Фотосинтез (продолжение)

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

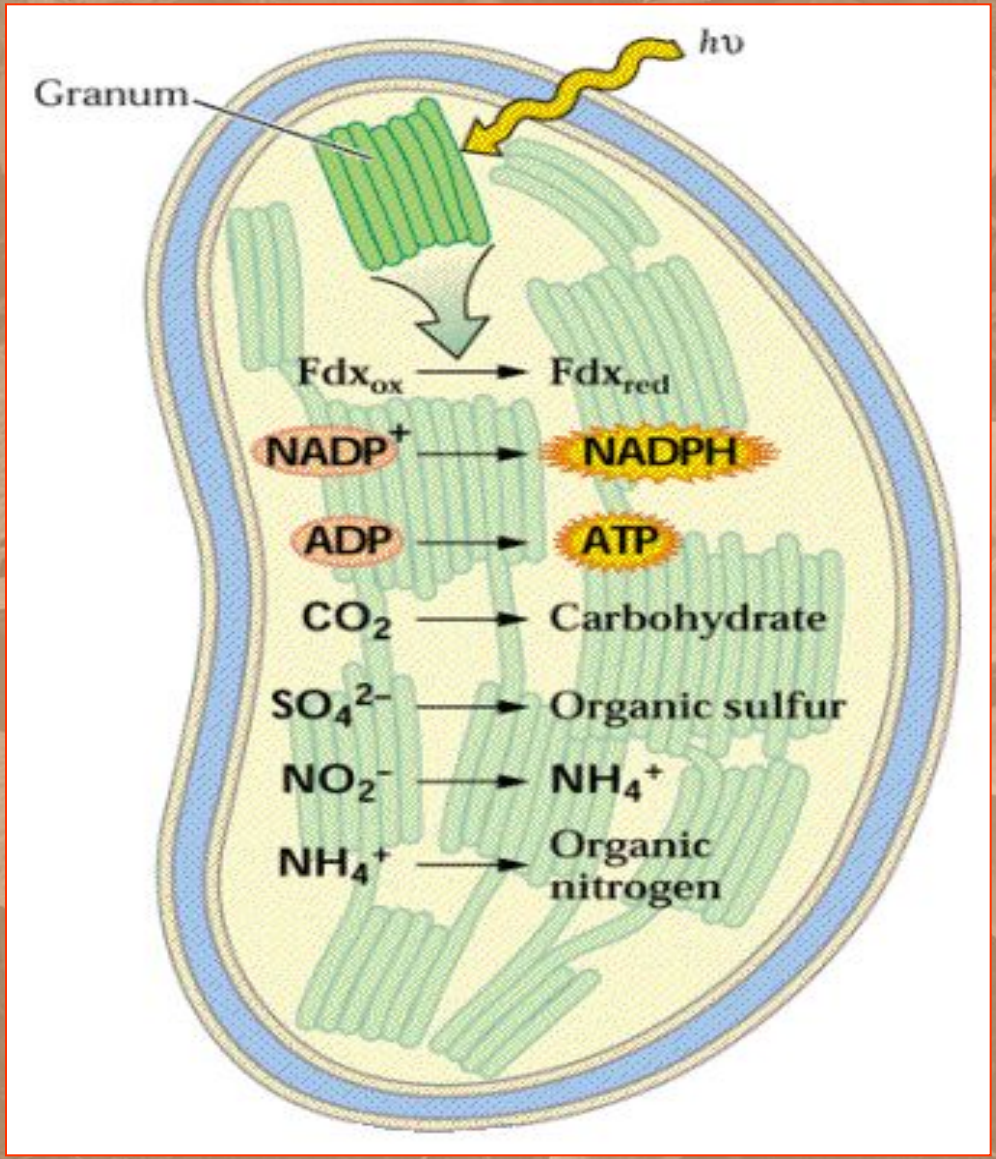
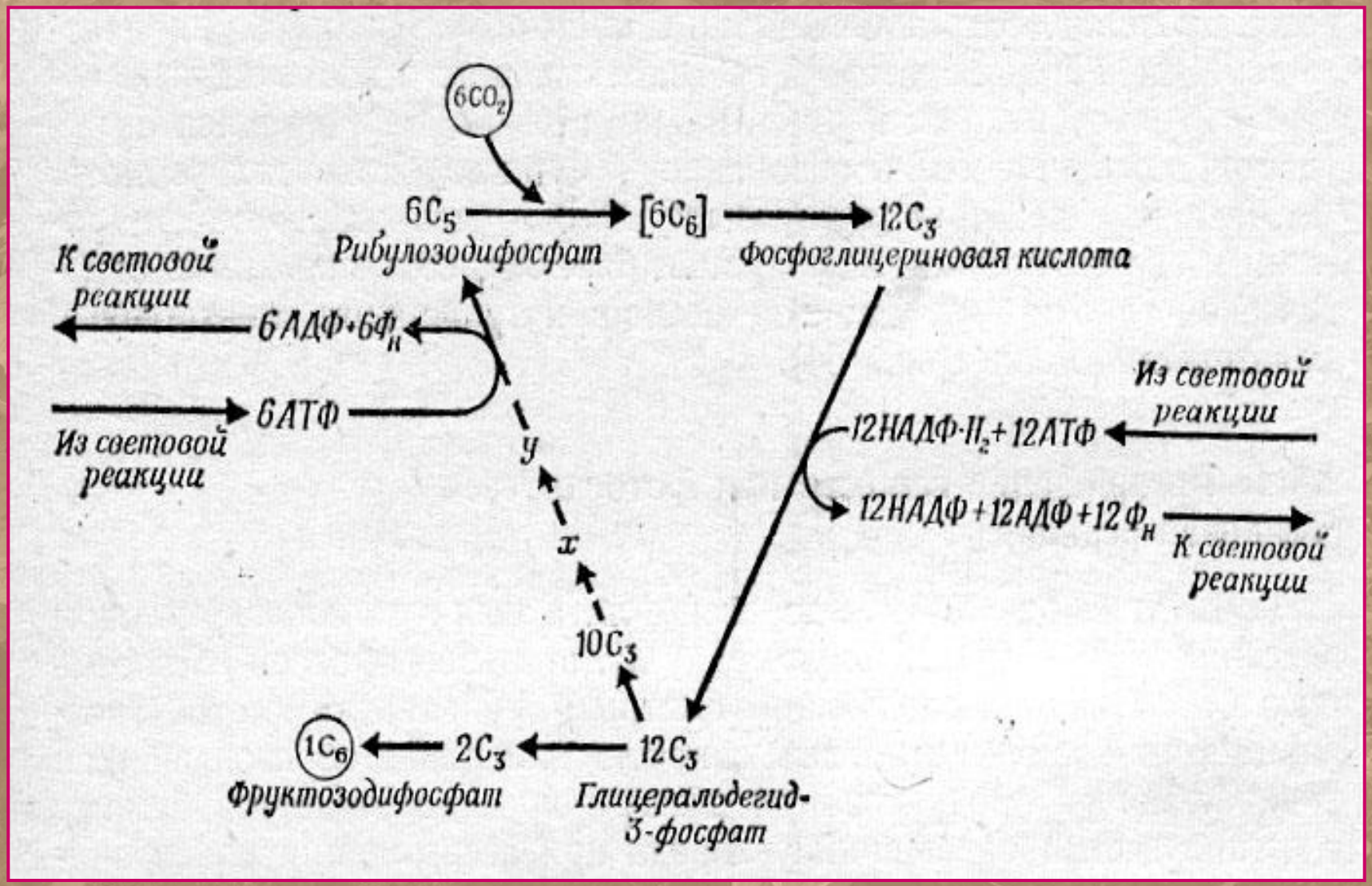


Схема восстановительного пентозо-фосфатного цикла



Цикл Кальвина: энергетика

1 НАДФН = 1.15в х 2 = 230 кдж (1в ~ 100 кдж., в НАДФН - 2 e^-)

1 АТФ = 30 кдж

Затраты: 12 НАДФН = 2760 кдж

18 АТФ = 540 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

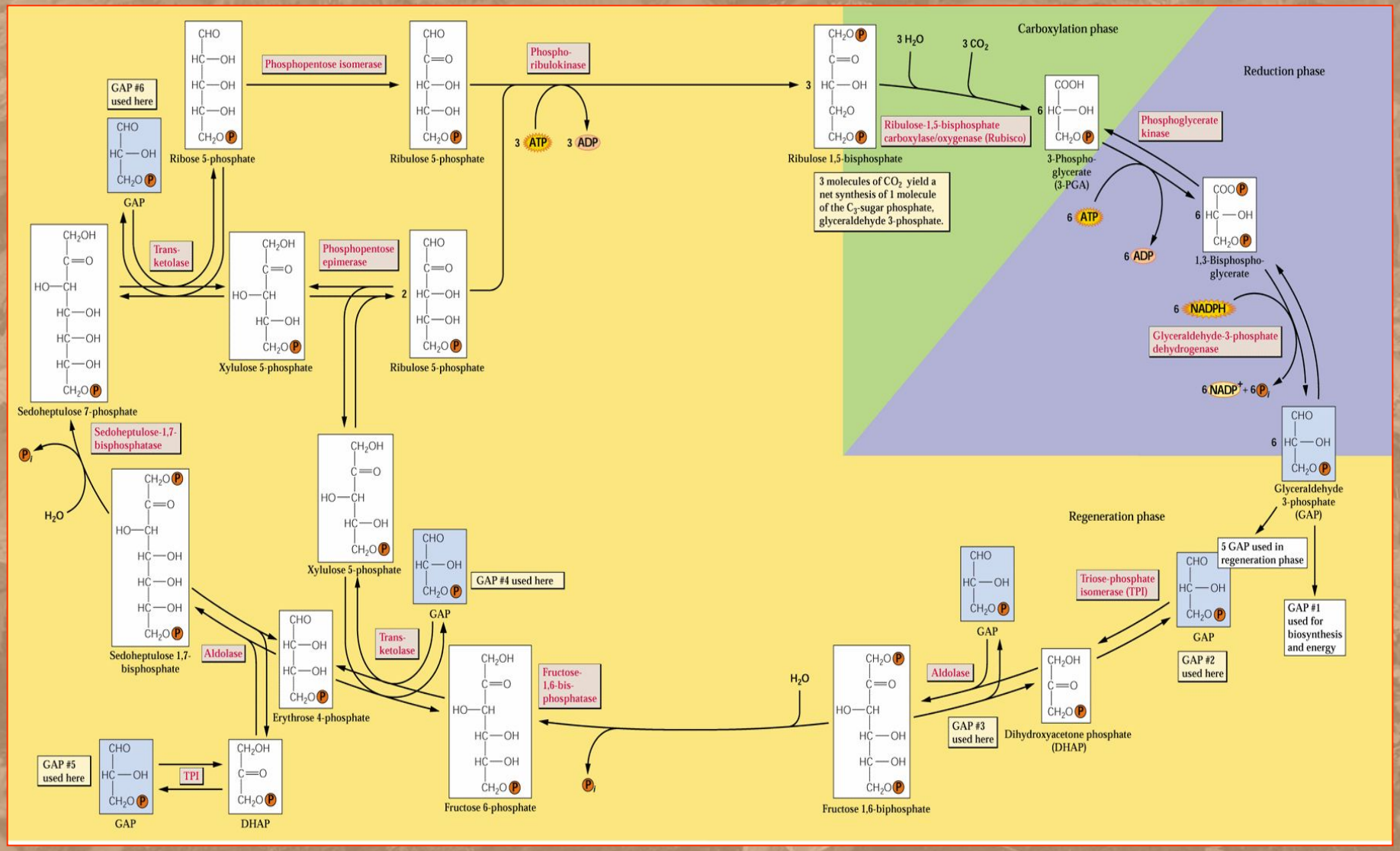
Общая эффективность фотосинтеза «от кванта»:

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

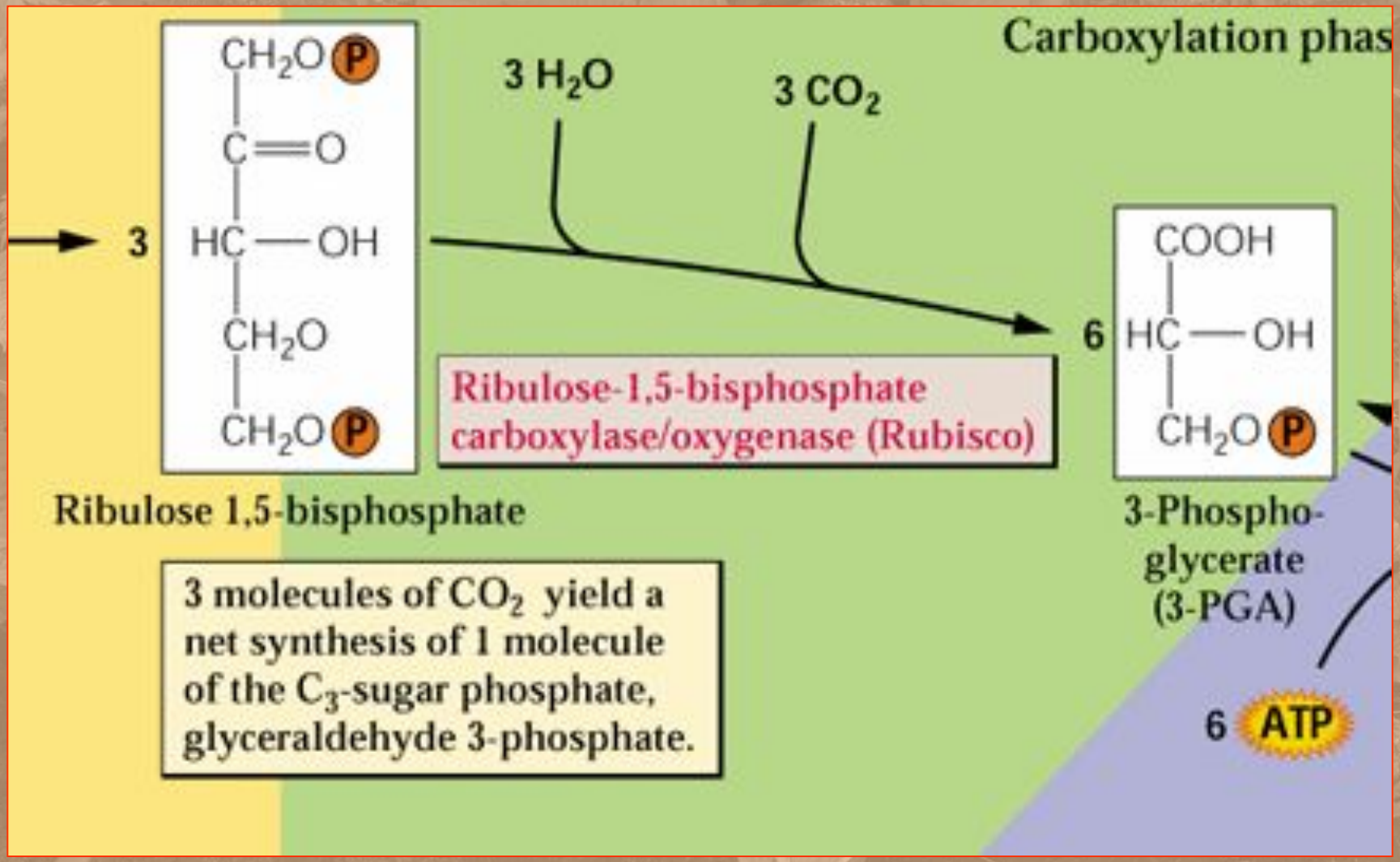
1 моль квантов 700нм = 1.77в = 176 кдж.

176 х 8 х 6 = 8450 кдж. Эффективность 33%. Очень неплохо.

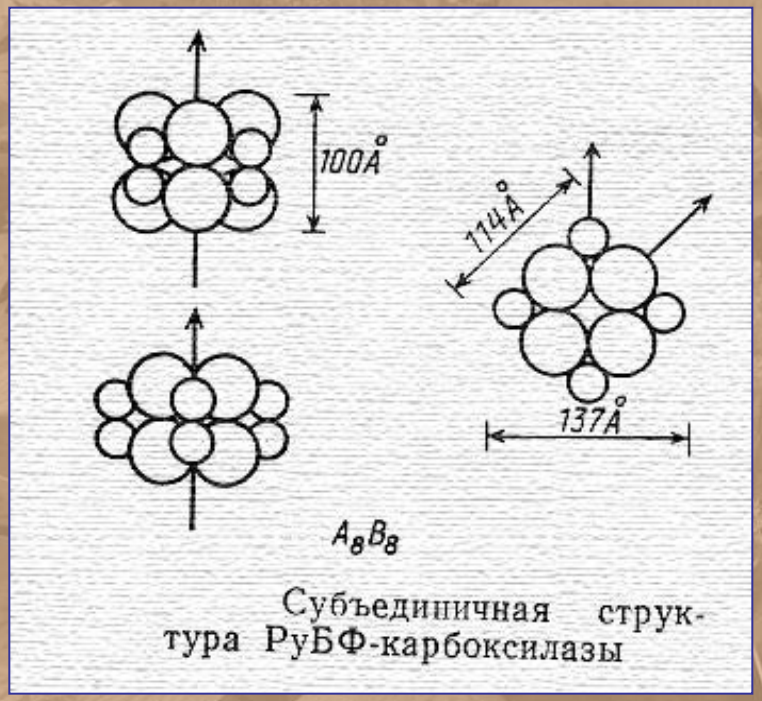
Восстановительный пентозо-фосфатный цикл (ВПЦ)



