

Лекция 2

Физиология растений



Физиология растений

Сайт:

<http://moodle.vsu.ru/course/view.php?id=2393>

Если Вы студент, и еще ни разу не авторизовывались в портале, то Вашим логином является номер Вашего студенческого билета, а пароль – Student81.

Пигменты фотосинтеза

Классификация пигментов

1. Тетрапирролы.

а) Циклические (хлорофилл а, хл.в, хл.с, хл.д и т.д.).

в) Линейные (фикобилины).

2. Каротиноиды - изопреноиды.

3. Флавоноиды – антоцианы, флавоны, локализованы в вакуоли.

В фотосинтезе не участвуют.

Хлорофилл

Химическое строение хлорофилла стало известным в 1961 году.

Комплексная Mg-соль,
1,3,5,8-тетраметил, 2-винил, 4-этил,
9-оксо, 10-карбометоксифорбин,
7-фитиловый эфир пропионовой
кислоты.

Пространственная организация

1. Порфириновое ядро – 10 x 10 нм.
2. Фитол - 20 нм.
3. Магний – 2,4 нм (стабильность молекулы).
4. Конъюгированная система связей - **9 двойных связей** (поглощение света и его трансформация).

Физико-химические свойства

1. Спектр поглощения.
2. Флюоресценция (красная).
3. Растворимость.
4. Реакция омыления.
5. Феофитин.

См. лабораторные занятия.

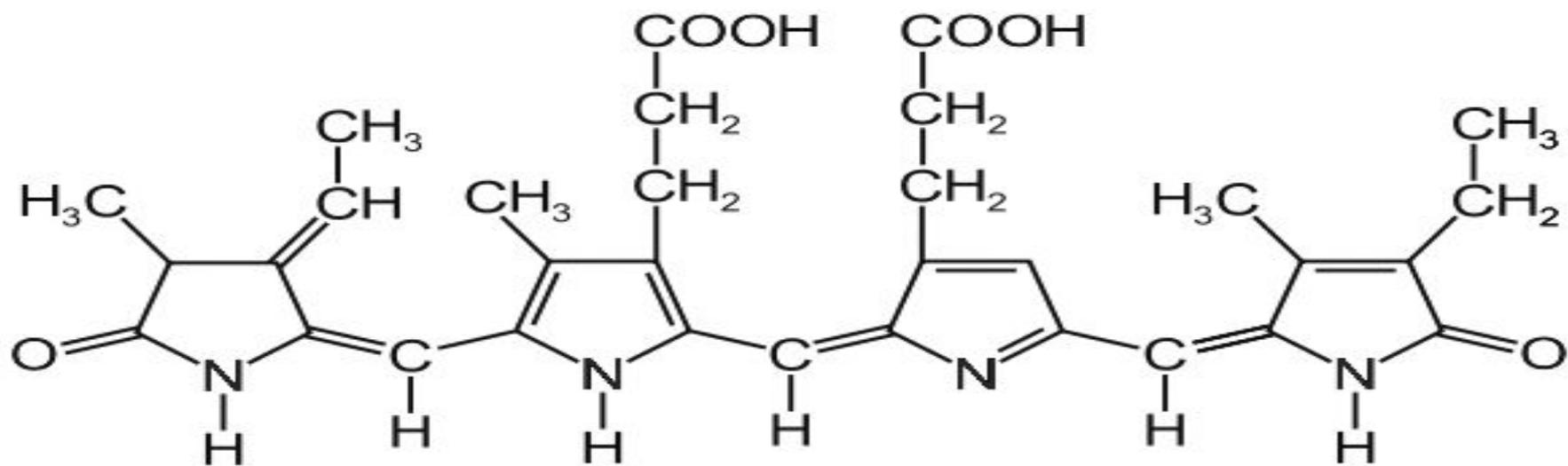
Нативное состояние

В живой клетке молекулы хлорофилла образуют ассоциаты, состоящие из нескольких десятков или сотен пигментов. Это светособирающие комплексы (ССК).

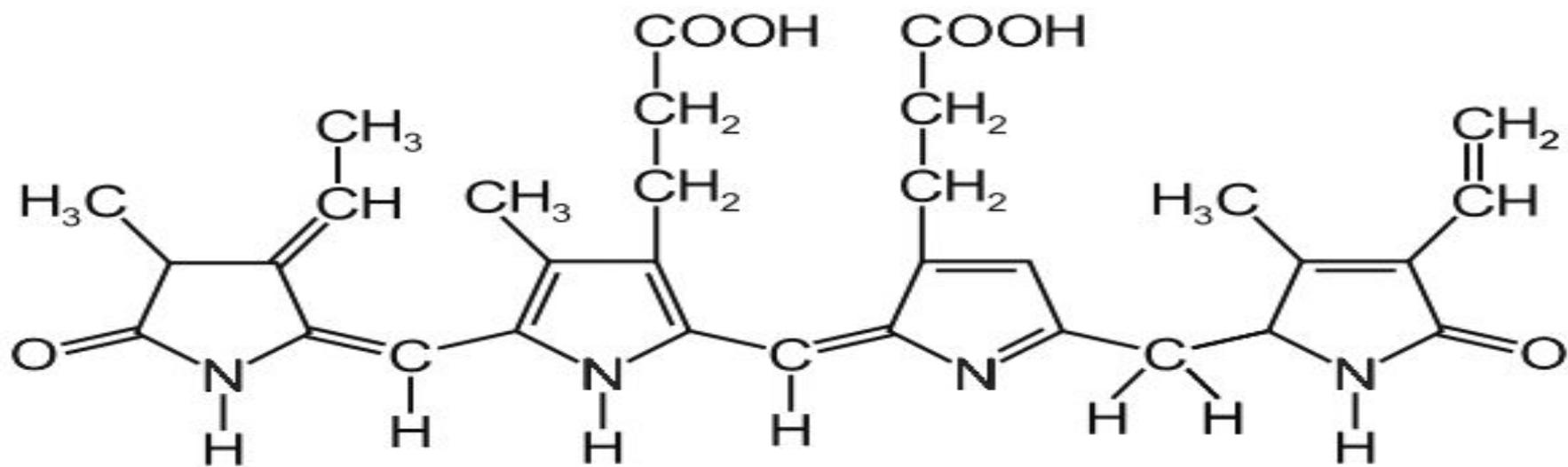
Передают поглощенную энергию на пигмент-ловушку.

Фикобилины

Фикобилины - красные и синие пигменты, содержащиеся только у одной группы эубактерий - **цианобактерий**. Фикобилины обеспечивают в клетках цианобактерий поглощение света в области **450 - 700** нм и с высокой эффективностью (больше 90%) передают поглощенный свет на хлорофилл.



фикоцианобилин



фикоэритробилин

Фикобилины

1. Фикоэритрины имеют красный цвет с максимумом поглощения **498-568** нм (красные водоросли).
2. Фикоцианины – сине-голубые с максимумом поглощения **585-630** нм (сине-зеленые водоросли).
3. Аллофикоцианины – синий цвет с максимумом поглощения **585-650** нм (сине-зеленые водоросли).

