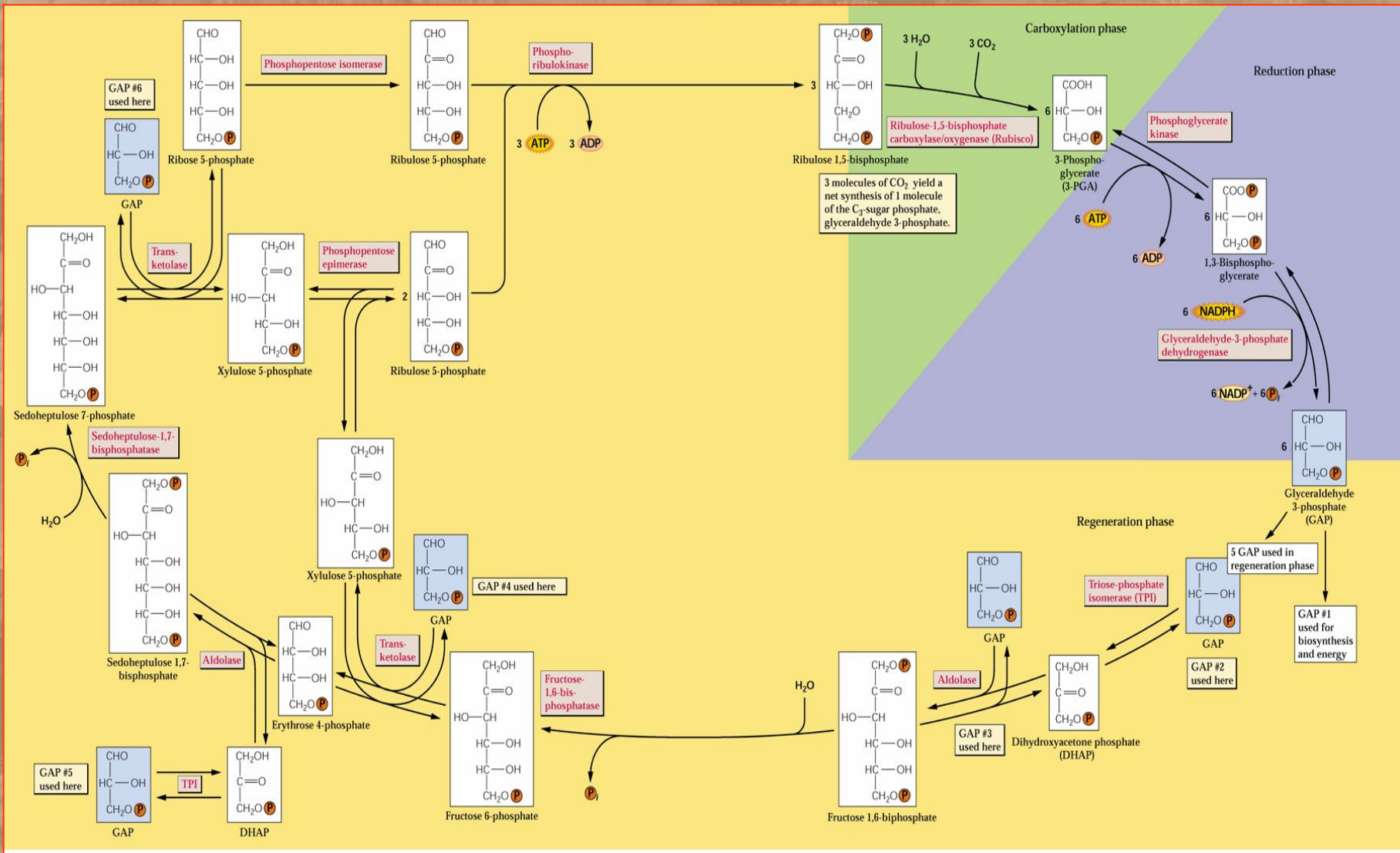


Светом регулируется активность минимум четырех ферментов ВЦЦ

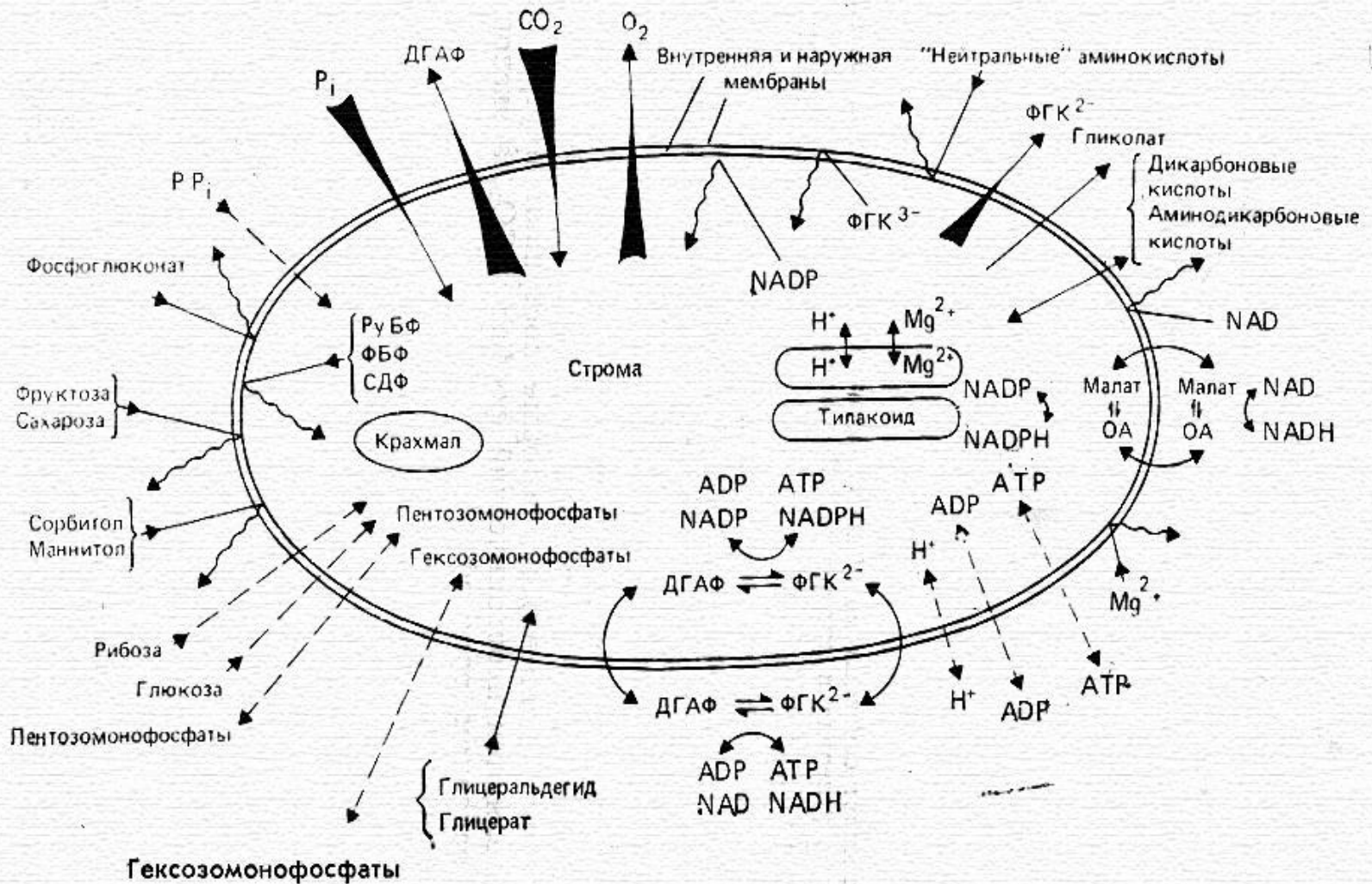


- ФБФ-за
- СБФ-за
- Ру5Ф-за
- Триозофосфат-дегидрогеназа
- Рубиско?

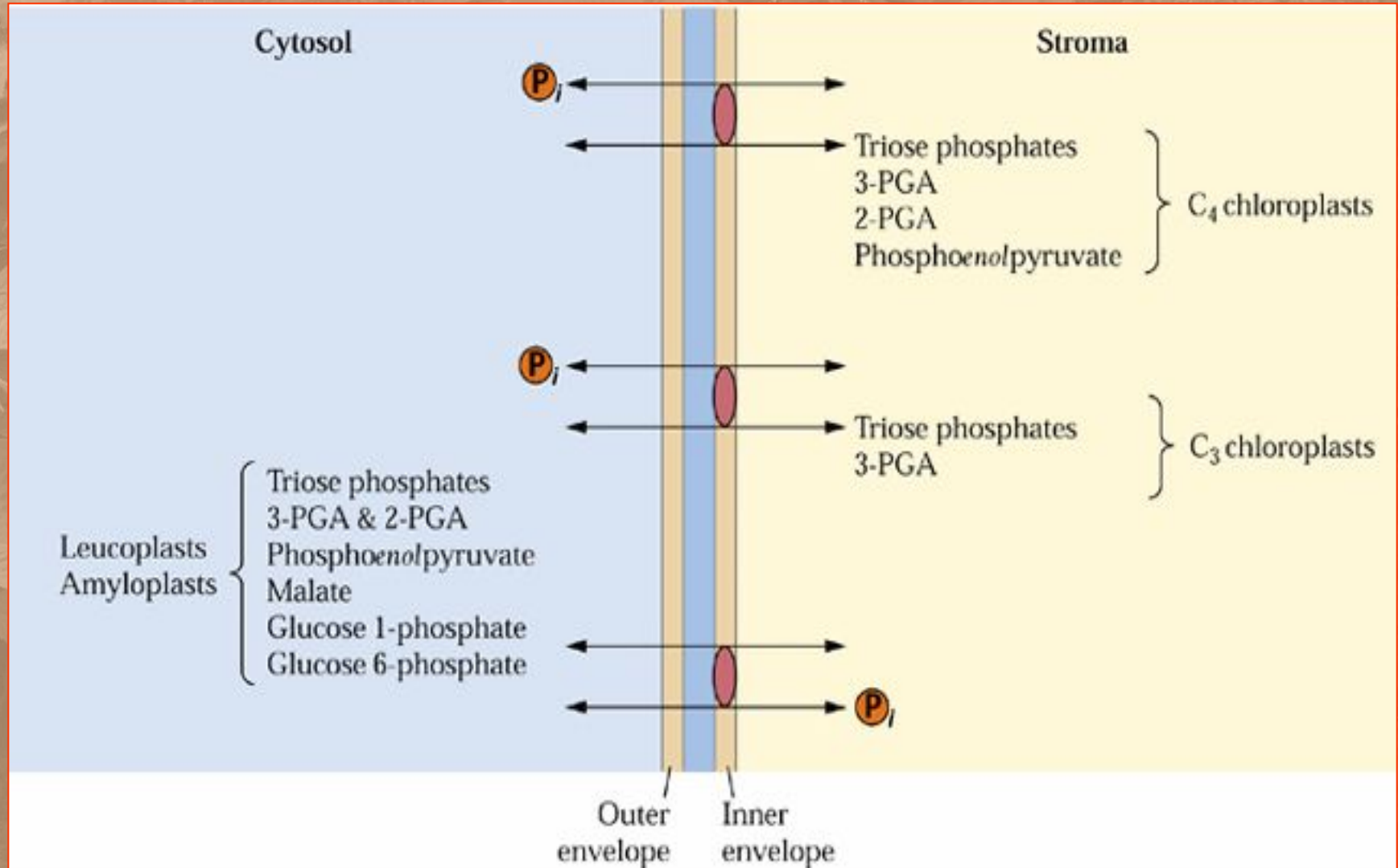
Восстановительный пентозо-фосфатный цикл (ВЩ)