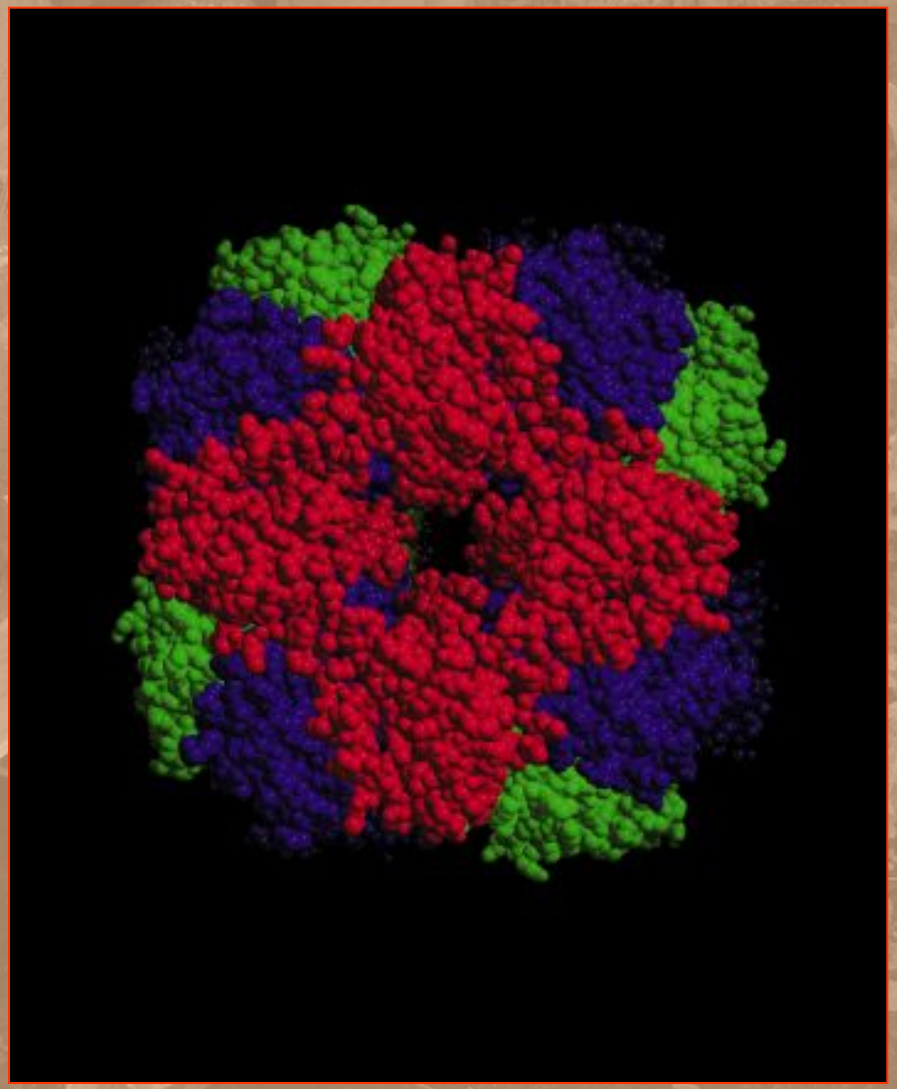
Фаза карбоксилирования ВПЦ



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

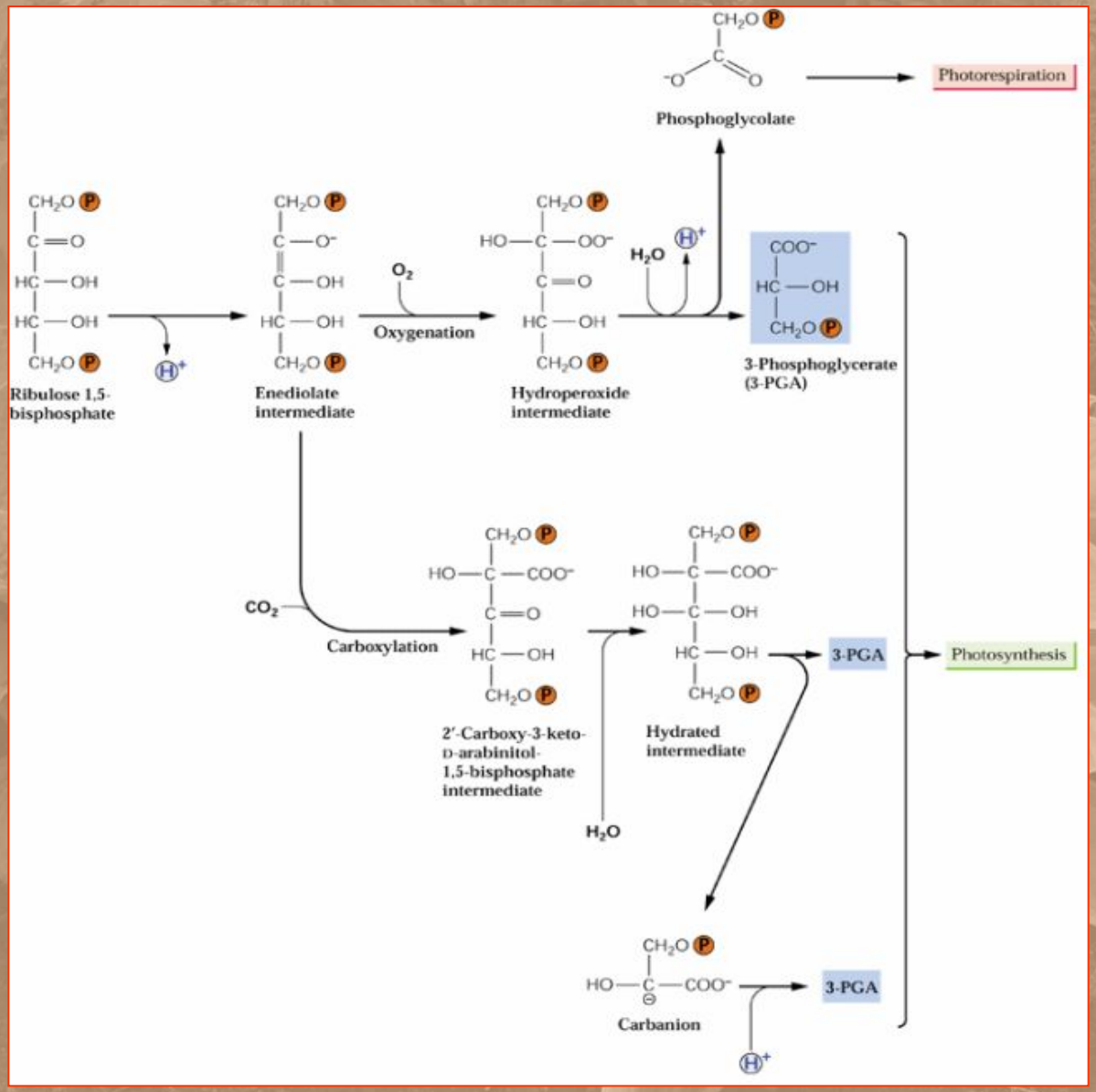


Субъединичная структура РуБФ-карбоксилазы

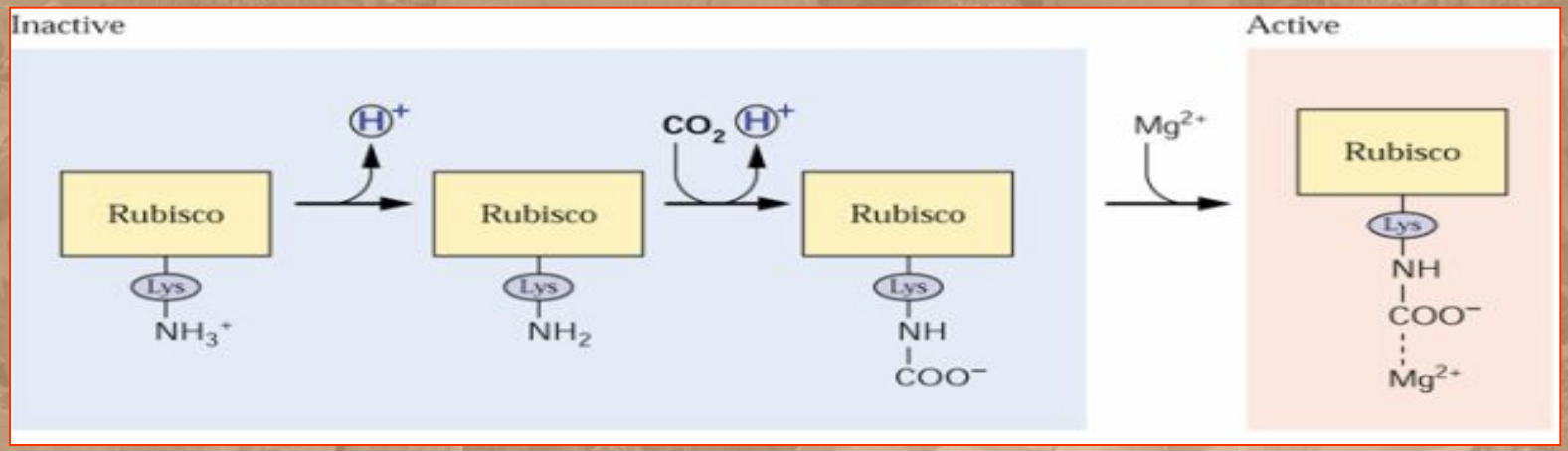


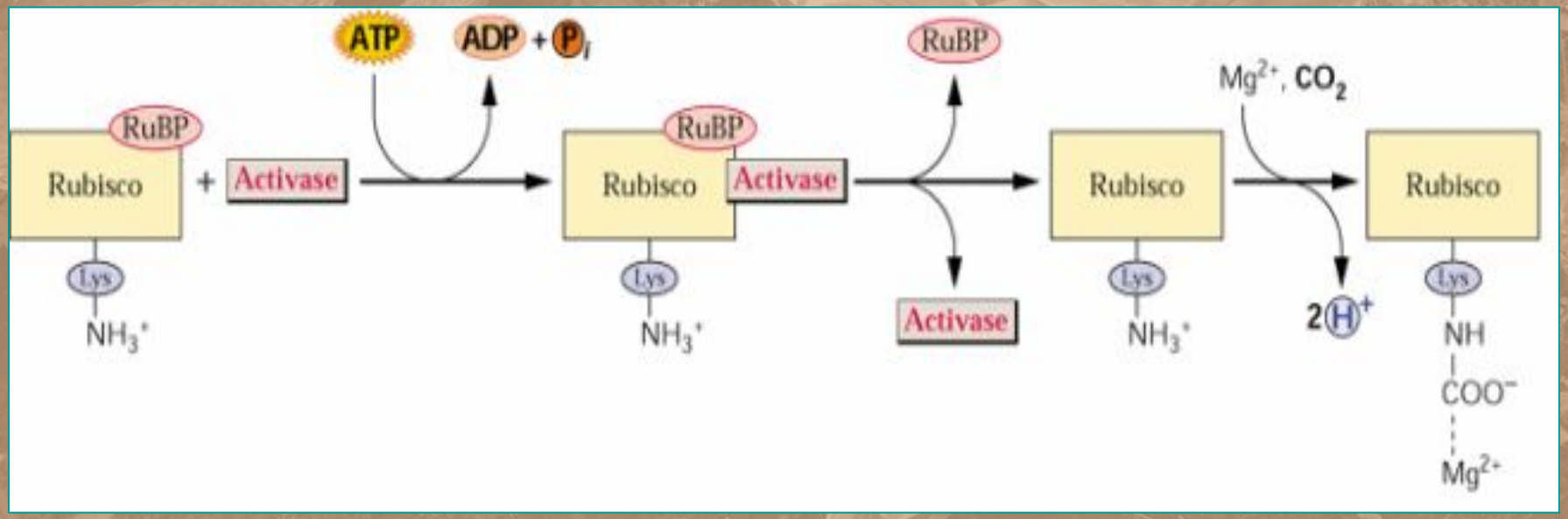
М.в. ~560 kDa,
8L (55 kDa), 8S (15 kDa)
K_{mCO2} = 12μM
K_{mO2} = 250μM
$K_{mРУБФ}$ = 40μM

Rubisco катализирует две взаимоисключающие реакции

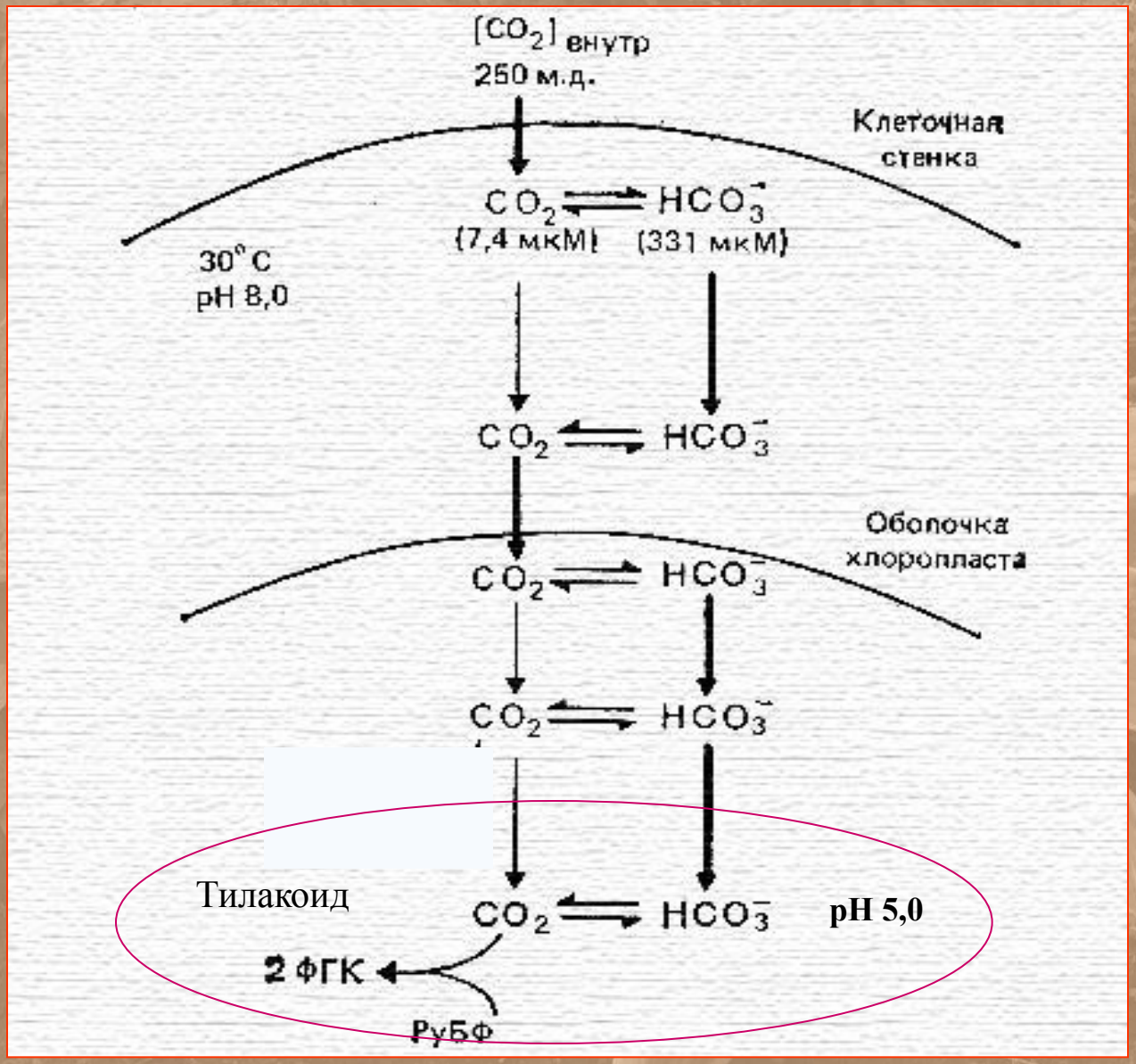


Решение проблемы низкого CO_2 : активация Rubisco (активаза)

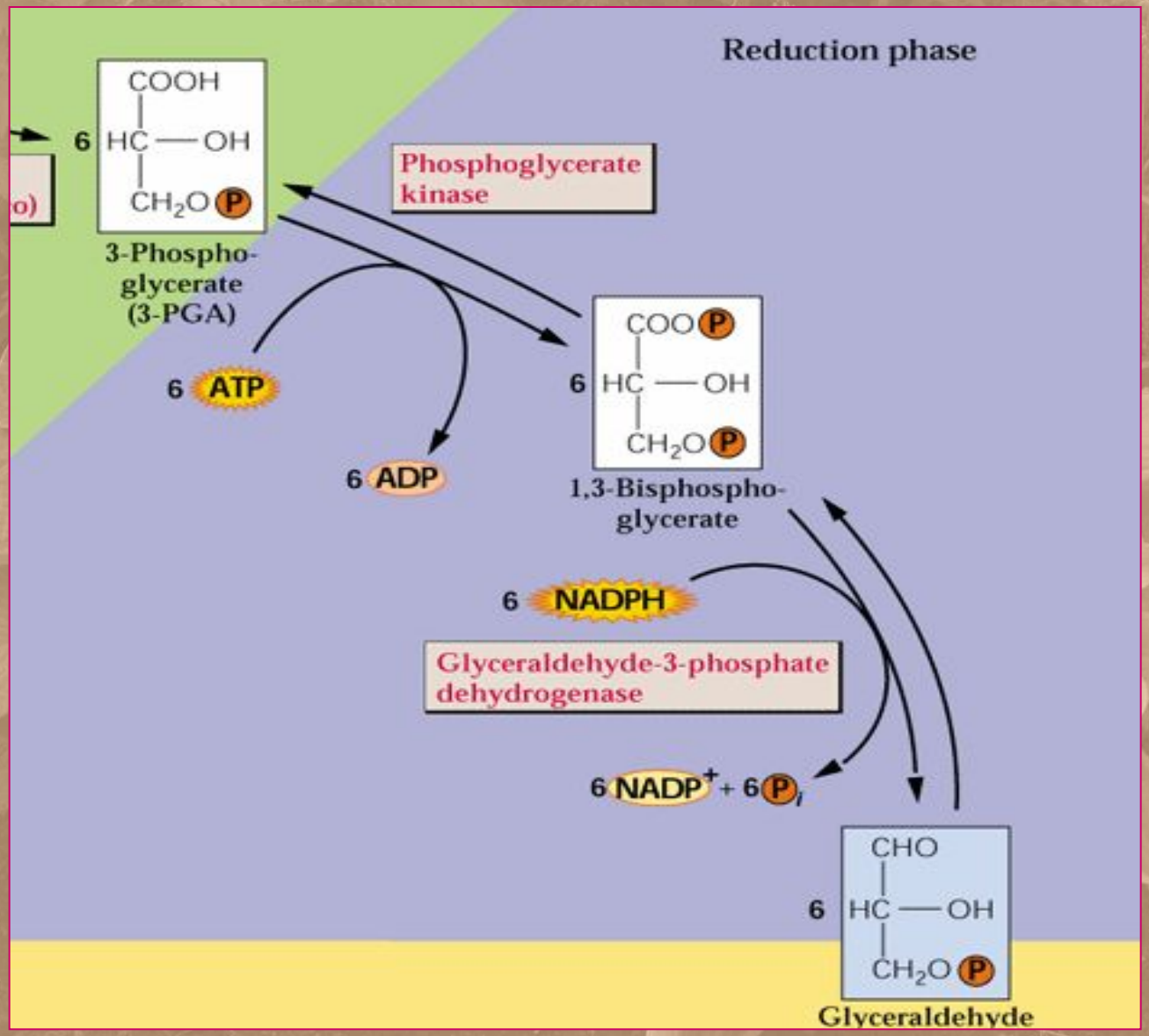




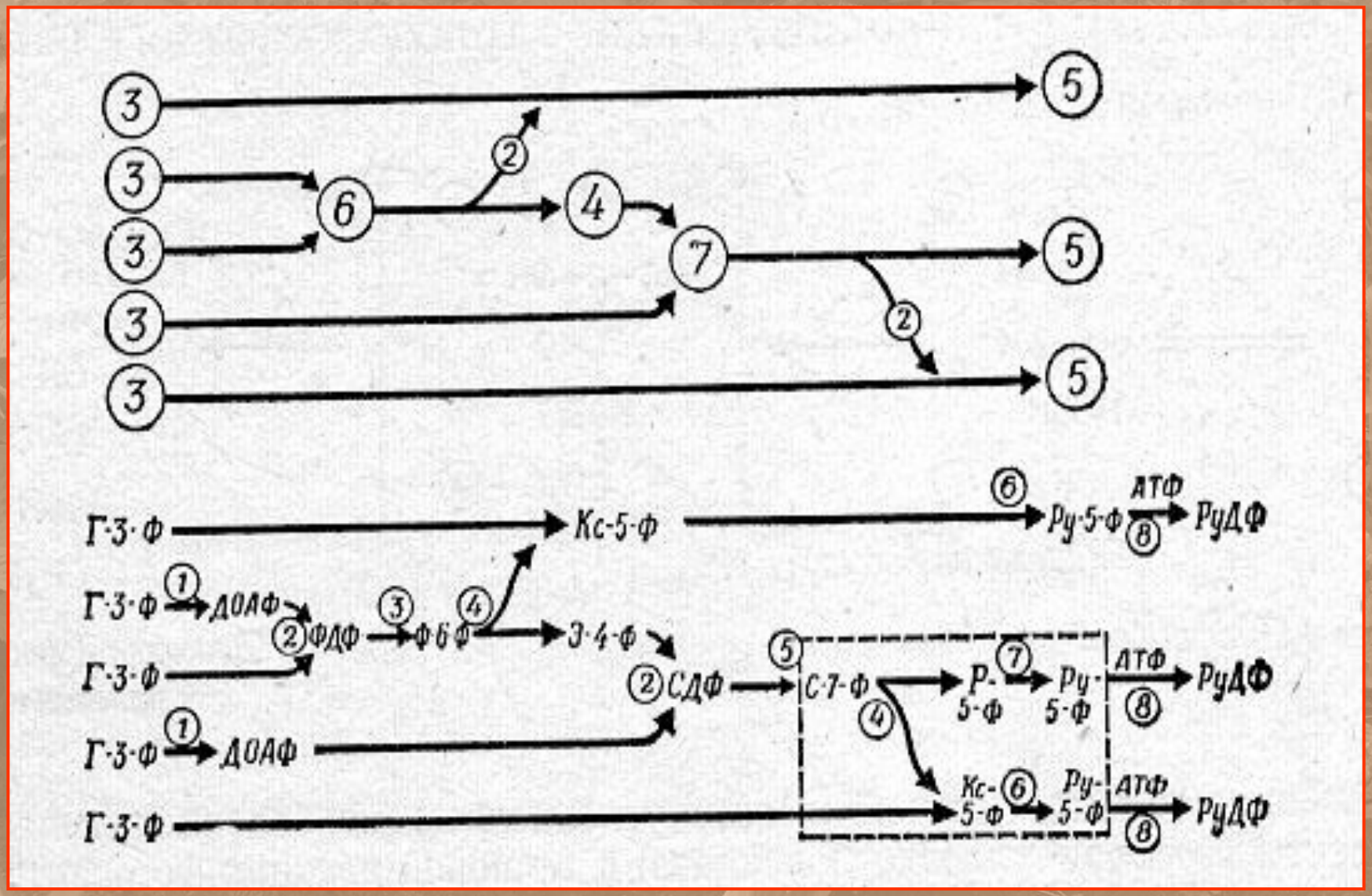
Решение проблемы низкого CO_2 : «запас» CO_2 (карбоангидраза)



