

# 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.

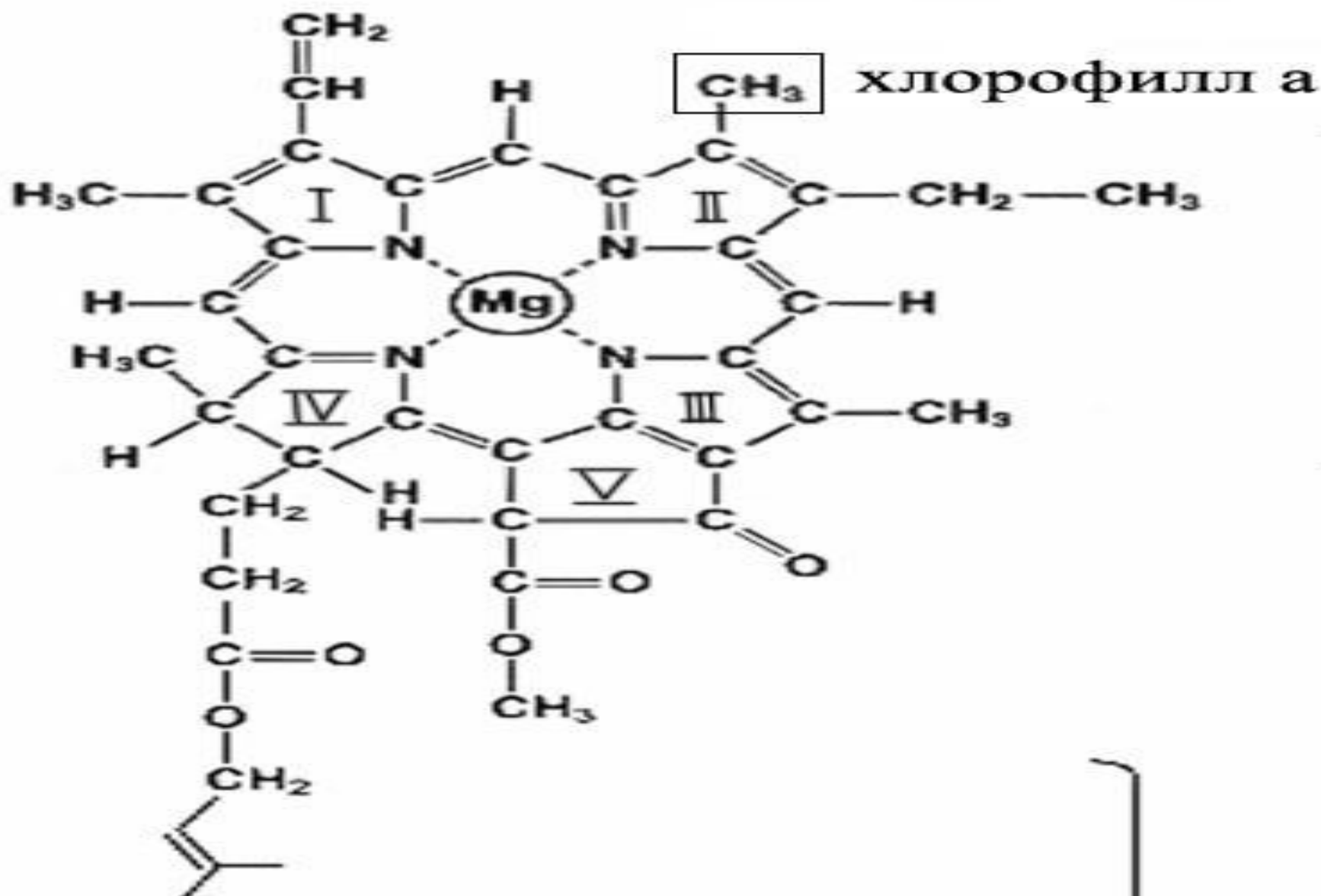
3. Флавоноиды – антоцианы, флавоны, локализованы в вакуоли.

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

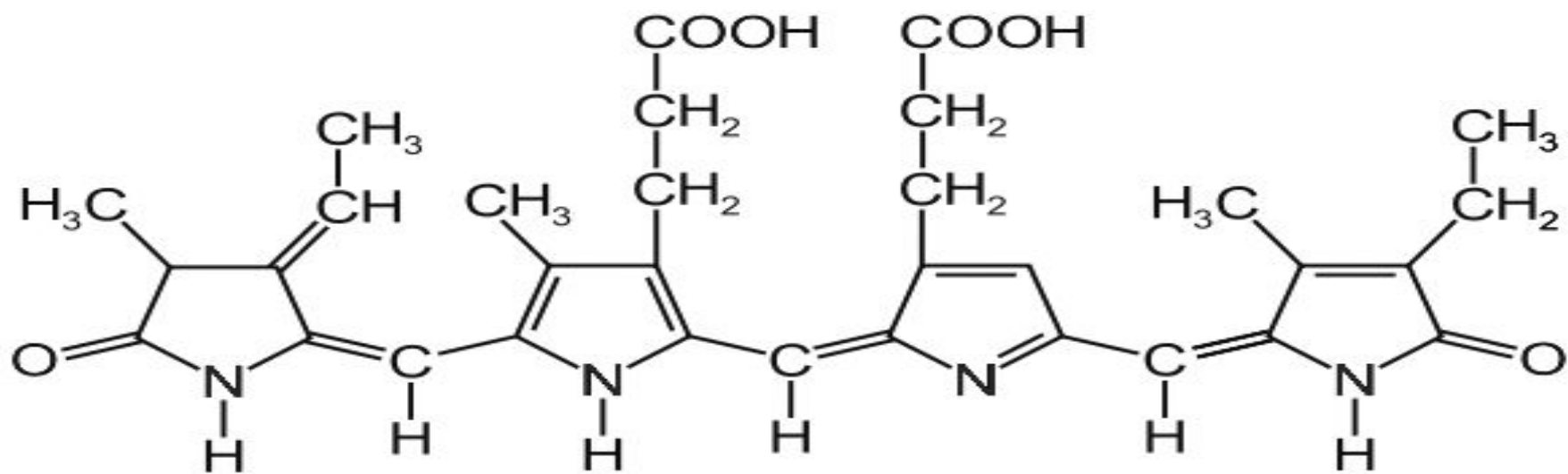
В живой клетке молекулы хлорофилла образуют ассоциаты, состоящие из нескольких десятков или сотен пигментов. Это светособирающие комплексы (ССК).

Передают поглощенную энергию на пигмент-ловушку.