Транспорт интермедиатов через хлоропластную мембрану

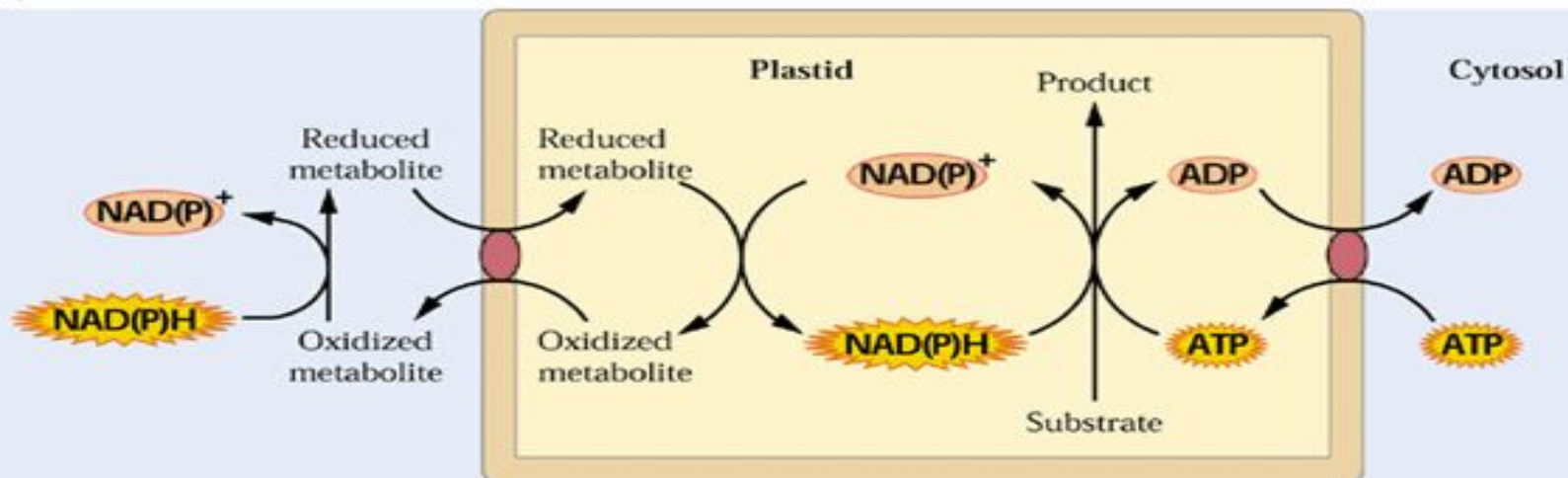


Транспорт интермедиатов через хлоропластную мембрану

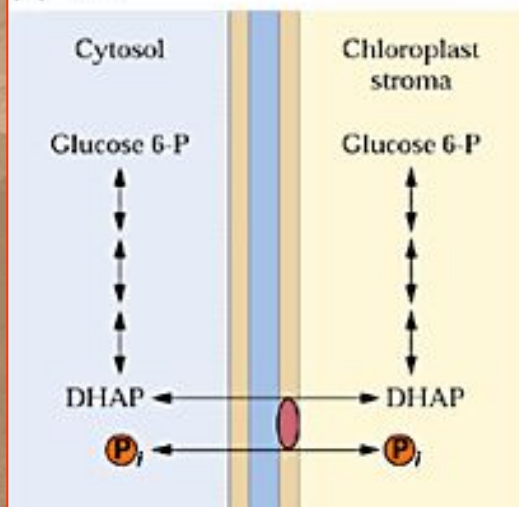


Челночные механизмы выноса из хлоропластов НАДФН и АТФ.

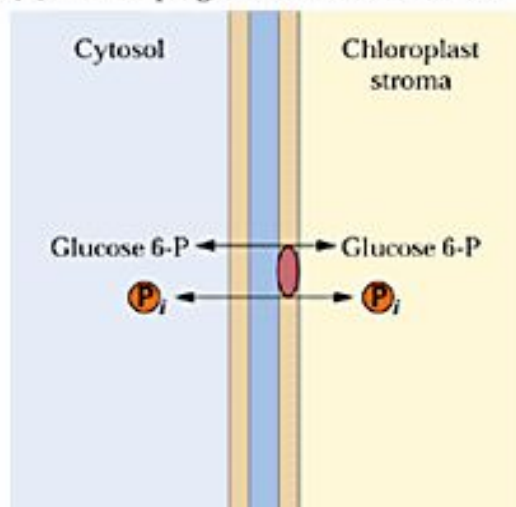
(B)



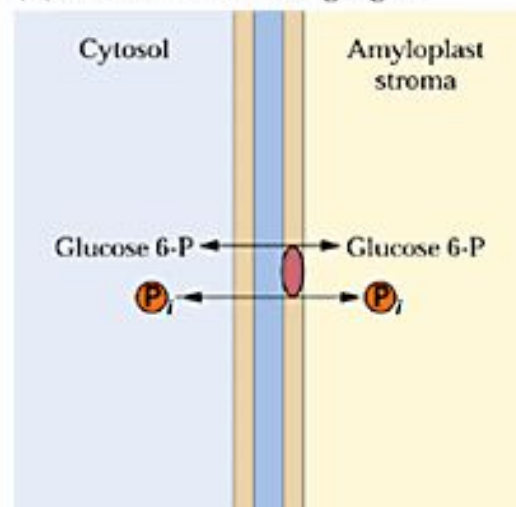
(A) Leaf



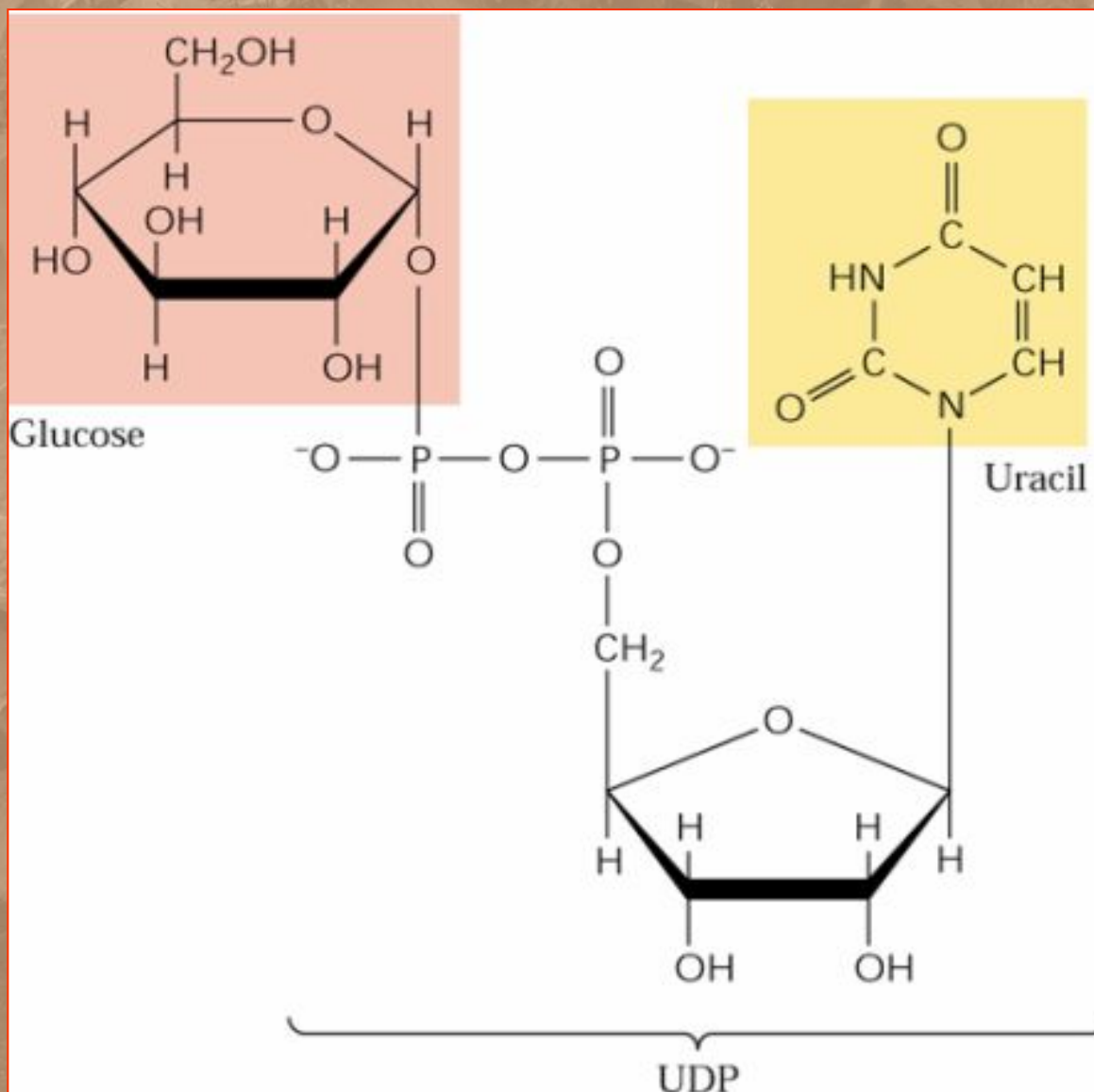
(B) Developing fruit or sucrose-fed leaf



