

# ФОТОСИНТЕЗ+ХЕМОСИНТ ЕЗ

Организмы, осуществляющие эти процессы, называют **ФОТОАВТОТРОФАМИ** и **ХЕМОАВТОТРОФАМИ**

# СУММАРНОЕ УРАВНЕНИЕ ФОТОСИНТЕЗА

хлорофилл

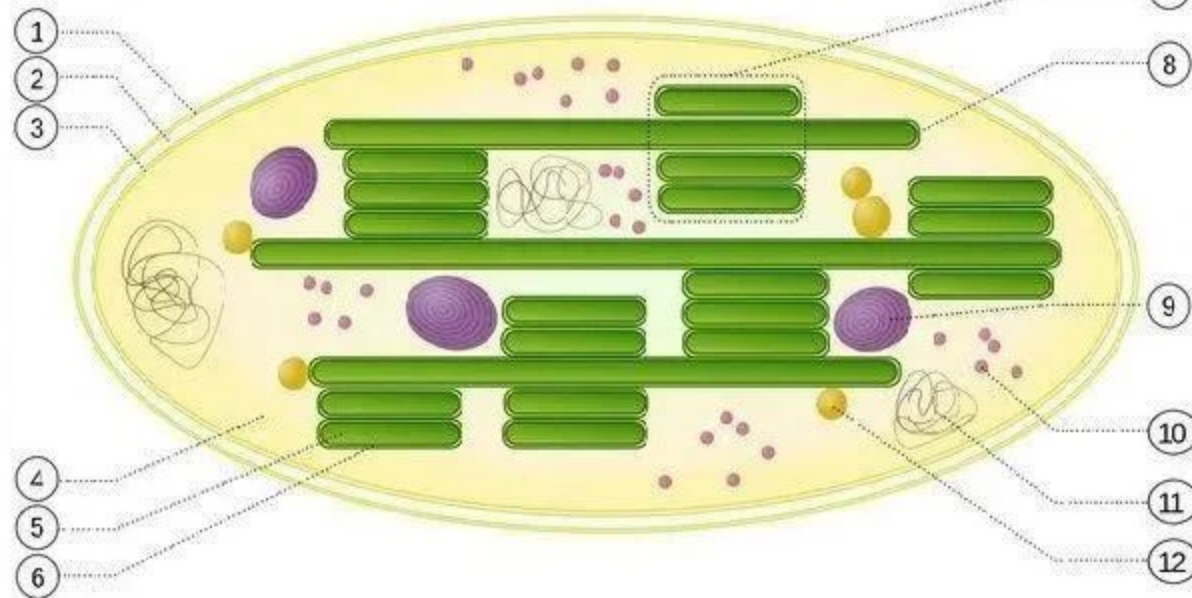


энергия света

Процесс фотосинтеза состоит из двух фаз: световой и темновой.

# ОРГАН ФОТОСИНТЕЗА – ЗЕЛЕНЫЙ ЛИСТ ОРГАНОИД ФОТОСИНТЕЗА - ХЛОРОПЛАСТ

## Хлоропласт высшего растения



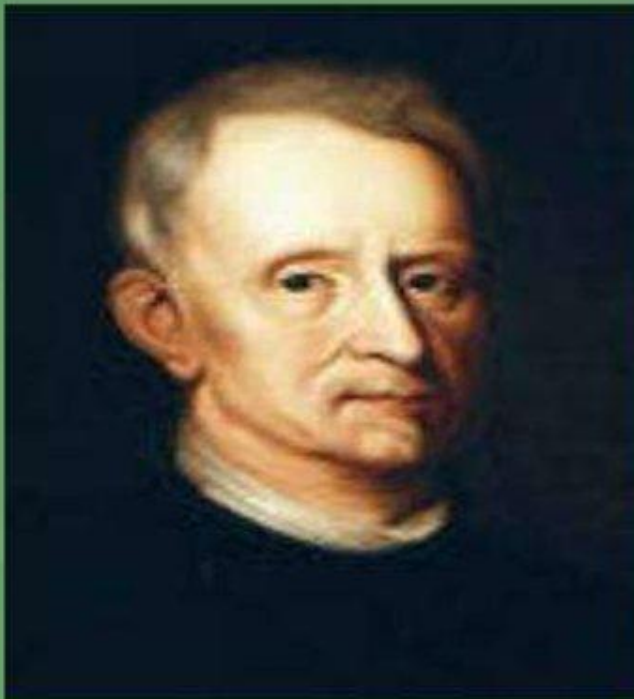
1. наружная мембрана  
2. межмембранное пространство  
3. внутренняя мембрана  
(1+2+3: оболочка)  
4. строма (жидкость)

5. **тилакоид** с просветом (люменом) внутри  
6. мембрана тилакоида  
7. грана (стопка тилакоидов)  
8. тилакоид (ламелла)

9. зерно крахмала  
10. рибосома  
11. пластидная ДНК  
12. пластоглобула (капля жира)

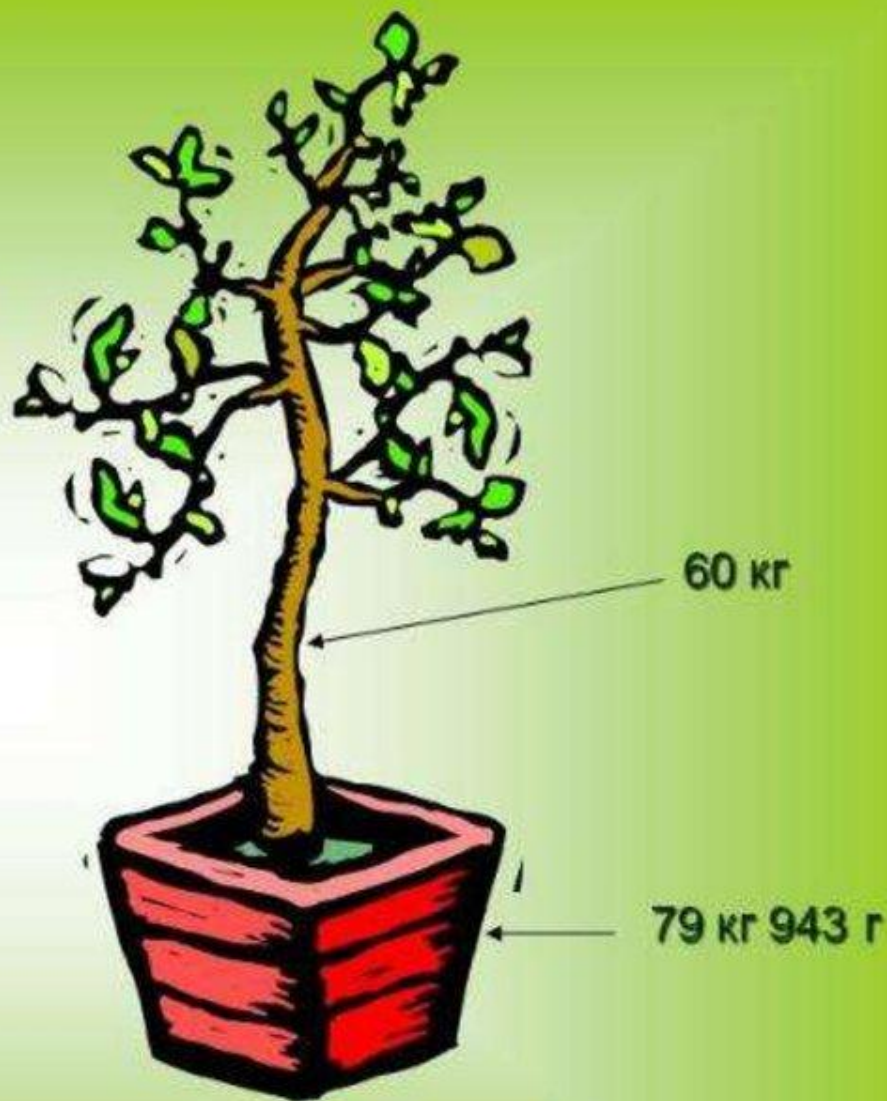
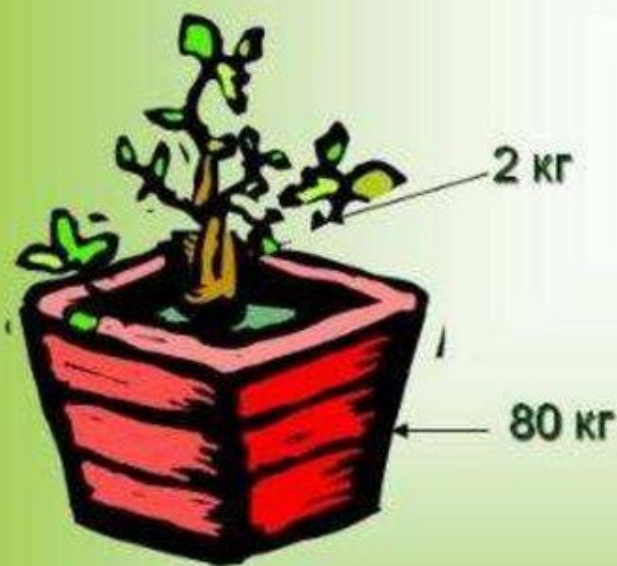
# ИЗ ИСТОРИИ ФОТОСИНТЕЗА - 17 ВЕК

## История изучения фотосинтеза



Ян Ван Гельмонт взвешивал горшок с землей и ивой, и отдельно само дерево, показал, что через 5 лет масса дерева увеличилась на 74кг, а почва потеряла только 57г. Он решил, что пищу дерево получает из воды.