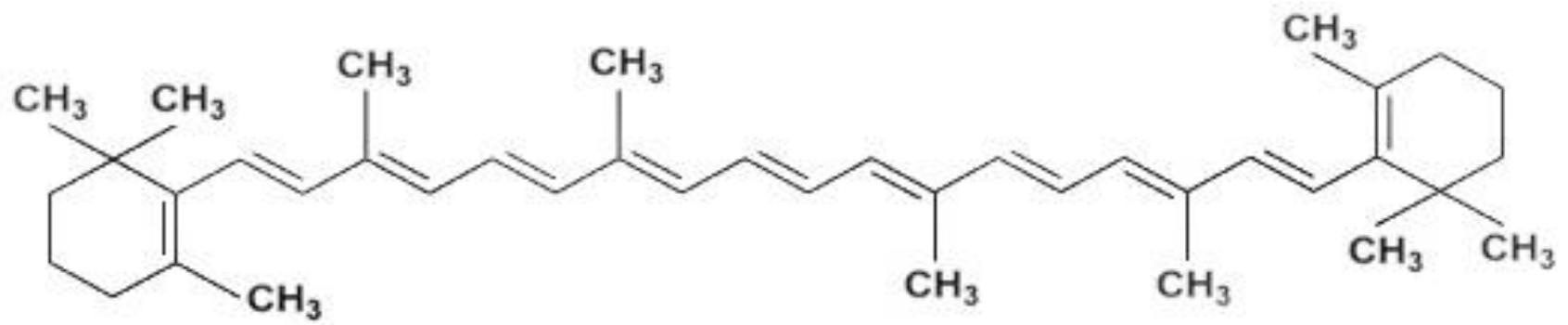
Функции фикобилинов

1. Дополнительный пигмент для поглощения **недоступных для хлорофилла** участков спектра.
2. Обеспечивают **хроматическую комплиментарную адаптацию** водорослей к условиям освещения.
3. Участие в окислительно-восстановительных реакциях.

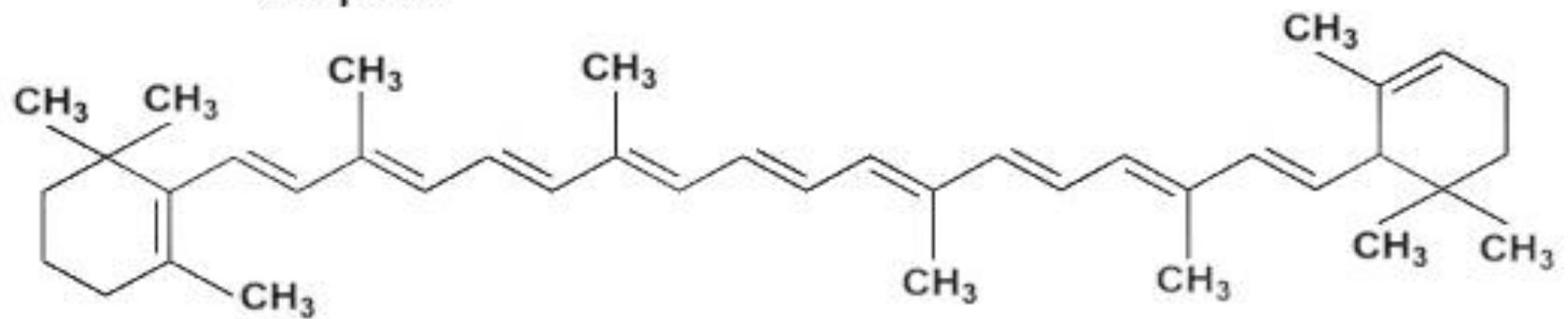
Каротиноиды

Широко распространены в природе, известно более 400 каротиноидов.

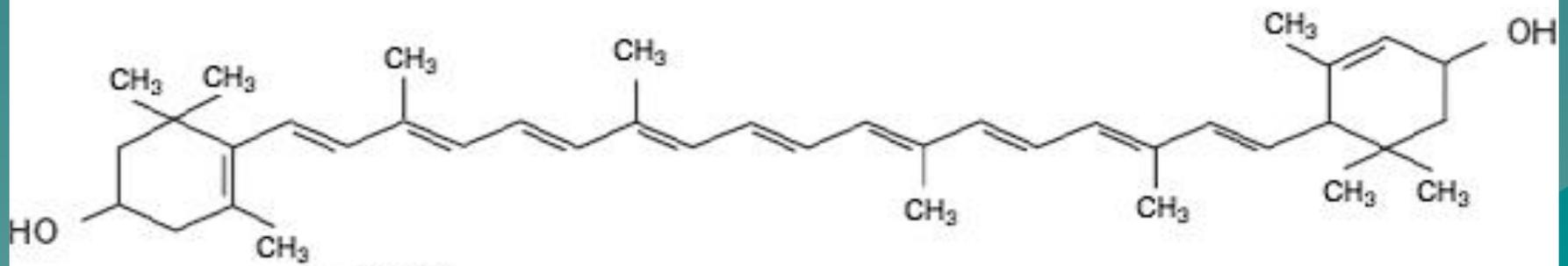
1. β -каротин ($C_{40}H_{56}$) – 40-45% от всех каротиноидов.
2. α -каротин
3. Лютеин – кислородсодержащий каротиноид.
4. Зеаксантин и виолаксантин.



α-каротин



β-каротин



лютеин

Функции каротиноидов

1. Дополнительный пигмент, поглощающий сине-фиолетовую часть спектра (450-480 нм).
2. **Защитная.** Мутанты кукурузы, лишенные каротиноидов, погибают в обычных условиях освещения.
3. Кислородный обмен. Участвуют в виолаксантиновом цикле.
4. Играть важную роль **в половом процессе**, накапливаются в пыльце.