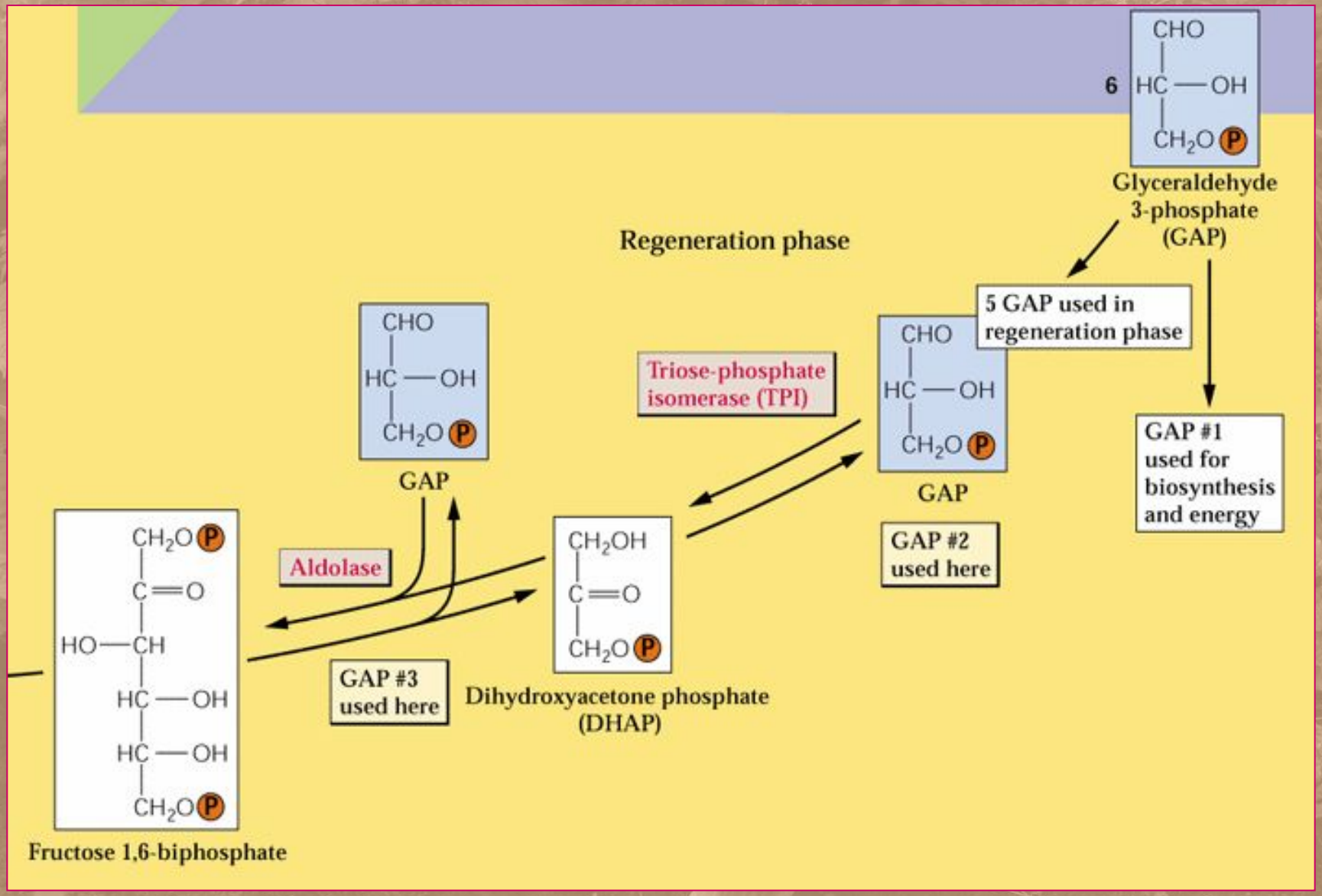
Восстановительная фаза цикла Кальвина: «гликолиз наоборот»



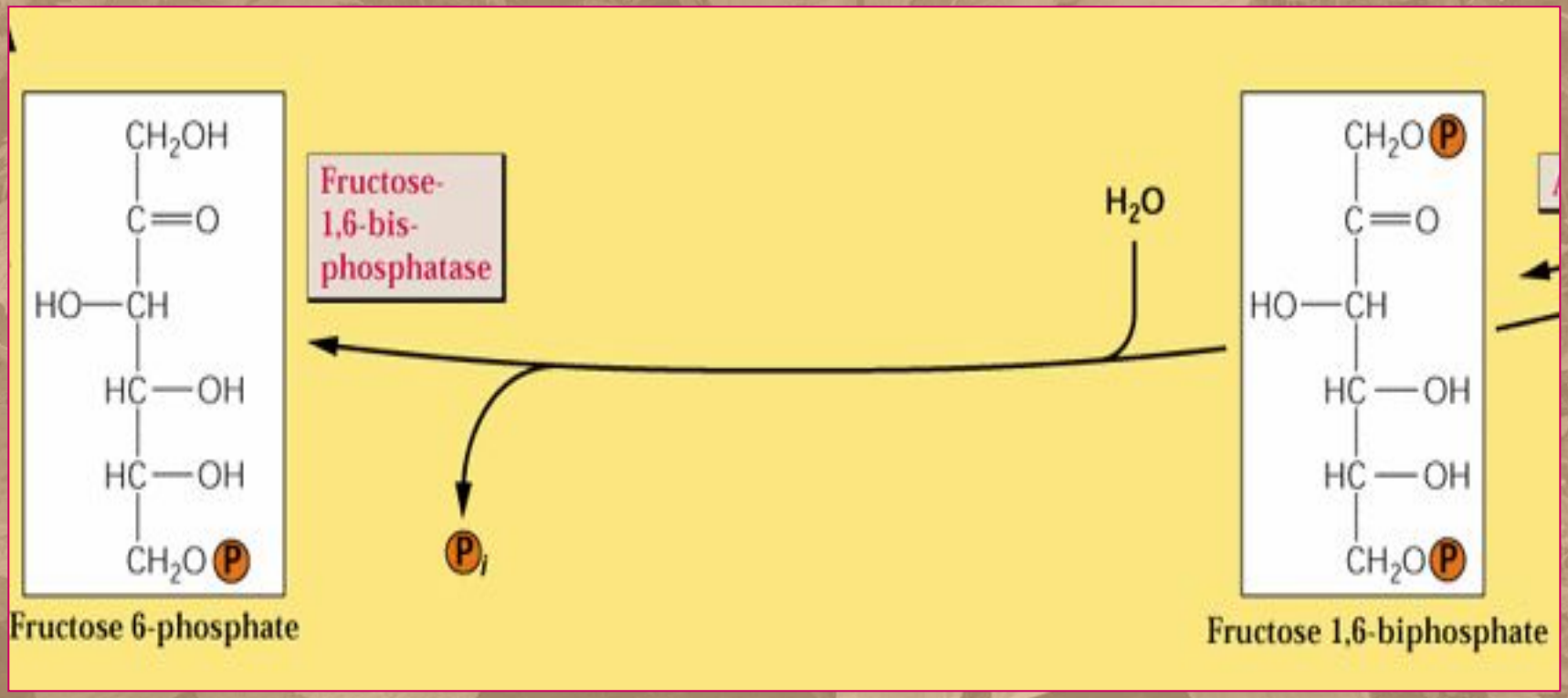
Фаза регенерации:общая схема перегруппировок



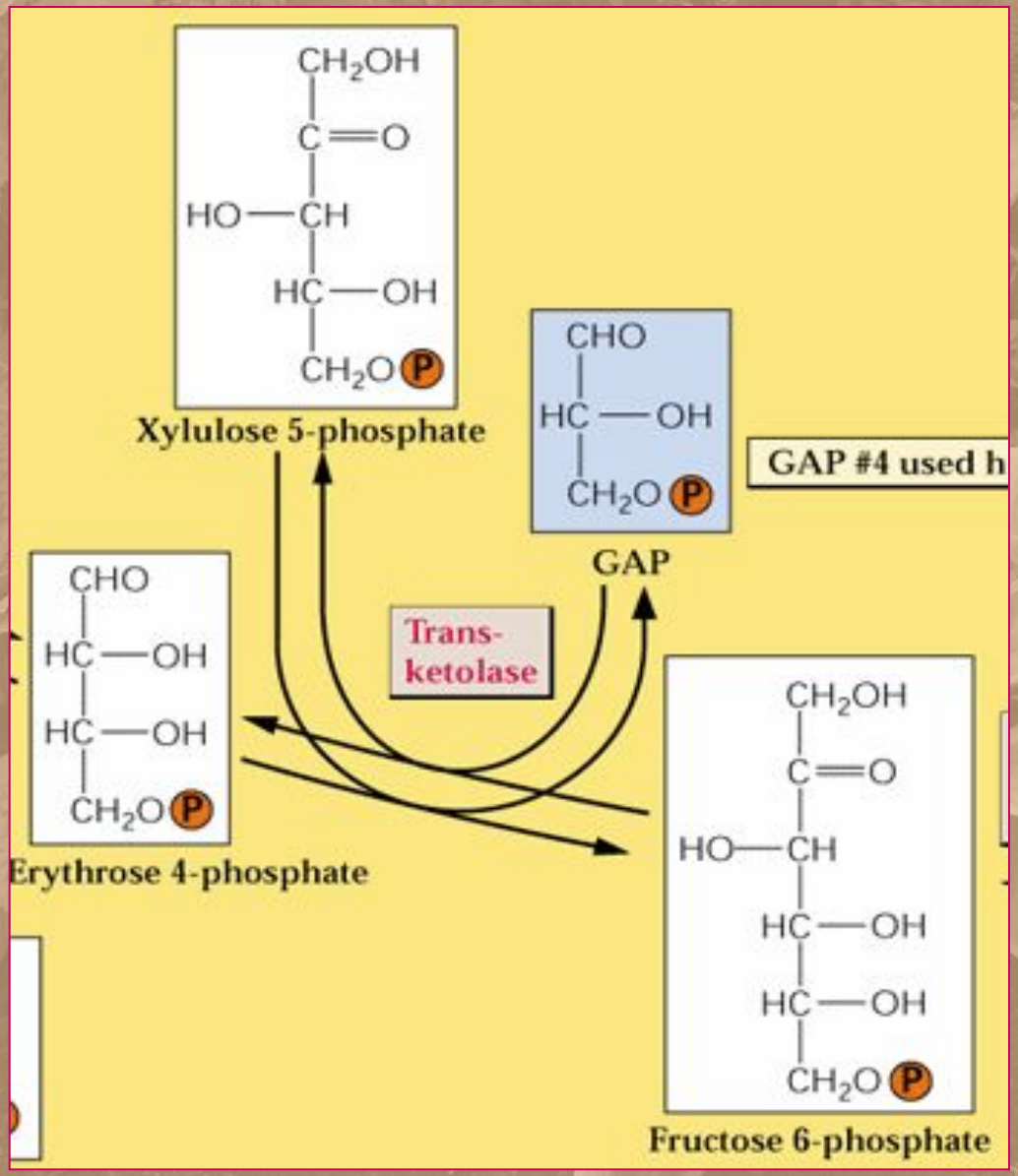
Фаза регенерации: образование фруктозо-1,6-бисфосфата



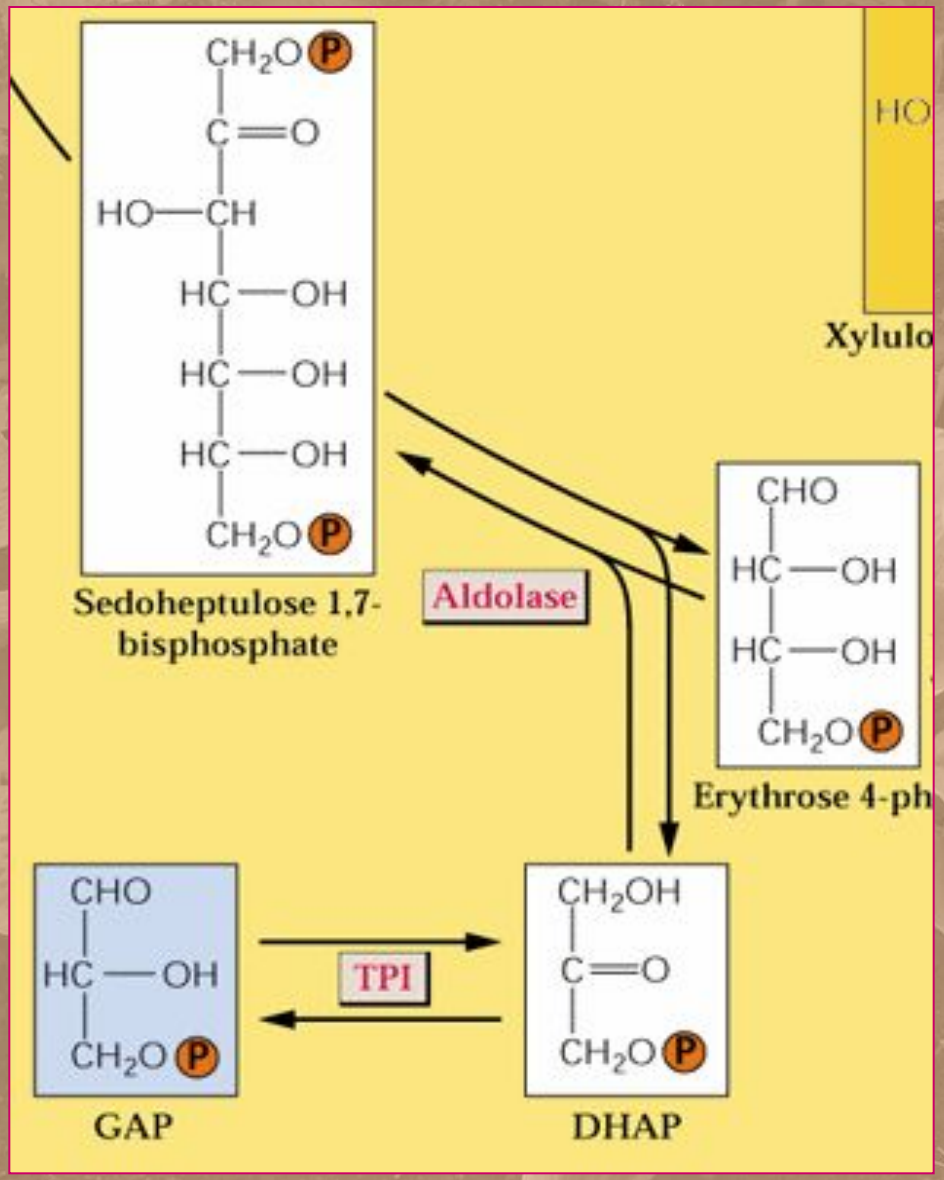
Фаза регенерации: образование фруктозо-6-фосфата



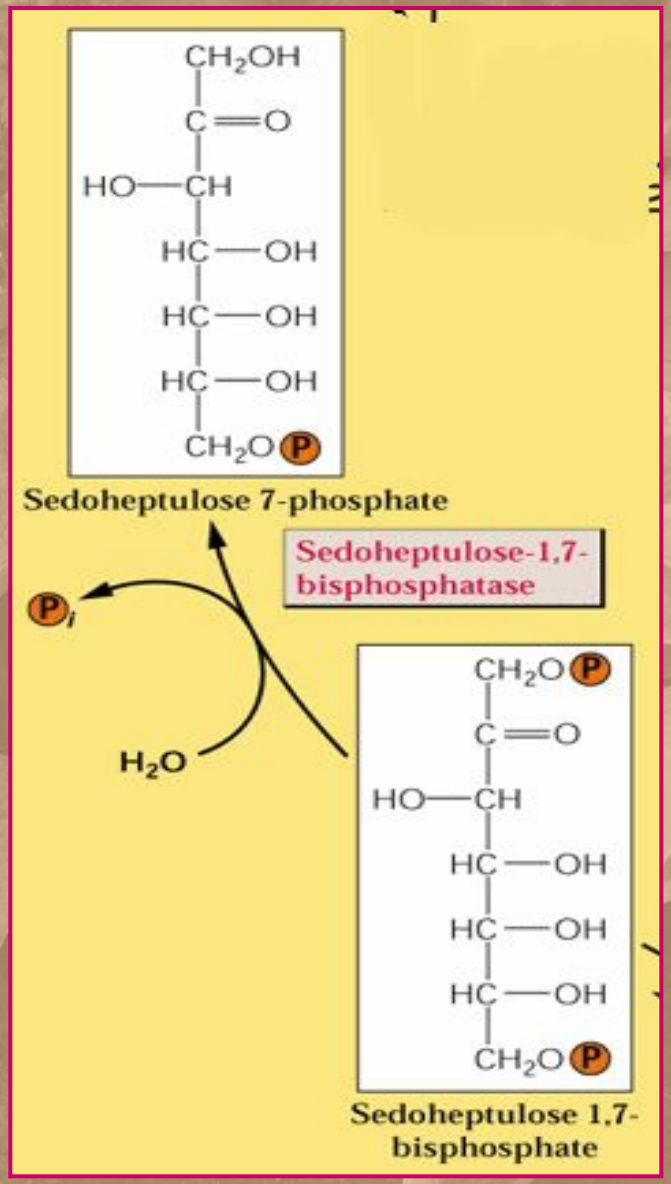
Фаза регенерации: первая транскетолазная реакция