Объясните, за счет чего растение увеличилось в размерах и массе за 5 лет на 58 кг?



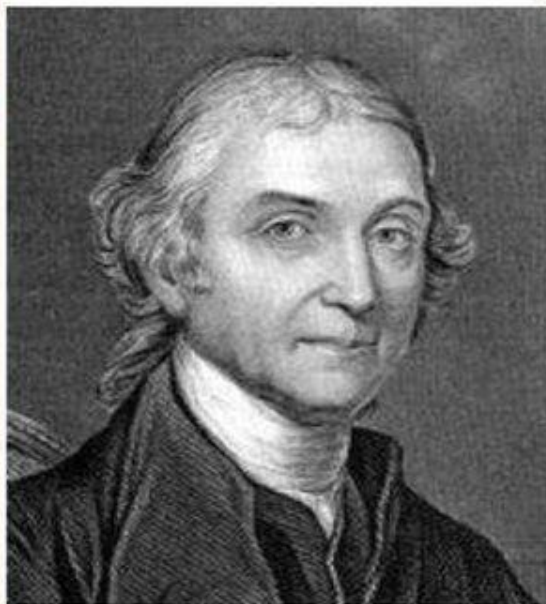
Опыт Ван Гельмонта.

# ДЖОЗЕФ ПРИСТЛИ 1772 Г.

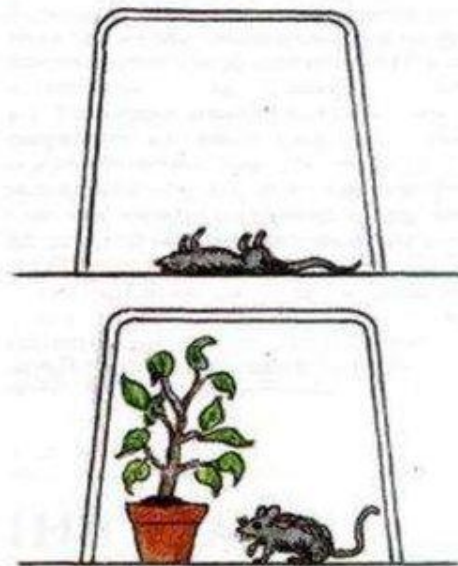
- ✘ Под стеклянный колпак, под которым потухла свеча он поместил мяту и оставил на некоторое время. Растение не погибло, а наоборот дало новые листья. Когда через некоторое время Пристли внес туда лучинку, то она ярко вспыхнула, что говорит о наличии под колпаком кислорода.

# ОПЫТ ПРИСТЛИ

## Как был открыт процесс фотосинтеза



*Английский химик  
Джозеф Пристли  
(1733-1804 гг.)*



*Опыт Джозефа Пристли  
(1771г.)*

Мышь задыхается под герметичным колпаком, но остаётся жива, если под ним находится зелёное

**Продуценты** — организмы, способные производить органические вещества из неорганических, то есть, все автотрофы. Благодаря жизнедеятельности автотрофных организмов создается *первичная продукция*.



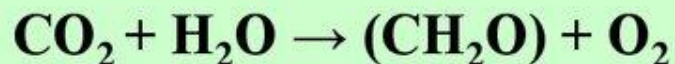
# III. Современная схема фотосинтеза

<b>Световые реакции</b>	<b>Пути связывания CO<sub>2</sub> (темновые реакции)</b>
<b>Энергия света</b>	<b>Энергия световых реакций</b>
<b>В мембранах тилакоидов</b>	<b>В строме хлоропласта</b>
$(E_{\text{света}} \rightarrow E_{\text{электрона}} \rightarrow E_{\text{АТФ}})$	$E_{\text{АТФ}} \rightarrow E_{\text{углеводов}}$
<b>НАДФН, АТФ, O<sub>2</sub></b>	<b>углеводы</b>

## Фотосинтез: что делать, когда всё, что можно, уже окислилось?

а/ умереть от отсутствия энергии

б/ найти способ «регенерации» восстановленных соединений:



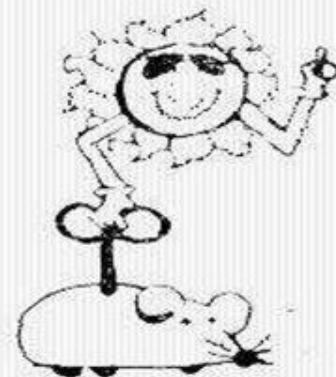
Для этого необходимо:

1. Найти «псевдонеиссякаемый» источник энергии (вспоминая первую лекцию – безотказного кредитора для безнадежной игры...)
2. Придумать систему трансформации этой энергии в энергию восстановленных соединений.

Псевдонеиссякаемый источник энергии на Земле – только энергия звезды по имени Солнце...

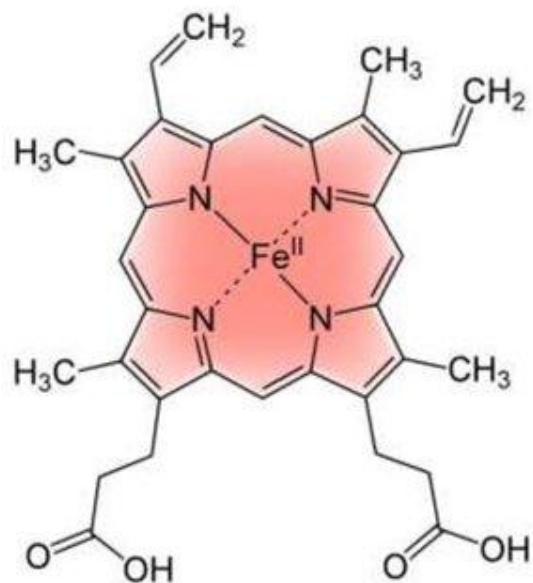
Таким образом, **основные задачи:**

- **поймать** энергию солнечных квантов
- **преобразовать** ее в энергию восстановленных соединений.

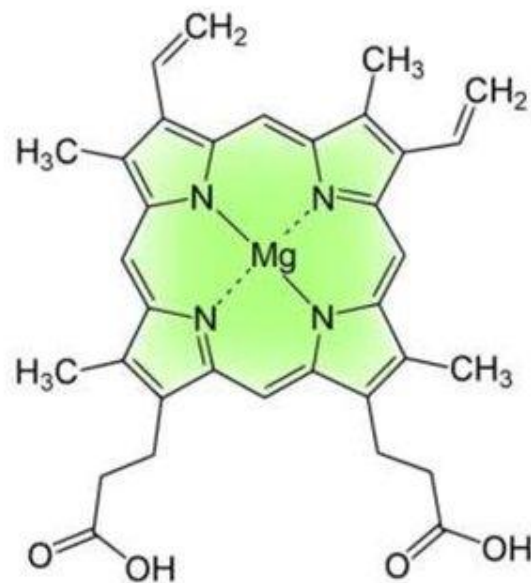


# ОСНОВНОЙ ПИГМЕНТ ХЛОРОПЛАСТОВ - ХЛОРОФИЛЛ

- ✘ По структуре напоминает пигмент эритроцитов человека и животных – гем.