Трансформация света при фотосинтезе

Фотосинтез

Световая фаза

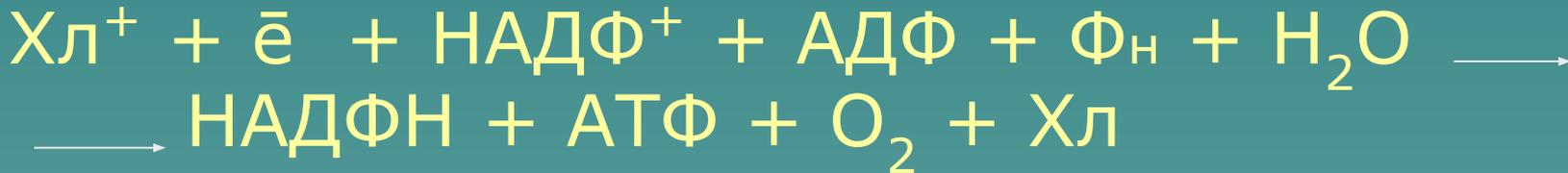
Темновая фаза

↓
Фотофизический этап

↓
Энзиматический этап



↓
Фотохимический этап



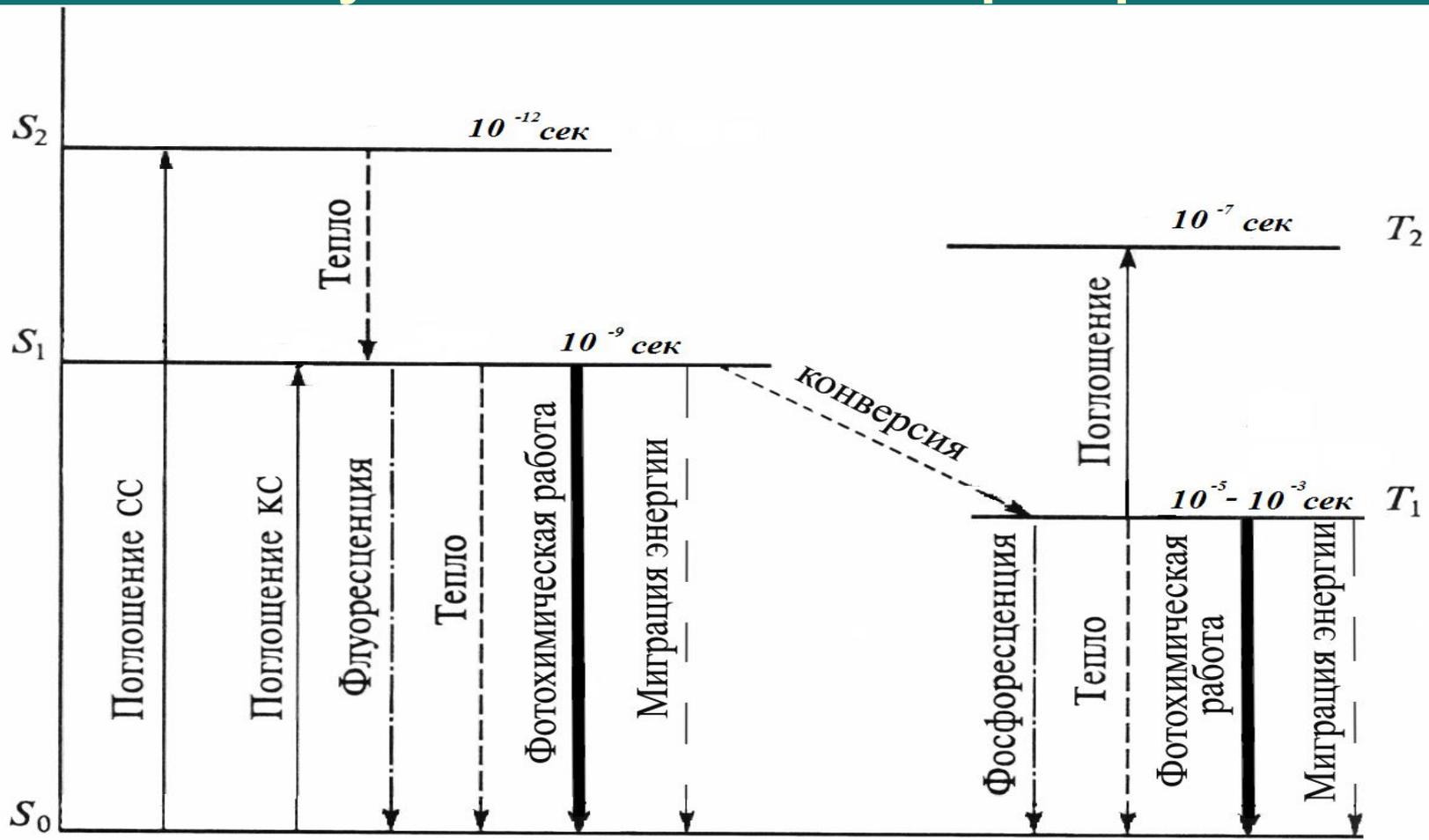


Фотофизический этап

Сущность этапа заключается в поглощении хлорофиллом а световой энергии и преобразование ее в *энергию разделенных зарядов*.



Электронные уровни возбужденного хлорофилла



Электронные уровни

При поглощении фотона хлорофилл переходит из основного (S_0) в возбужденное состояние – S_1 или S_2 с более высокой энергией.

Возбужденное состояние S_2

нестабильно и электрон в течение 10^{-12} сек. опускается на уровень S_1 , теряя при этом часть энергии в виде тепла.

Время пребывания электрона на S_1 уровне составляет 10^{-9} сек.

Электронные уровни

Дезактивация S_1 сопровождается следующими процессами:

- превращение энергии возбуждения в тепло (**релаксация**);

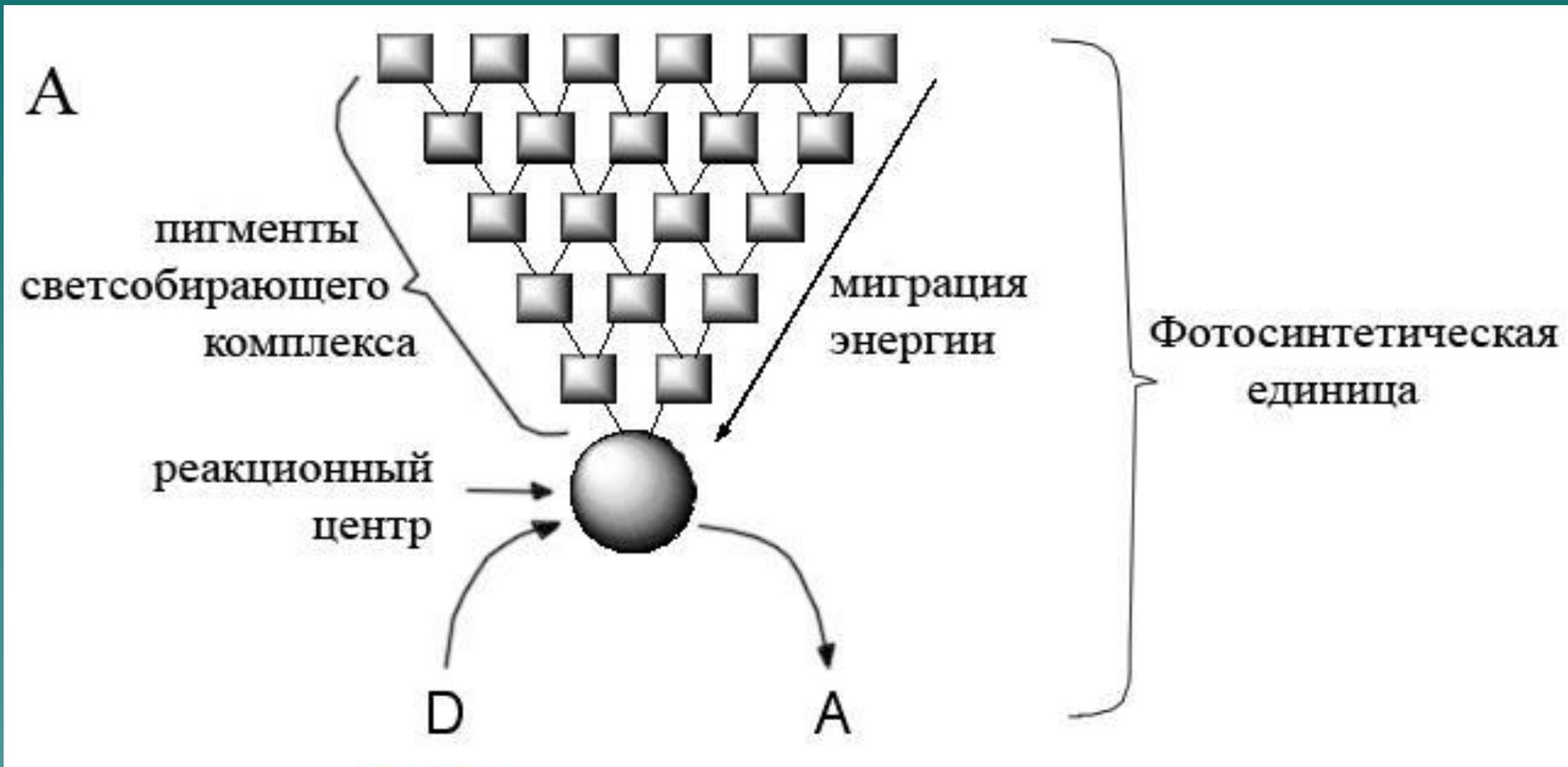
-  излучение кванта с переходом электрона на S_0 уровень