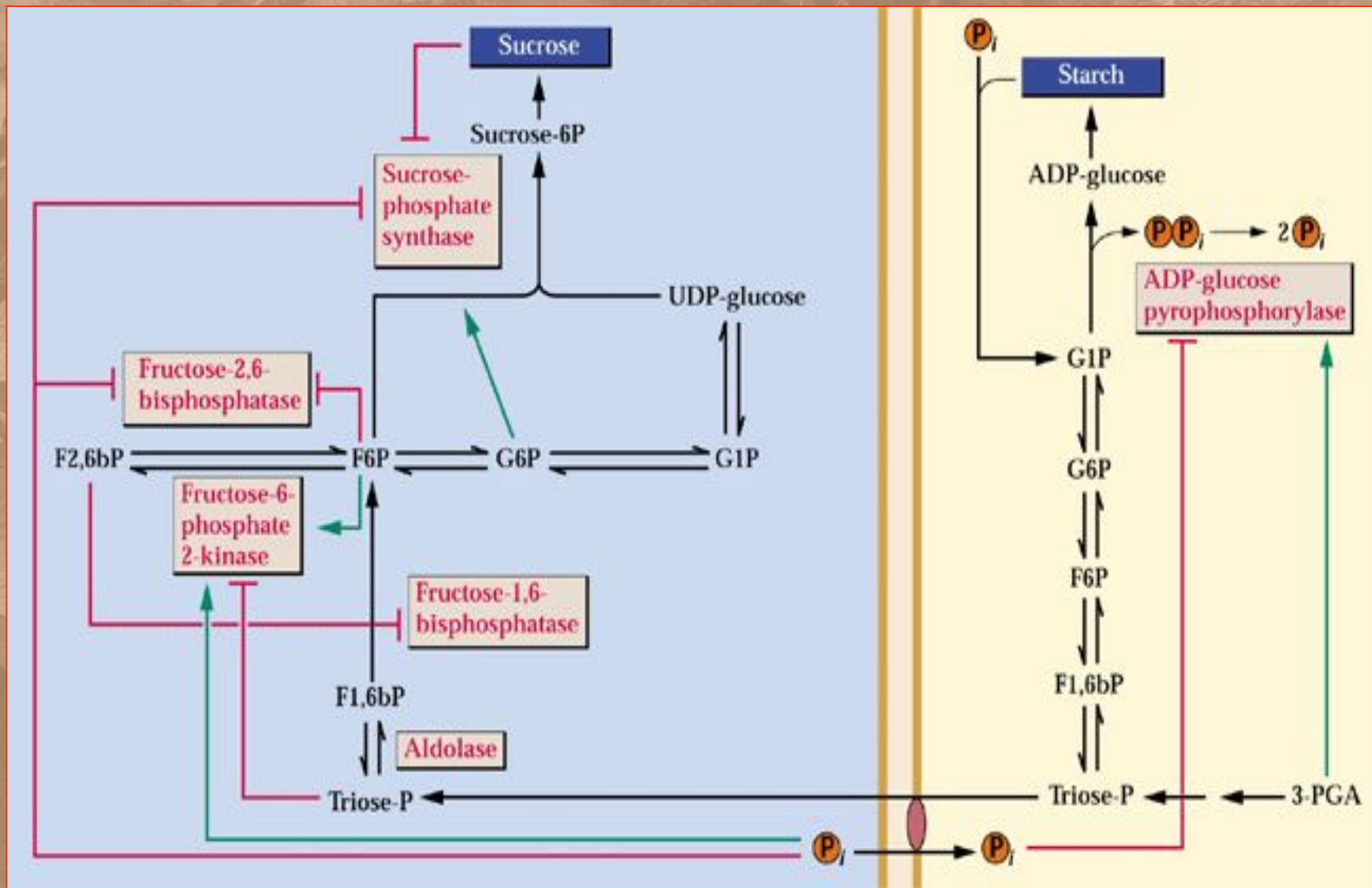
(C) Seed or starch-storing organ



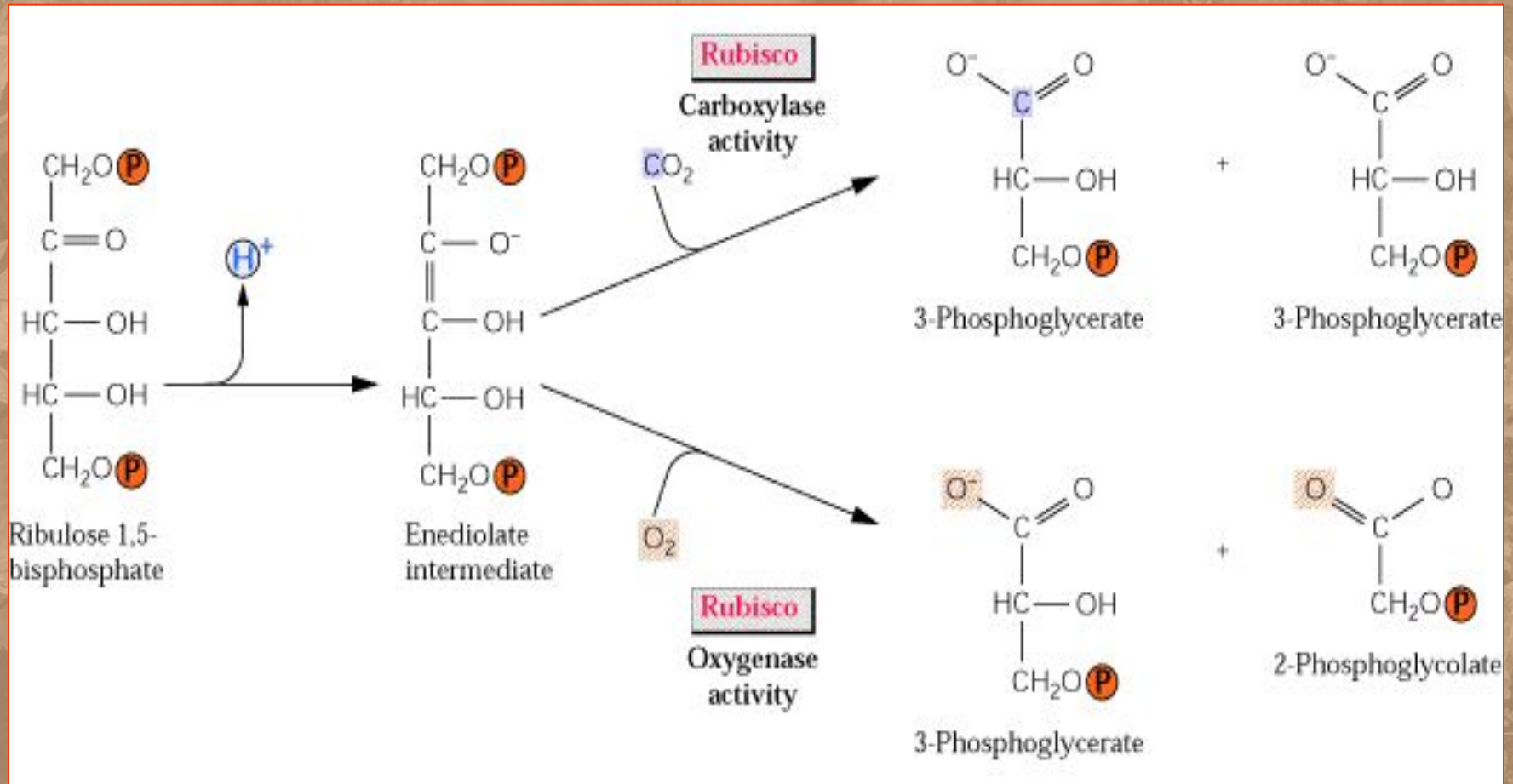
УДФ- и АДФ-гексозы – активированные формы сахаров