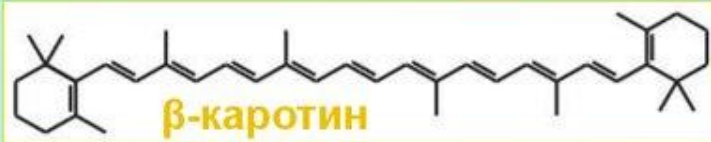


Формула гемоглобина



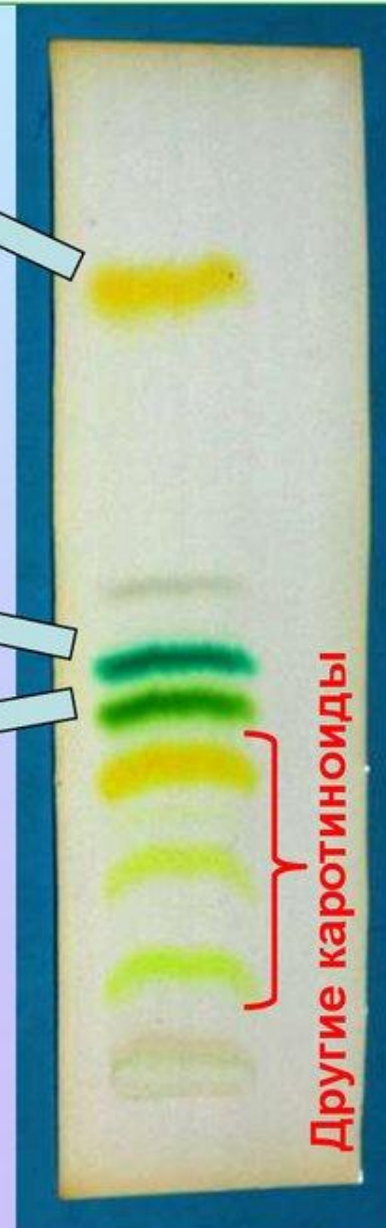
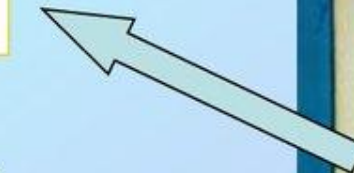
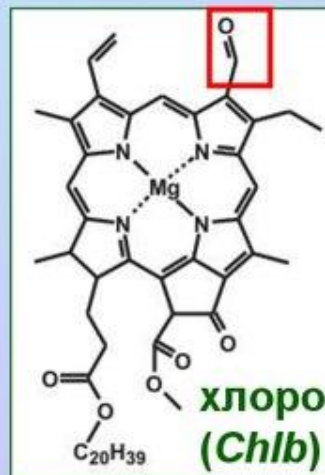
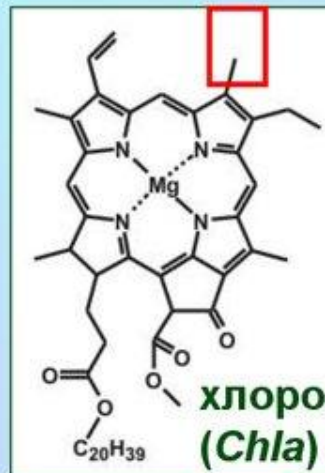
Формула хлорофилла

# Пигменты зелёного листа



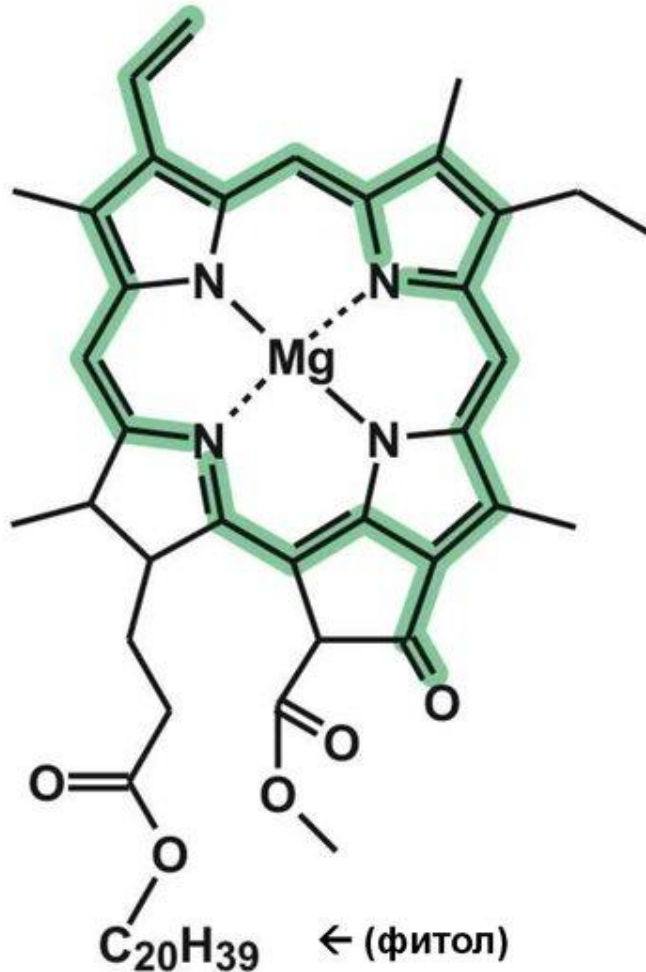
**Михаил Семёнович  
Цвет**

Создатель хроматографии  
с трагической судьбой..



Другие каротиноиды

## Хлорофилл: двуликый Янус Red-Ox реакций



Хлорофилл а

Хлорофиллов >10:  
Chl *a, b, c<sub>1</sub>, c<sub>2</sub>, c<sub>3</sub>, d, f*;  
BChl *a, b, c, d, e, g*.

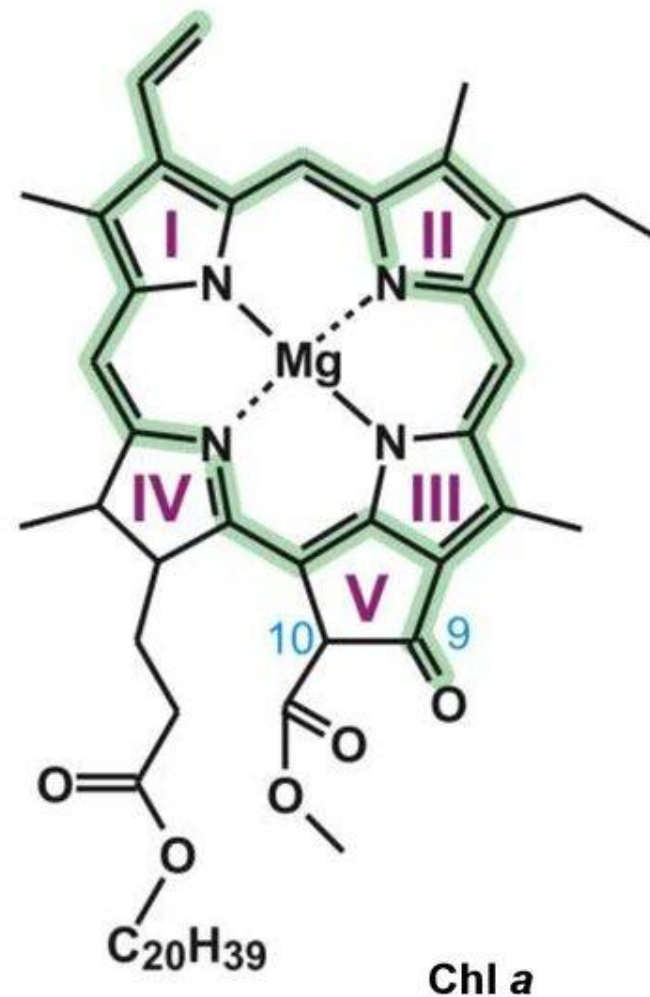
Единственная молекула  
которая может:

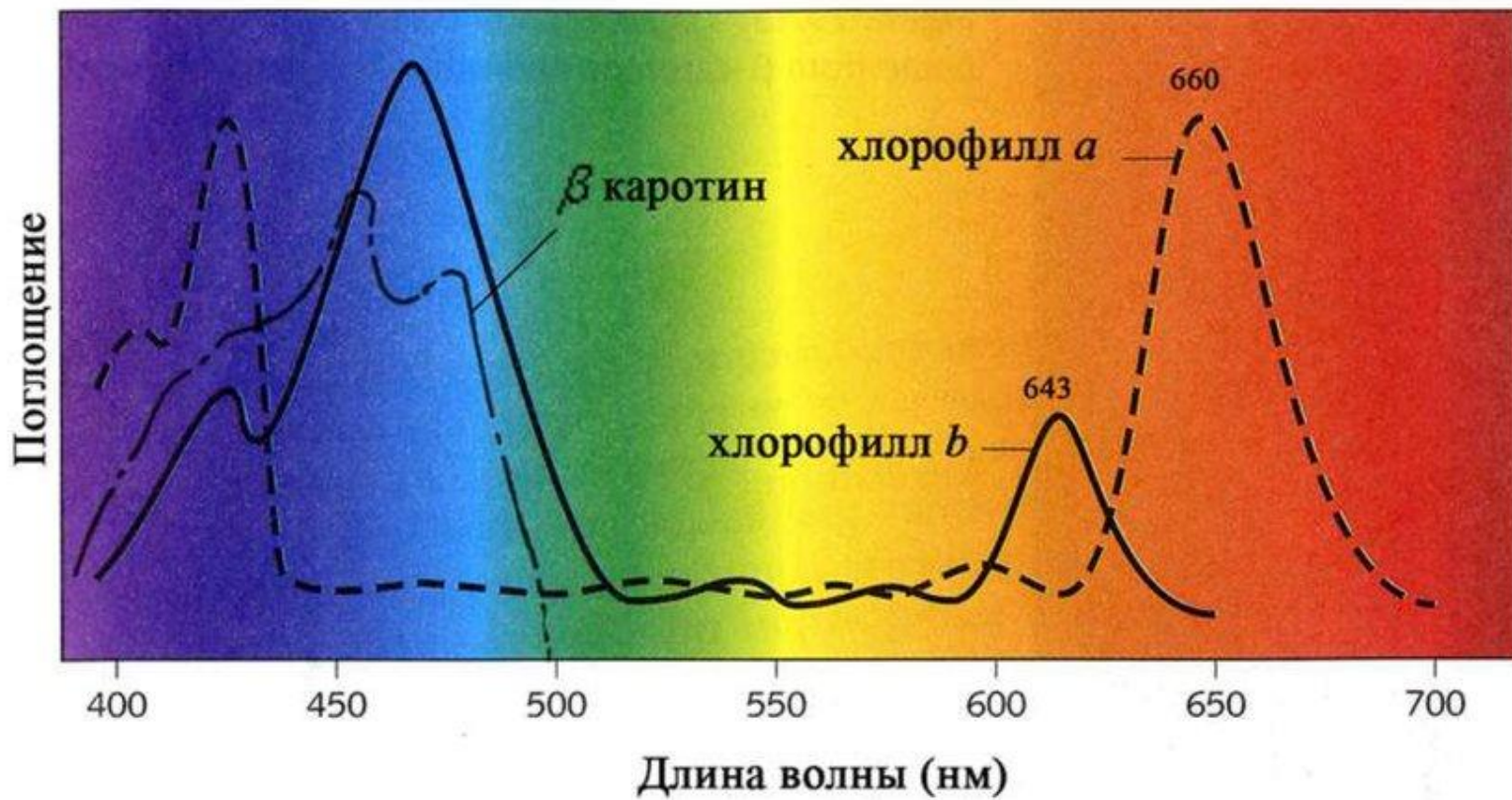
1. Эффективно поглощать  $h\nu$  и трансформировать эту энергию в  $\bar{e}^*$
2. Обратимо окисляться, т.е. отдавать  $\bar{e}^*$  с последующим заполнением «дырки»