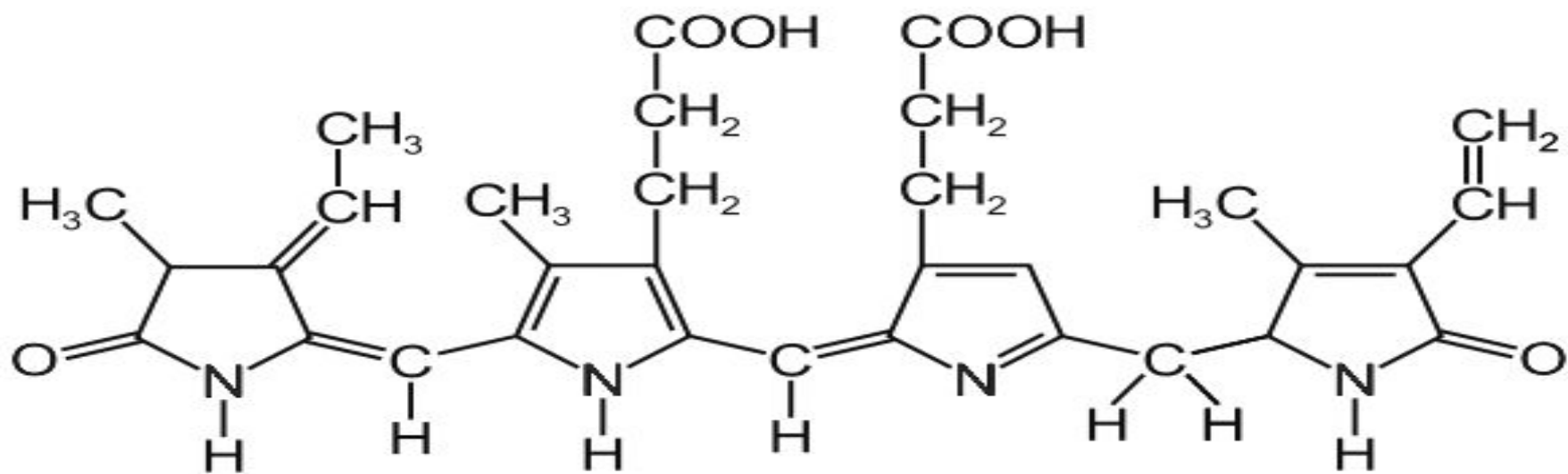


# Фикобилины

**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).

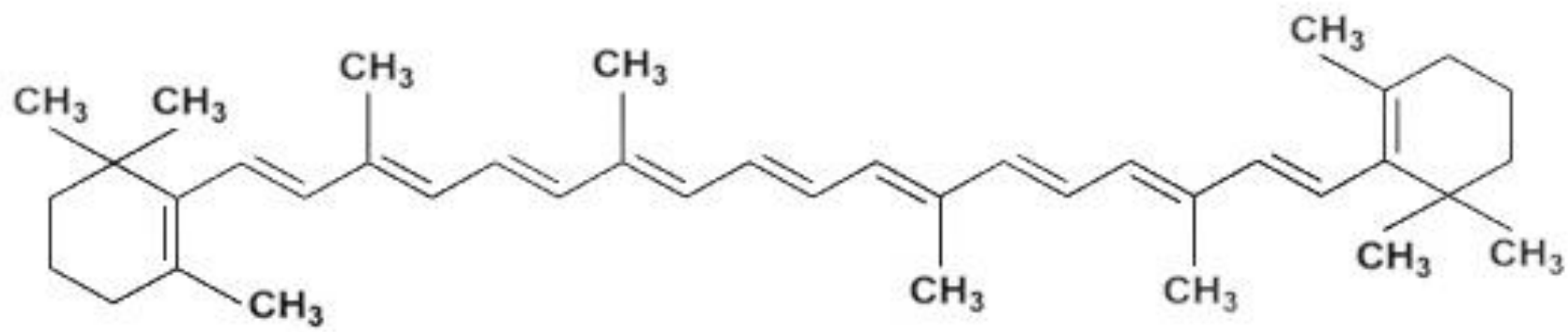
# Функции фикобилинов

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.

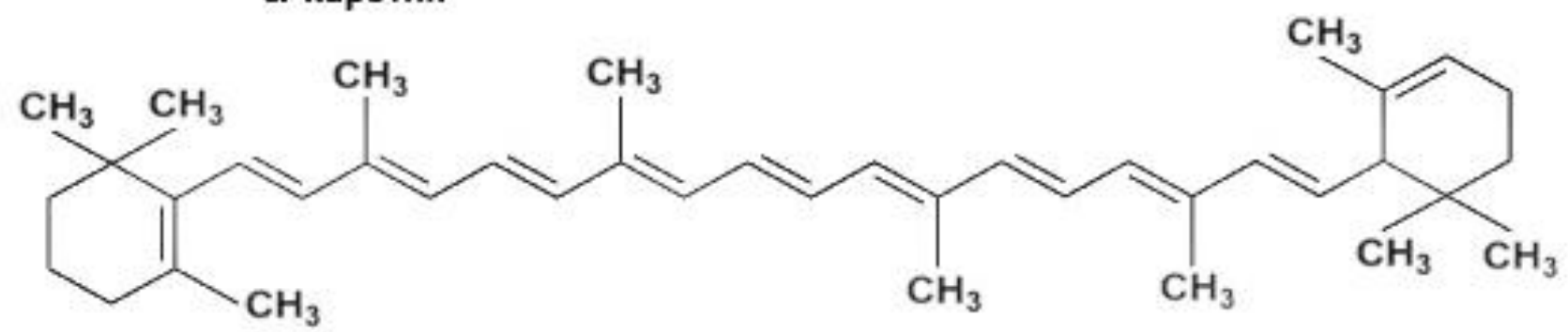
# Каротиноиды

Широко распространены в природе, известно более 400 каротиноидов.

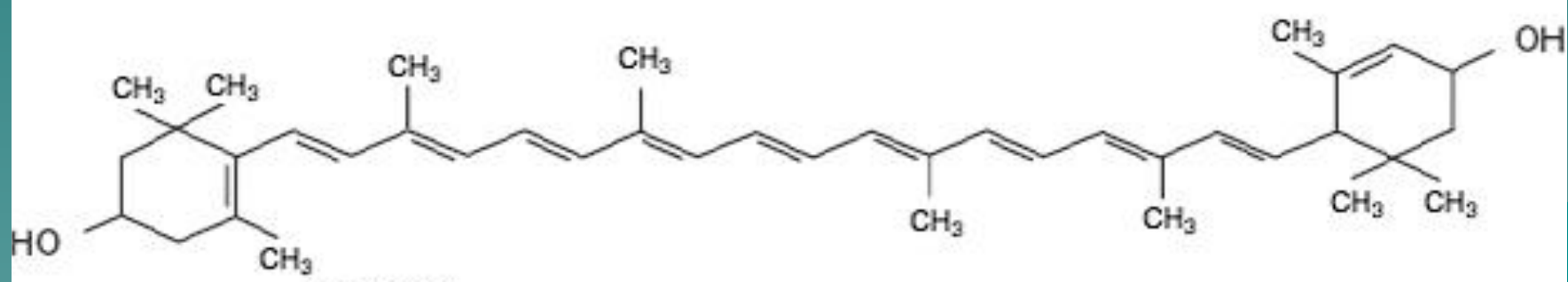
1.  $\beta$ -каротин ( $C_{40}H_{56}$ ) – 40-45% от всех каротиноидов.
2.  $\alpha$ -каротин
3. Лютеин – кислородсодержащий каротиноид.
4. Зеаксантин и виолаксантин.



**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. Игрют важную роль **в половом процессе**, накапливаются в пыльце.