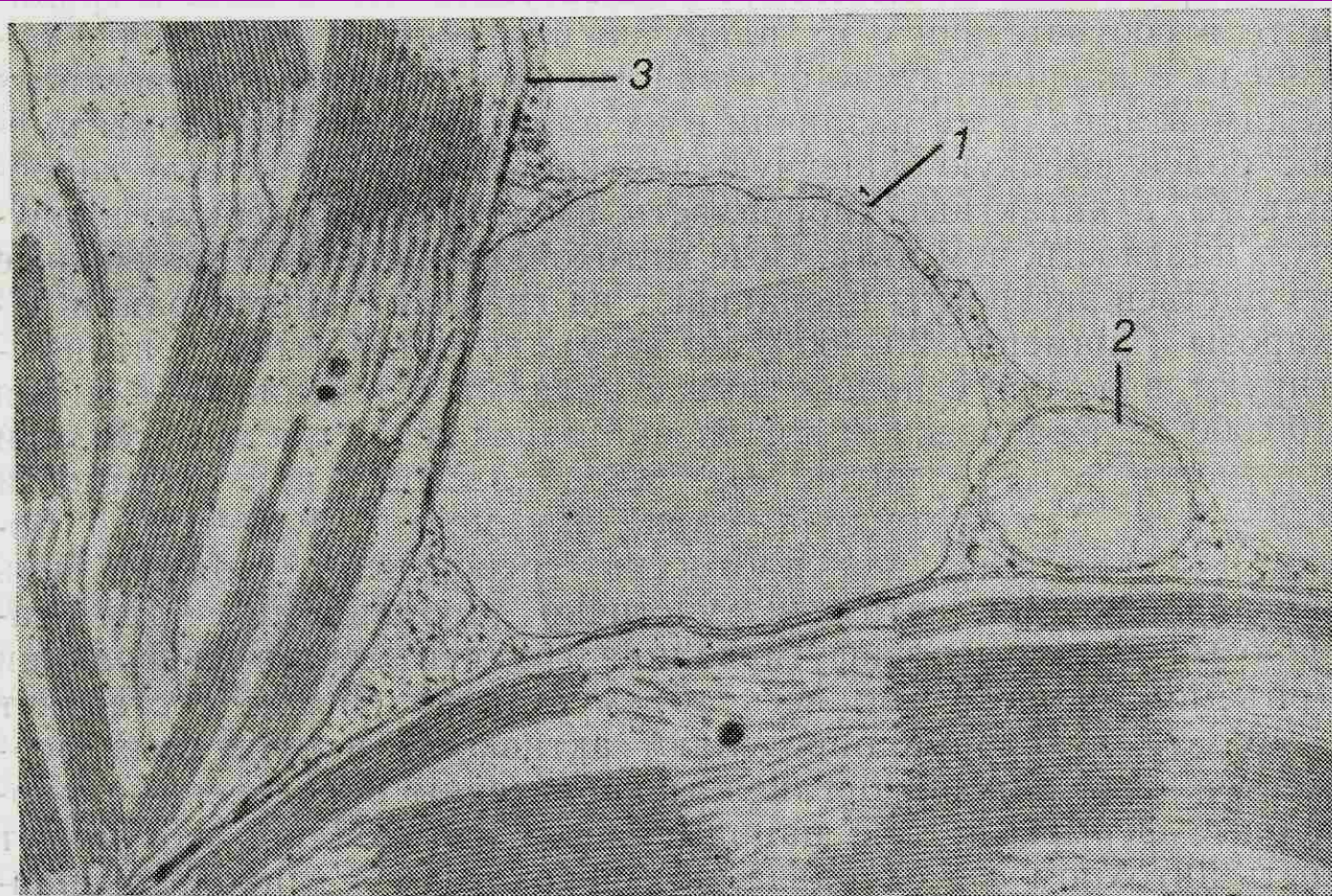
Образование крахмала в пластидах и сахарозы в цитозоле.



Итак, Rubisco катализирует две взаимоисключающие реакции

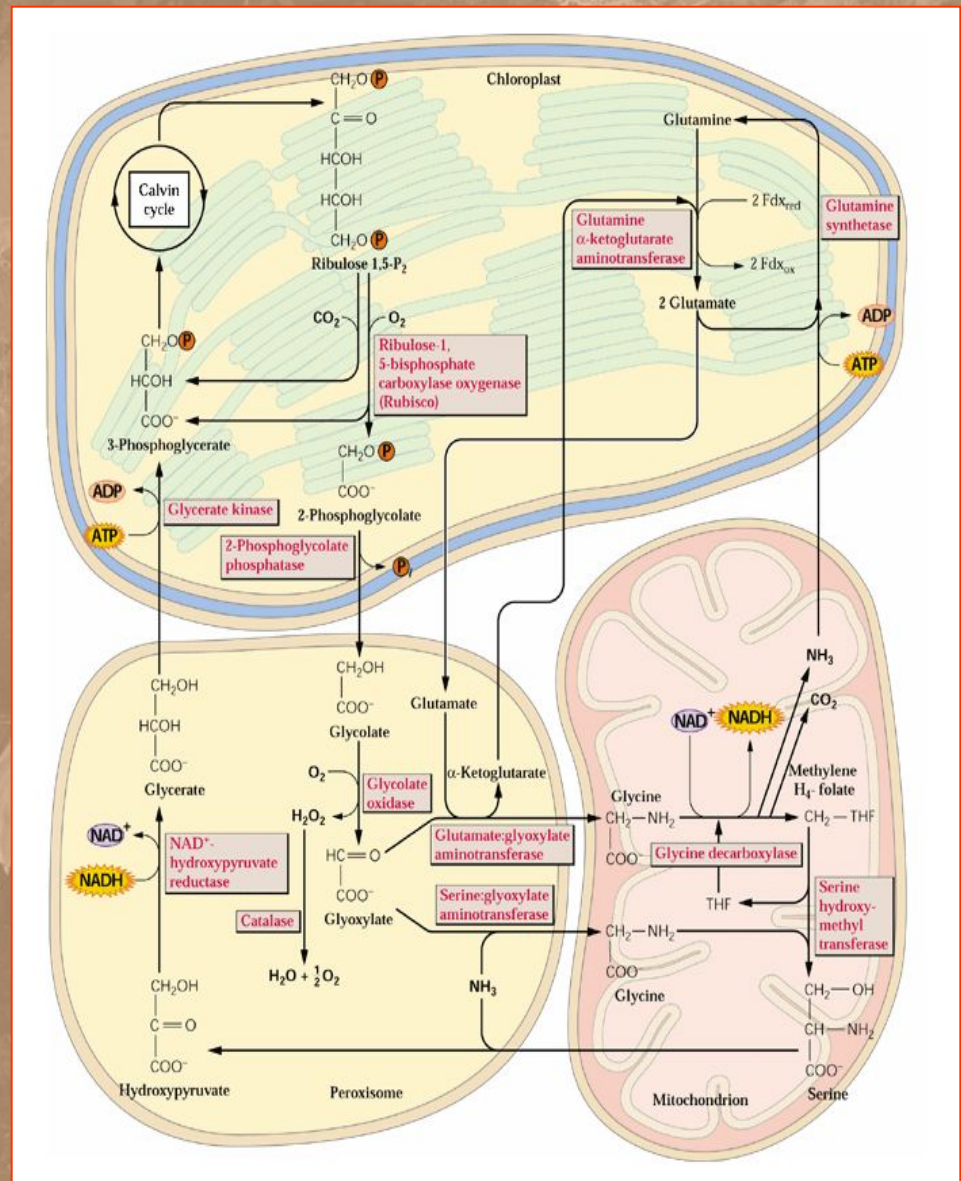
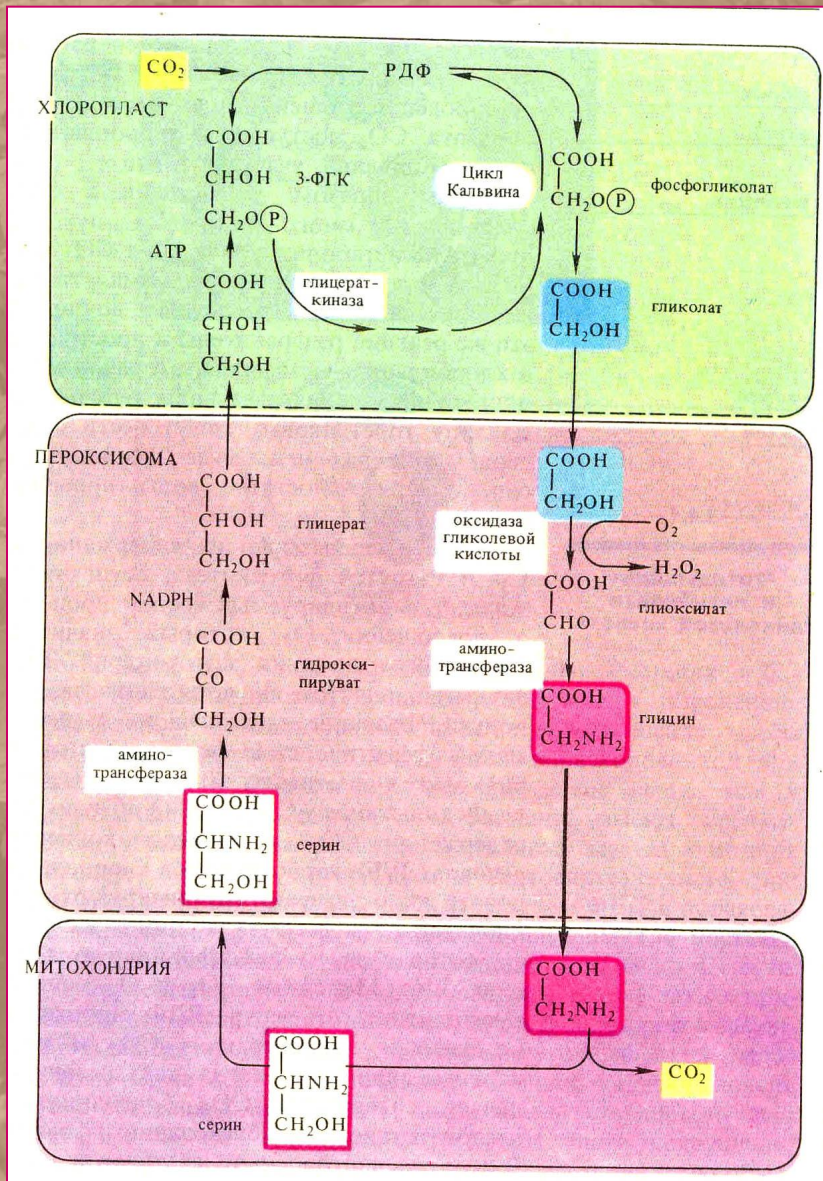