Т.о. иметь два  $E^o$ '

## Основные структурные особенности молекулы хлорофилла

- Конъюгированная система двойных связей: основная 18-членная  $\pi$ -система + дополнительные в I, II, V кольцах.
- Mg – минимум «электроотрицательности»; изменяет симметрию молекулы хлорофилла; «активирует» электроны пиррольных азотов; координационные связи  $\perp$  пл-сти.
- V кольцо – «форбиновая структура»: две важные группы:
  - карбонильная при C<sub>9</sub> (участвует в  $n \rightarrow \pi^*$  переходах)
  - кетоэфирная при C<sub>10</sub> – *транс*- (Chl a) или *цис*- (Chl a') (P<sub>700</sub> = Chl a · Chl a').
- Гидрофобный «хвост» (обычно C<sub>20</sub> – фитол). Структурная роль – закрепление молекулы в липофильной области белков.





Спектры поглощения пигментов хлоропластов

# Световая фаза фотосинтеза

## Нециклический транспорт электронов





# Световая фаза

В световой фазе фотосинтеза можно выделить 3 этапа, различающиеся по природе и характерным скоростям процессов:

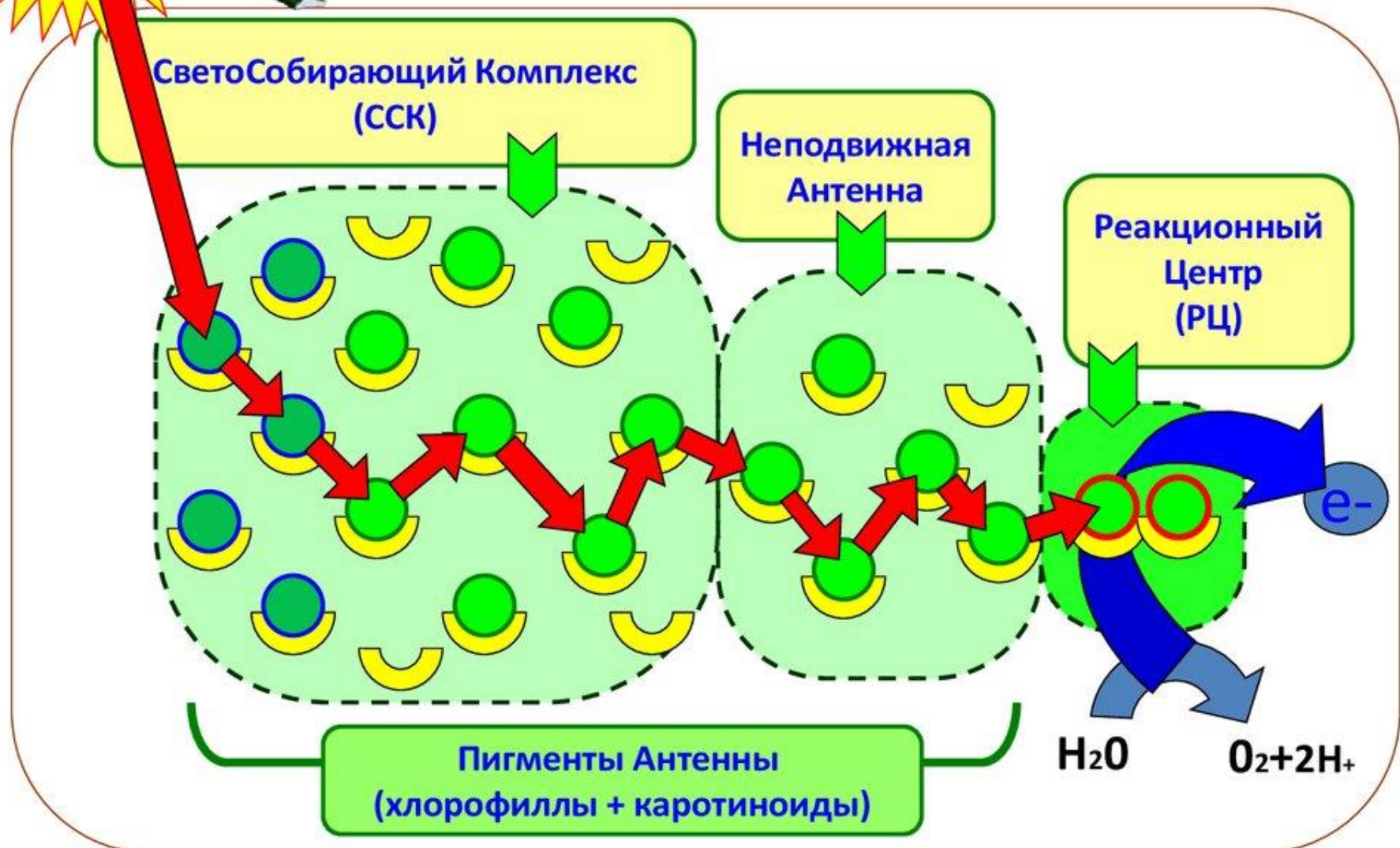
- фотофизический;
- фотохимический;
- химический:

**На первом этапе** происходит поглощение квантов света пигментами, их переход в возбуждённое состояние и передача энергии к другим молекулам фотосистемы (пластохинон).

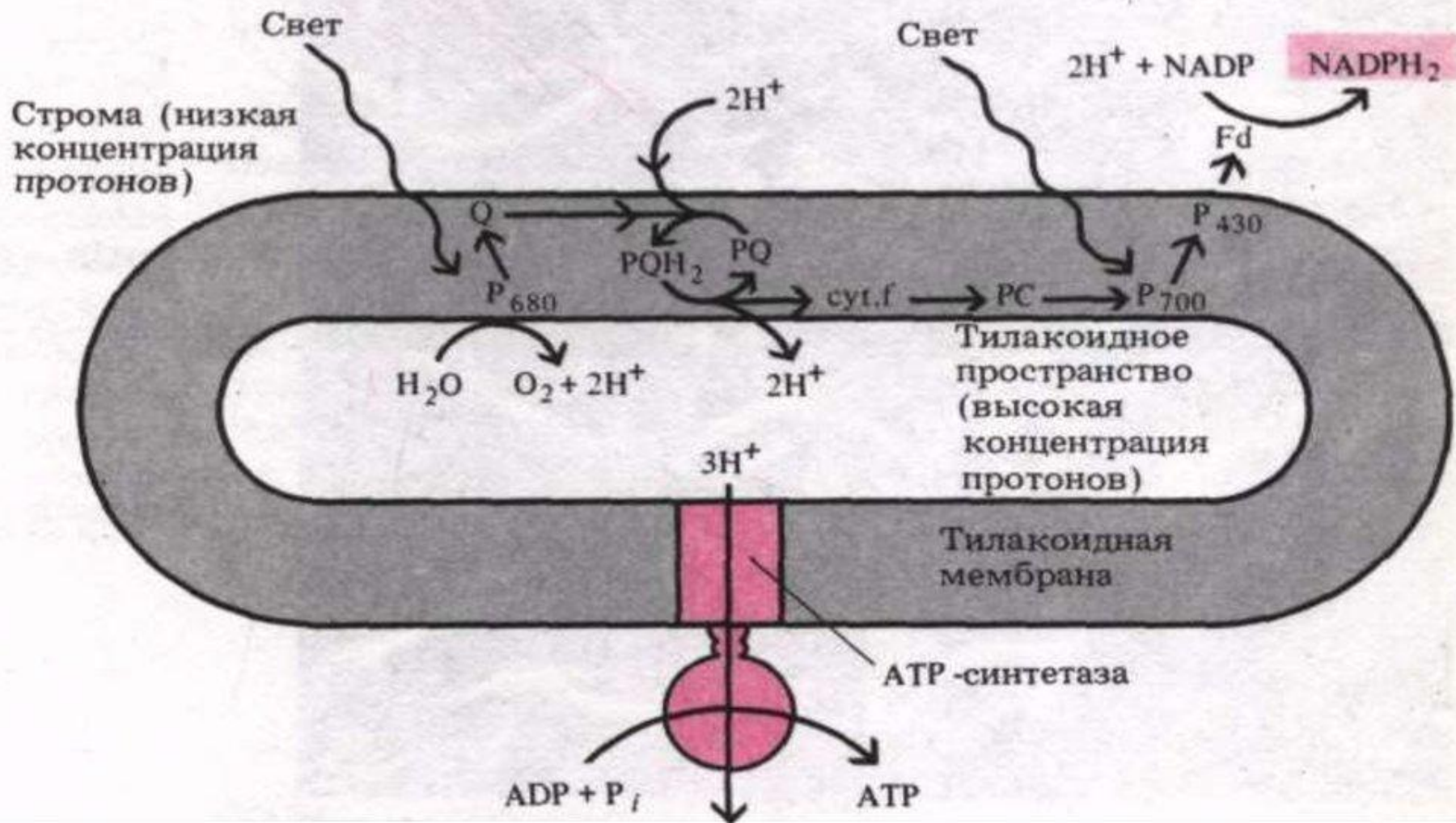
**На втором этапе** происходит разделение зарядов в реакционном центре. Молекула воды теряет электрон под воздействием катиона-радикала, образовавшегося из молекулы хлорофилла после потери ей своего электрона и передачи его пластохинону на первом этапе. Затем образовавшиеся гидроксильные радикалы под воздействием положительно заряженных ионов марганца преобразуются в кислород и воду. Одновременно с этим процессом происходит перенос электронов по фотосинтетической электронотранспортной цепи, что заканчивается синтезом АТФ и НАДФН.