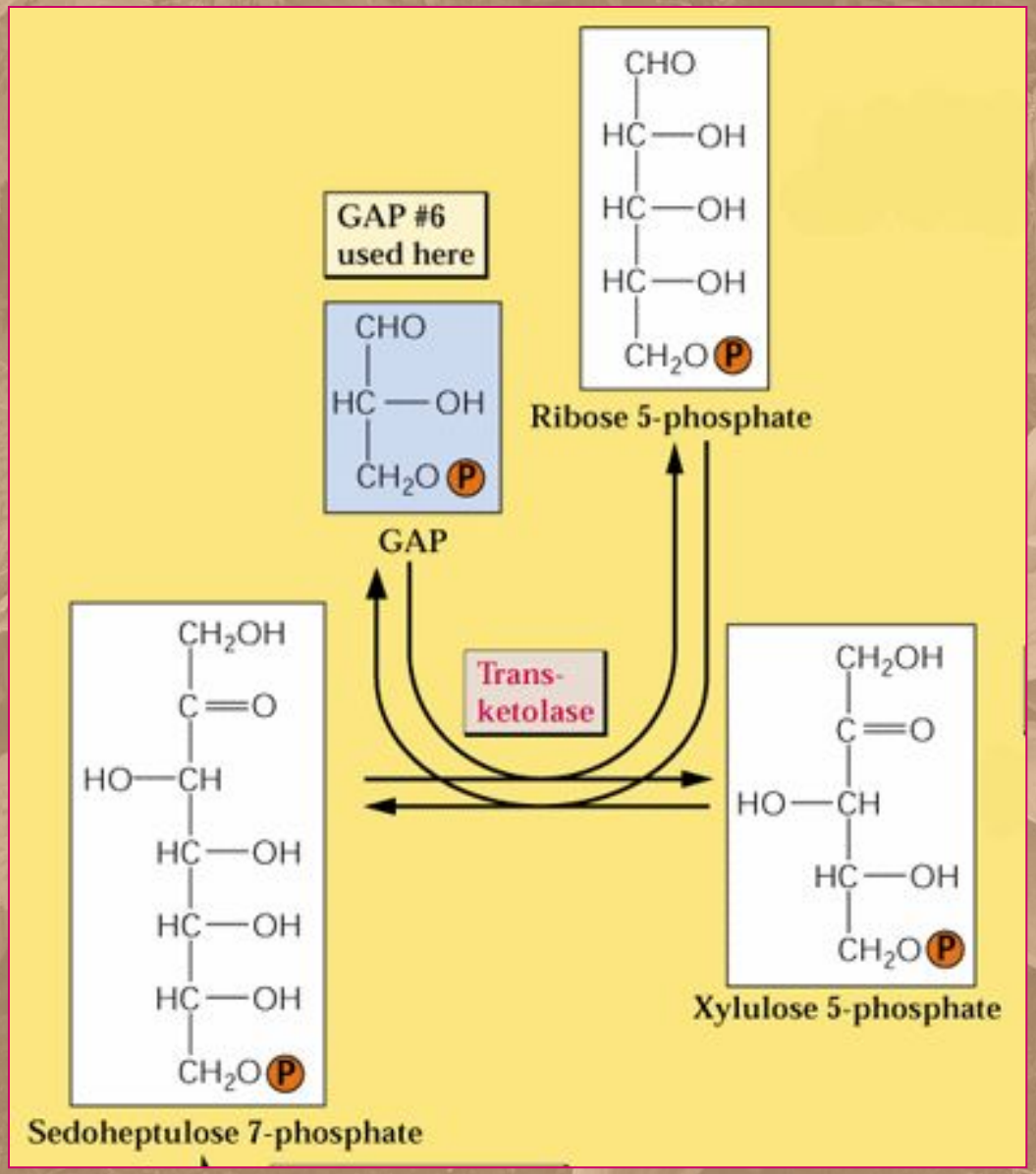
Фаза регенерации: образование седогептулезо-1,7-бисфосфата



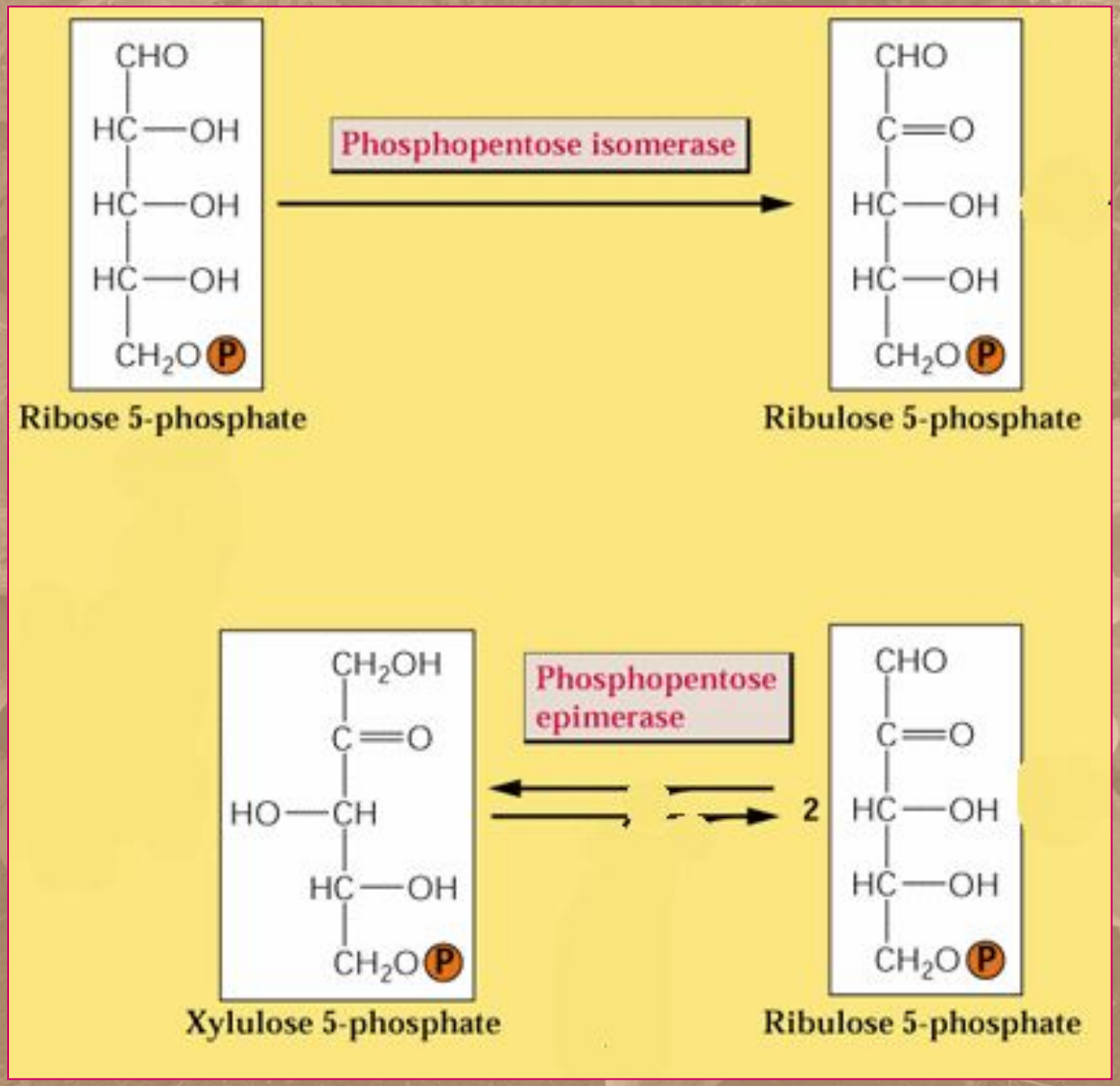
Фаза регенерации: образование седогептулезо-7-фосфата



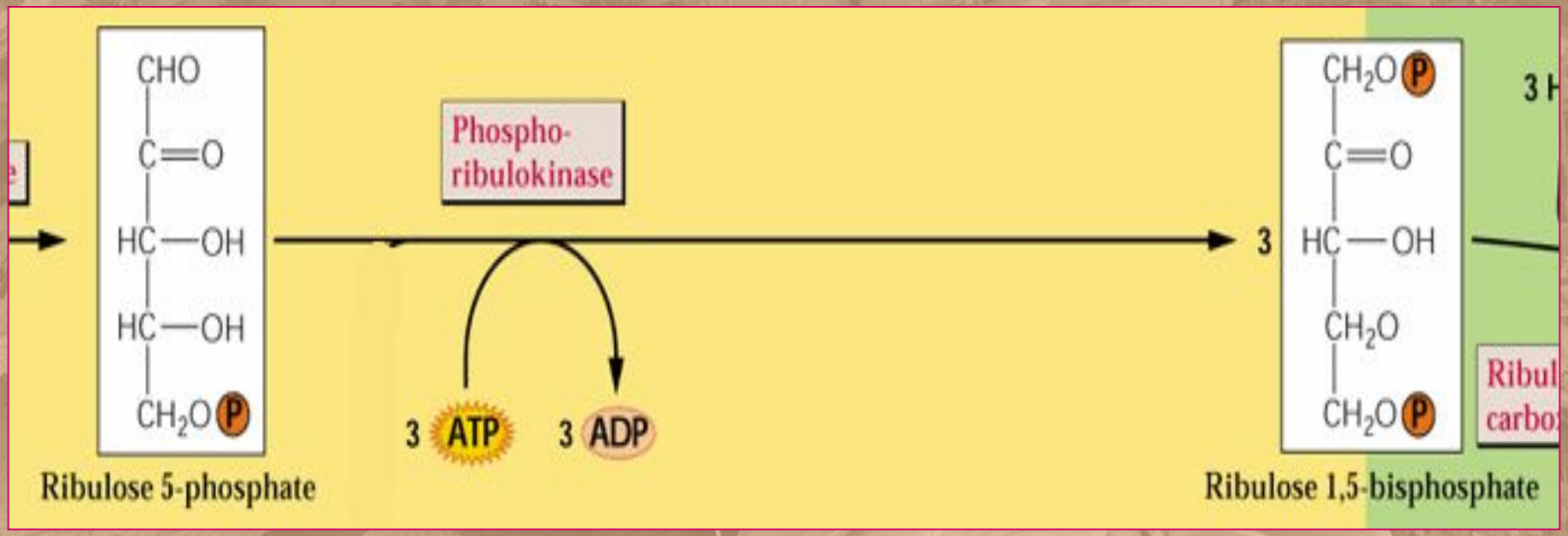
Фаза регенерации: вторая транскетолазная реакция



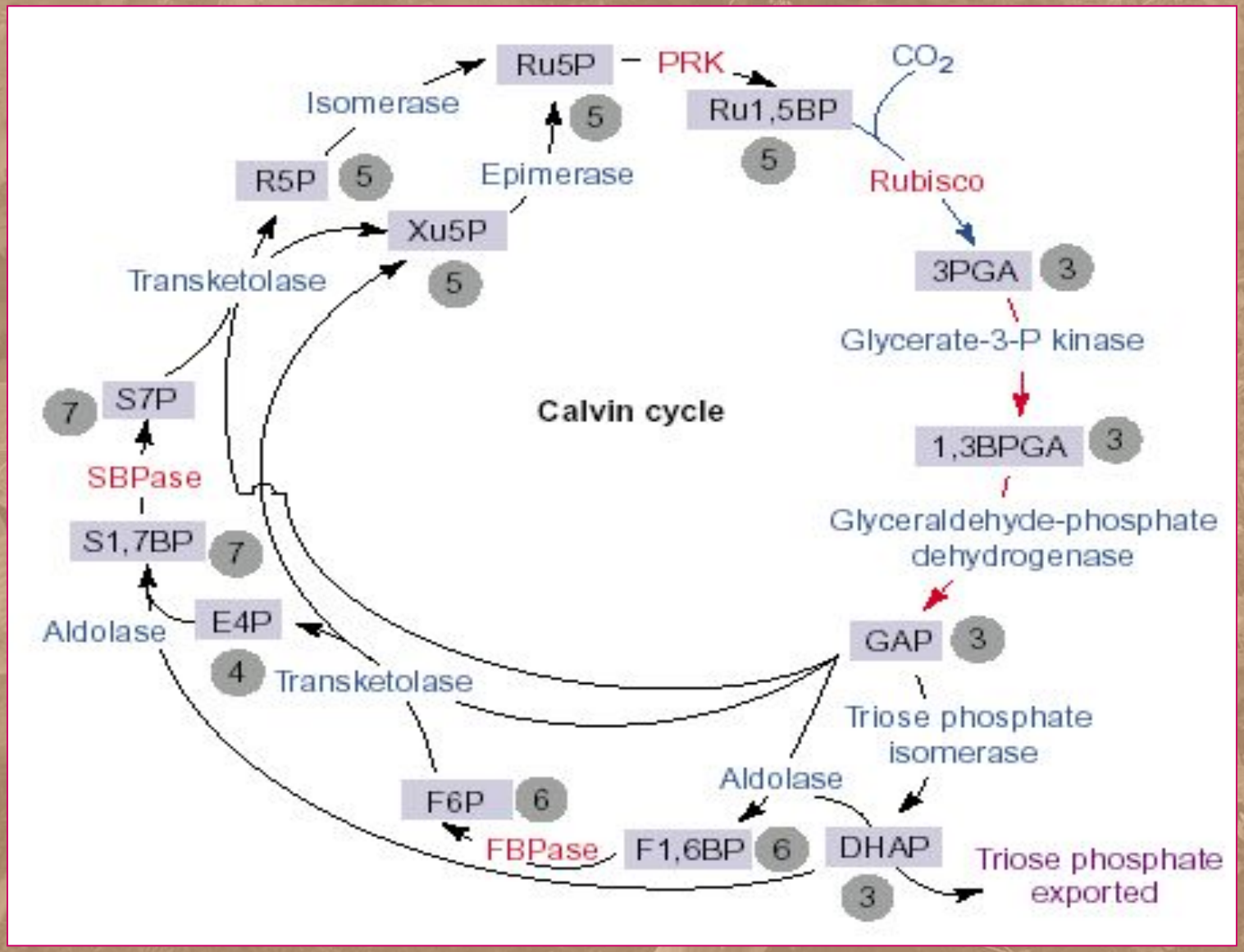
Фаза регенерации: образование рибулезо-5-фосфата



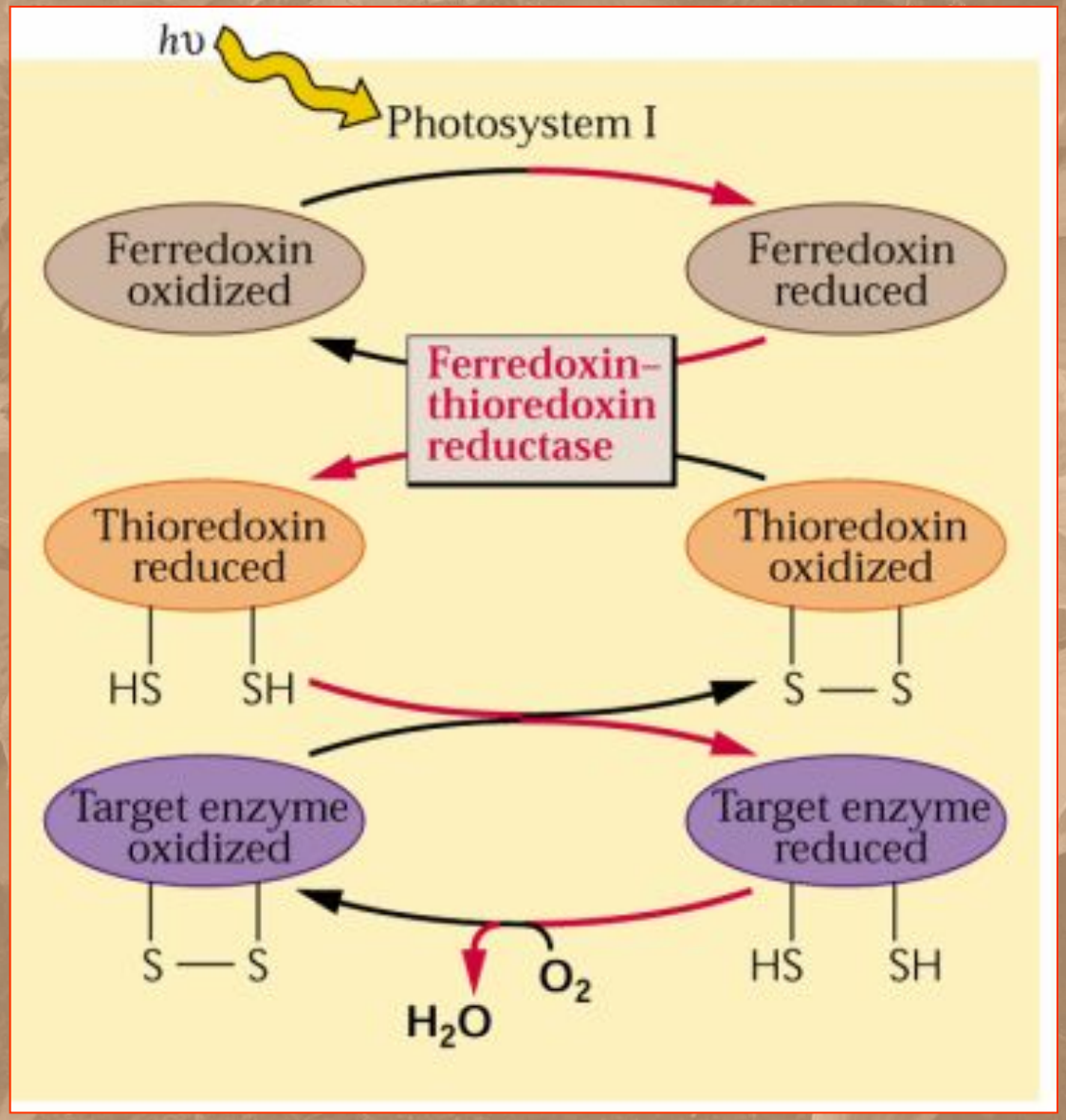
Фаза регенерации: образование рибулезо-1,5-бисфосфата