# Трансформация света при фотосинтезе

## Фотосинтез

Световая фаза

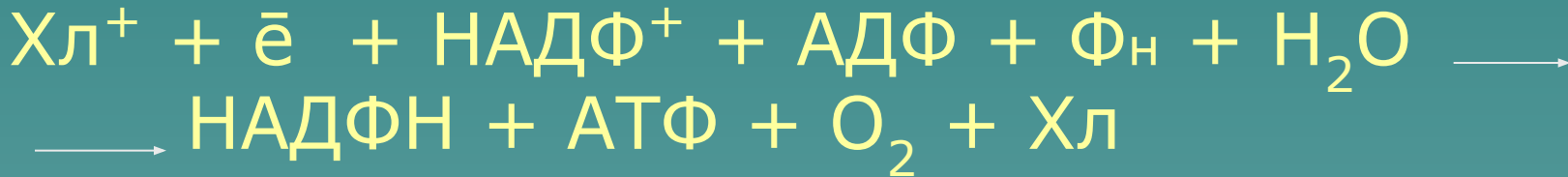
Темновая фаза

↓  
Фотофизический этап

↓  
Энзиматический этап



↓  
Фотохимический этап





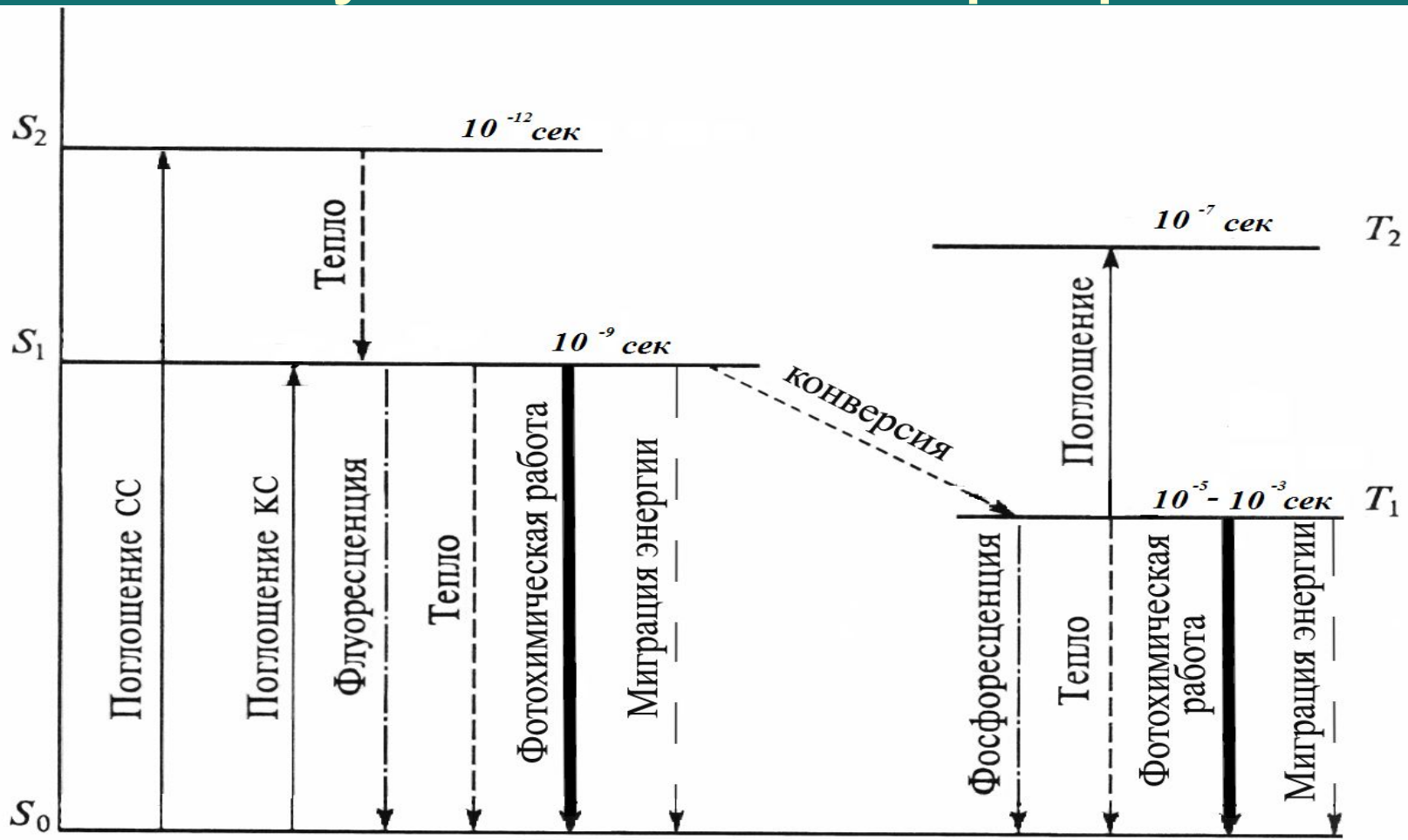


# Фотофизический этап

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**);

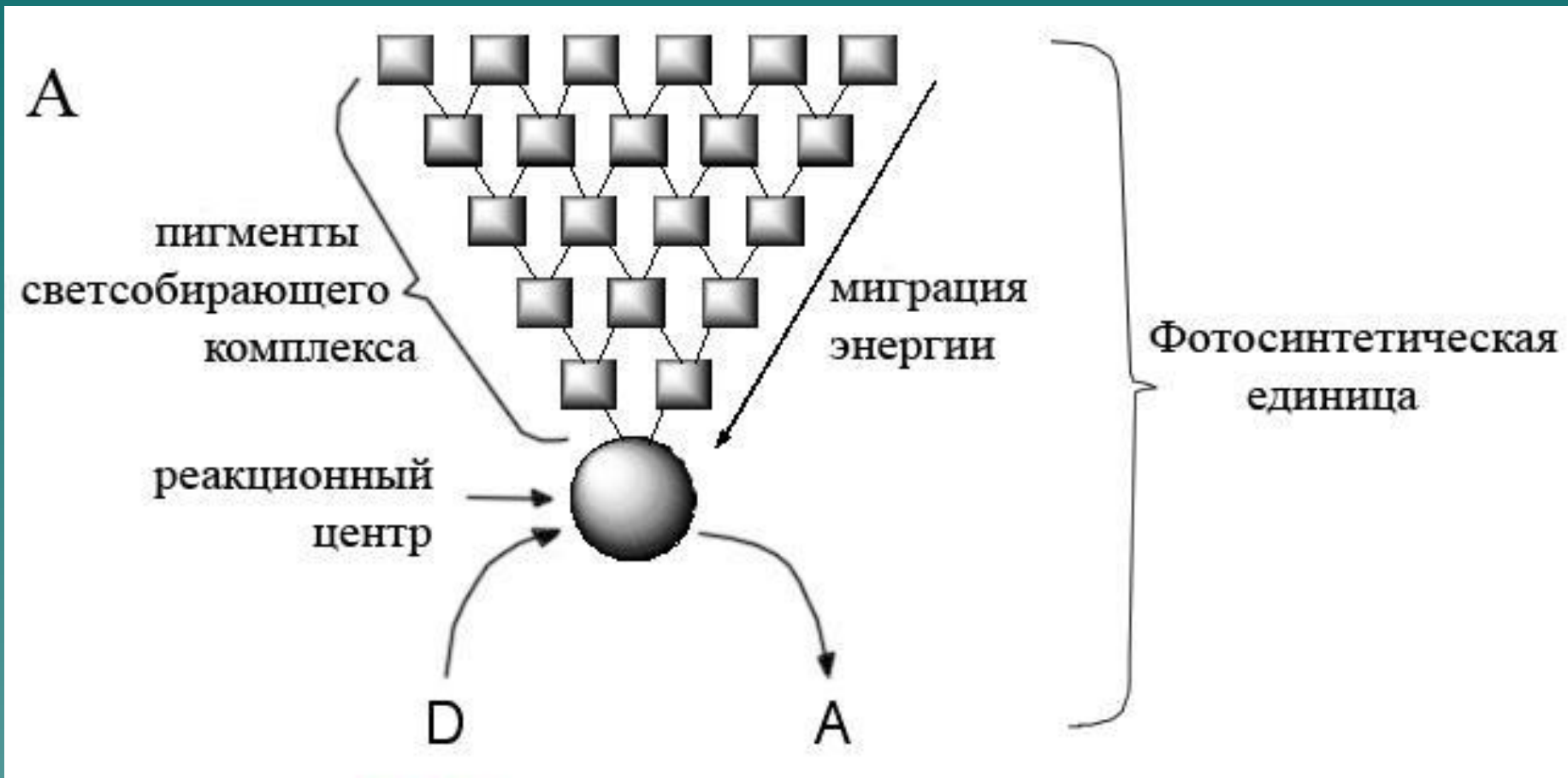
-  излучение кванта с переходом электрона на  $S_0$  уровень