(**флуоресценция или фосфоресценция**);

- перенос световой энергии на другую молекулу пигмента;

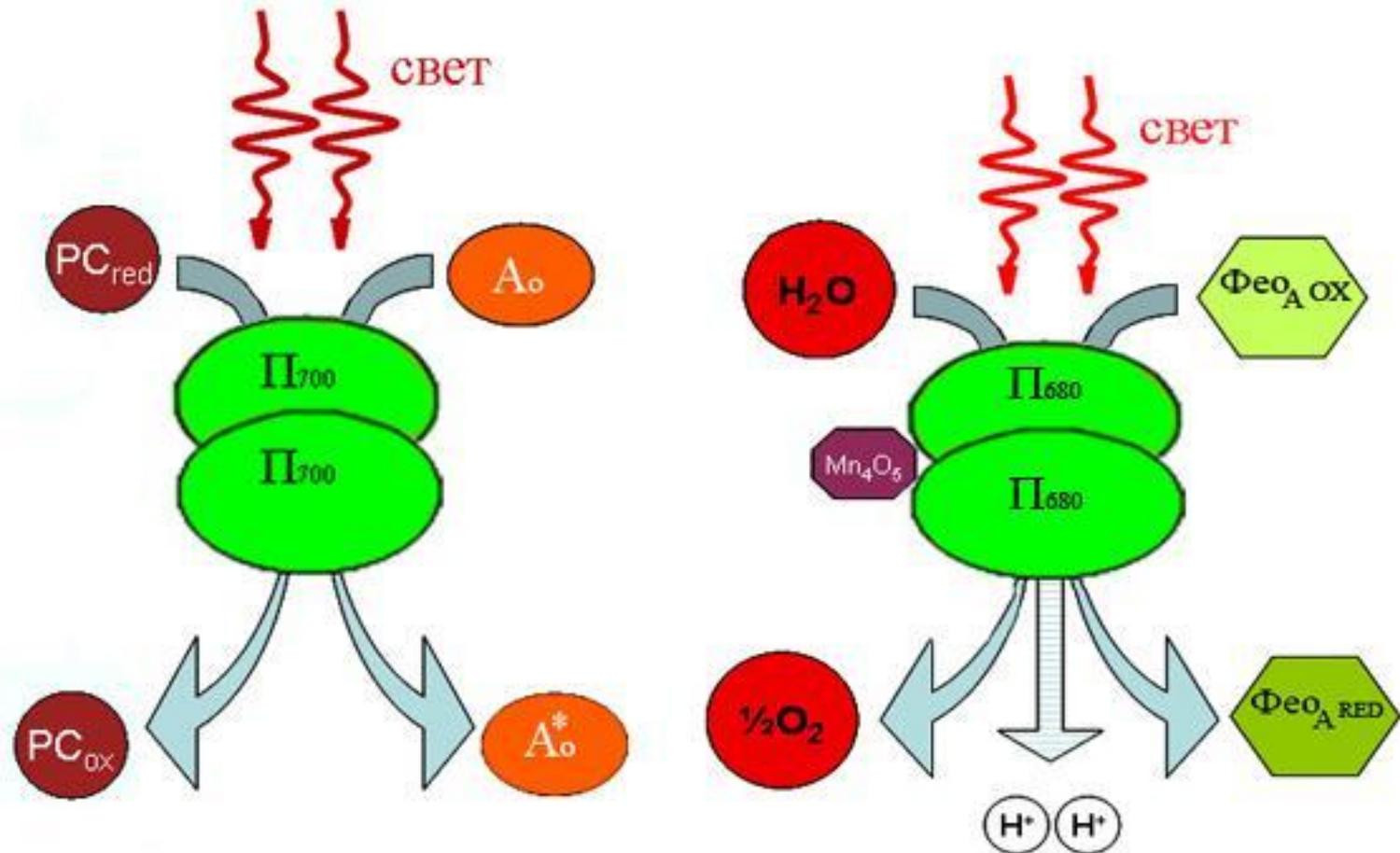
- использование энергии возбуждения в **фотохимической реакции**.

Фотосинтетическая единица (ФСЕ)



D – донор электронов, A – акцептор электронов

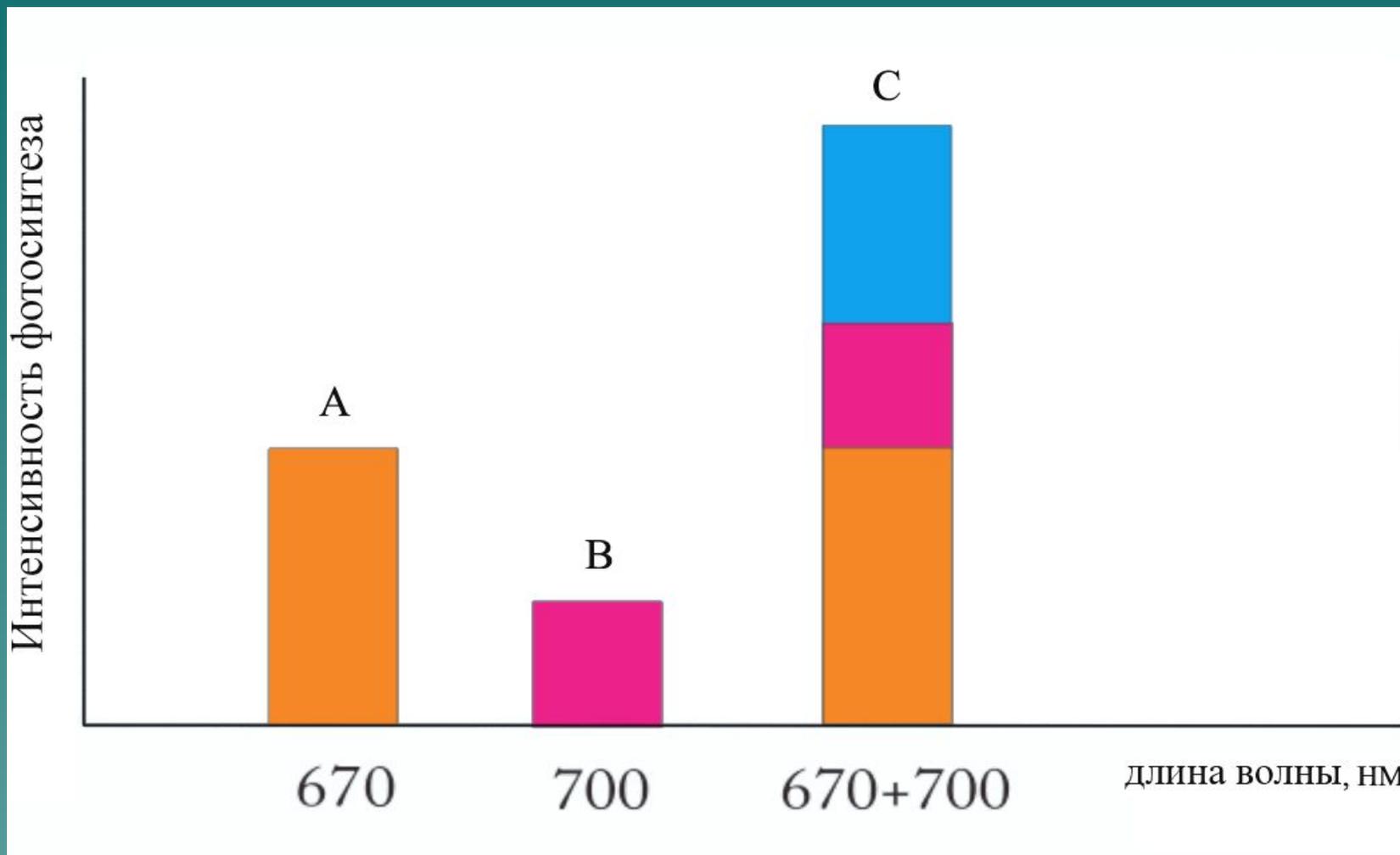
Реакционный центр



Фотохимический этап

Сущность этого этапа –
превращение энергии
разделенных зарядов в
энергию макроэргических
связей АТФ и НАДФН.