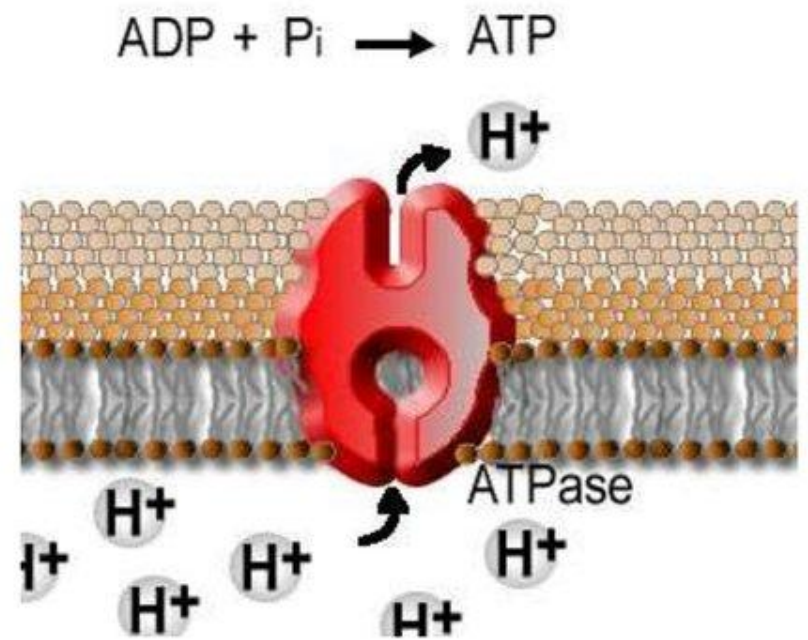
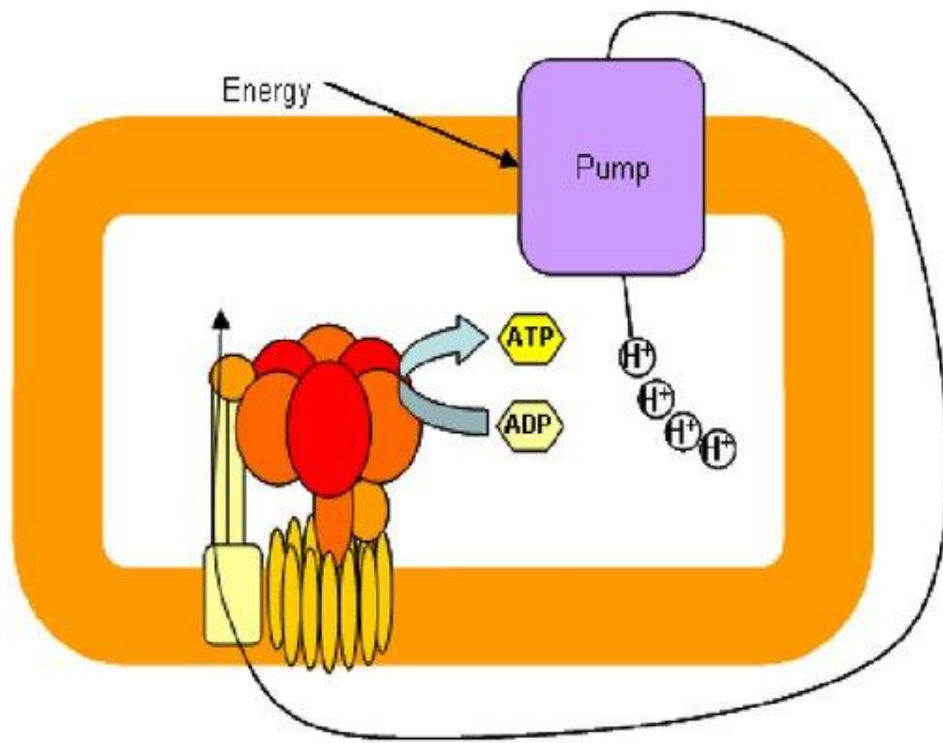
**Третий этап** заключается в поглощении второй молекулой хлорофилла кванта света и передаче электрона ферредоксину. Затем хлорофилл получает электрон после цепи его перемещений на первом и втором этапах. Ферредоксин восстанавливает универсальный восстановитель НАДФ.

# Процесс миграции энергии



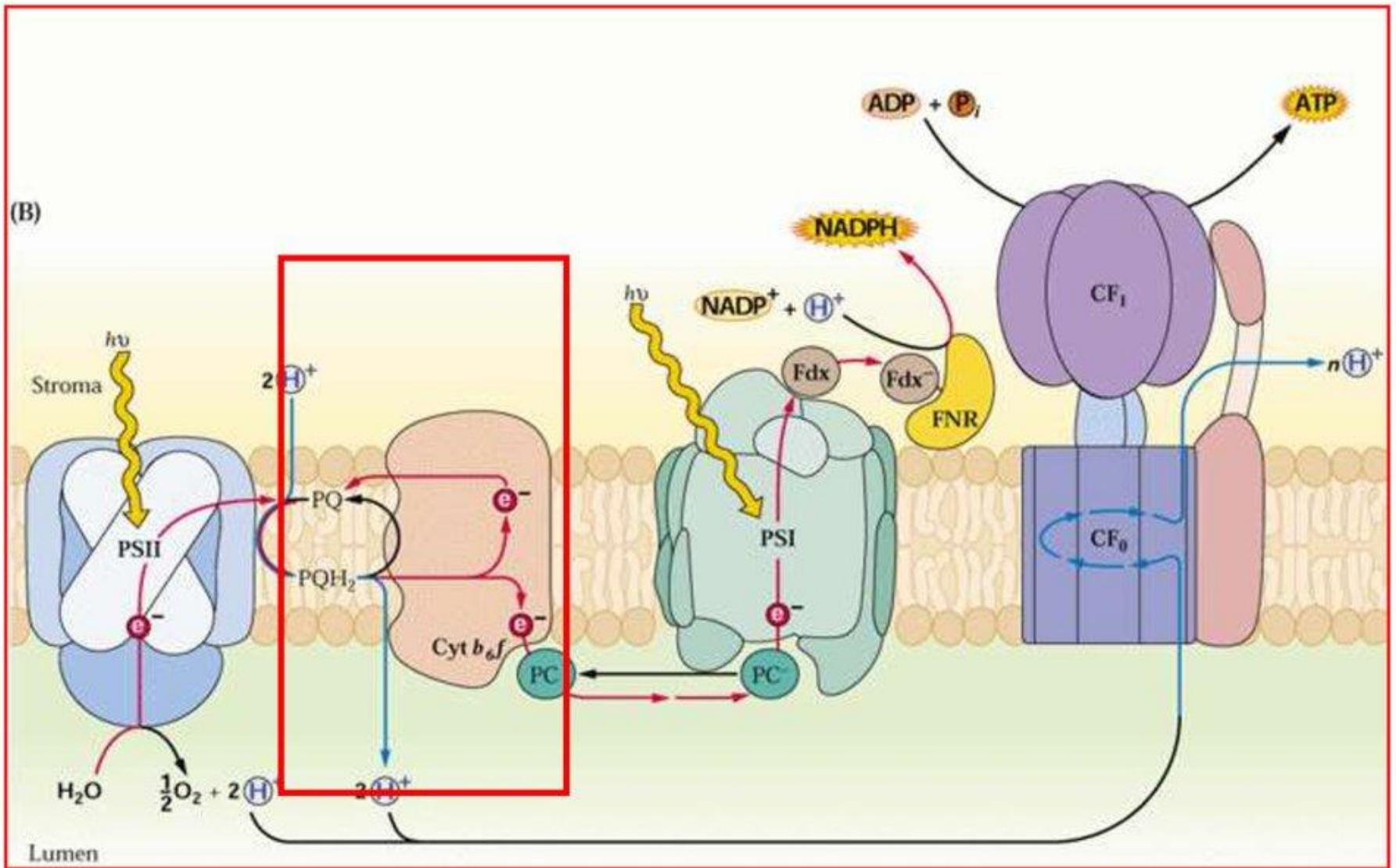
# Хемиосмотическое сопряжение как механизм фосфорилирования