(**флуоресценция или фосфоресценция**);

- перенос световой энергии на другую молекулу пигмента;

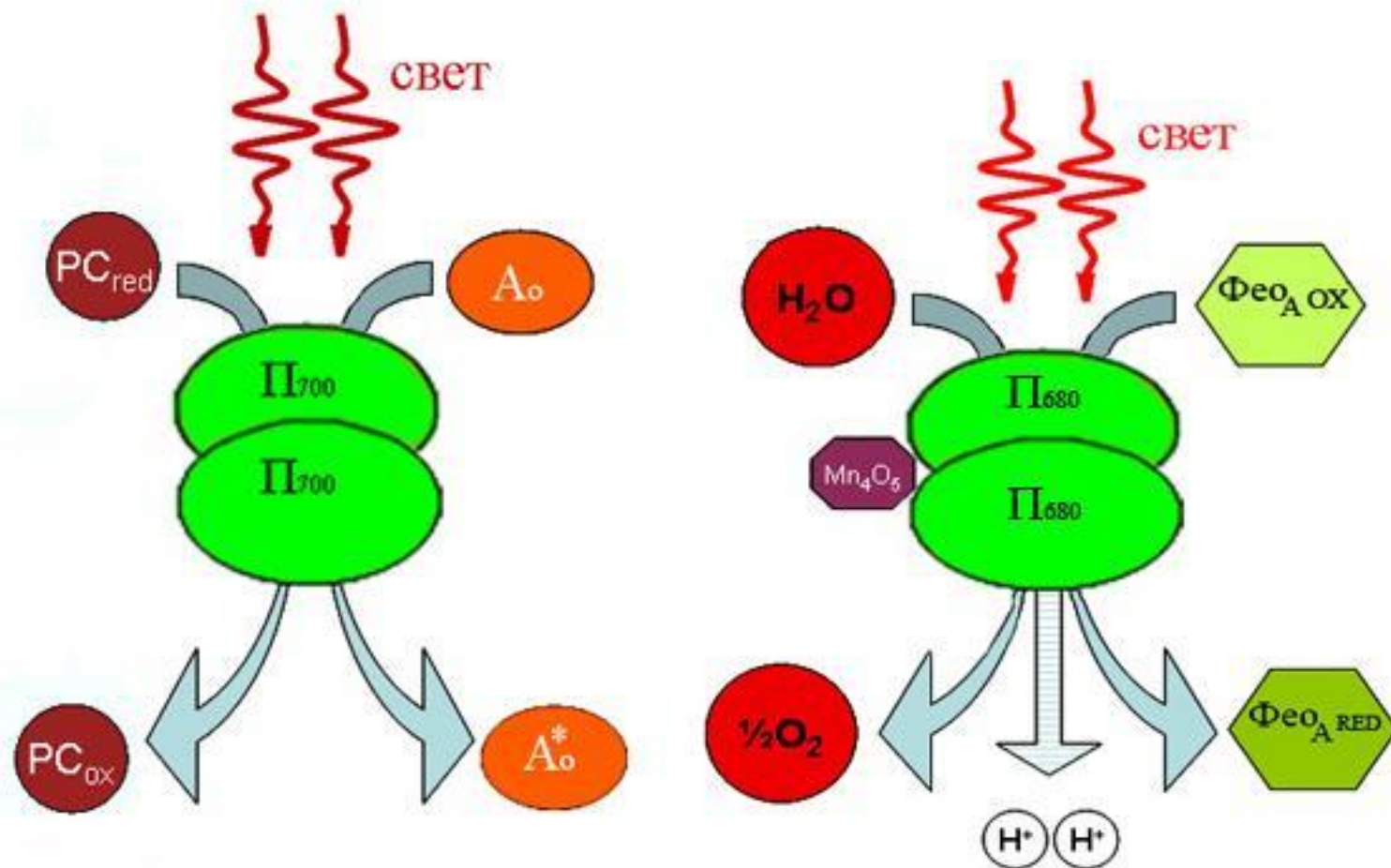
- использование энергии возбуждения в **фотохимической реакции**.