Эффект Эмерсона



Эффект Эмерсона

$$A + B < C$$

Эффект усиления (Эмерсона)

свидетельствует о последовательном функционировании **двух фотосистем**.

Следовательно, для фотосинтеза необходима работа **двух последовательных фотохимических реакций** в световой фазе.

Фотосистема

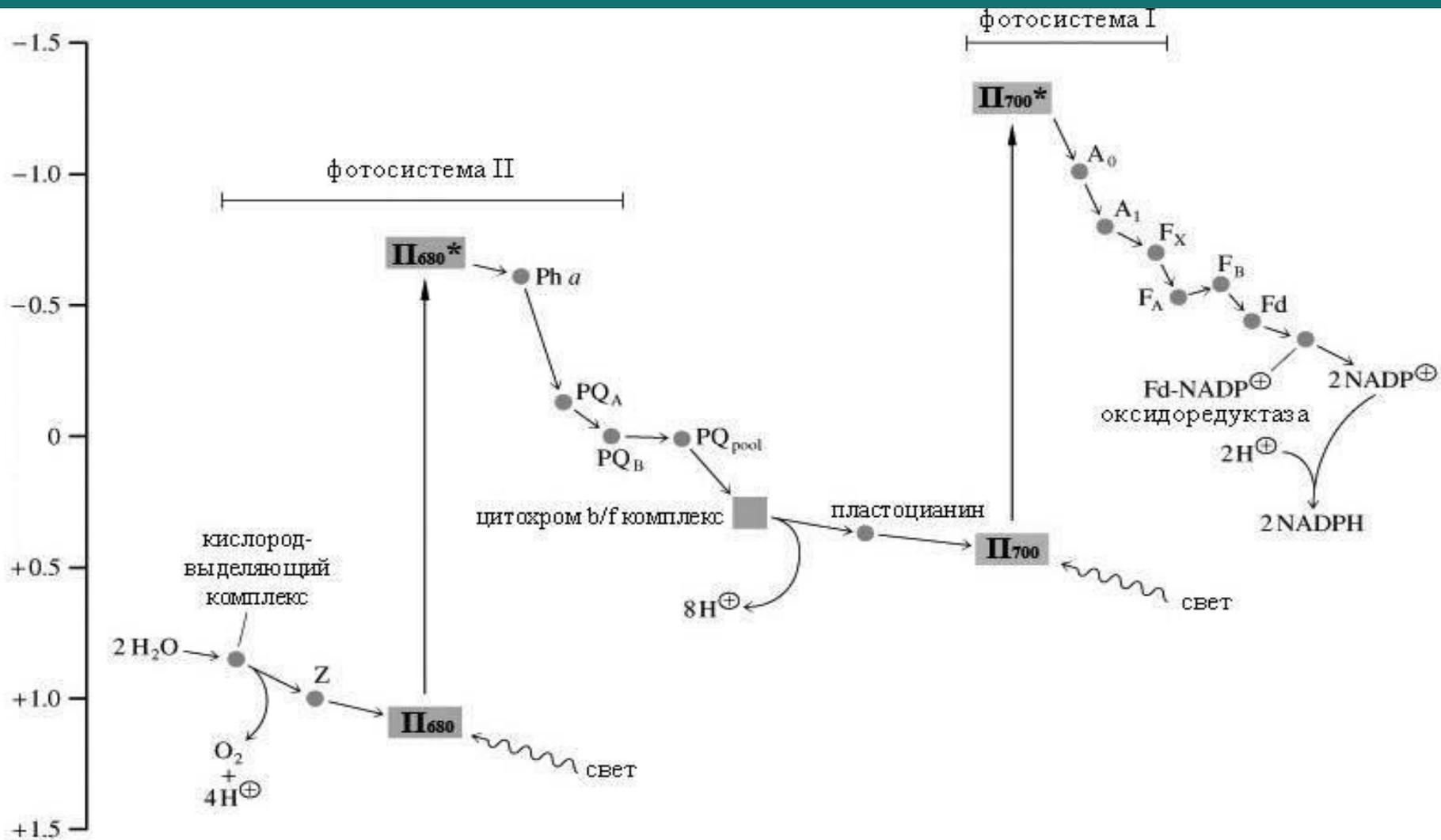
ФС – комплекс, включающий ФСЕ и ЭТЦ.

Фотосинтез осуществляют 2 фотосистемы – ФСІ и ФСІІ.

ФСІ содержит реакционный центр с хлорофиллом P700.

ФСІІ характеризуется наличием хлорофилла P680.