Фотодыхание – процесс, происходящий в трех органеллах

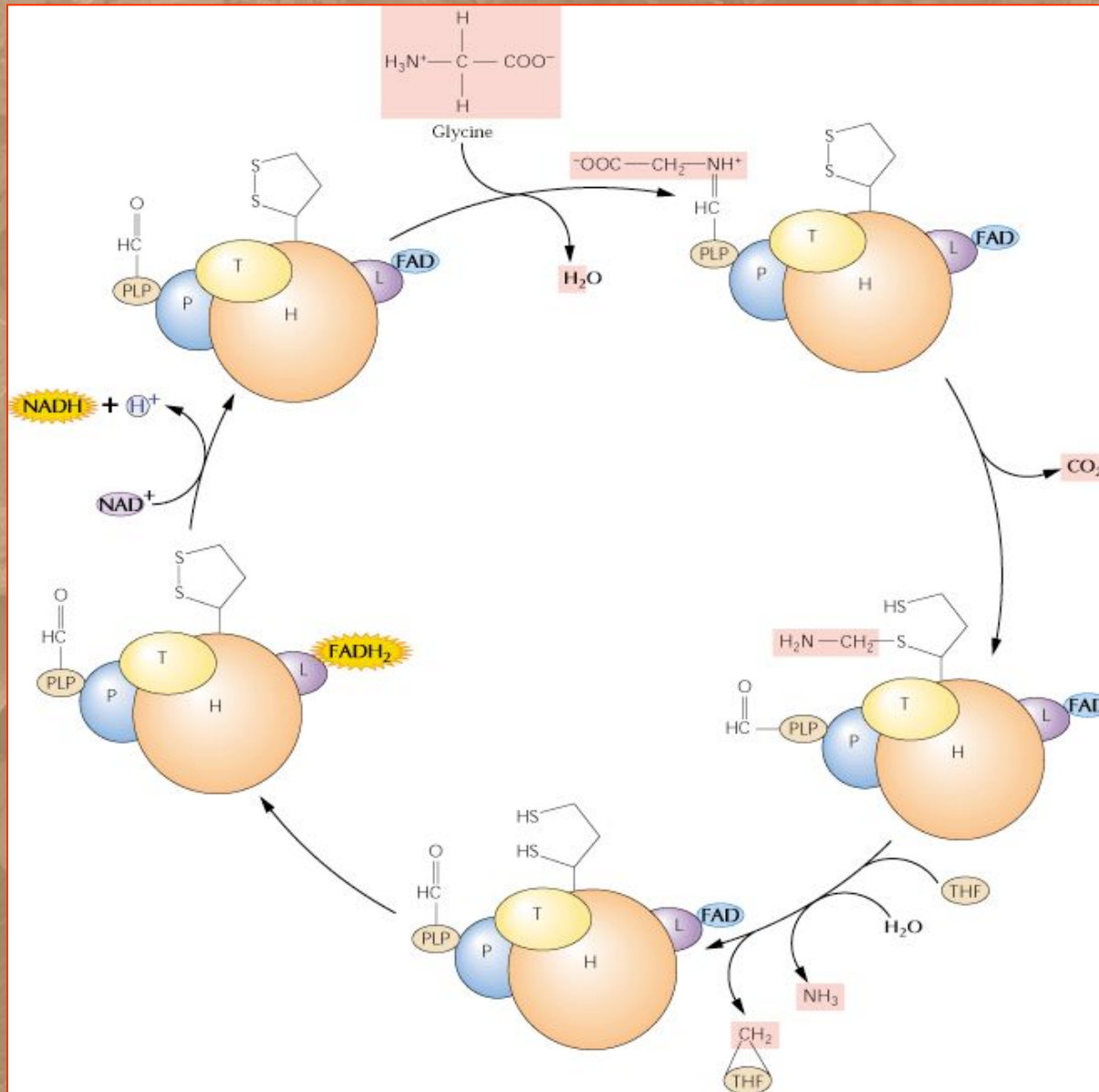


Клетка мезофилла молодого листа табака *Nicotiana tabacum* (x 48 000)
1 – пероксисома, 2 – митохондрия, 3 – хлоропласт

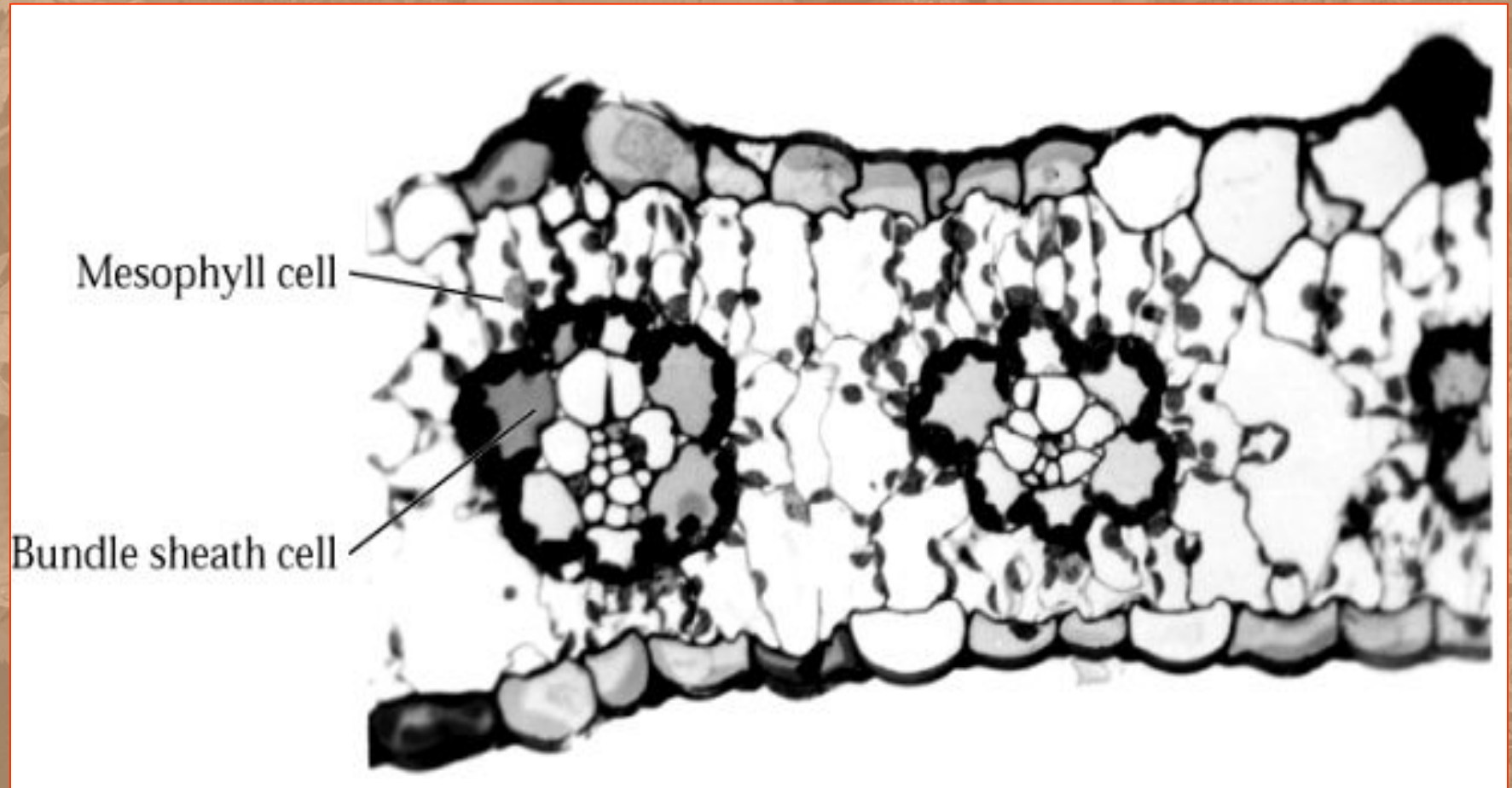
Общая схема фотодыхания



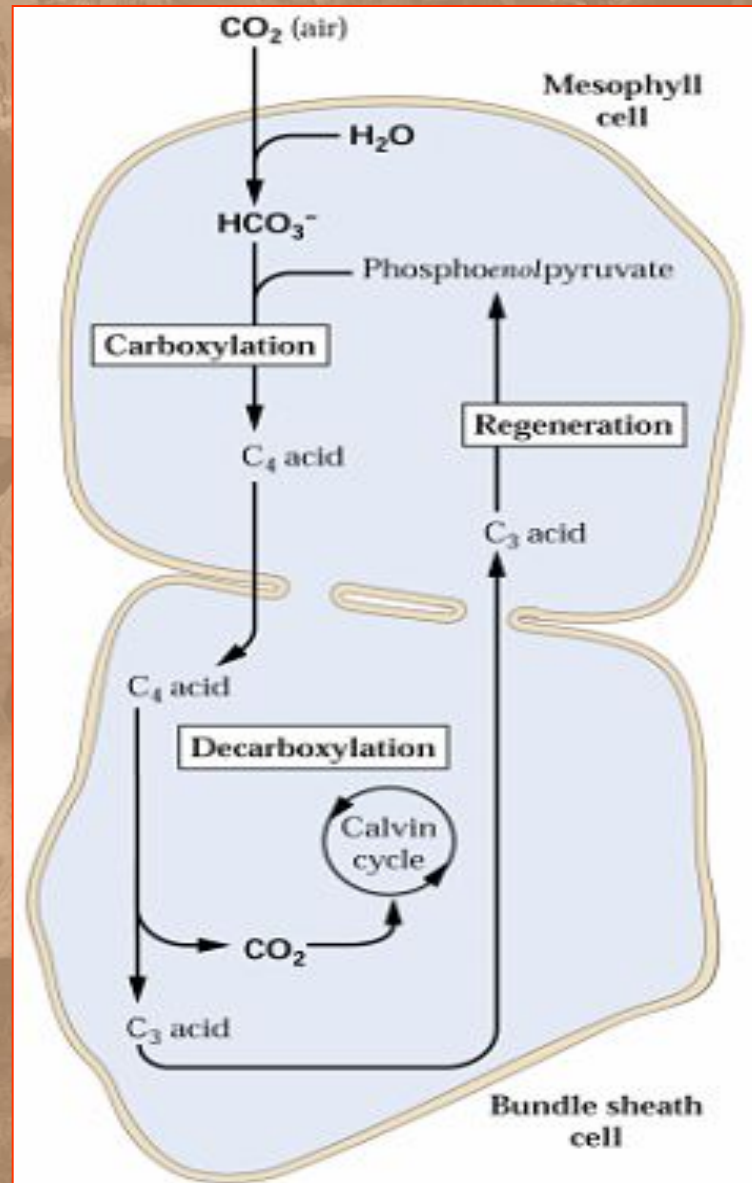
Глицин-декарбоксилазный комплекс в митохондриях