# Фотосинтетическая единица (ФСЕ)



D – донор электронов, A – акцептор электронов

# Реакционный центр

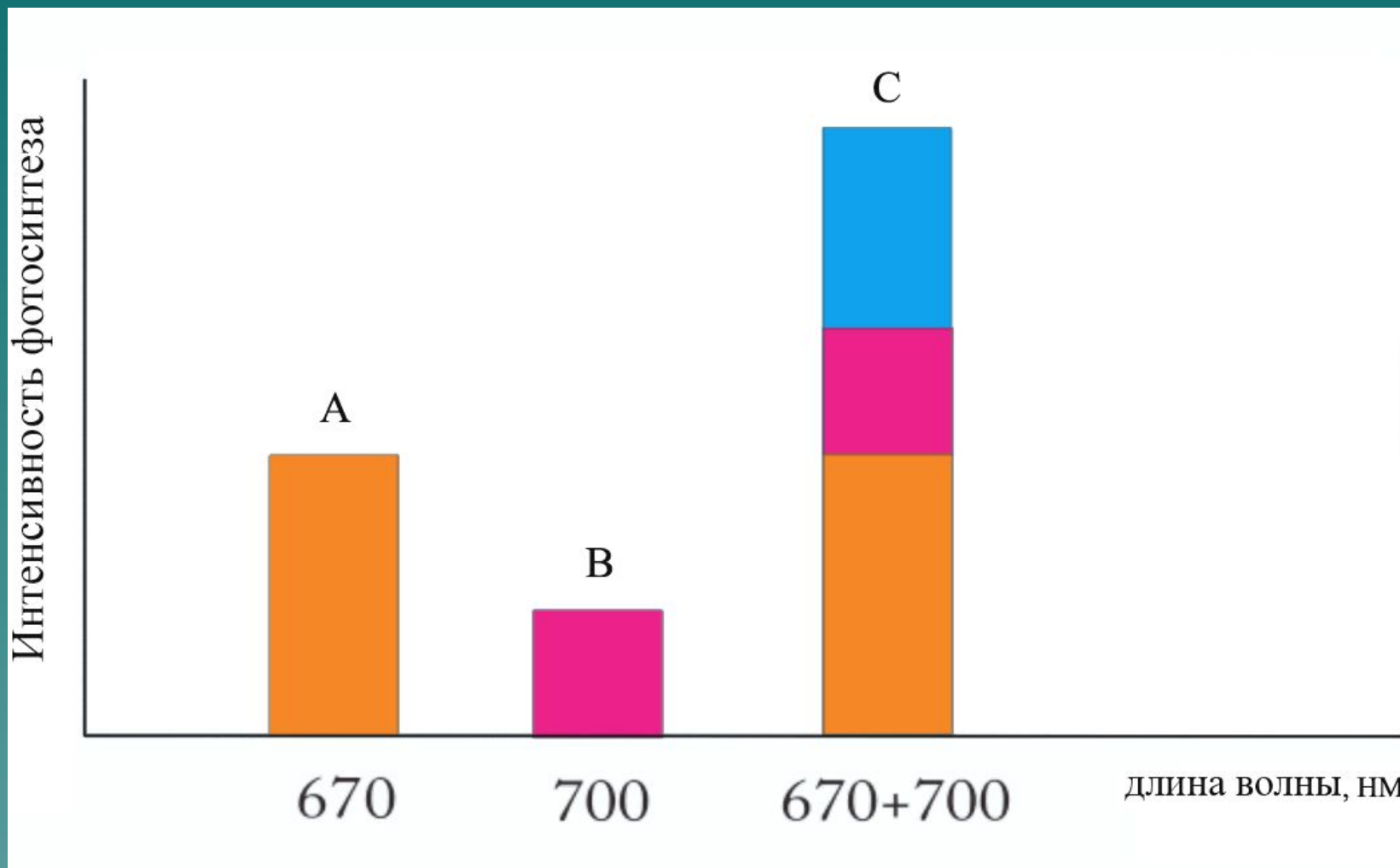


# Фотохимический этап

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

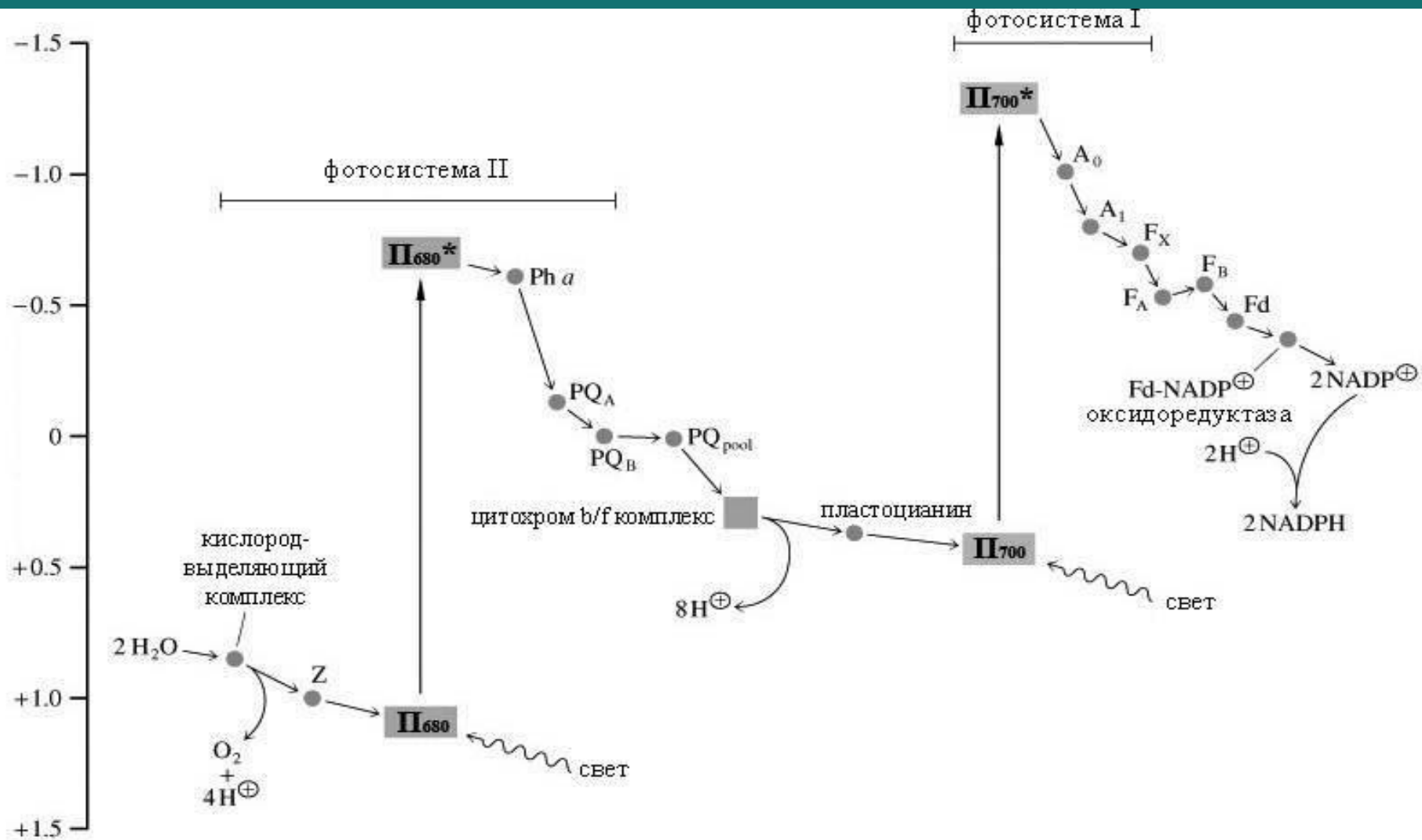
ФС – комплекс, включающий ФСЕ и ЭТЦ.

Фотосинтез осуществляют 2 фотосистемы – ФСІ и ФСІІ.

ФСІ содержит реакционный центр с хлорофиллом P700.

ФСІІ характеризуется наличием хлорофилла P680.