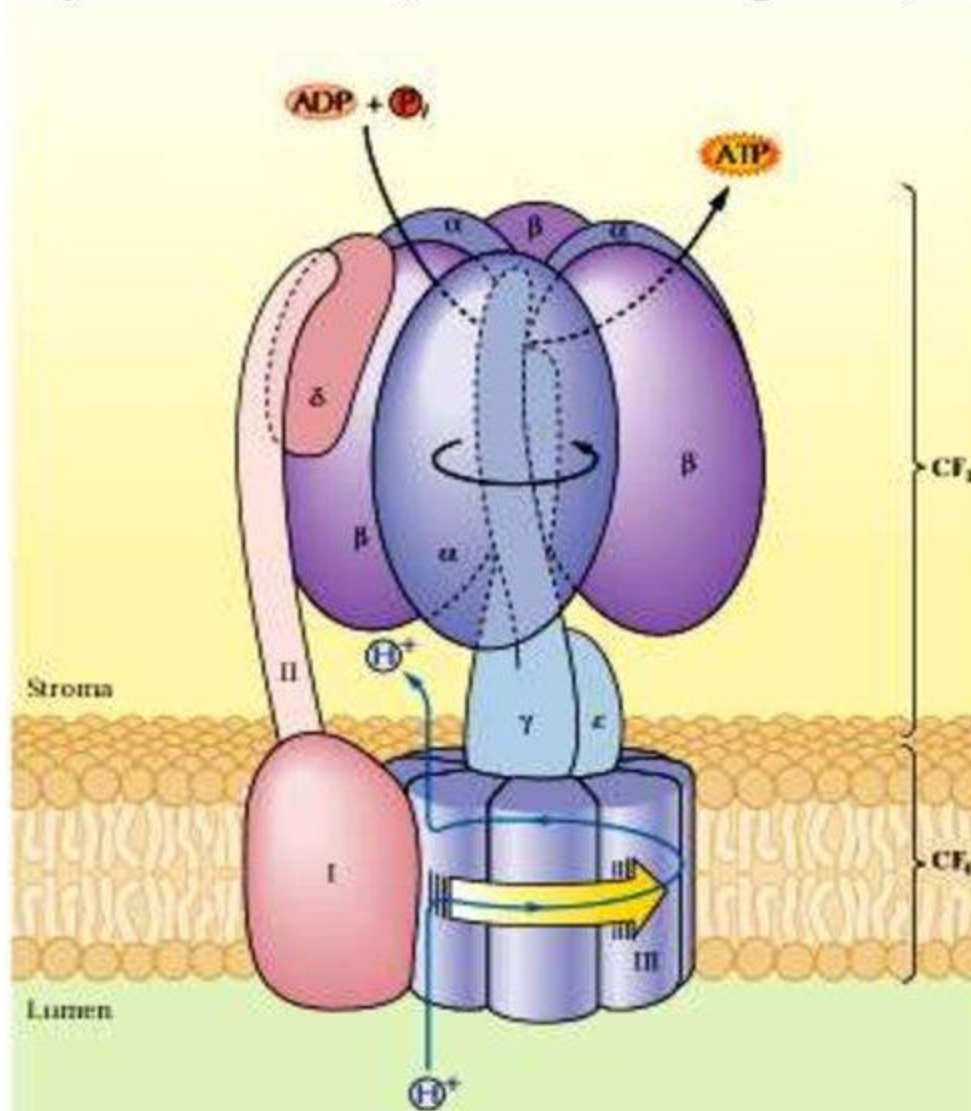
**Свет → протонный потенциал ( $\Delta\mu_{H^+}$ ) → АТФ**

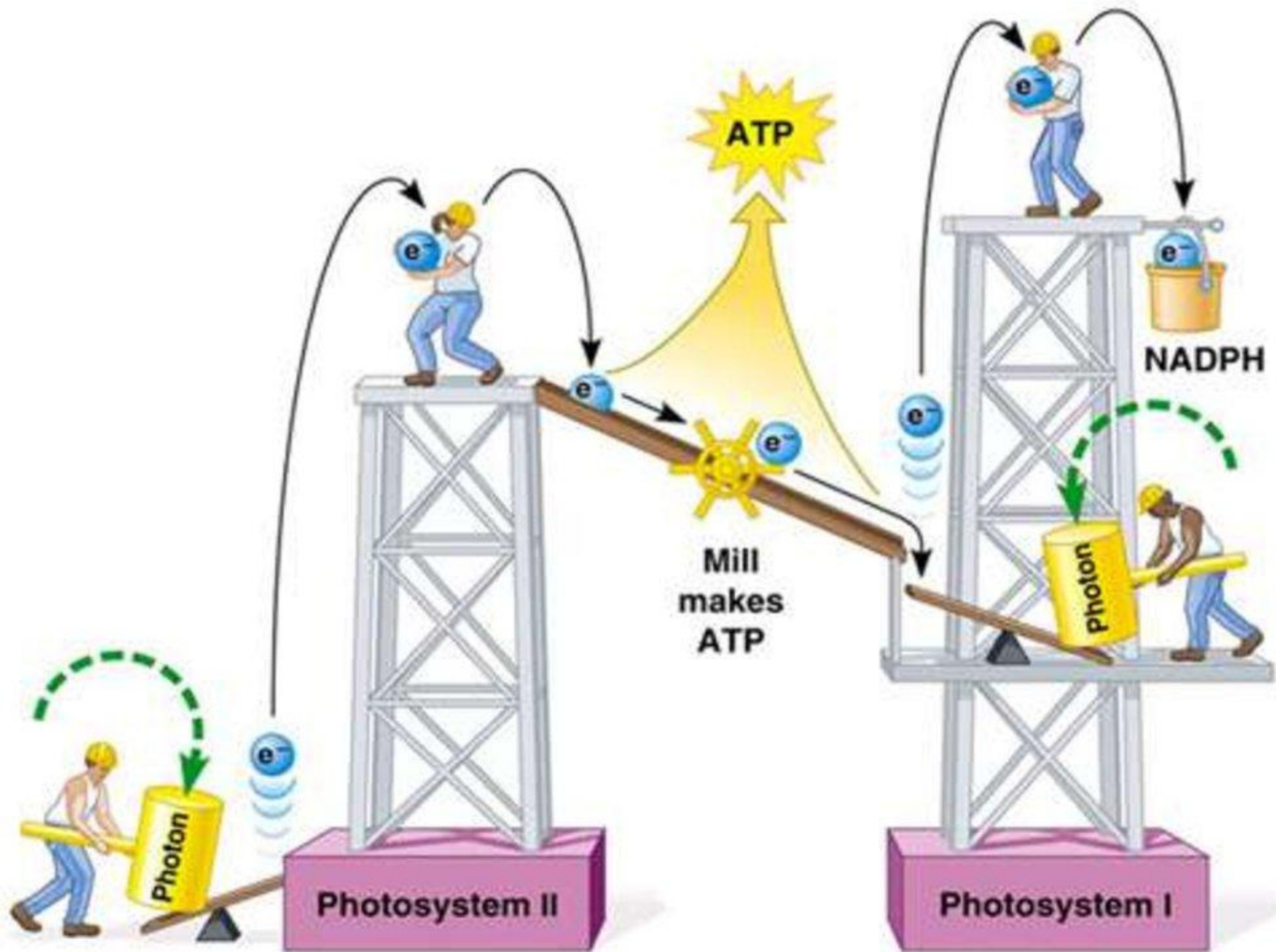
# Организация ЭТЦ фотосинтетического аппарата



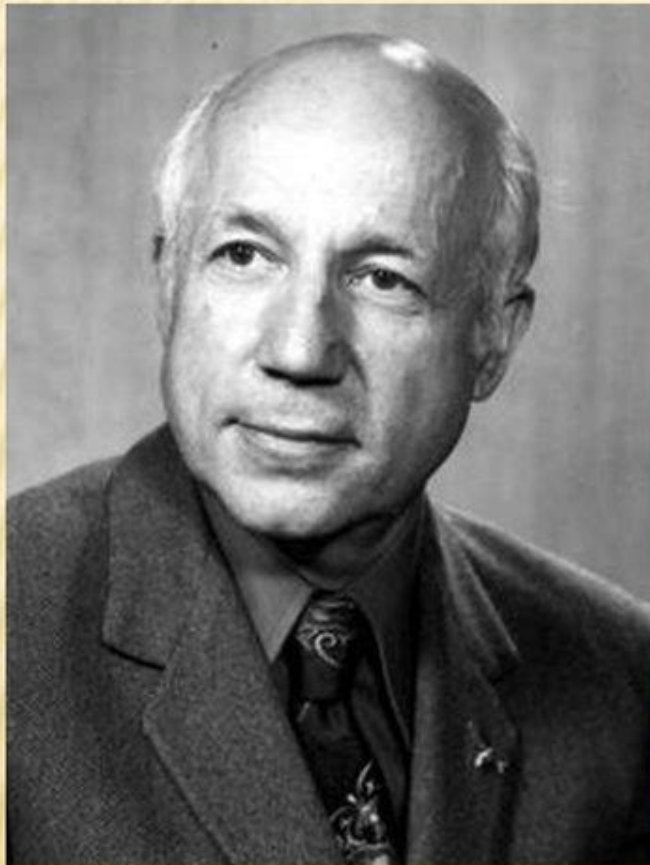
# АТФ-азный комплекс

P. Boyer & J. Walker (нобелевская премия, 1997)





# МЭЛВИН КАЛЬВИН ИЗУЧИЛ ТЕМНОВУЮ ФАЗУ ФОТОСИНТЕЗА



- ✗ процессы темновых реакций фотосинтеза открыты в 1957 г. В 1961 году – получена Нобелевская премия в области химии «за исследование усвоения двуокиси углерода растениями»



# Темновая фаза

В темновой стадии с участием АТФ и НАДФ происходит восстановление  $\text{CO}_2$  до глюкозы ( $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ ). Свет не требуется для осуществления данного процесса, он участвует в его регуляции.