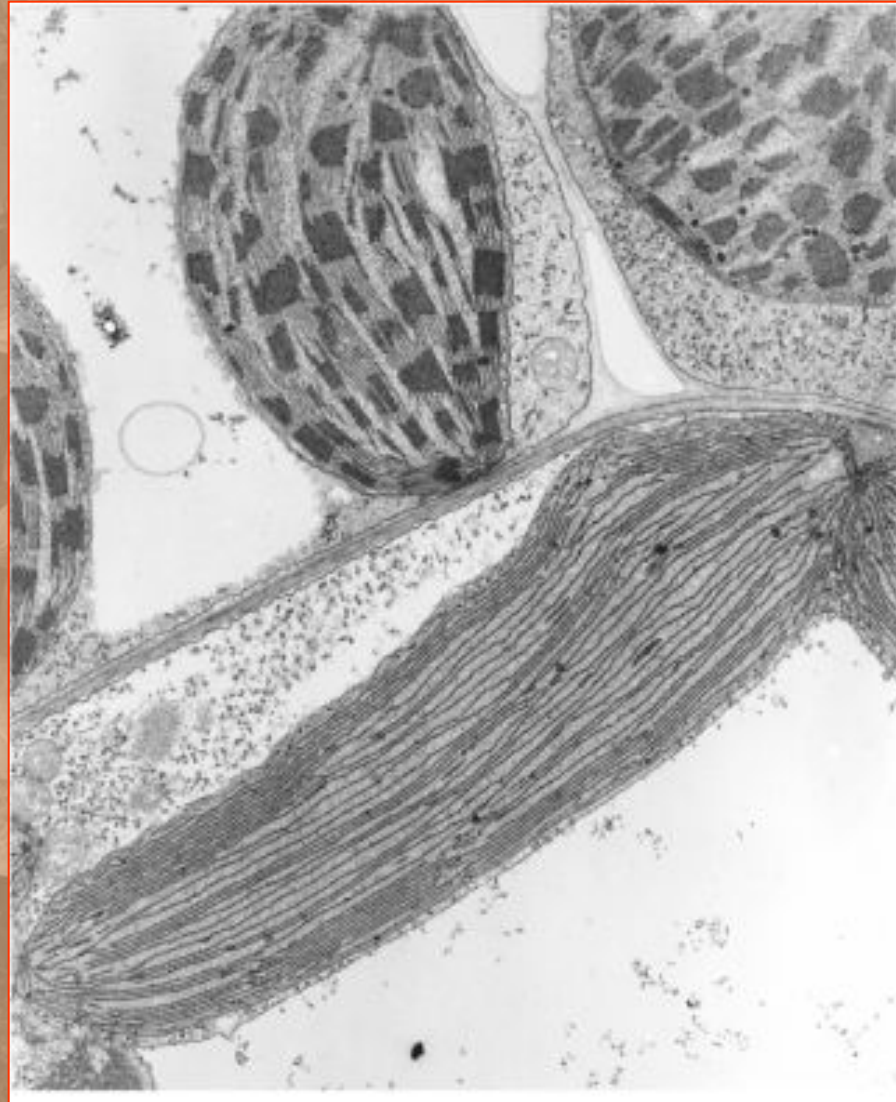
C_4 -фотосинтез: Кранц-анатомия



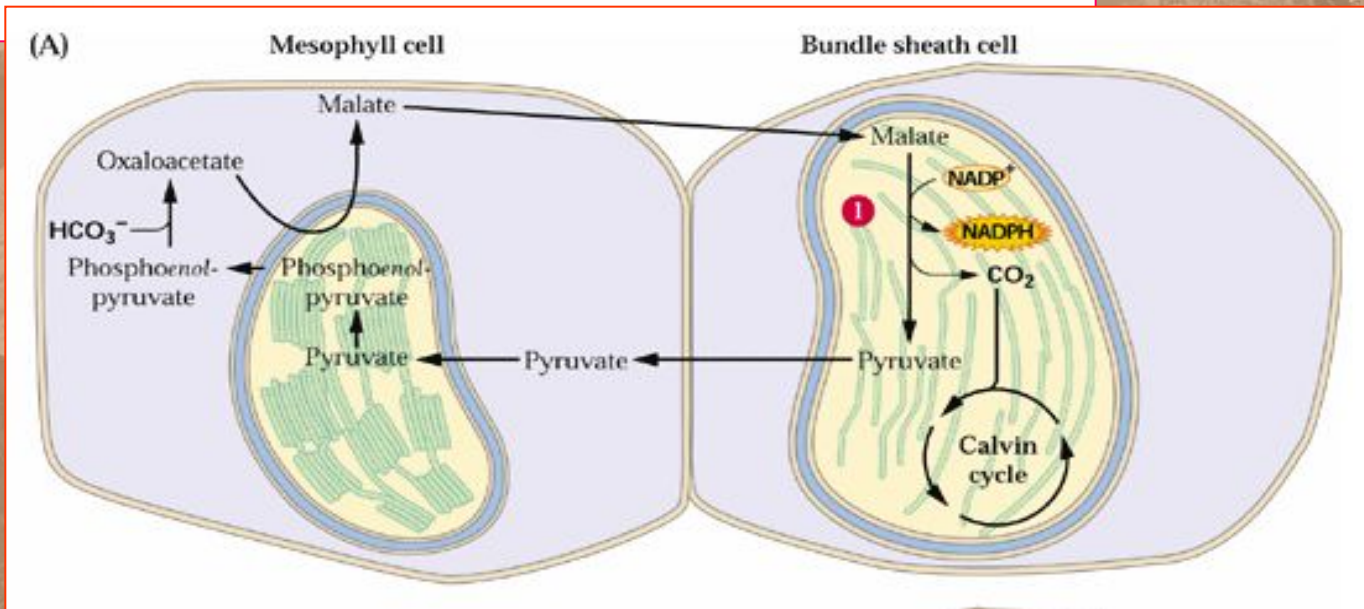
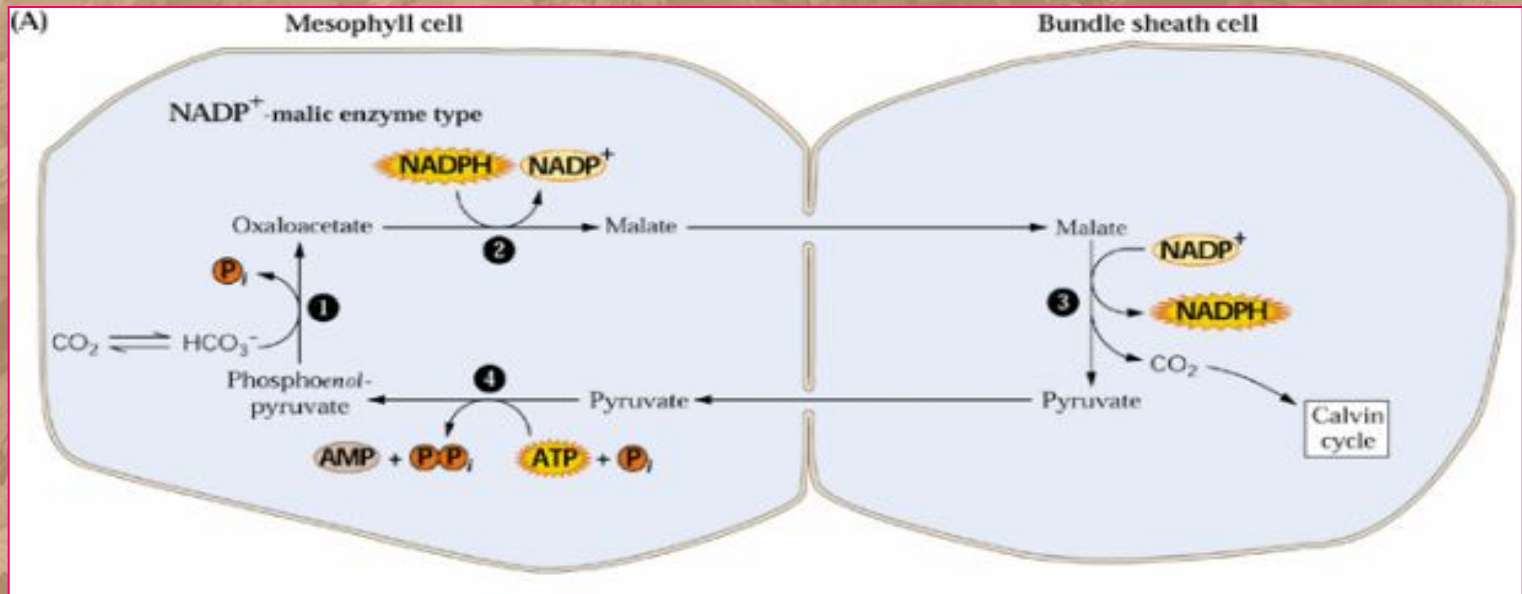
C_4 -фотосинтез: « CO_2 -насос», принципиальная схема