Восстановительный пентозо-фосфатный цикл: общий вид

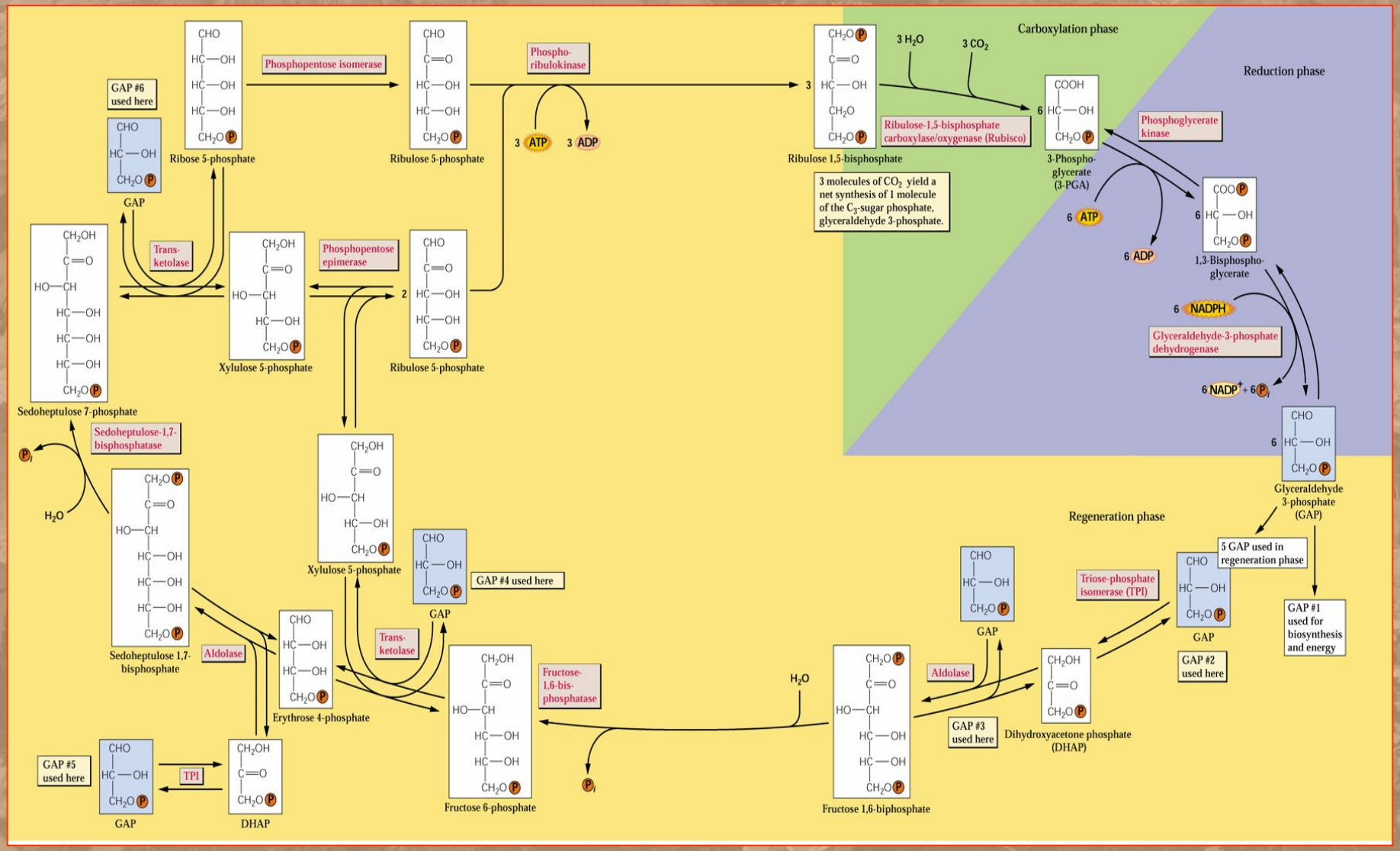


Светом регулируется активность минимум четырех ферментов ВПЦ

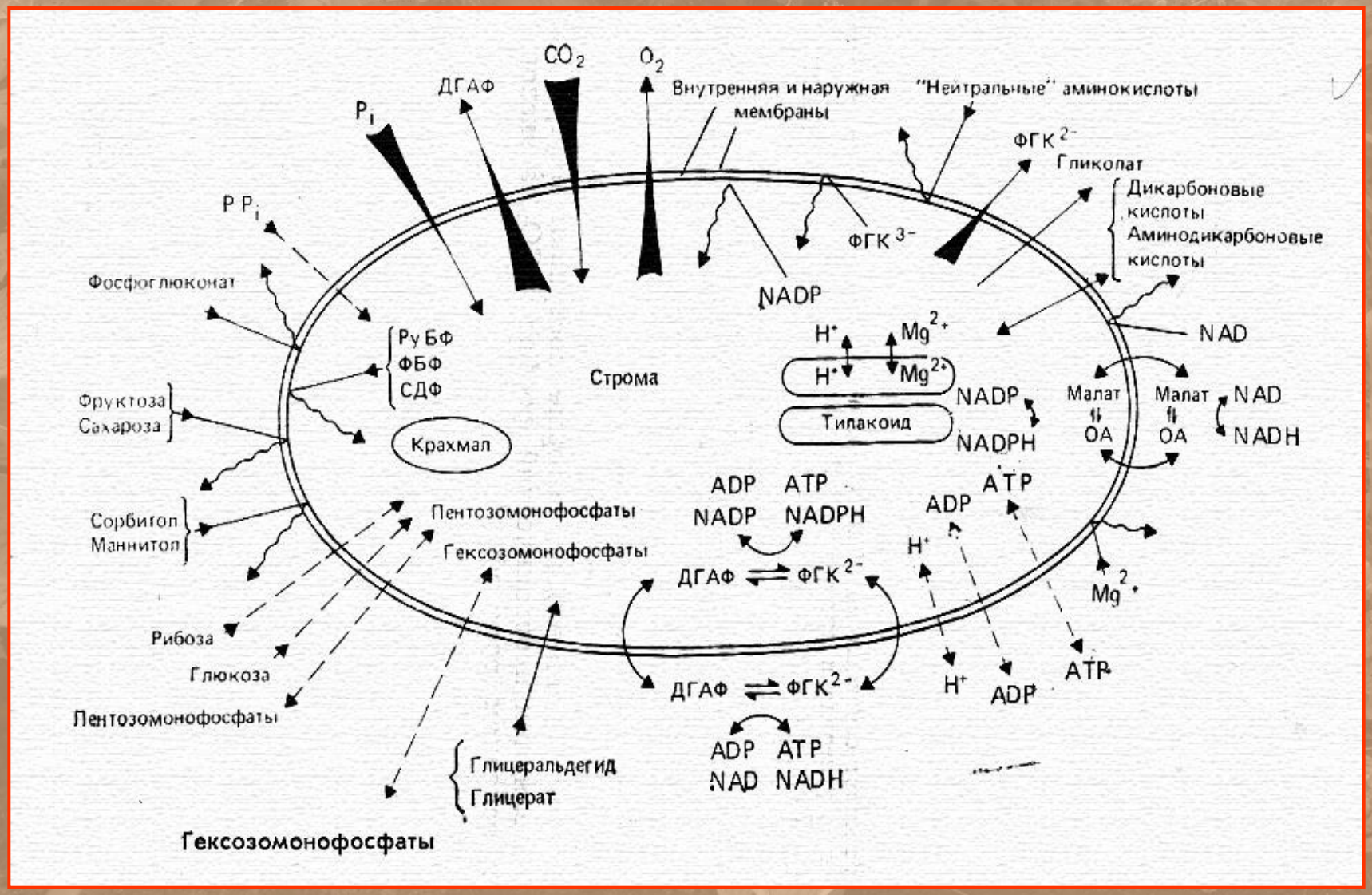


- ФБФ-за
- СБФ-за
- Ру5Ф-за
- Триозофосфат-дегидрогеназа
- Рубиско?

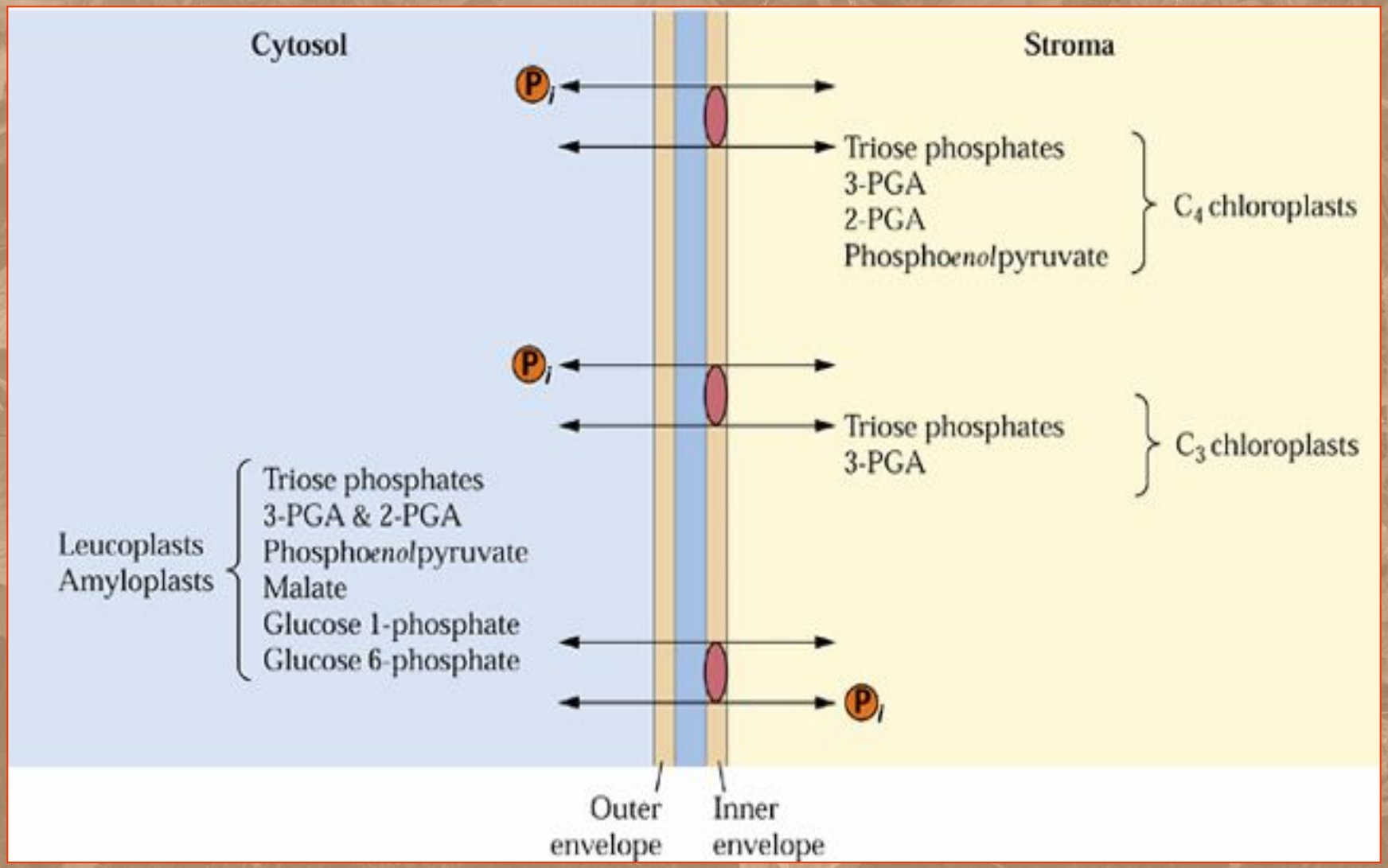
Восстановительный пентозо-фосфатный цикл (ВПЦ)



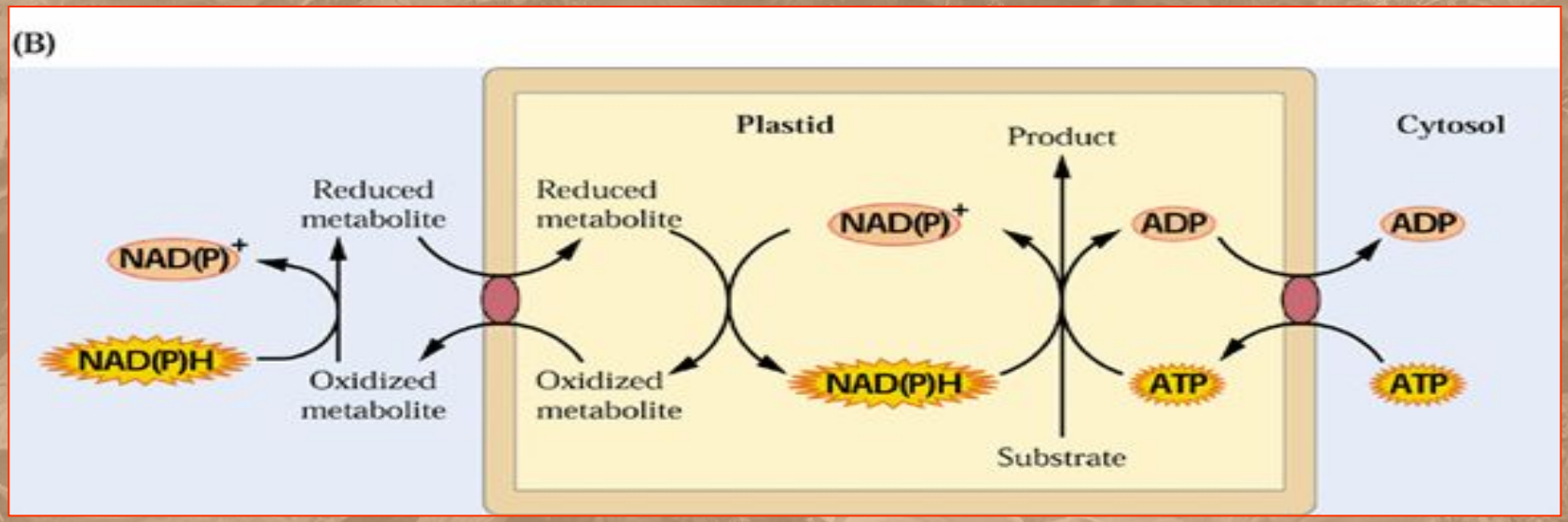
Транспорт интермедиатов через хлоропластную мембрану

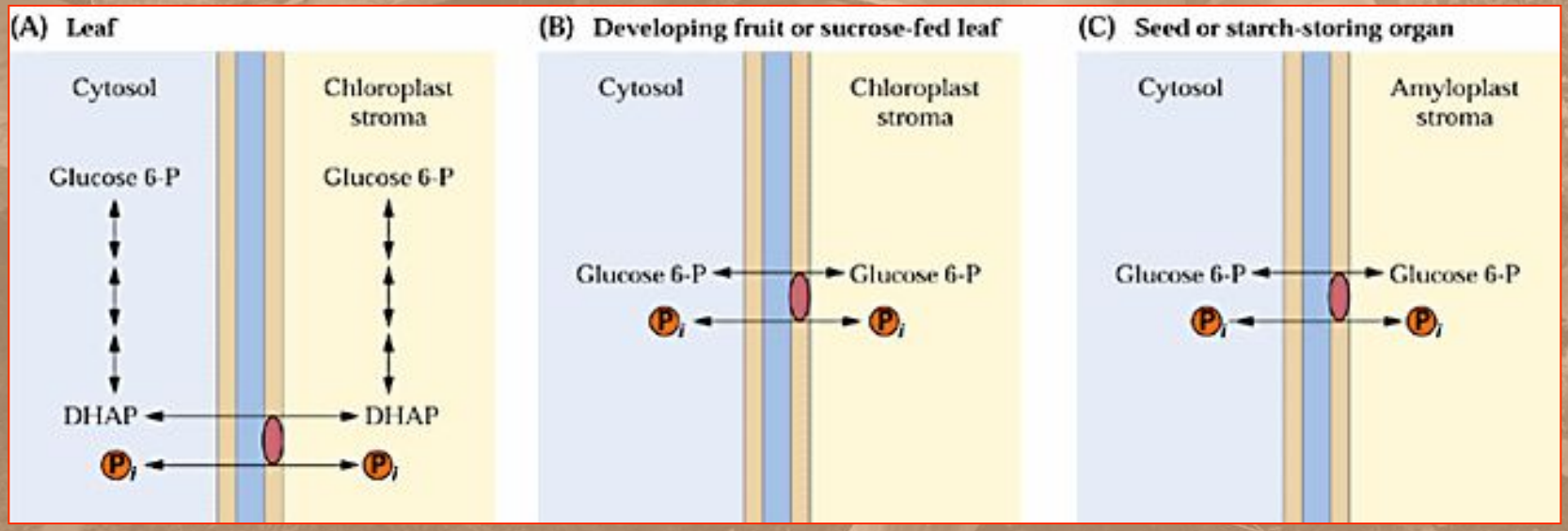


Транспорт интермедиатов через хлоропластную мембрану

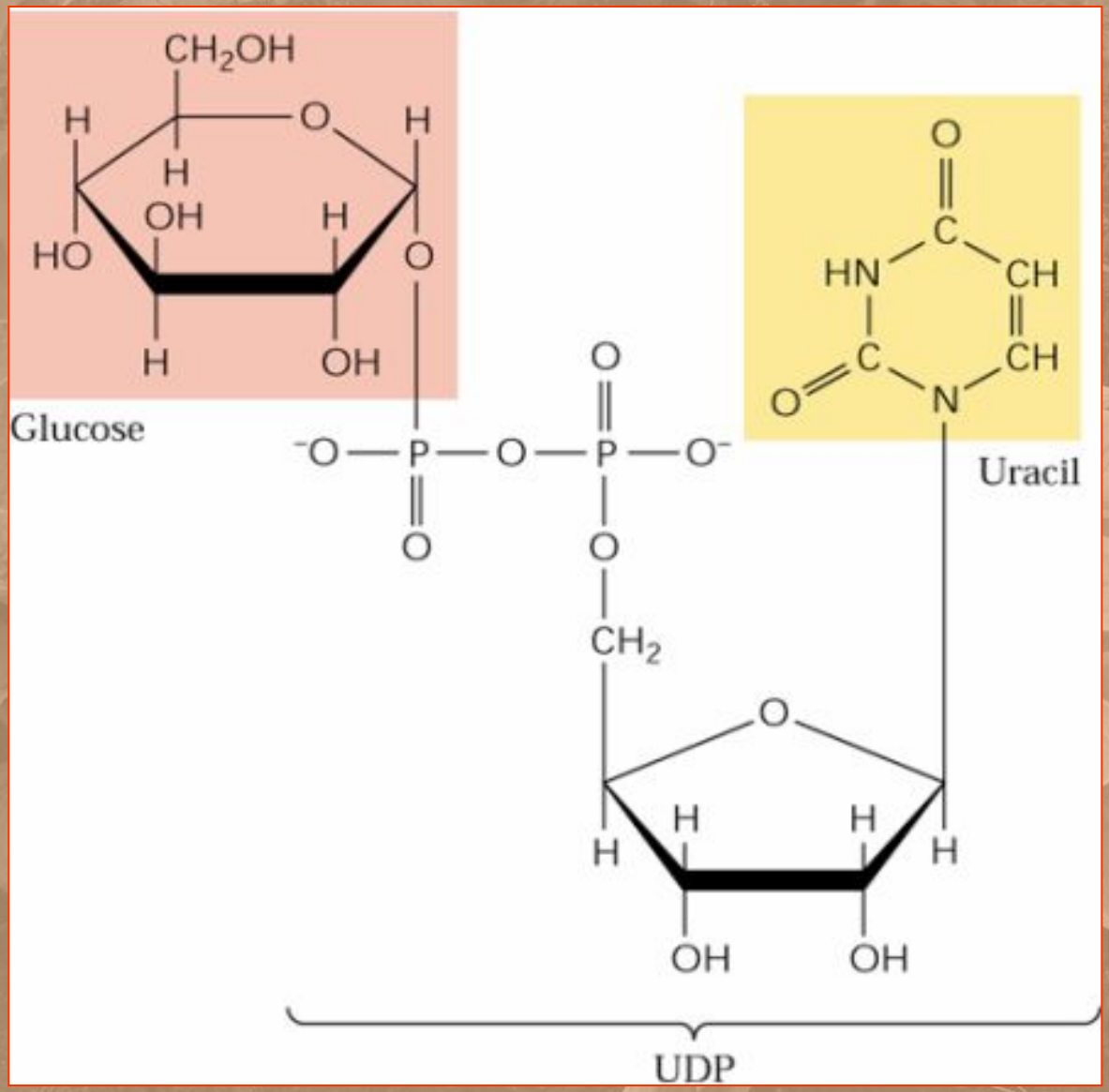


Челночные механизмы выноса из хлоропластов НАДФН и АТФ.