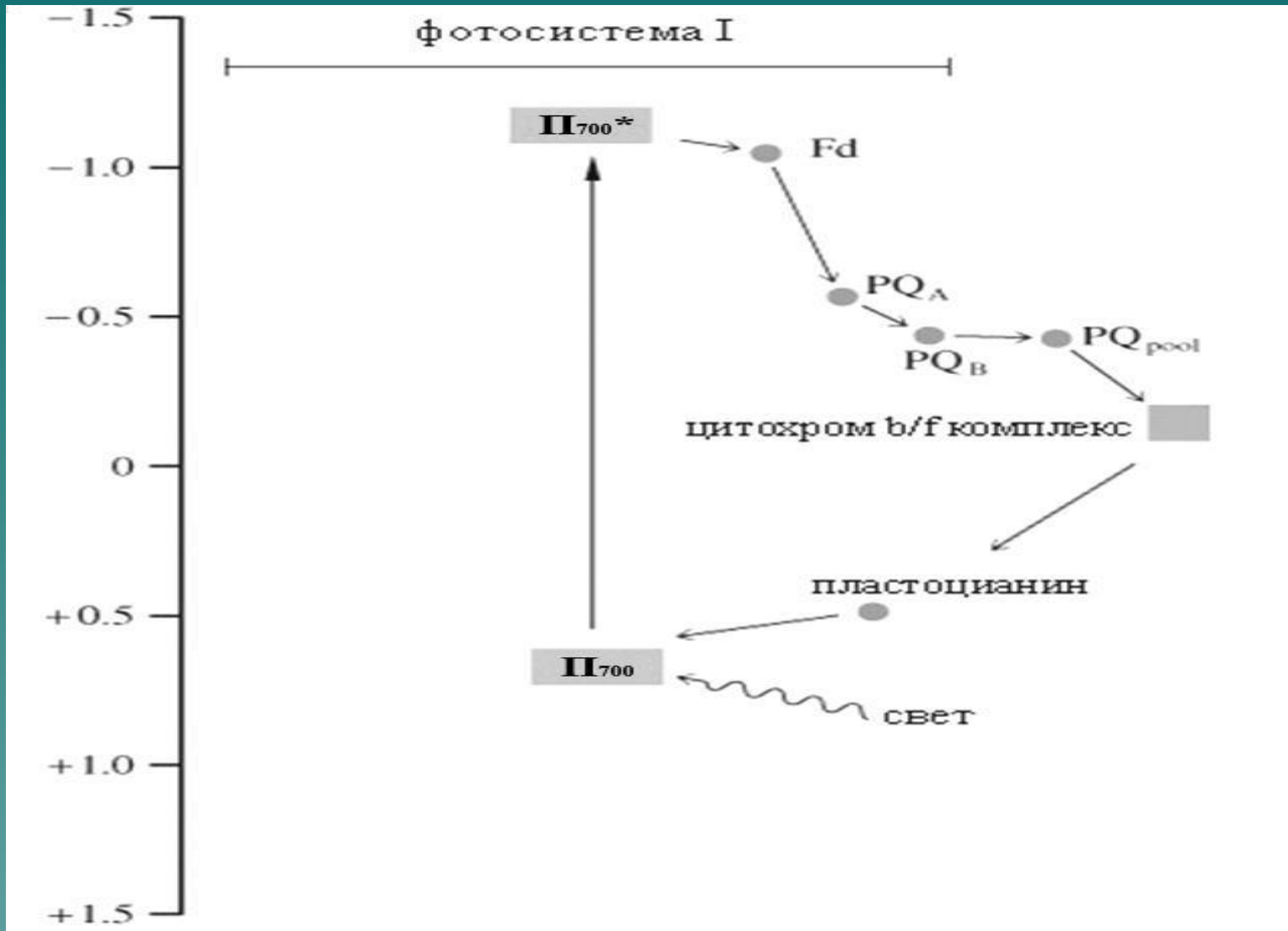
# Нециклический транспорт $e^-$



# Принципы построения ЭТЦ

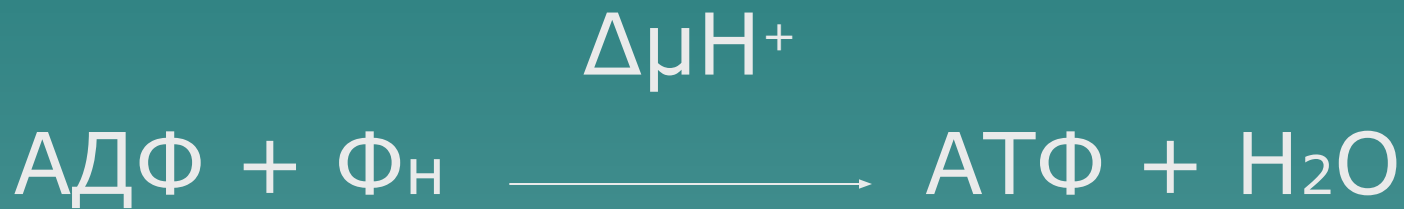
1. Каждый переносчик должен быть способен окисляться и восстанавливаться.
2. Каждый следующий переносчик - более положительный, чем предыдущий.
3. Место переносчика в ЭТЦ определяется величиной его окислительно-восстановительного потенциала.

# Циклический транспорт электронов



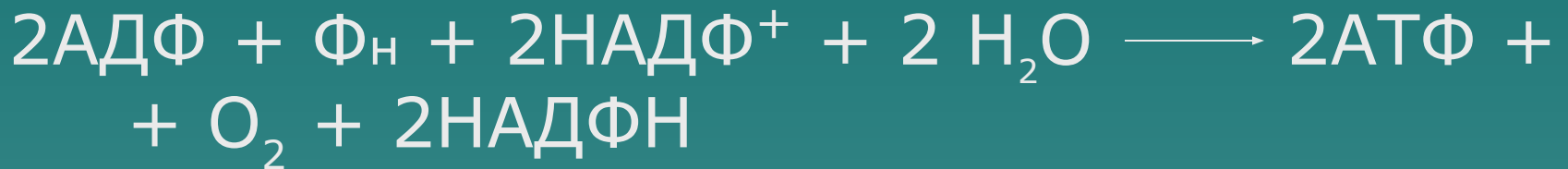
# Фотосинтетическое фосфорилирование (ФФ)

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



# Типы фотофосфорилирования

1. Нециклическое фотофосфорилирование.



Осуществляют фотосистемы **ФСI** и **ФСII**.