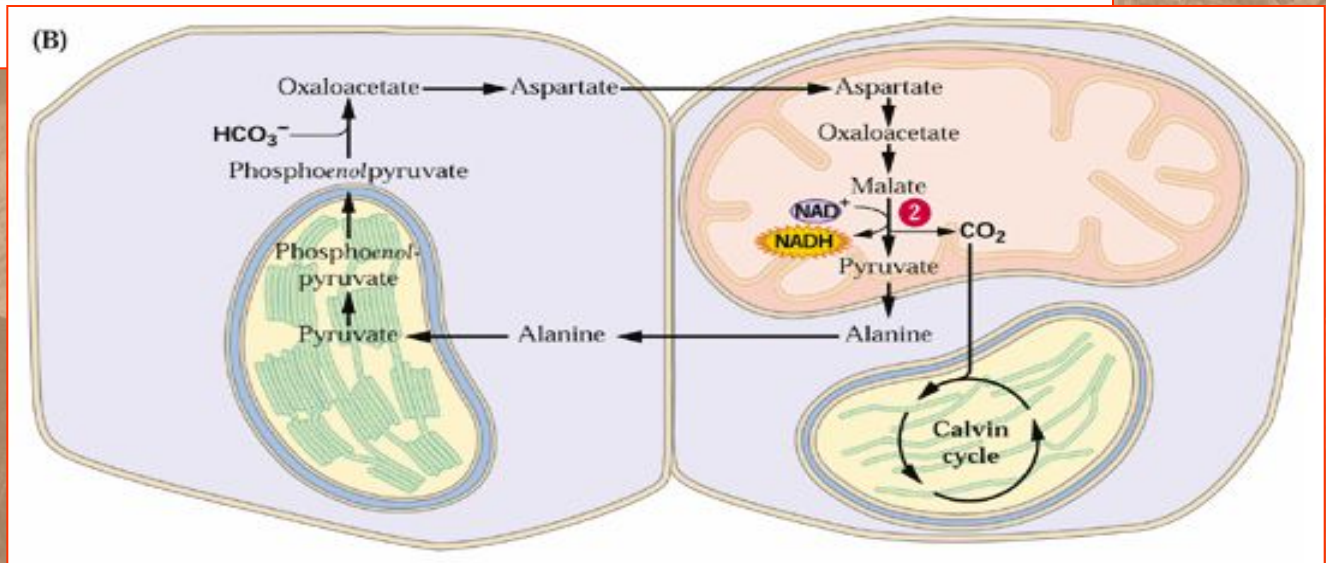
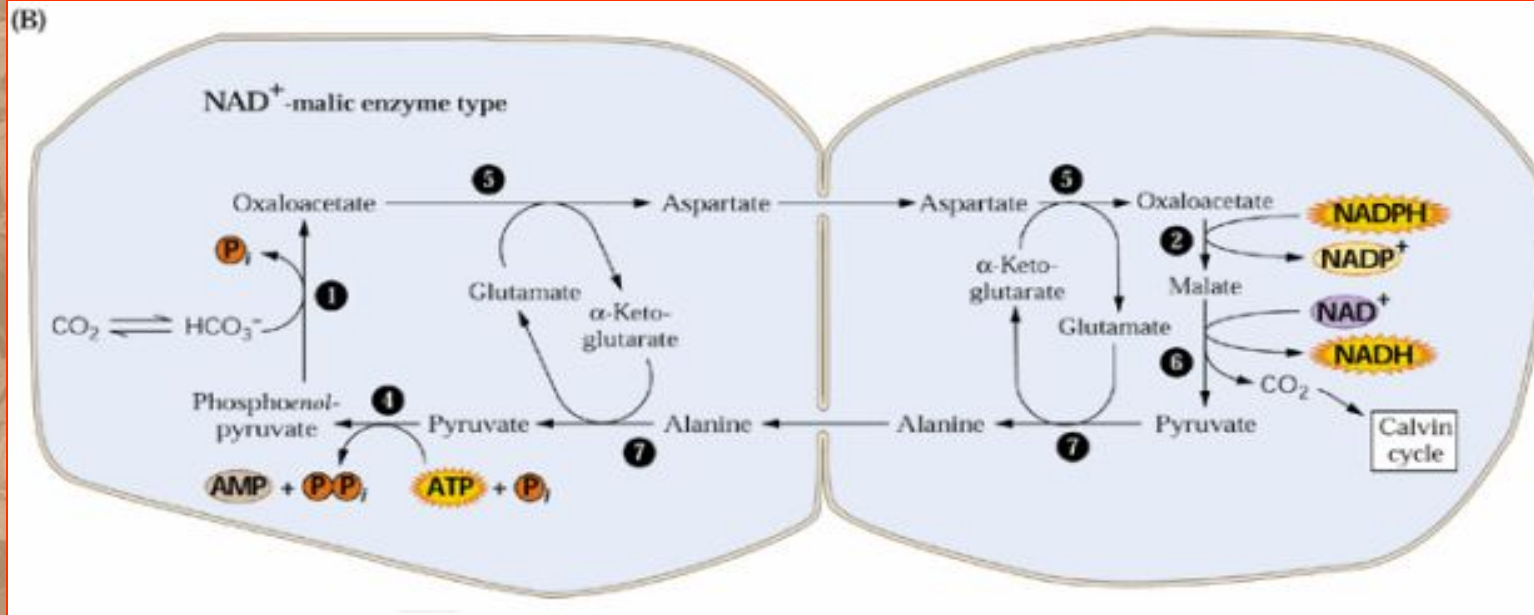
**Электронная фотография хлоропластов мезофилла (вверху) и
клеток обкладки (внизу) C_4 растения (сорго)**



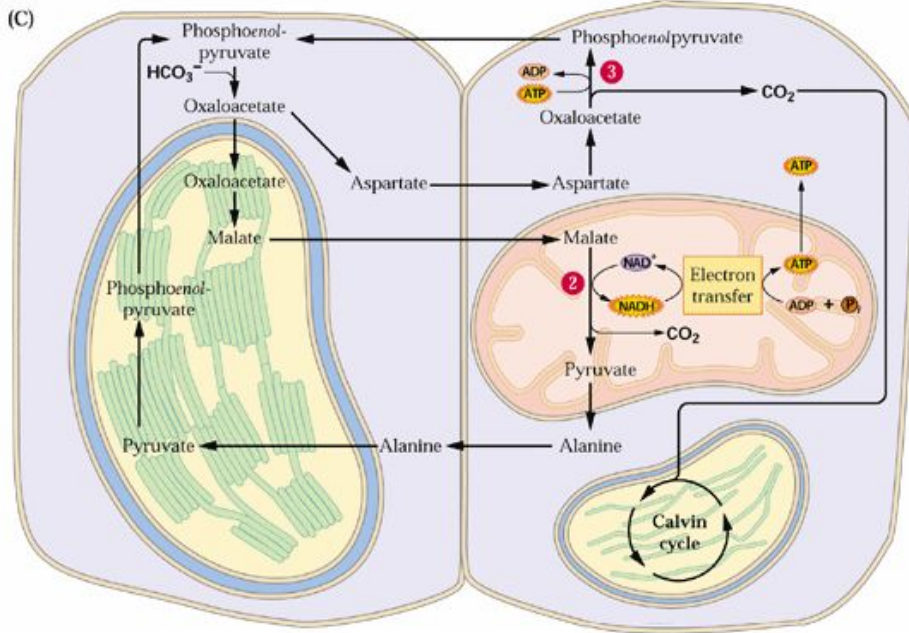
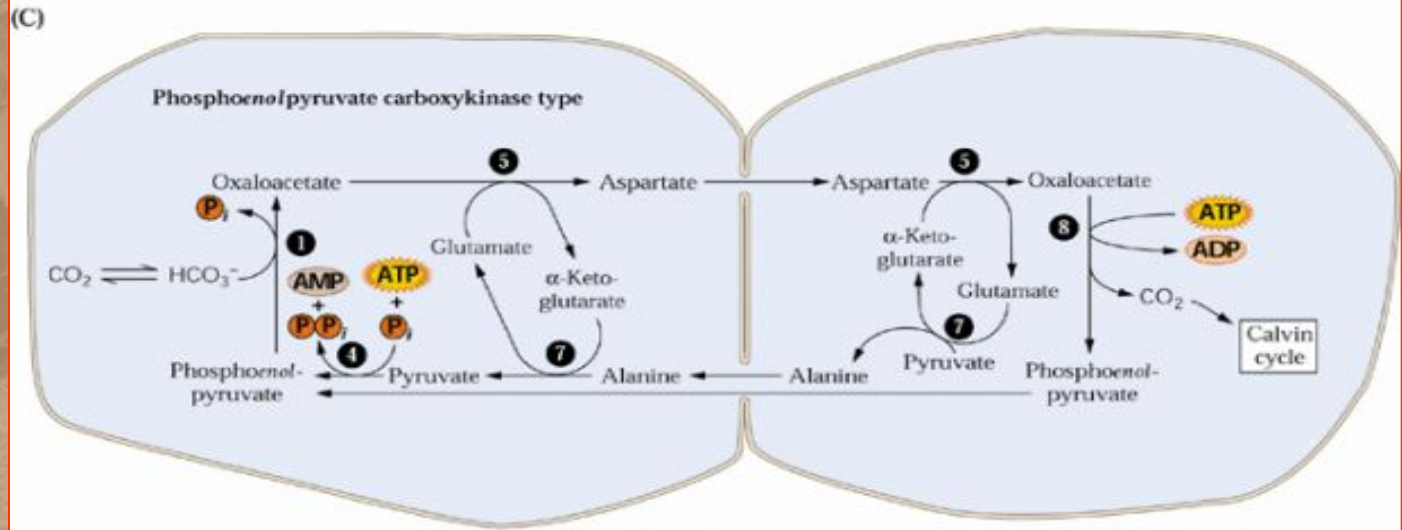
Три варианта C_4 – растений: НАДФ-МДГ (малик-энзим)



Три варианта C₄ – растений: НАД-МДГ (малик-энзим)