$\text{C}_3$ -фотосинтез, цикл Кальвина состоит из **трёх стадий**:

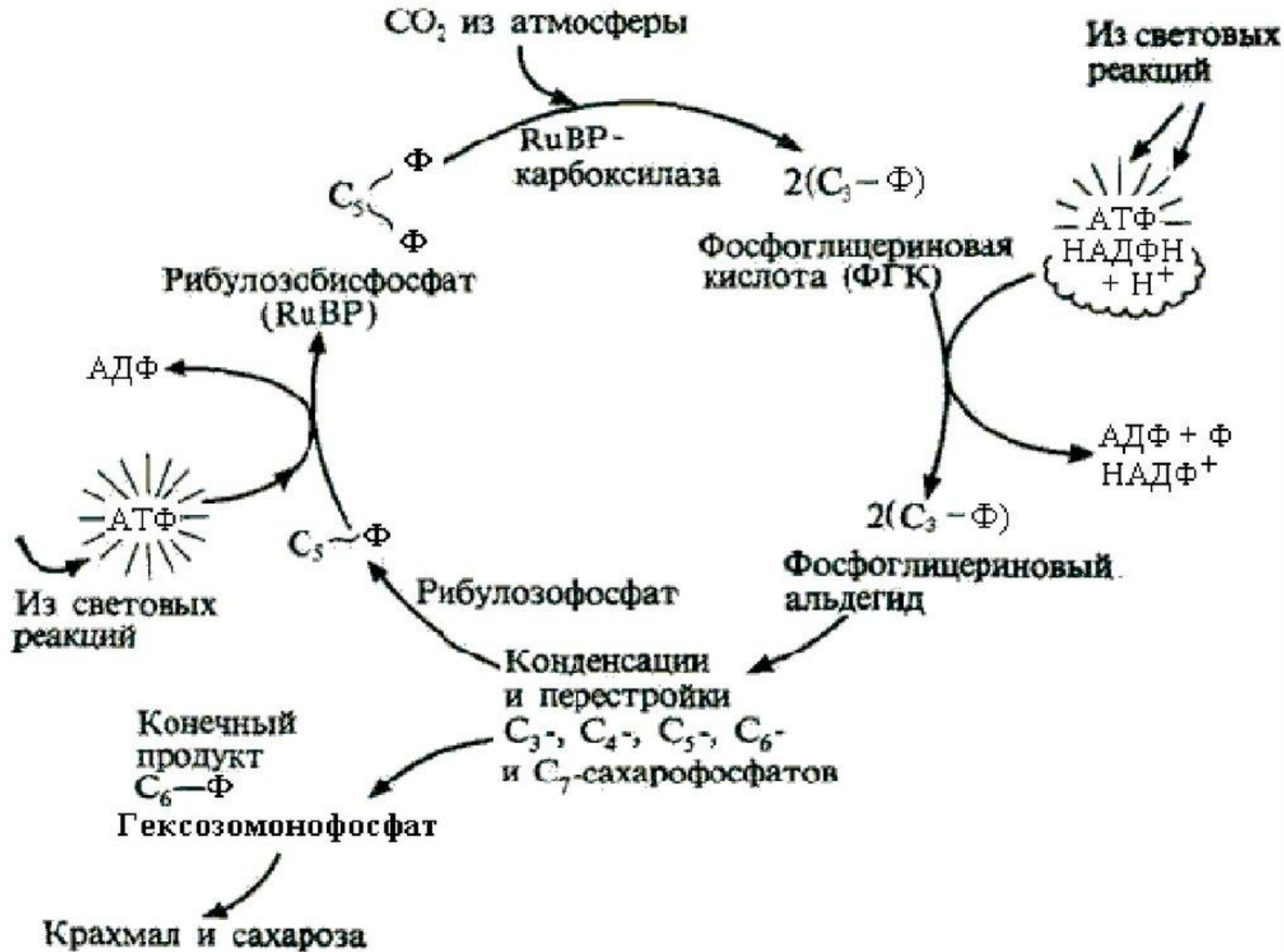
- карбоксилирования;
- восстановления;
- регенерация акцептора  $\text{CO}_2$ .

На первой стадии к рибулозо-1,5-бисфосфату присоединяется  $\text{CO}_2$  под действием фермента рибулозобисфосфат-карбоксилаза (Рубиско). Этот белок составляет основную фракцию белков хлоропласта и предположительно наиболее распространённый фермент в природе. В результате образуется промежуточное неустойчивое соединение, распадающееся на две молекулы 3-фосфоглицериновой кислоты (ФГК).

Во второй стадии ФГК в два этапа восстанавливается. Сначала она фосфорилируется АТФ под действием фосфоглицерокиназы с образованием 1,3-дифосфоглицериновой кислоты (ДФГК), затем при воздействии триозофосфатдегидрогеназы и НАДФН ацил-фосфатная группа ДФГК дефосфорилируется и восстанавливается до альдегидной и образуется глицеральдегид-3-фосфат — фосфорилированный углевод (ФГА).

В третьей стадии участвуют 5 молекул ФГА, которые через образование 4-, 5-, 6- и 7-углеродных соединений объединяются в 3 5-углеродных рибулозо-1,5-бисфосфата, для чего необходимы 3 АТФ.

Наконец, две ФГА необходимы для синтеза глюкозы. Для образования одной её молекулы требуется 6 оборотов цикла, 6  $\text{CO}_2$ , 12 НАДФН и 18 АТФ.



# ВО ВРЕМЯ ТЕМНОВОЙ СТАДИИ

- ✗ 1. Две триозы идут на синтез глюкозы
- ✗ 2. Триозы могут использоваться на синтез аминокислот, глицерина и высших жирных кислот
- ✗ 3. Часть триоз стимулируют повтор цикла Кальвина
- ✗  $6\text{CO}_2 + 12 \text{НАДФ}^*2\text{H} + 12 \text{АТФ} = \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 12 \text{НАДФ}^+ + 12 \text{АДФ} + 12 \text{ФН}$

## ТЕМНОВАЯ ФАЗА ФОТОСИНТЕЗА (СТРОМА)

- ✘ 1. Из углекислого газа, поступающего из атмосферы и воды осуществляются циклические процессы (цикл Кальвина)
- ✘ 2. Происходит восстановление углерода водородом НАДФ \*2H за счет энергии АТФ
- ✘ 3. Синтез глюкозы

Так как в каждом цикле присоединяется только 1 молекула  $\text{CO}_2$ , то чтобы получить глюкозу цикл должен повториться 6 раз

# СУЩНОСТЬ ФОТОСИНТЕЗА

Параметры	Световая фаза	Темновая фаза
Место реакции в хлоропластах	Мембраны хлоропластов	Строма хлоропластов
Условия реакций	Наличие света, воды	Свет не нужен
Источник энергии	Солнечный свет	НАДФ*Н, АТФ
Исходные вещества	Вода	СО <sub>2</sub>
Продукты реакции	НАДФ*Н, АТФ, кислород	глюкоза

# Значение фотосинтеза

- ☹ При фотосинтезе зеленый лист использует лишь около 1% падающей на него солнечной энергии;
- ☹ За год на земле образуется 150 млрд. т органики и выделяется 200 млрд. т кислорода;
- ☹ процесс фотосинтеза способствует предохранению поверхности Земли от парникового эффекта;
- ☹ Фотосинтез способствует образованию защитного озонового экрана вокруг планеты;
- ☹ Благодаря фотосинтезу создается и поддерживается состав среды, необходимый для обитания всех живых организмов;
- ☹ За счет фотосинтеза поддерживается на Земле постоянный уровень газового состава атмосферы;

# ХЕМОСИНТЕЗ

- ✦ Процесс синтеза органических веществ из неорганических за счет энергии окисления неорганических веществ