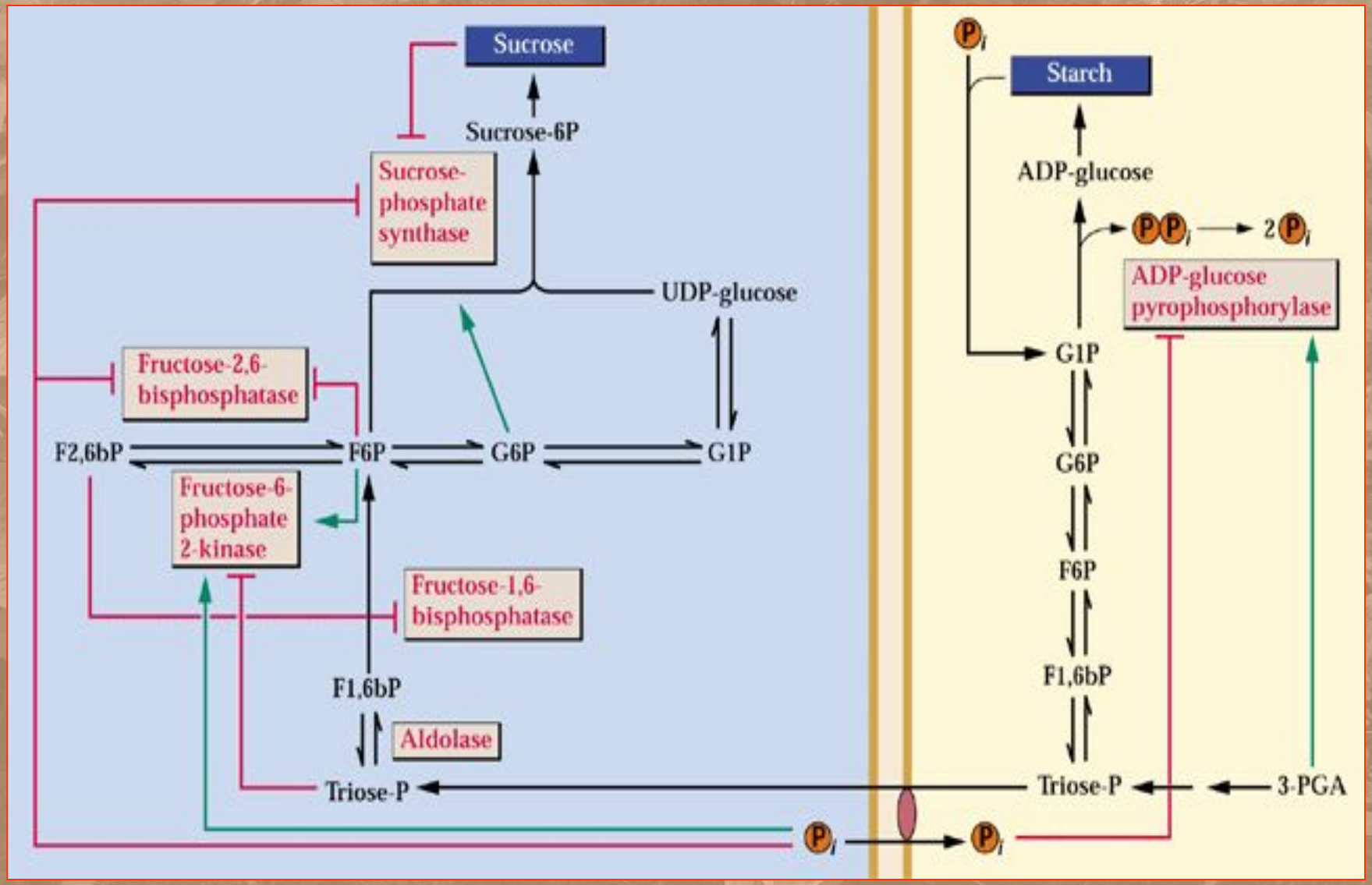




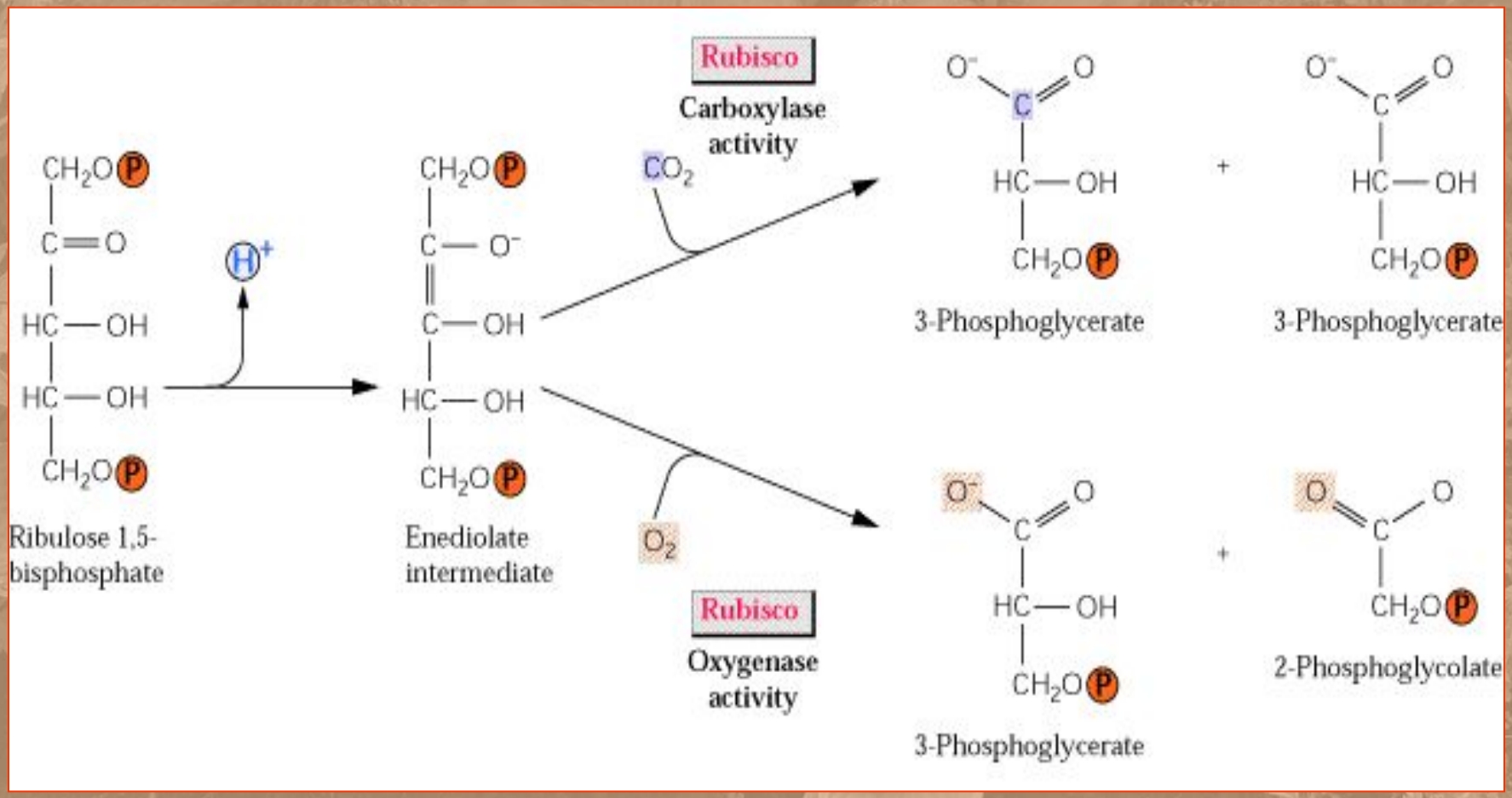
УДФ- и АДФ-гексозы – активированные формы сахаров



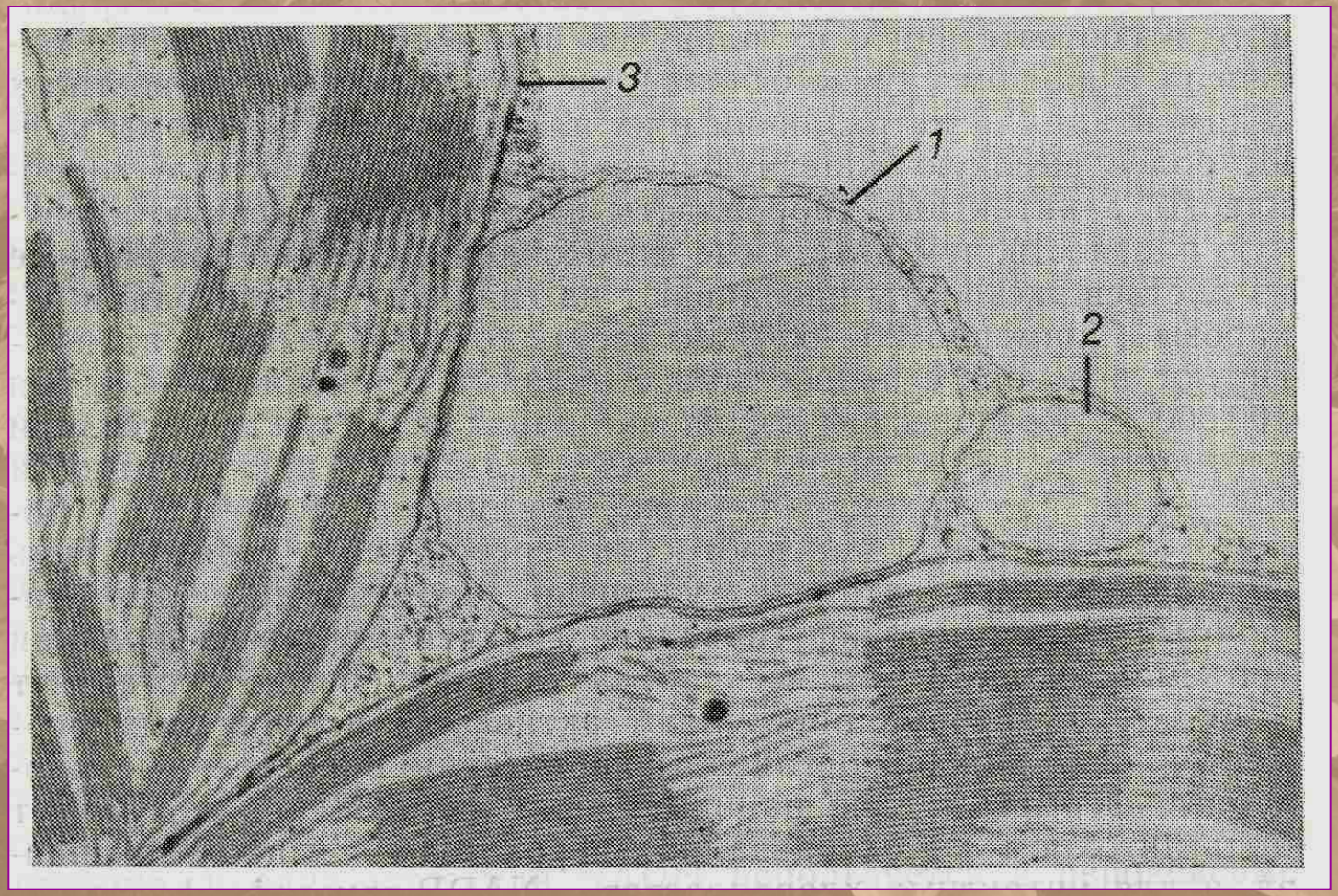
Образование крахмала в пластидах и сахарозы в цитозоле.



Итак, Rubisco катализирует две взаимоисключающие реакции

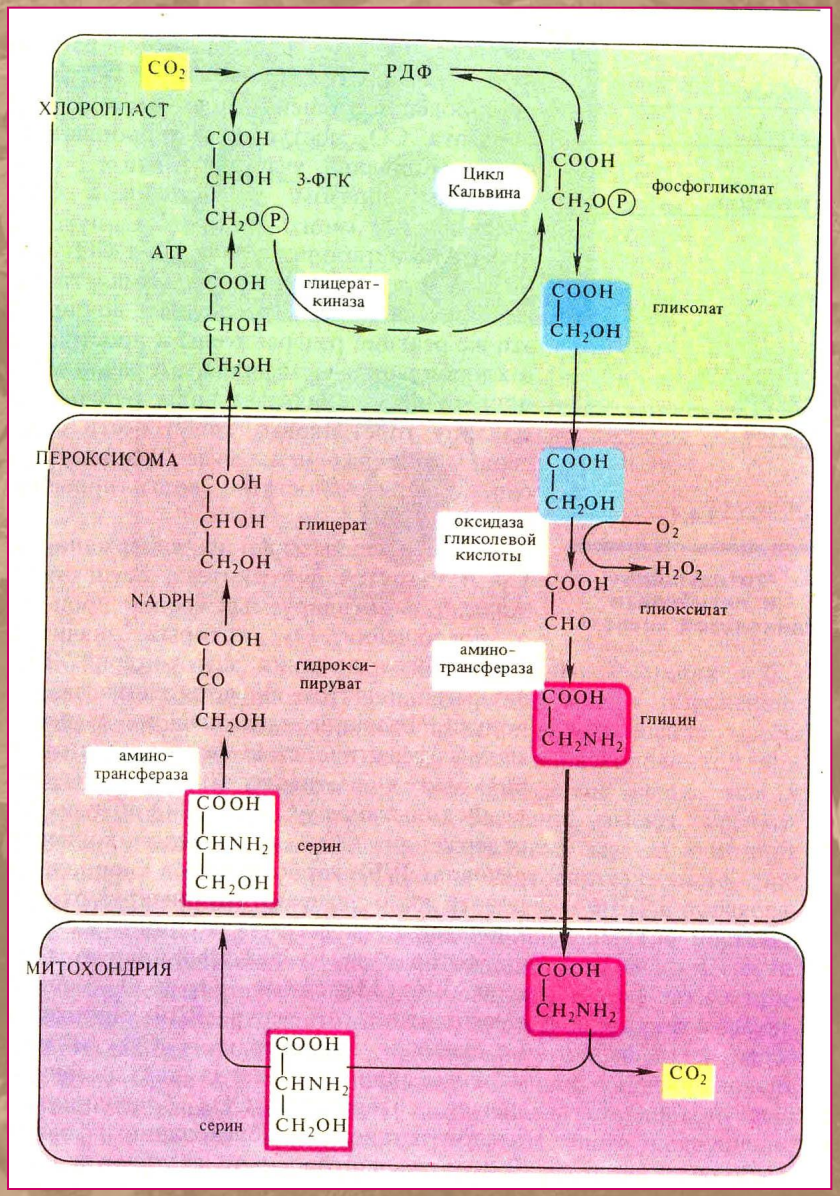


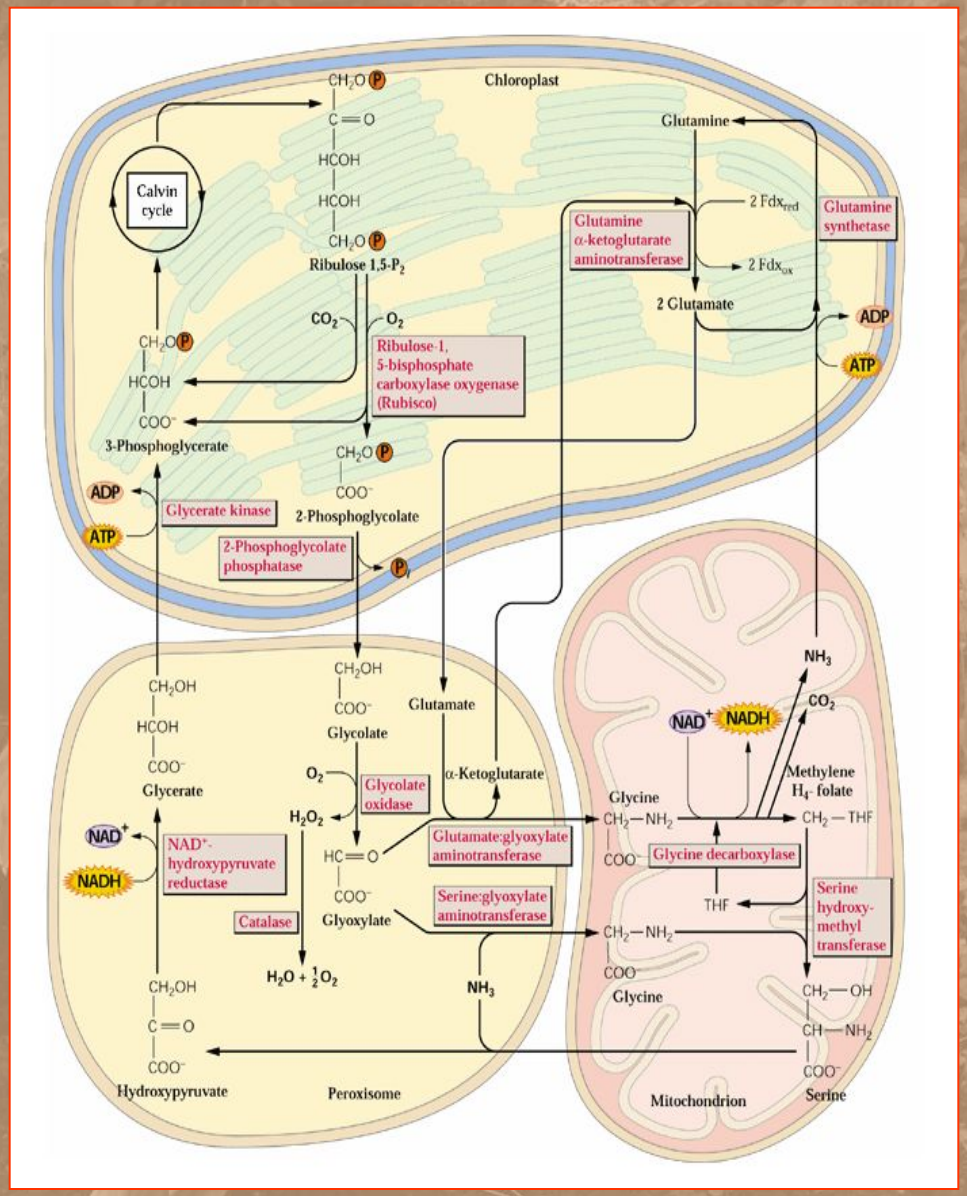
Фотодыхание – процесс, происходящий в трех органеллах



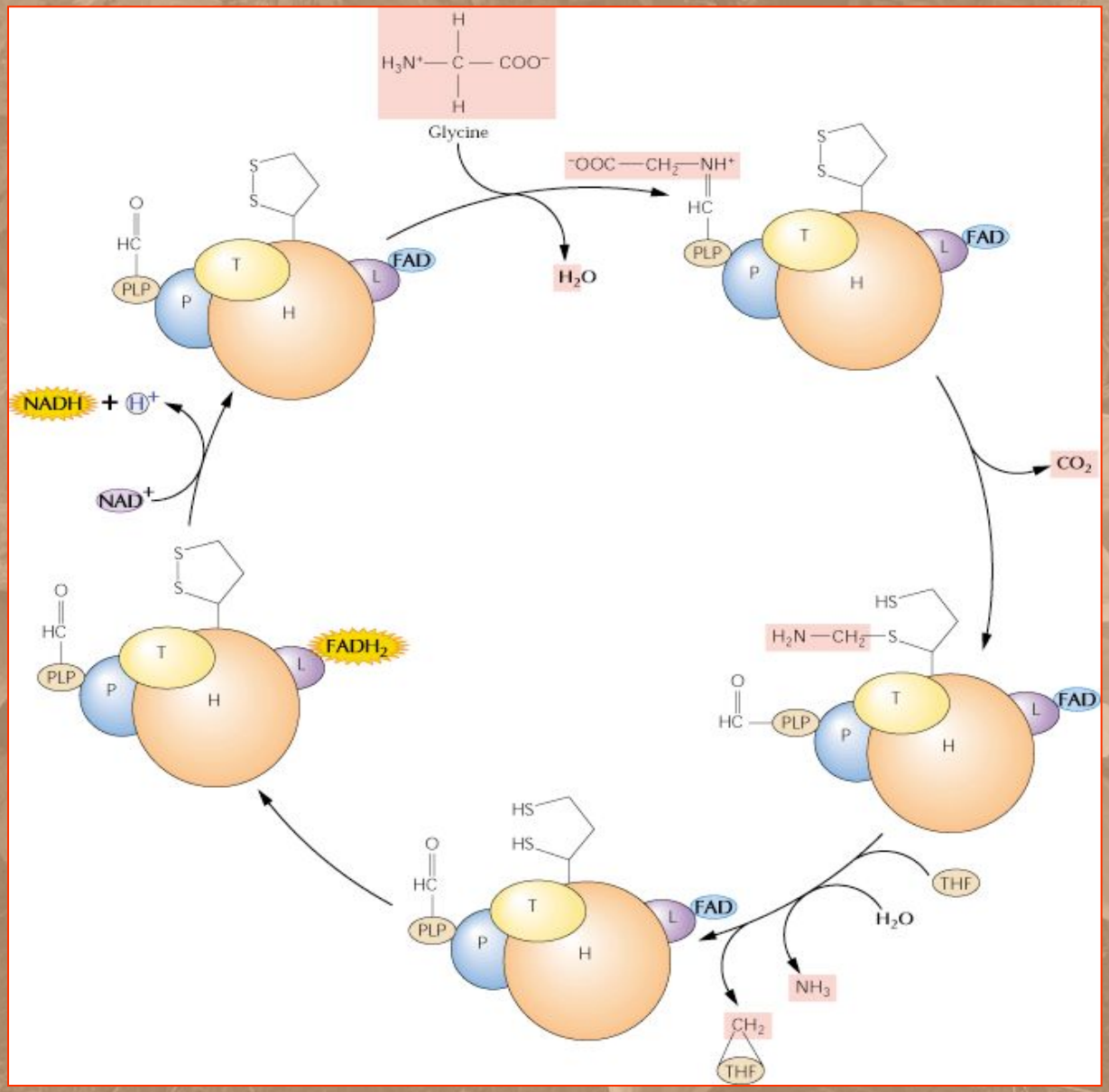
Клетка мезофилла молодого листа табака *Nicotiana tabacum* (х 48 000)
1 – пероксисома, 2 – митохондрия, 3 – хлоропласт