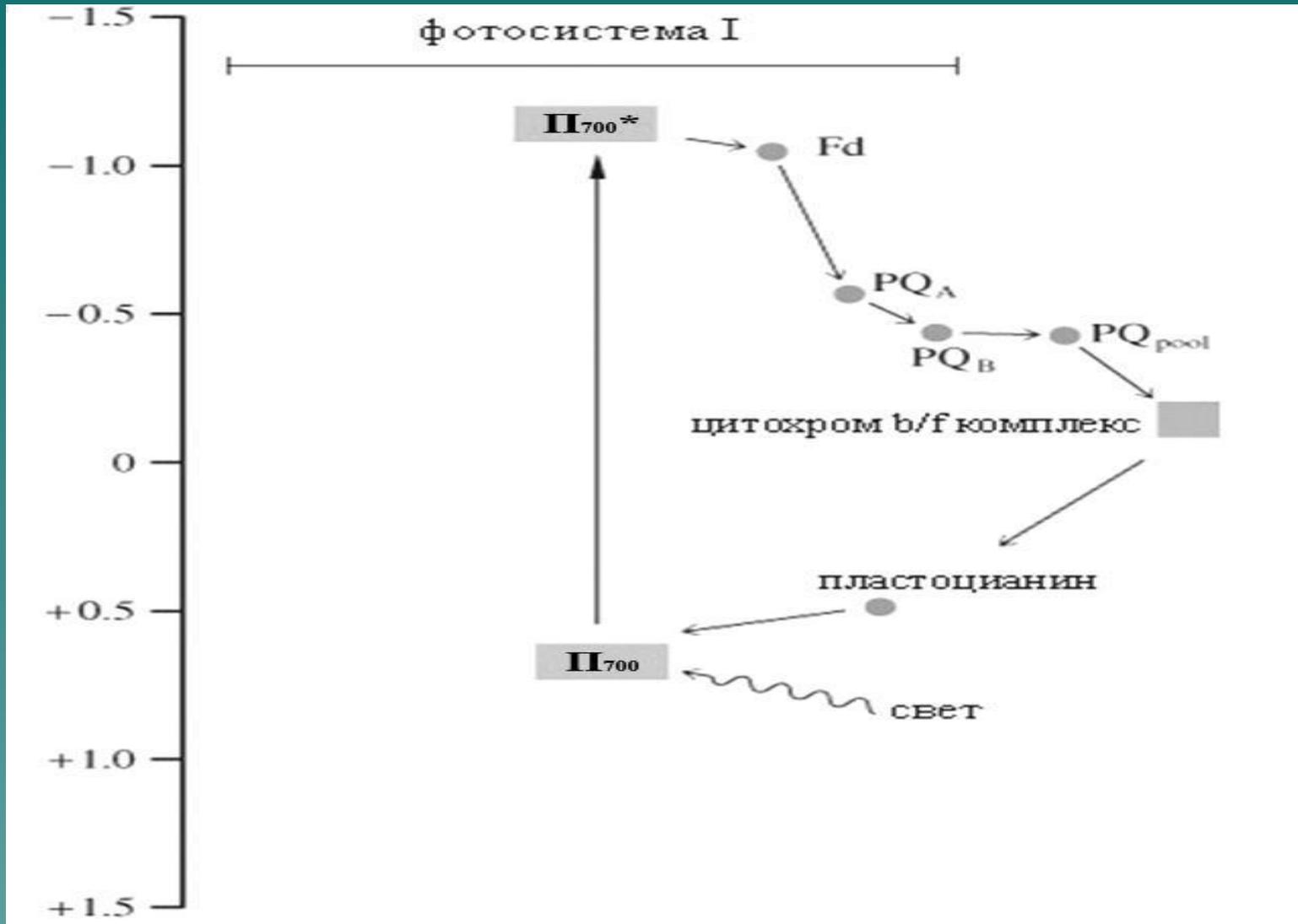
Нециклический транспорт e^-



Принципы построения ЭТЦ

1. Каждый переносчик должен быть способен окисляться и восстанавливаться.
2. Каждый следующий переносчик - более положительный, чем предыдущий.
3. Место переносчика в ЭТЦ определяется величиной его окислительно-восстановительного потенциала.

Циклический транспорт электронов



Фотосинтетическое фосфорилирование (ФФ)

ФФ – это синтез молекулы АТФ за счет энергии трансмембранного потенциала ($\Delta\mu\text{H}^+$) тилакоидной мембраны.



Типы фотофосфорилирования

1. Нециклическое фотофосфорилирование.



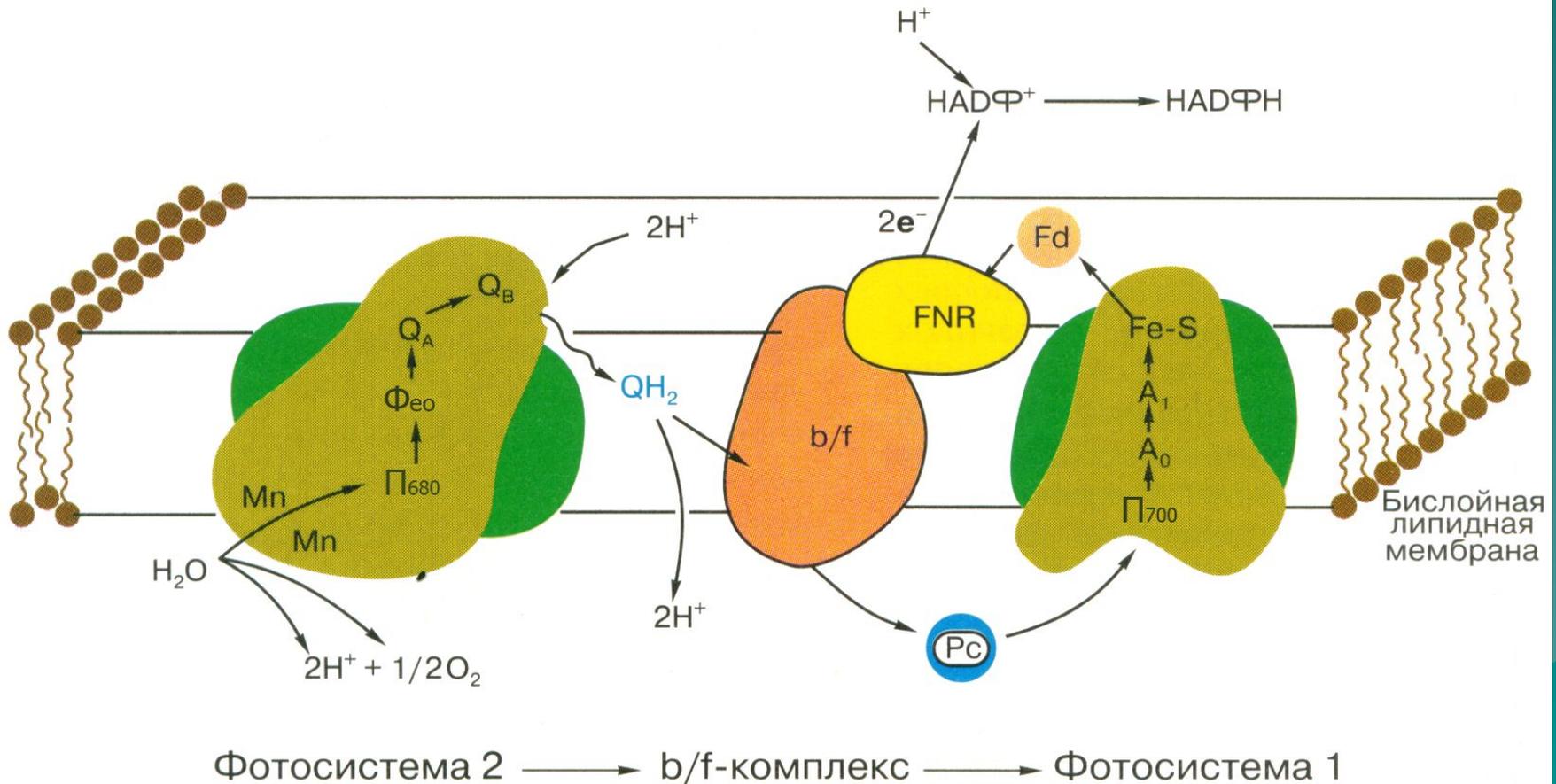
Осуществляют фотосистемы ΦCI и ΦCII .