Открыт в **1889-1890** г. русским

микробиологом

Сергеем Николаевичем

Виноградским

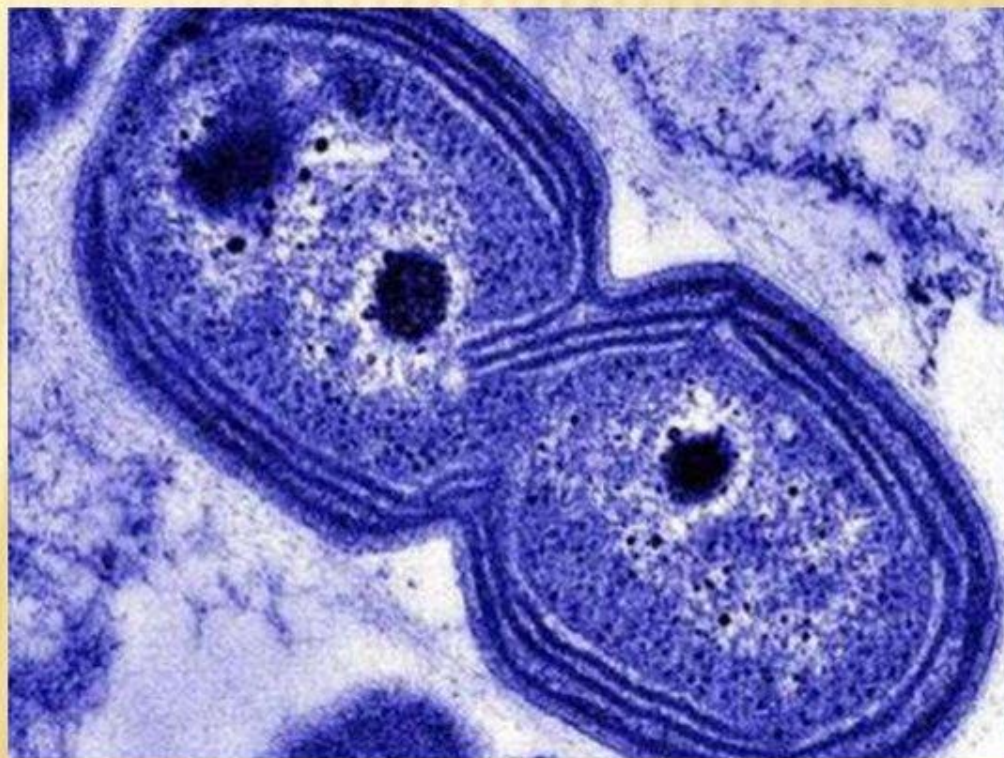
(в др. источниках **1887** год)



# НИТРИФИЦИРУЮЩИЕ БАКТЕРИИ (НИТРОЗОМОНАС И НИТРОБАКТЕР)

- ✗  $2 \text{ NH}_3 + 3 \text{ O}_2 = 2 \text{ HNO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 662 \text{ кДж/моль}$
- ✗  $2 \text{ HNO}_2 + \text{O}_2 = 2 \text{ HNO}_3 + 101 \text{ кДж/моль}$

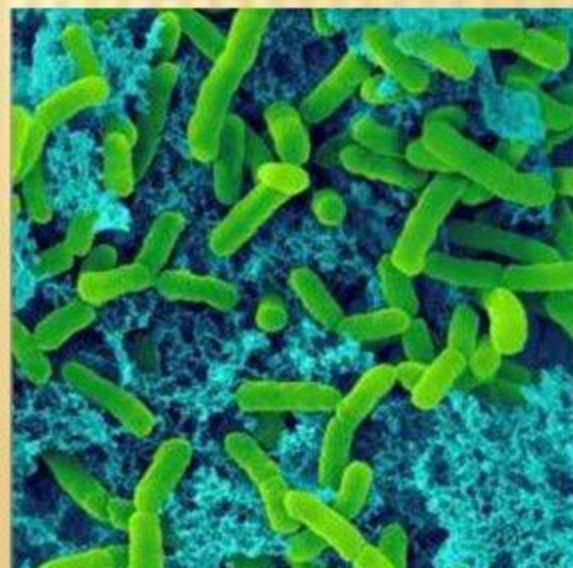
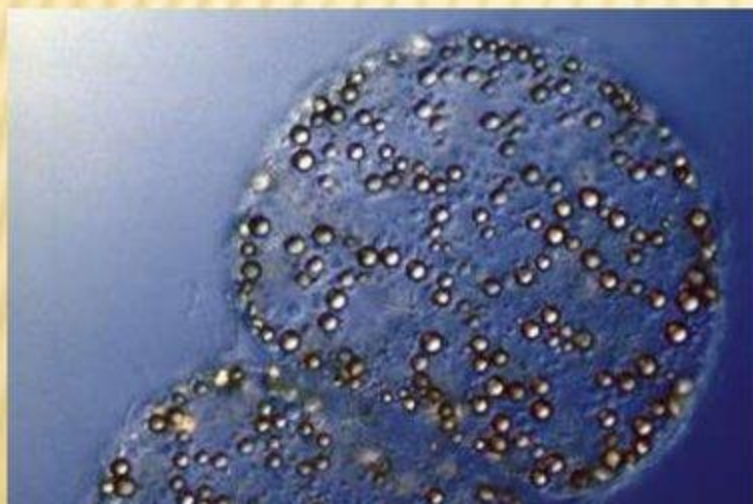
Данные реакции  
протекают в разных  
группах  
нитрифицирующих  
бактерий





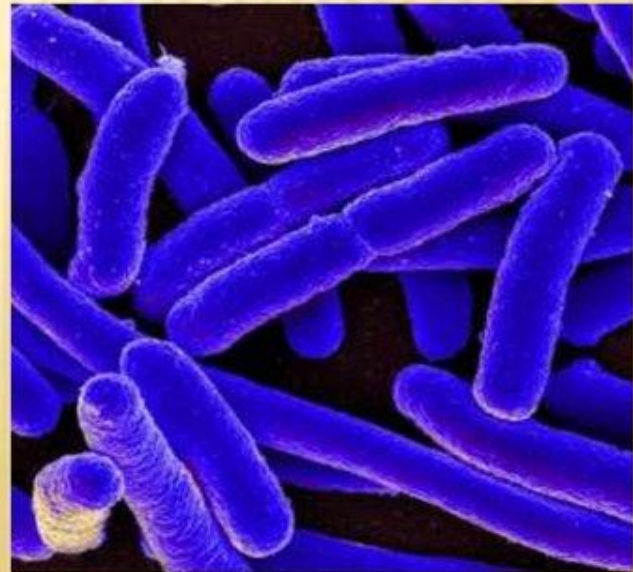
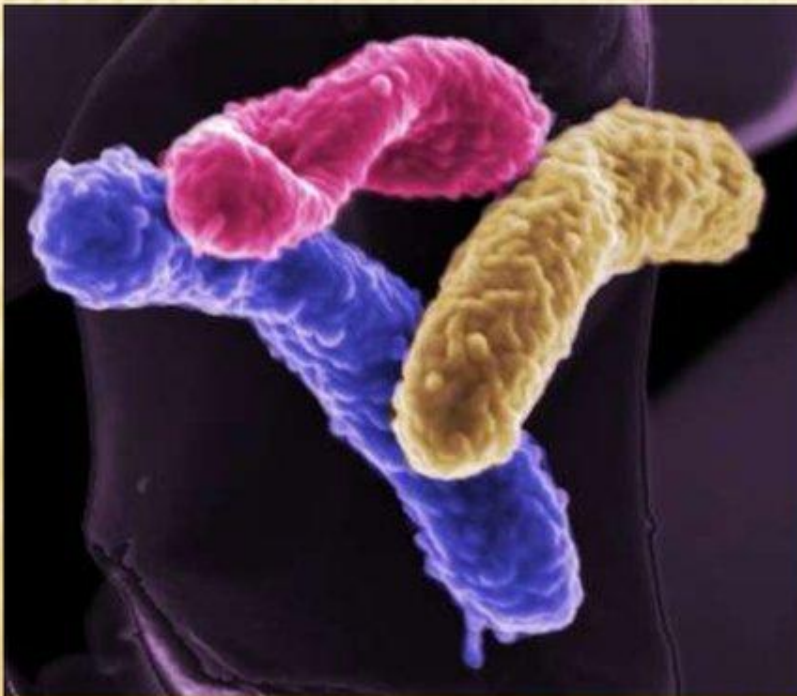
# СЕРОБАКТЕРИИ (БЕЖИАТОА И ТРИОТРИКС)

- ✗  $2\text{H}_2\text{S} + \text{O}_2 = 2\text{H}_2\text{O} + 2\text{S} + \text{Q}$
- ✗  $2\text{S} + 3\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} = 2\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{Q}$
- ✗ На две реакции 666 кДж/моль.
- ✗ Серобактерии обитают в Черном море на глубине 200 м.



# ВОДОРОДНЫЕ БАКТЕРИИ

- ✗  $2\text{H}_2 + \text{O}_2 = 2\text{H}_2\text{O} + Q$
- ✗ Вся энергия в этих процессах запасается в виде АТФ



# ЖЕЛЕЗОБАКТЕРИИ (КРЕНОТРИКС И ЛЕПТОТРИКС)

- ✗  $4\text{FeCO}_3 + \text{O}_2 + \text{H}_2\text{O} = 4\text{Fe}(\text{OH})_3 + 4\text{CO}_2 + \text{Q}$
- ✗ Все хемосинтетики являются облигатными аэробами, так как используют кислород воздуха