Общая схема фотодыхания

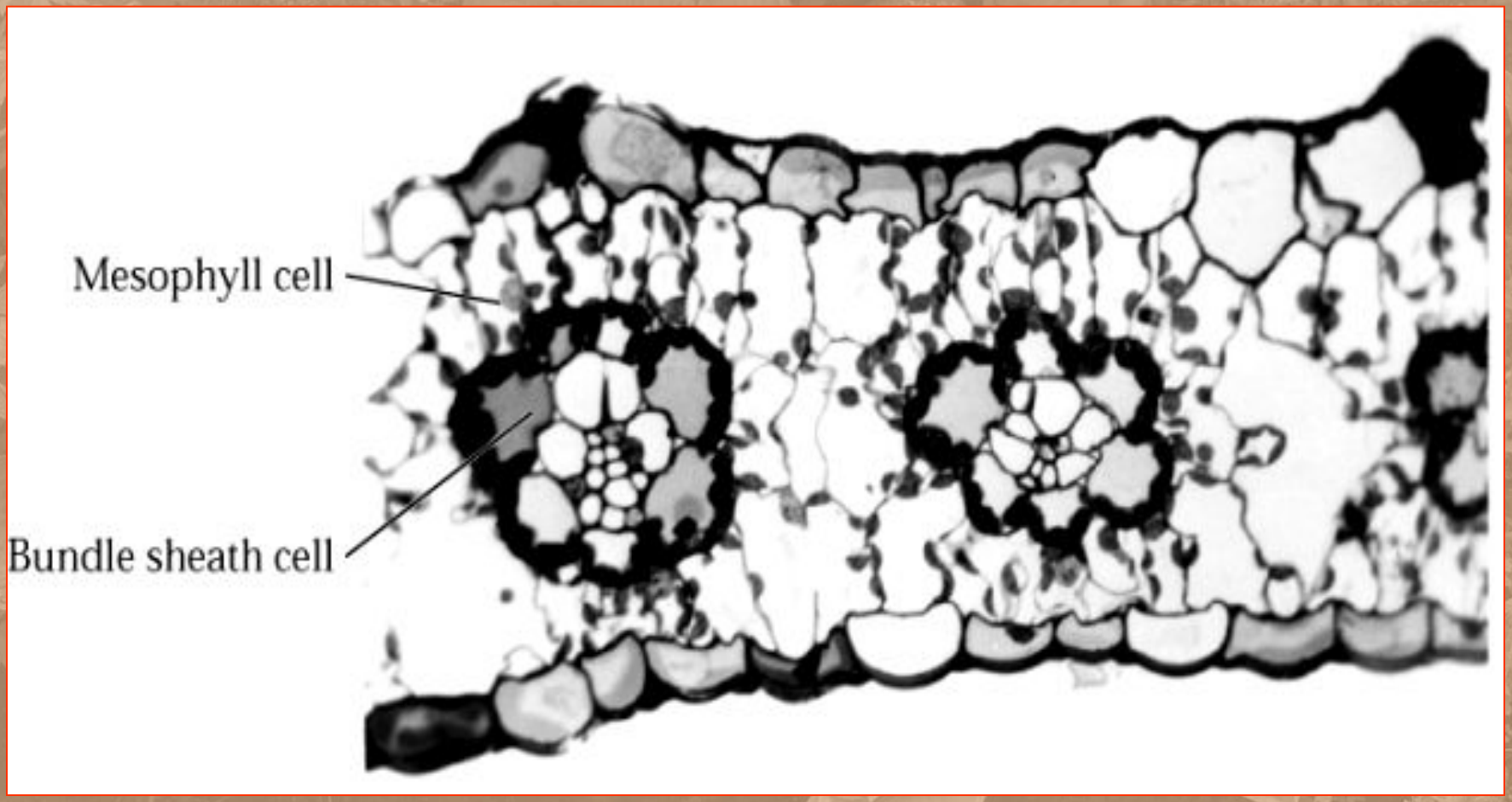




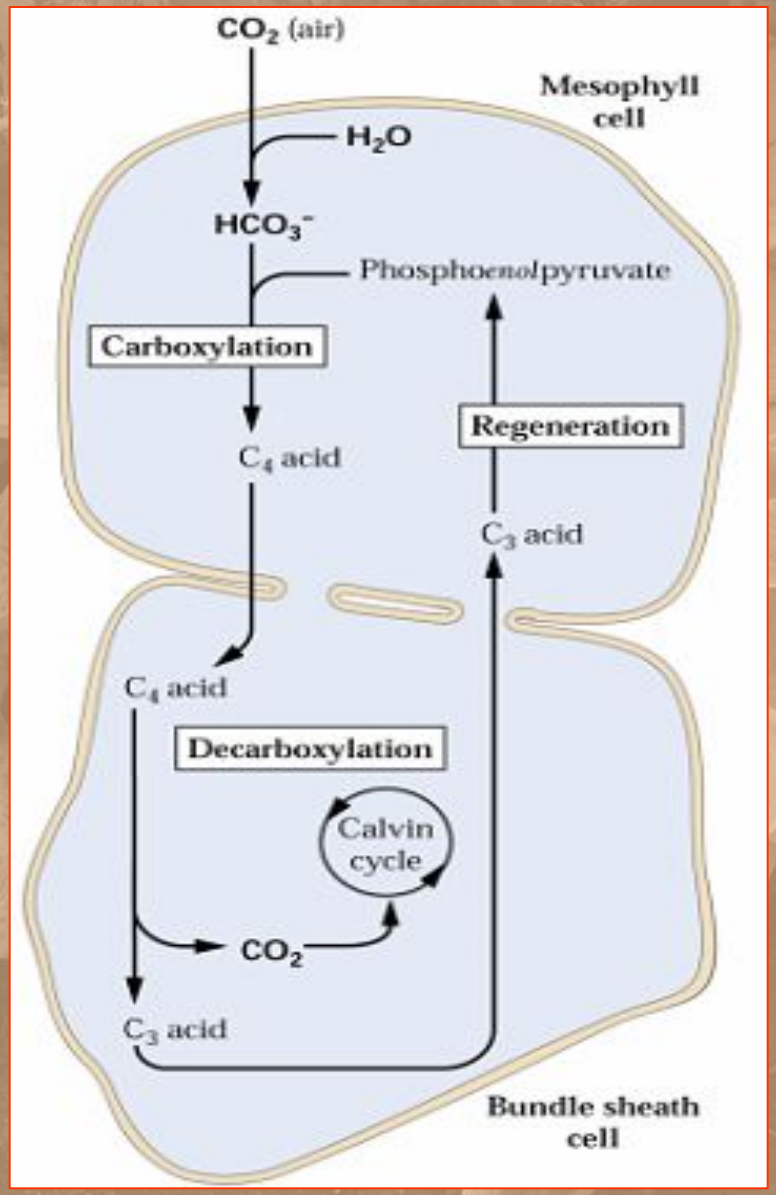
Глицин-декарбоксилазный комплекс в митохондриях



C_4-фотосинтез: Кранц-анатомия

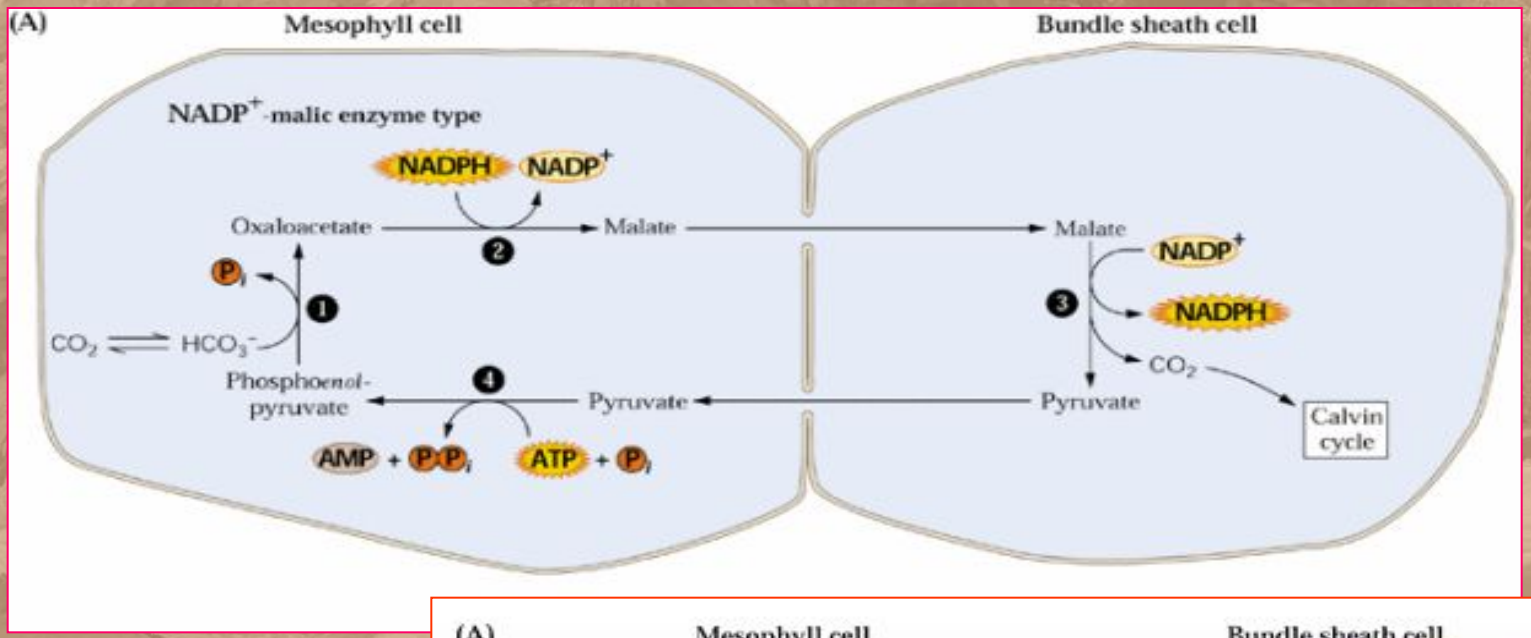


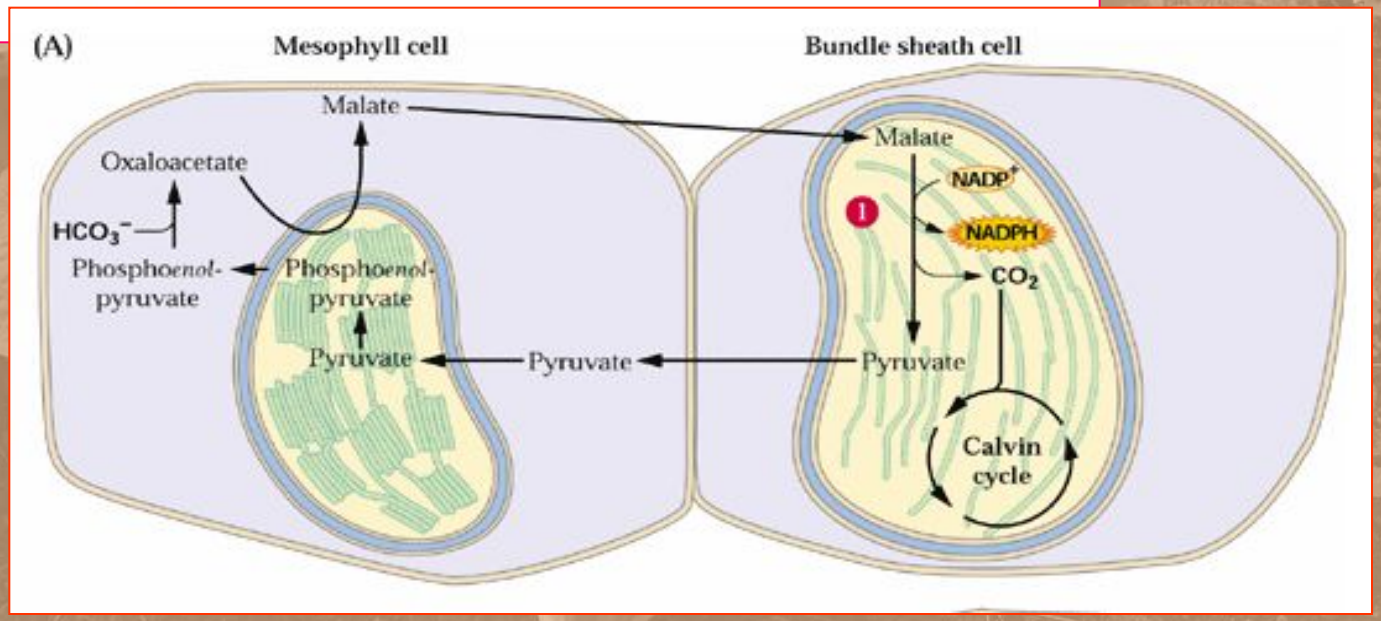
C_4-фотосинтез: «CO_2-насос», принципиальная схема



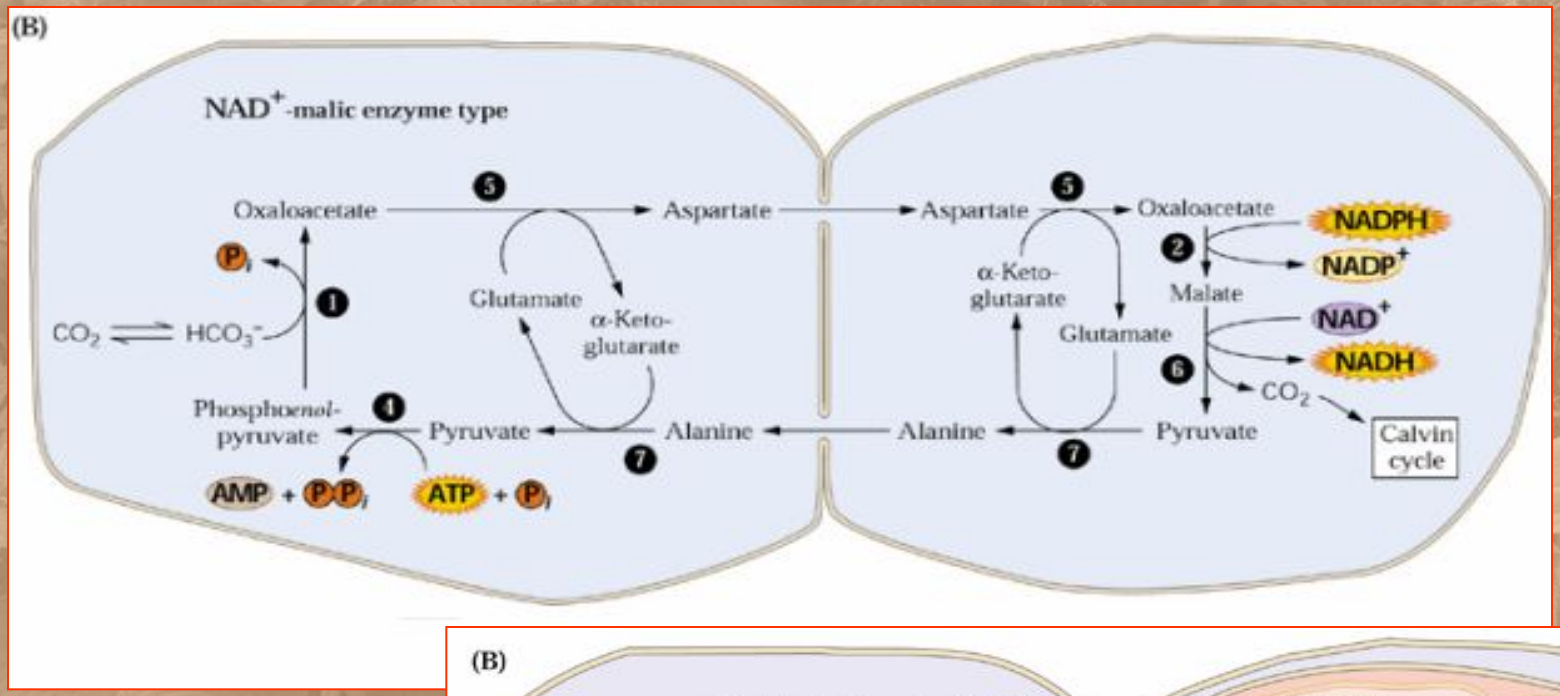
Электронная фотография хлоропластов мезофилла (вверху) и клеток обкладки (внизу) C_4 растения (сорго)

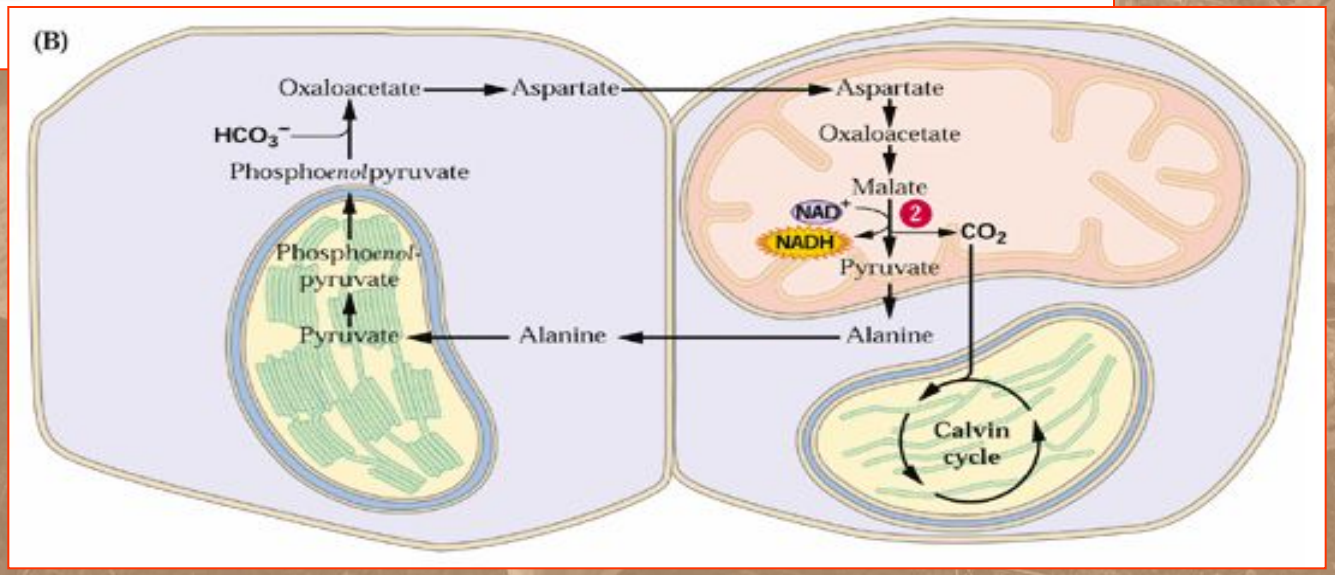
Три варианта C_4 – растений: НАДФ-МДГ (малик-энзим)