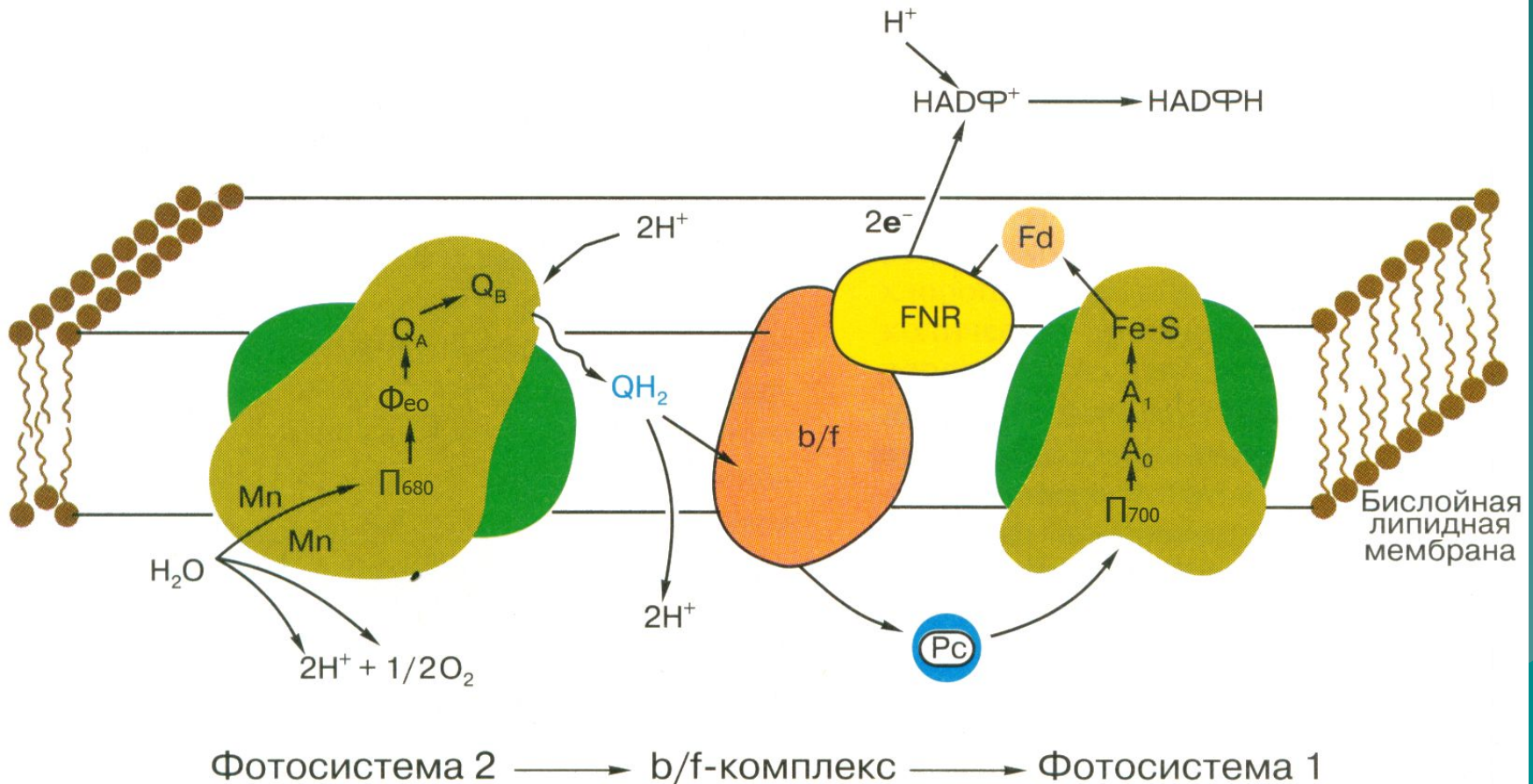
2. Циклическое фотофосфорилирование



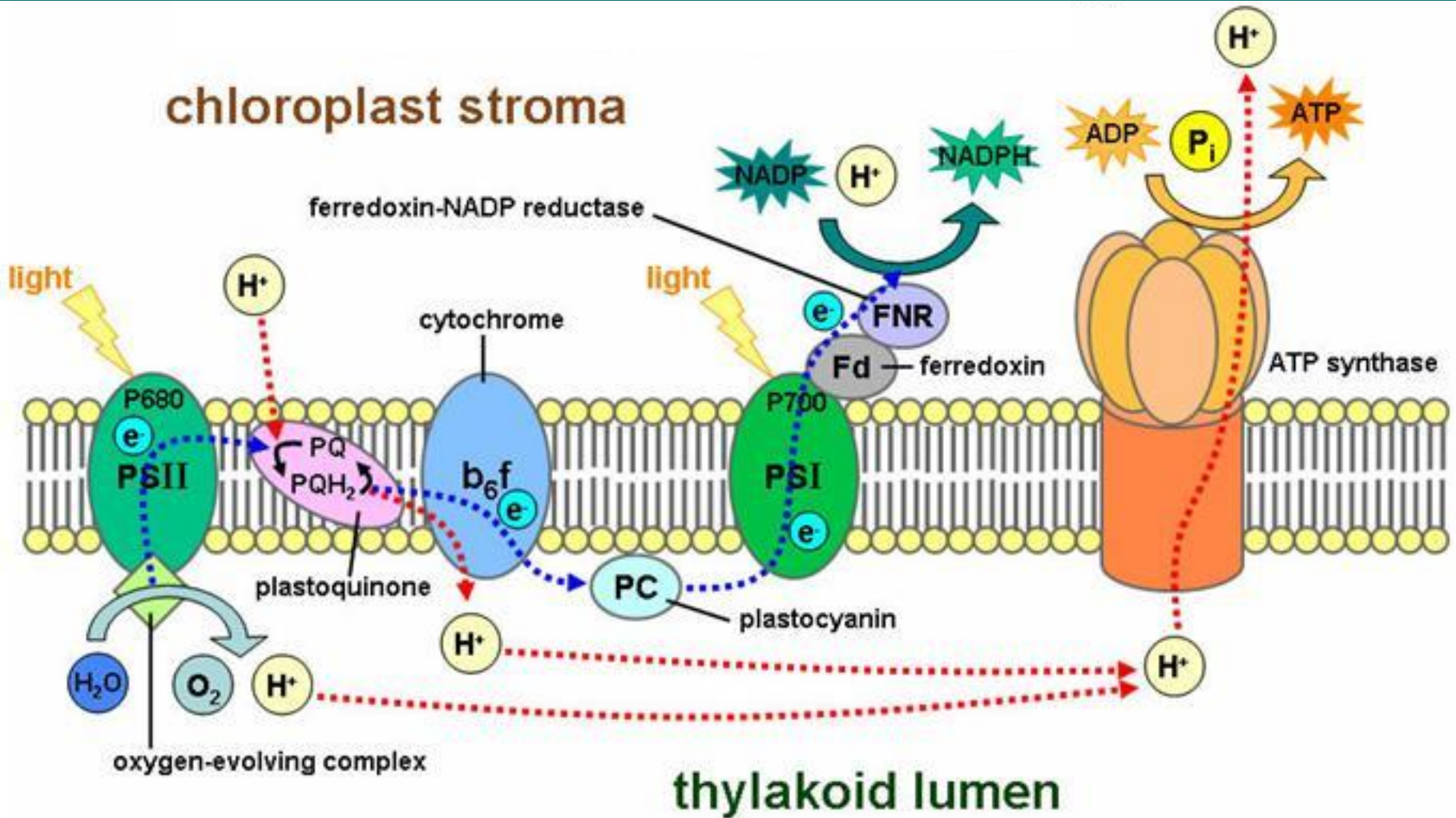
Осуществляет **ФСI**.