2. Циклическое фотофосфорилирование

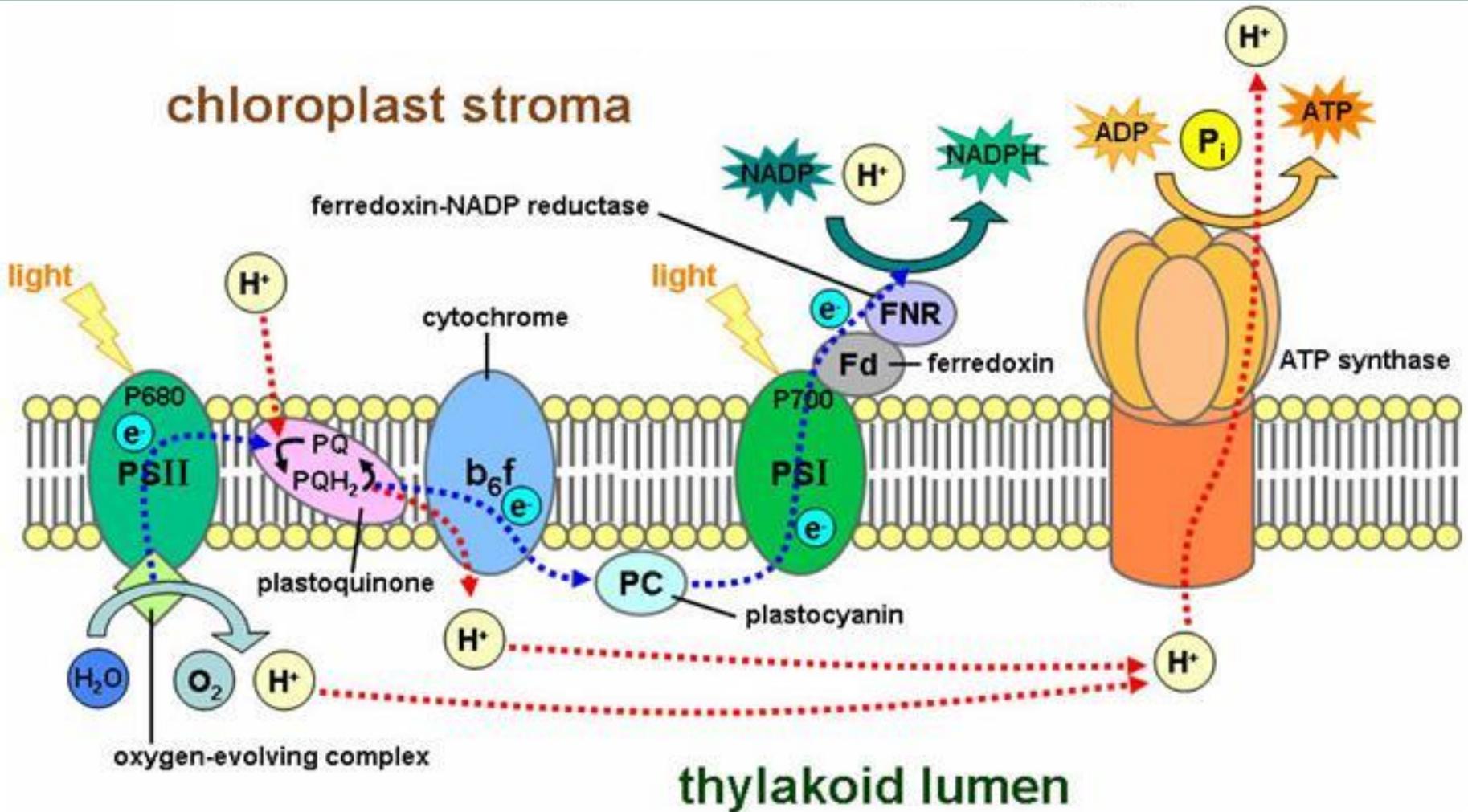


Осуществляет ΦCI .

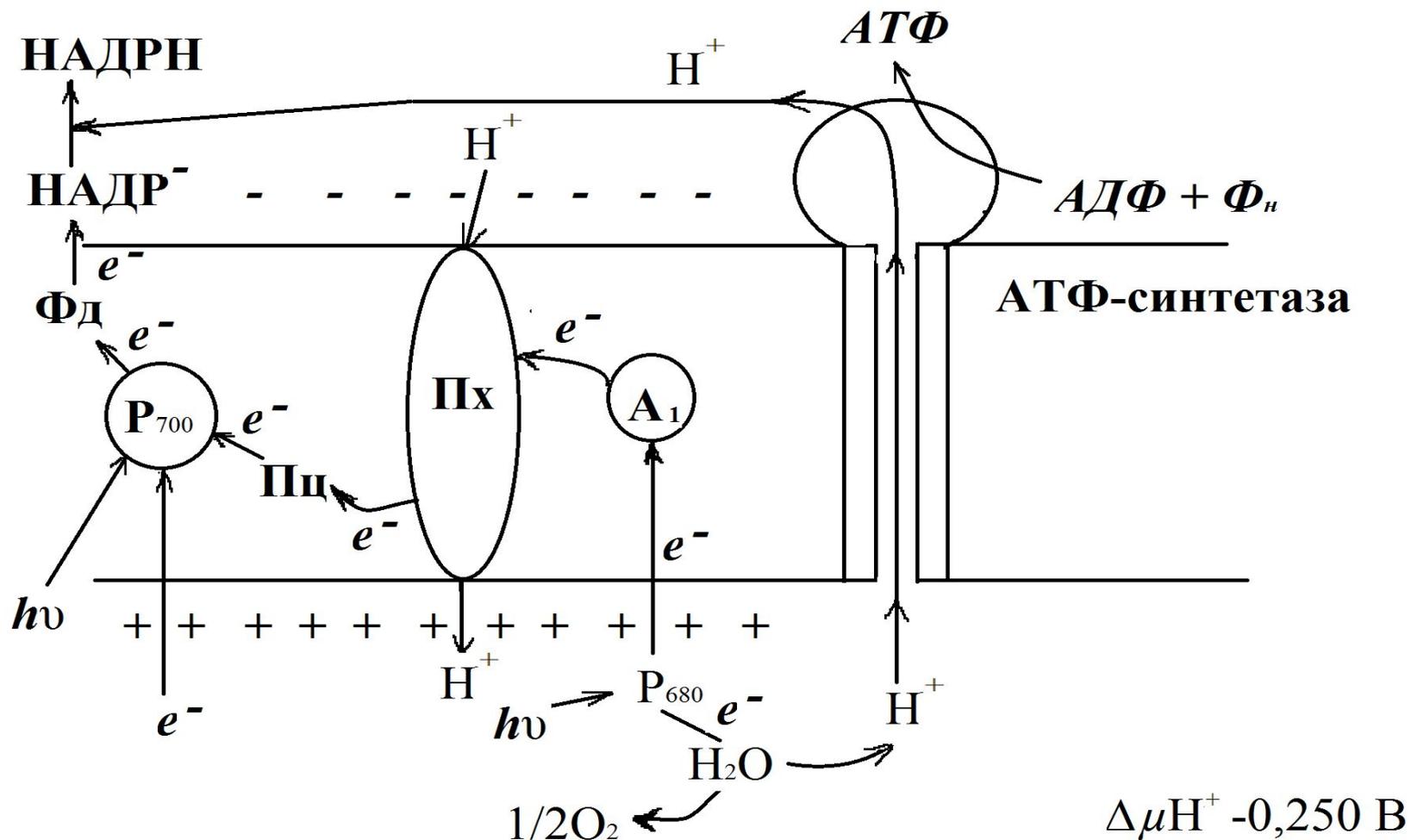
Механизм фотосинтетического фосфорилирования



Механизм фотосинтетического фосфорилирования



Хемио-осмотическая гипотеза (Митчелл, Ягендорф)