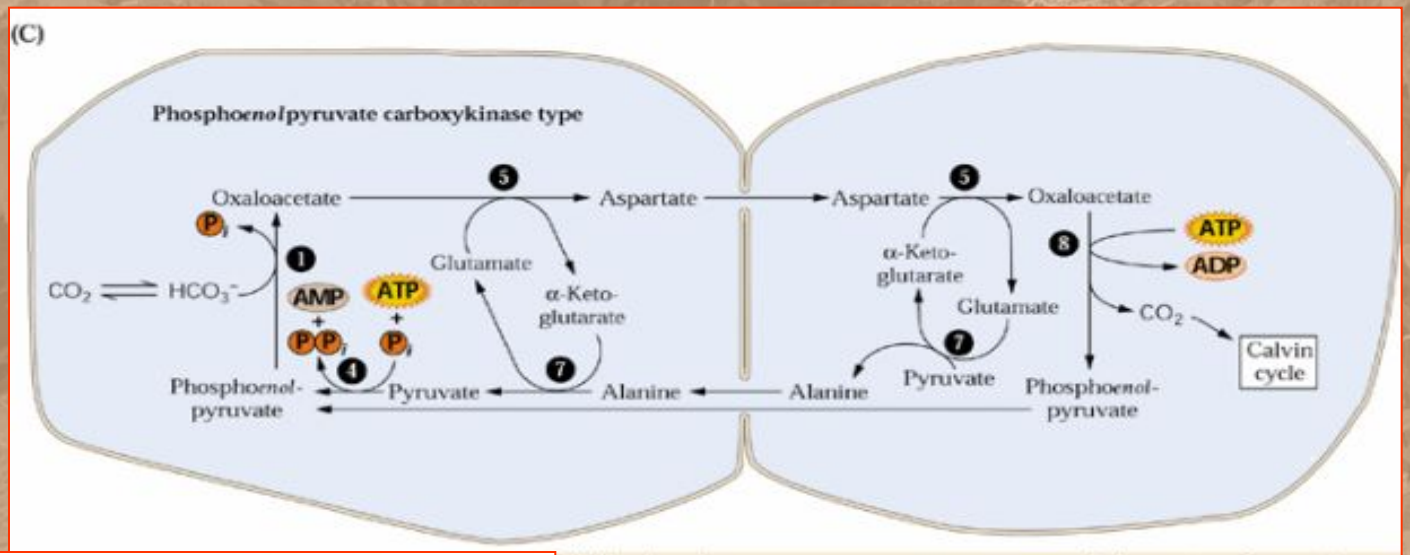


Три варианта C_4 – растений: НАД-МДГ (малик-энзим)

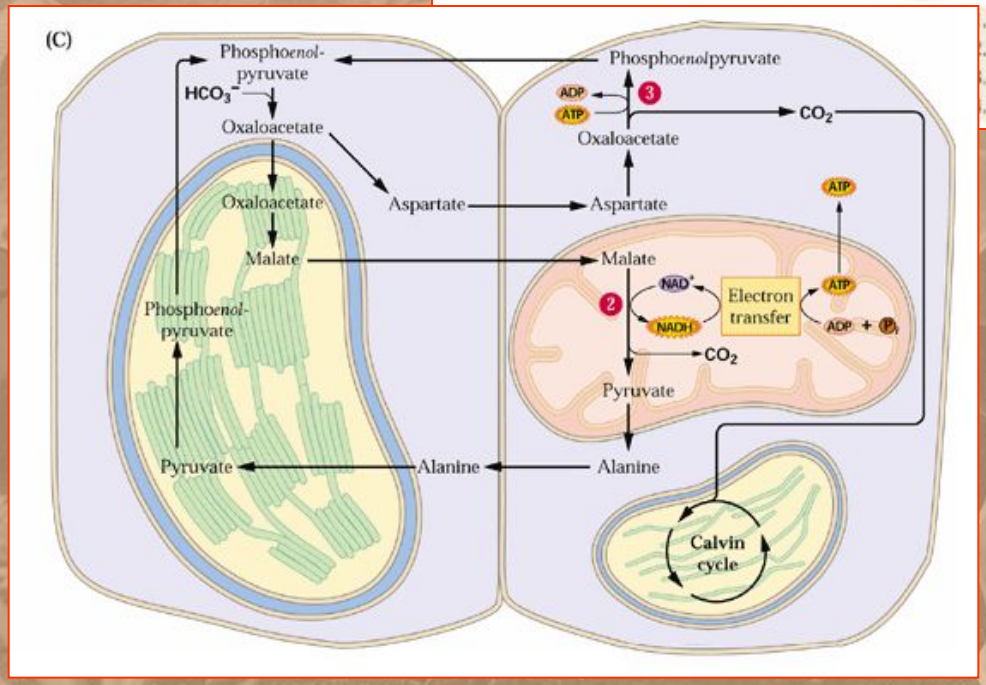




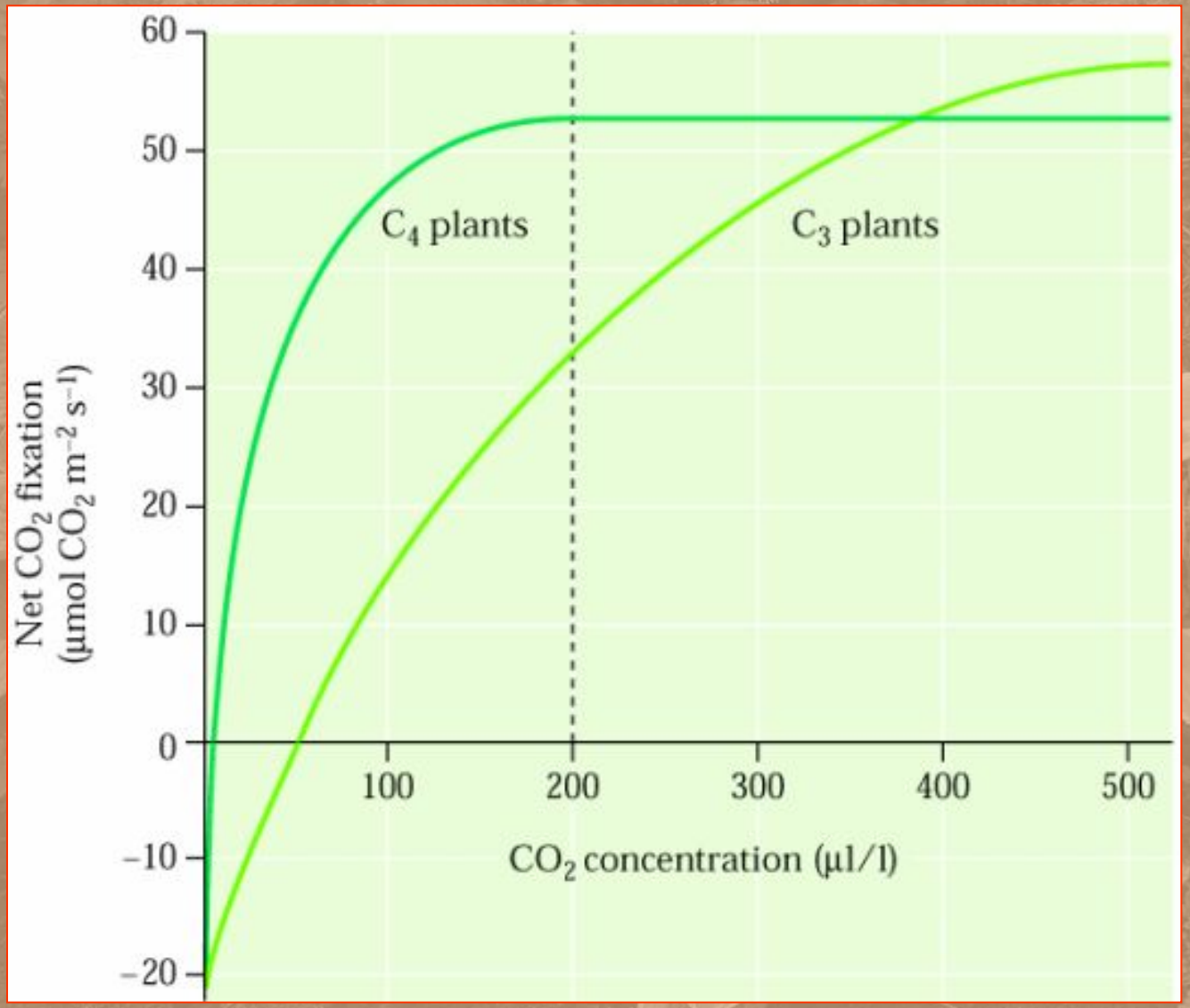
Три варианта C_4 – растений: ФЕП-КК (карбоксикиназный)



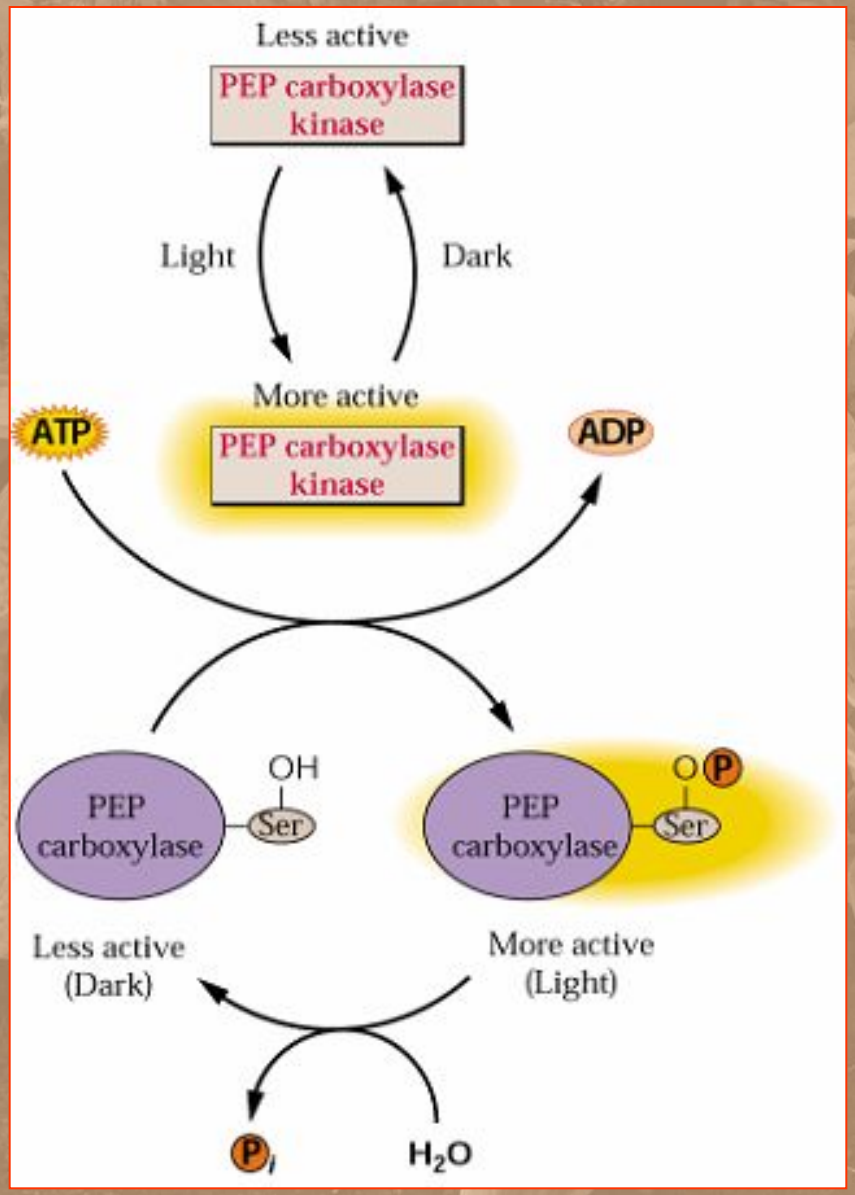
1. PEP carboxylase
2. $NADP^+$-malate dehydrogenase
3. $NADP^+$-malic enzyme
4. Pyruvate-orthophosphate dikinase (PPDK)
5. Aspartate aminotransferase
6. NAD^+-malic enzyme
7. Alanine aminotransferase
8. PEP carboxykinase



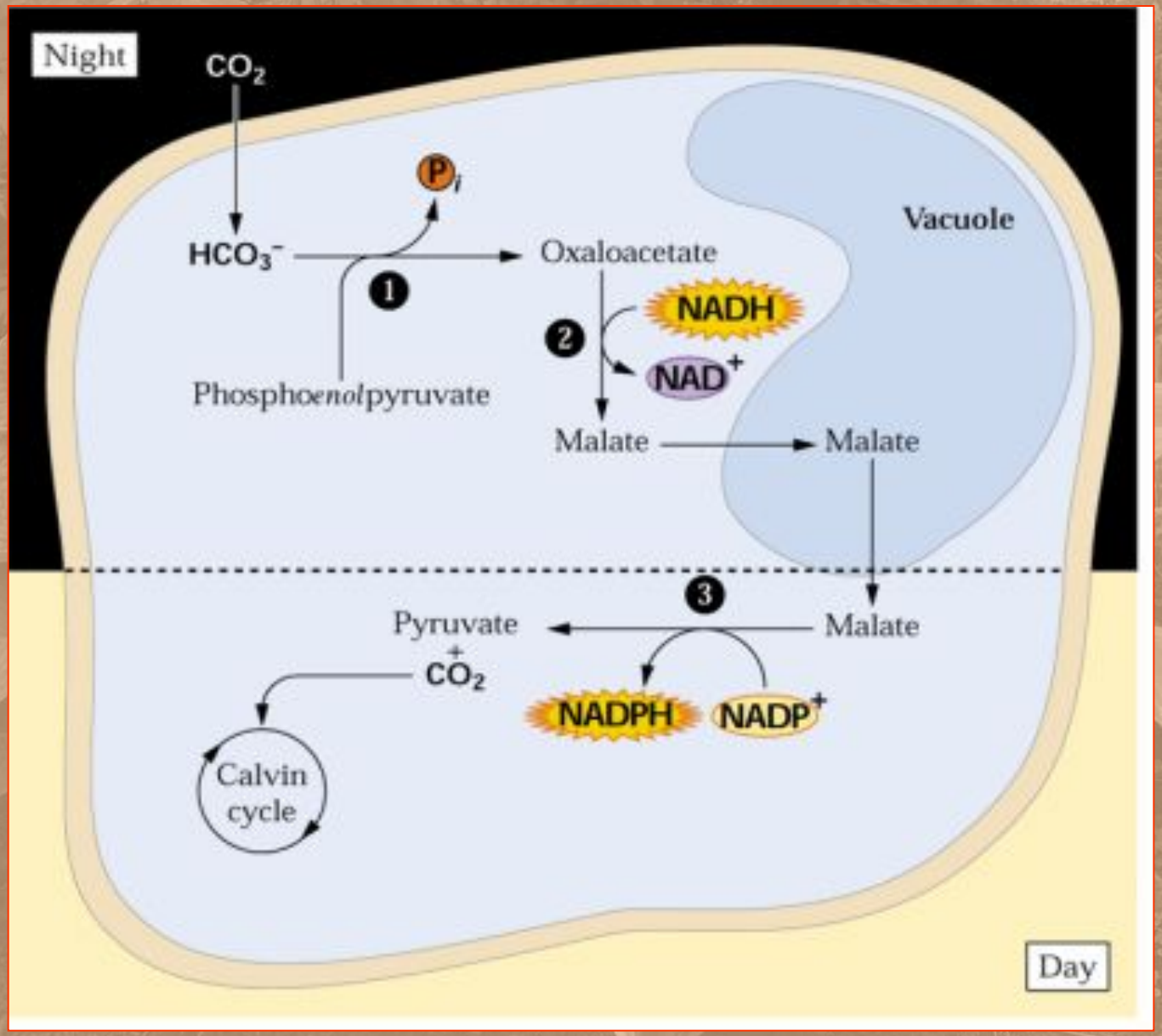
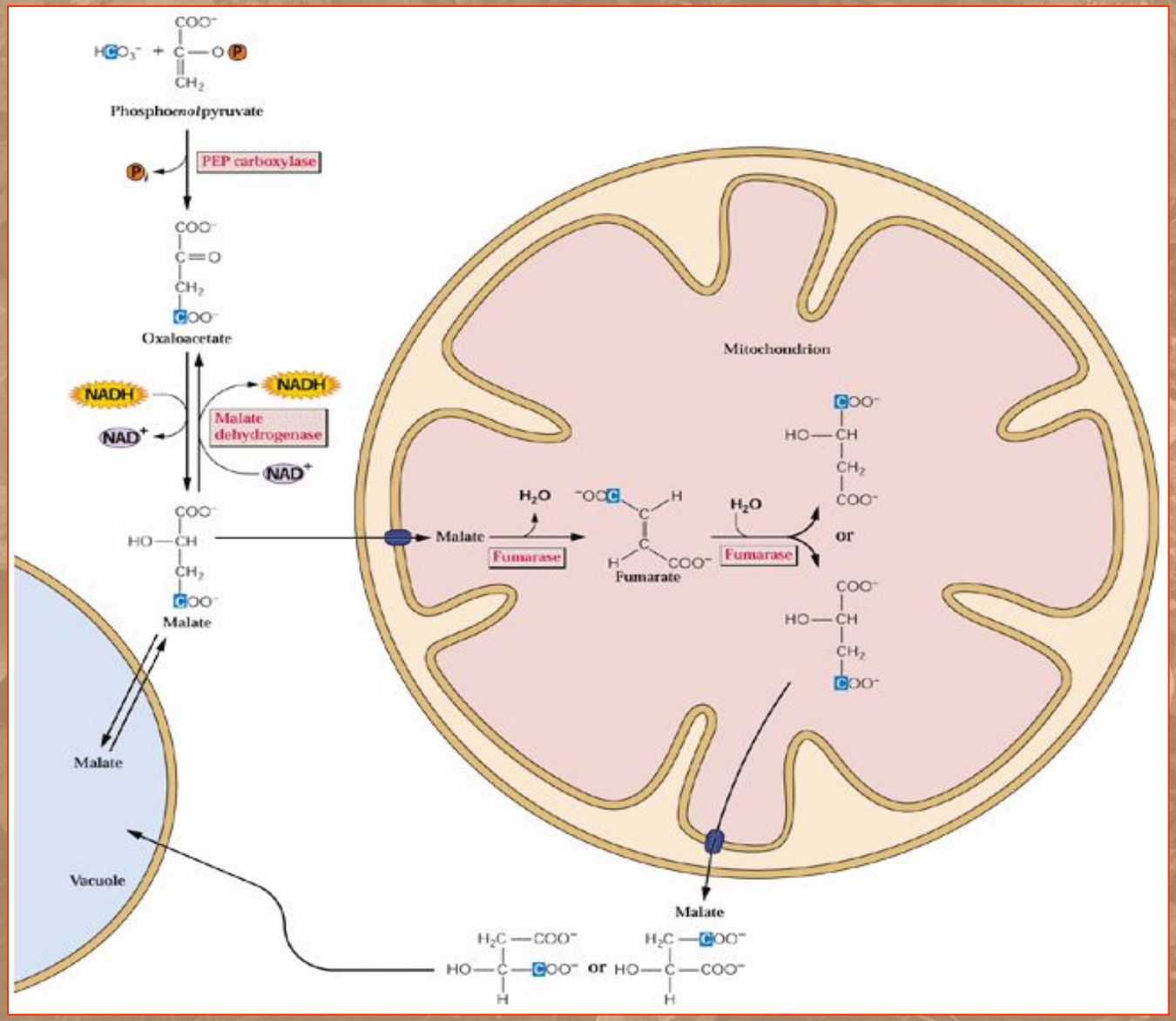
Фиксация CO_2 у C_3 и C_4 растений в зависимости от ее концентрации



Регулирование активности ФЕП-карбоксилазы



CAM-метаболизм: временное разделение карбоксилирования и фиксации CO_2



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