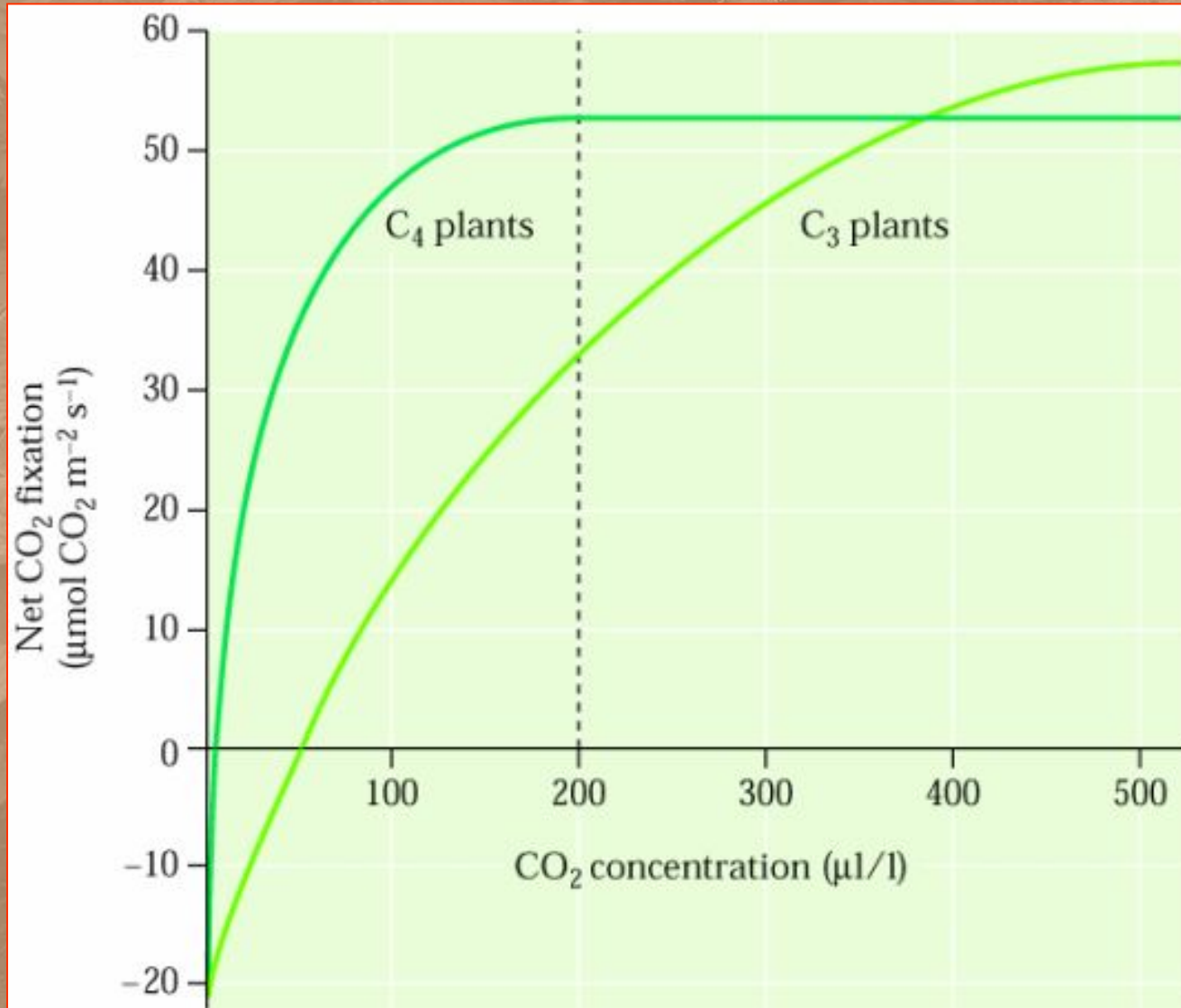


Три варианта C₄ – растений: ФЕП-КК (карбоксикиназный)

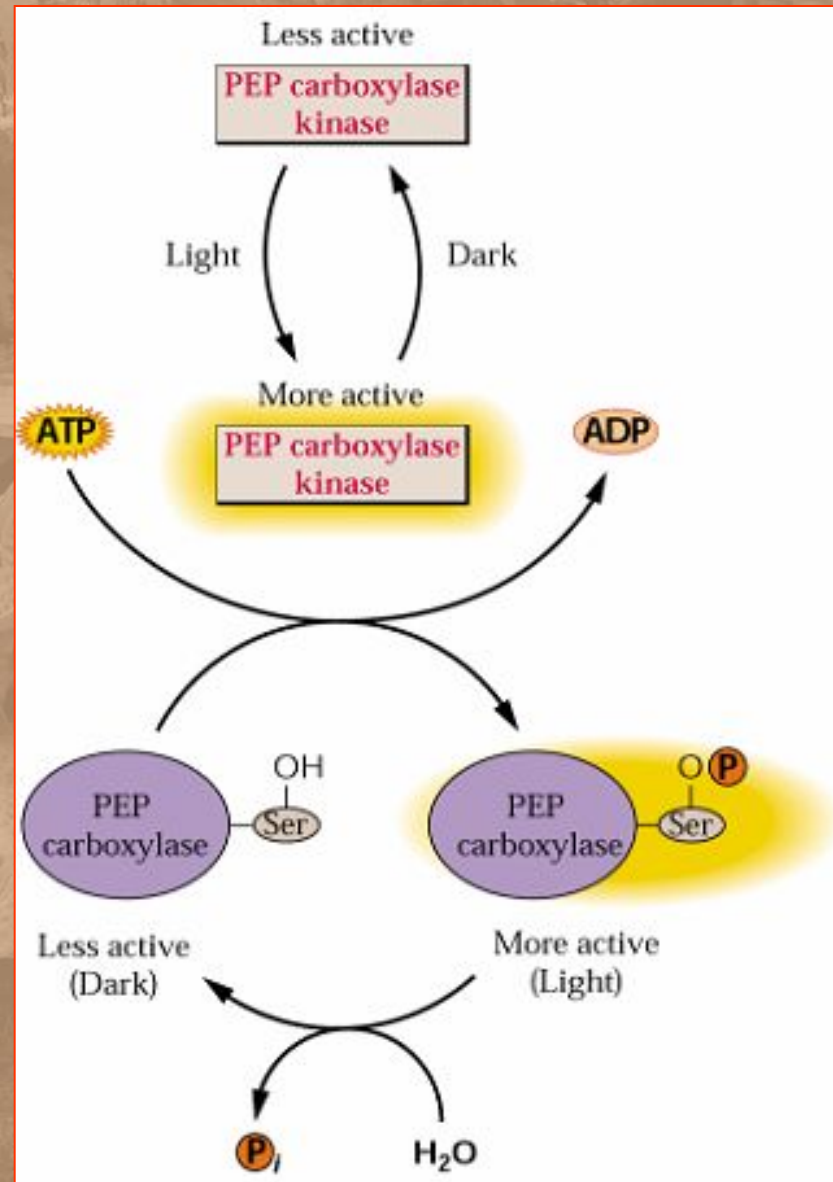


- | | |
|--|-----------------------------------|
| 1. PEP carboxylase | 5. Aspartate aminotransferase |
| 2. NADP ⁺ -malate dehydrogenase | 6. NAD ⁺ -malic enzyme |
| 3. NADP ⁺ -malic enzyme | 7. Alanine aminotransferase |
| 4. Pyruvate-orthophosphate dikinase (PPDK) | 8. PEP carboxykinase |

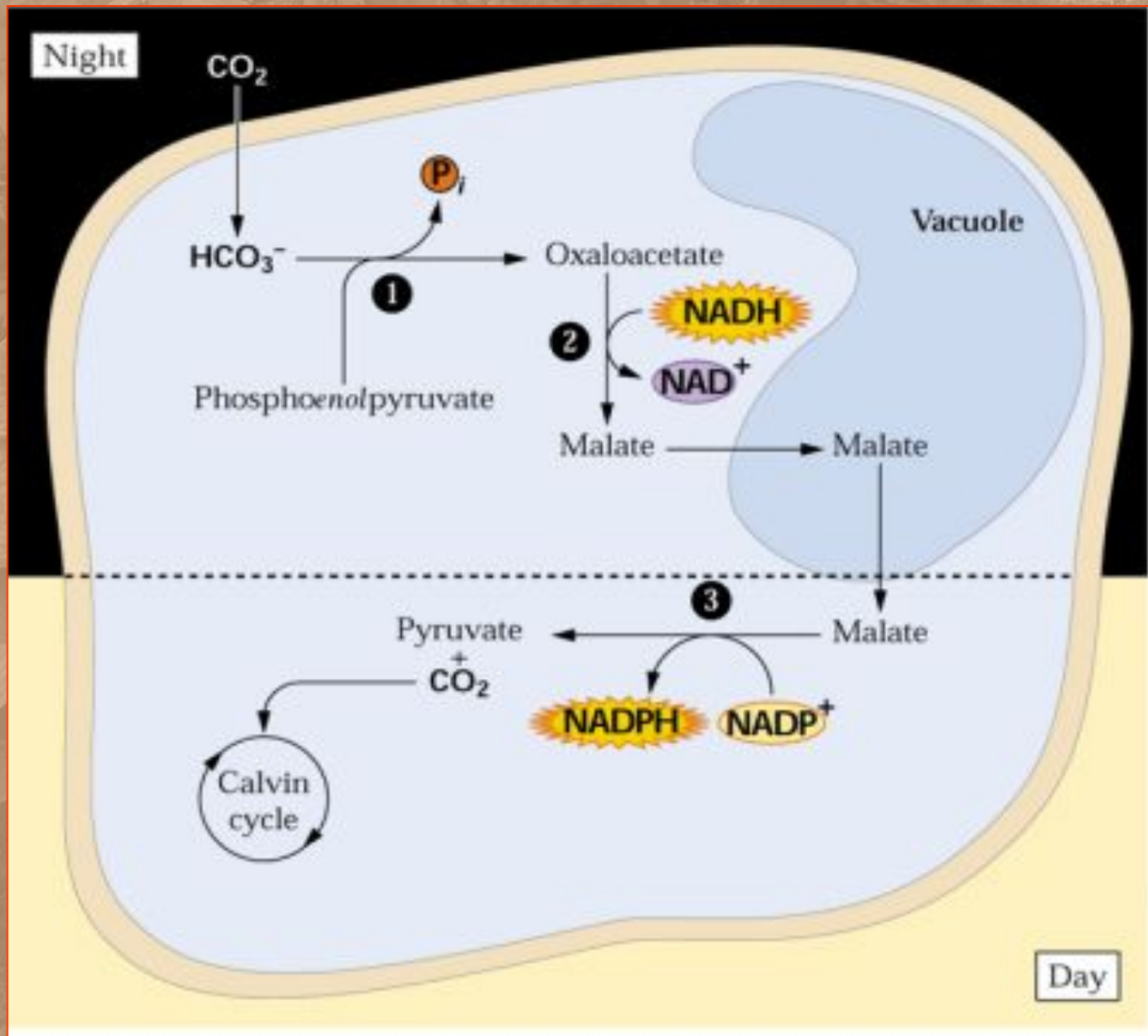
Фиксация CO_2 у C_3 и C_4 растений в зависимости от ее концентрации



Регулирование активности ФЕП-карбоксилазы



CAM-метаболизм: временное разделение карбоксилирования и фиксации CO_2



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