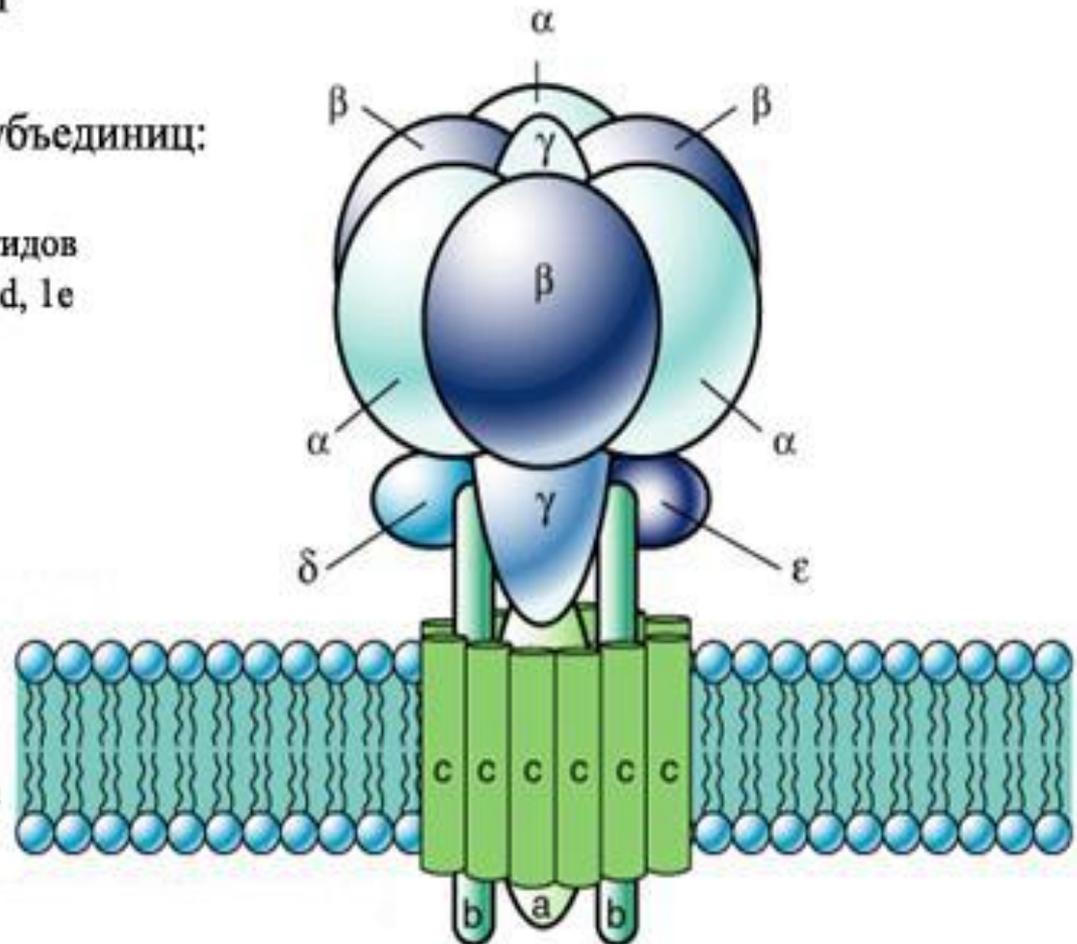
Структура АТФ-синтазы

Структура АТФ-синтазы

2 комплекса состоят из 24 субъединиц:

F1 содержит 5 типов полипептидов
в соотношении: 3 α , 3 β , 1 ϵ , 1 δ , 1 e

Fo содержит 3 типа
полипептидов
в соотношении: 1 a : 2 b : 12 c



Фотоокисление воды

До 1931 года доминировала формальдегидная гипотеза происхождения кислорода.



То есть, кислород образовывался по формальдегидной гипотезе **из углекислого газа.**

Происхождение кислорода

Ван-Ниль в 1931 году предположил, что кислород образуется **из воды**.



${}^{18}\text{O}$ – изотоп кислорода.

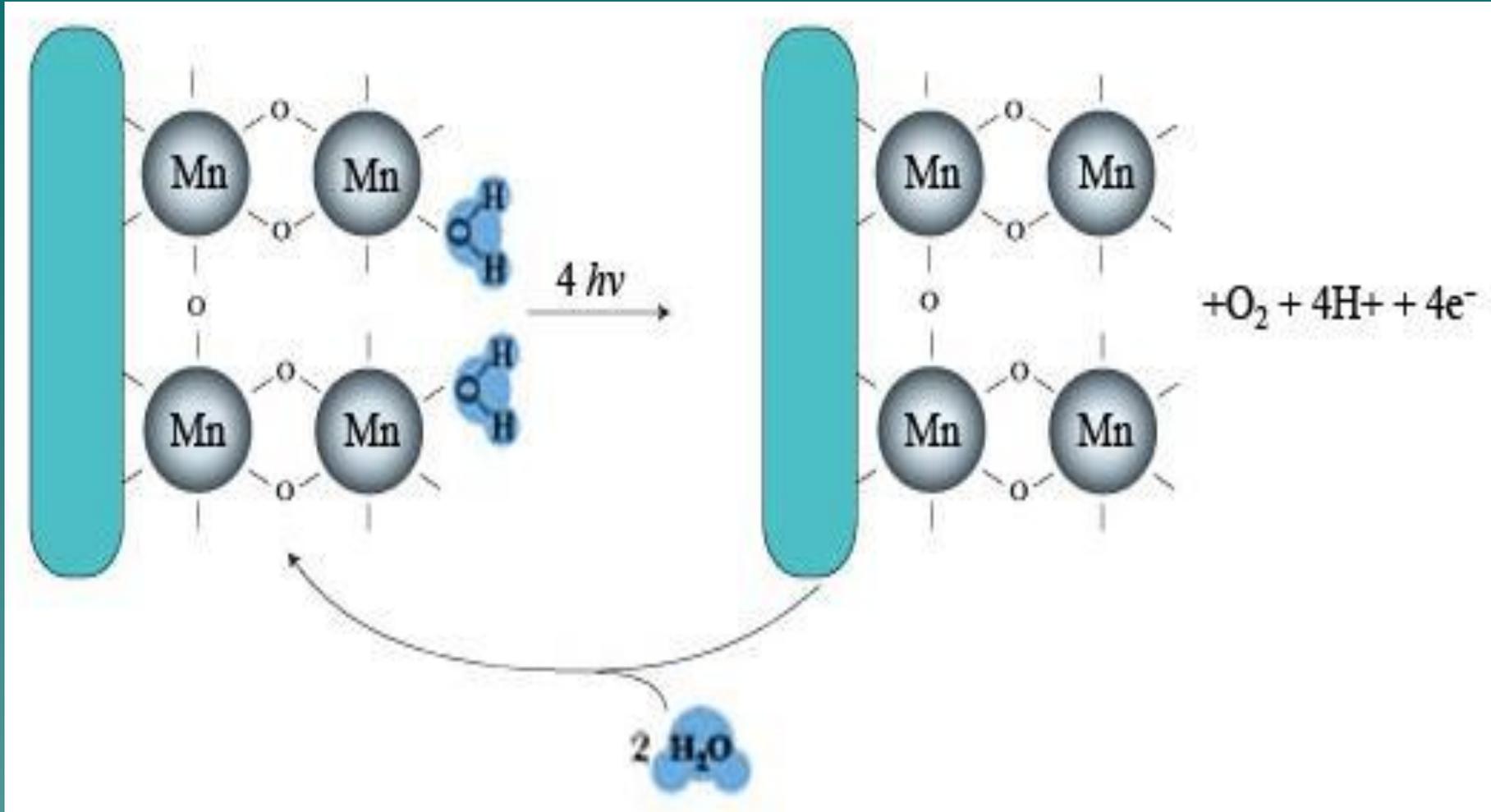
С помощью **изотопа кислорода** ${}^{18}\text{O}$ была доказана справедливость этого утверждения.

Механизм выделения кислорода

Согласно Кутюрину (1968), молекула кислорода образуется из воды, в окислении которой участвует непосредственно **хлорофилл**.

Современная гипотеза предполагает участие **марганец-содержащего фермента** в окислении воды и формировании молекулы кислорода.

Механизм выделения кислорода



Mn-содержащий ферментный комплекс

Спасибо за внимание