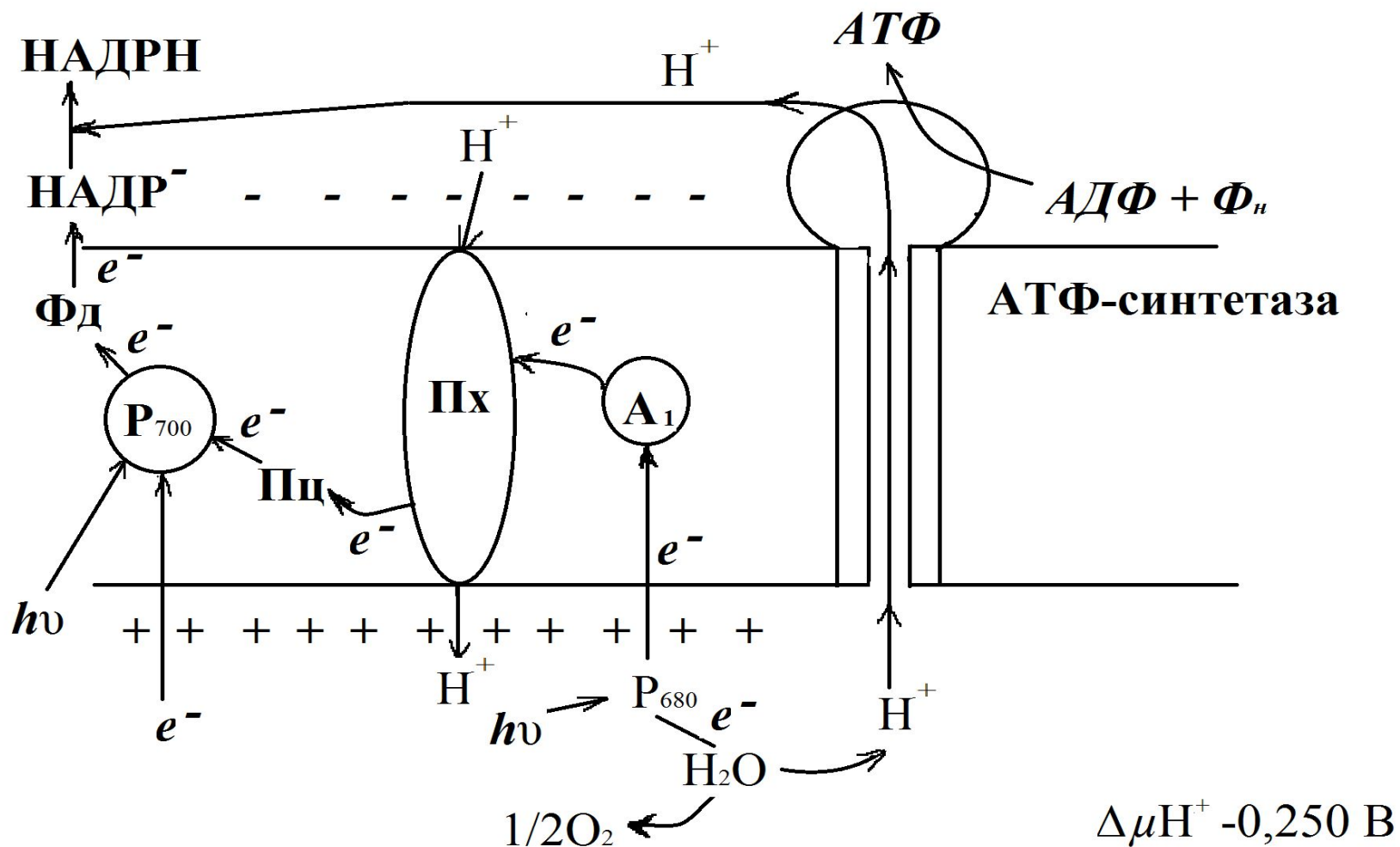
# Механизм фотосинтетического фосфорилирования



# Механизм фотосинтетического фосфорилирования



# Хемио-осмотическая гипотеза (Митчелл, Ягендорф)



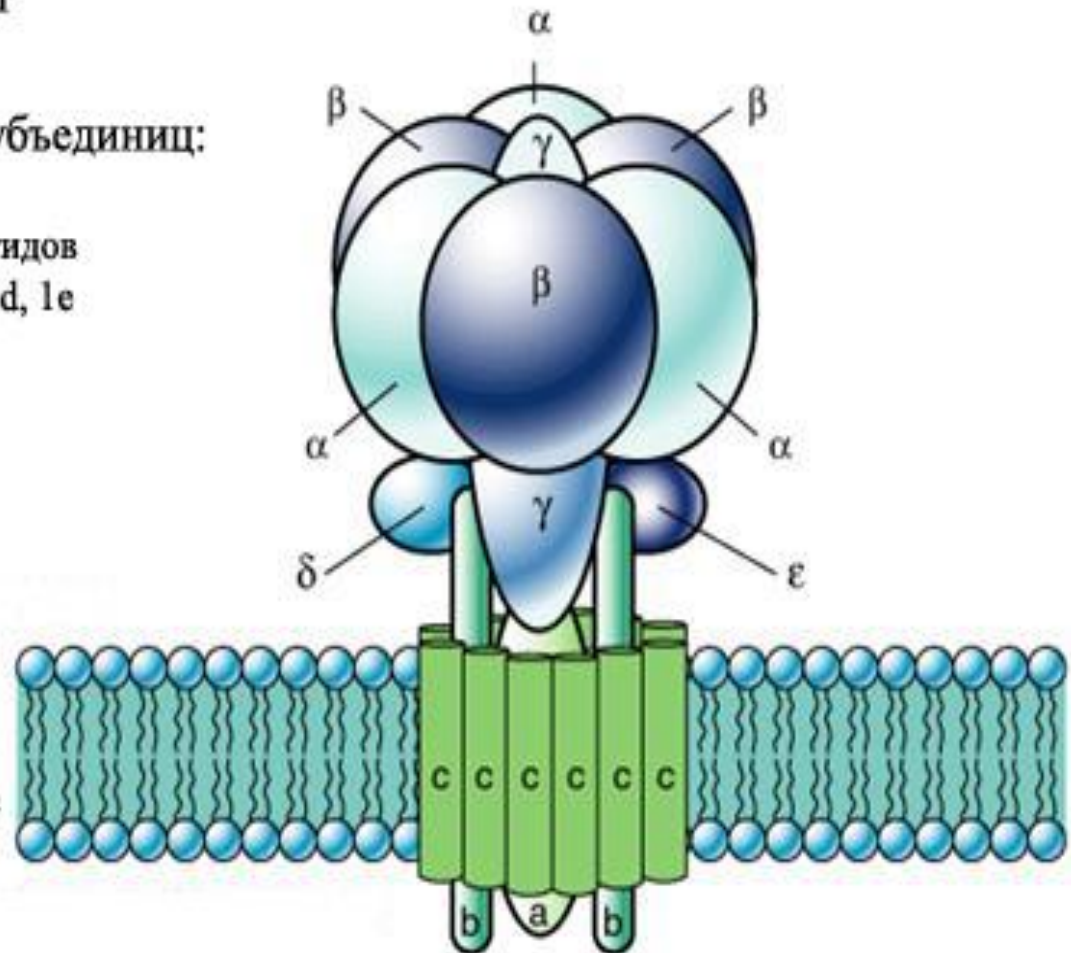
# Структура АТФ-синтазы

## Структура АТФ-синтазы

2 комплекса состоят из 24 субъединиц:

**F1** содержит 5 типов полипептидов  
в соотношении: 3 $\alpha$ , 3 $\beta$ , 1 $\epsilon$ , 1 $\delta$ , 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.

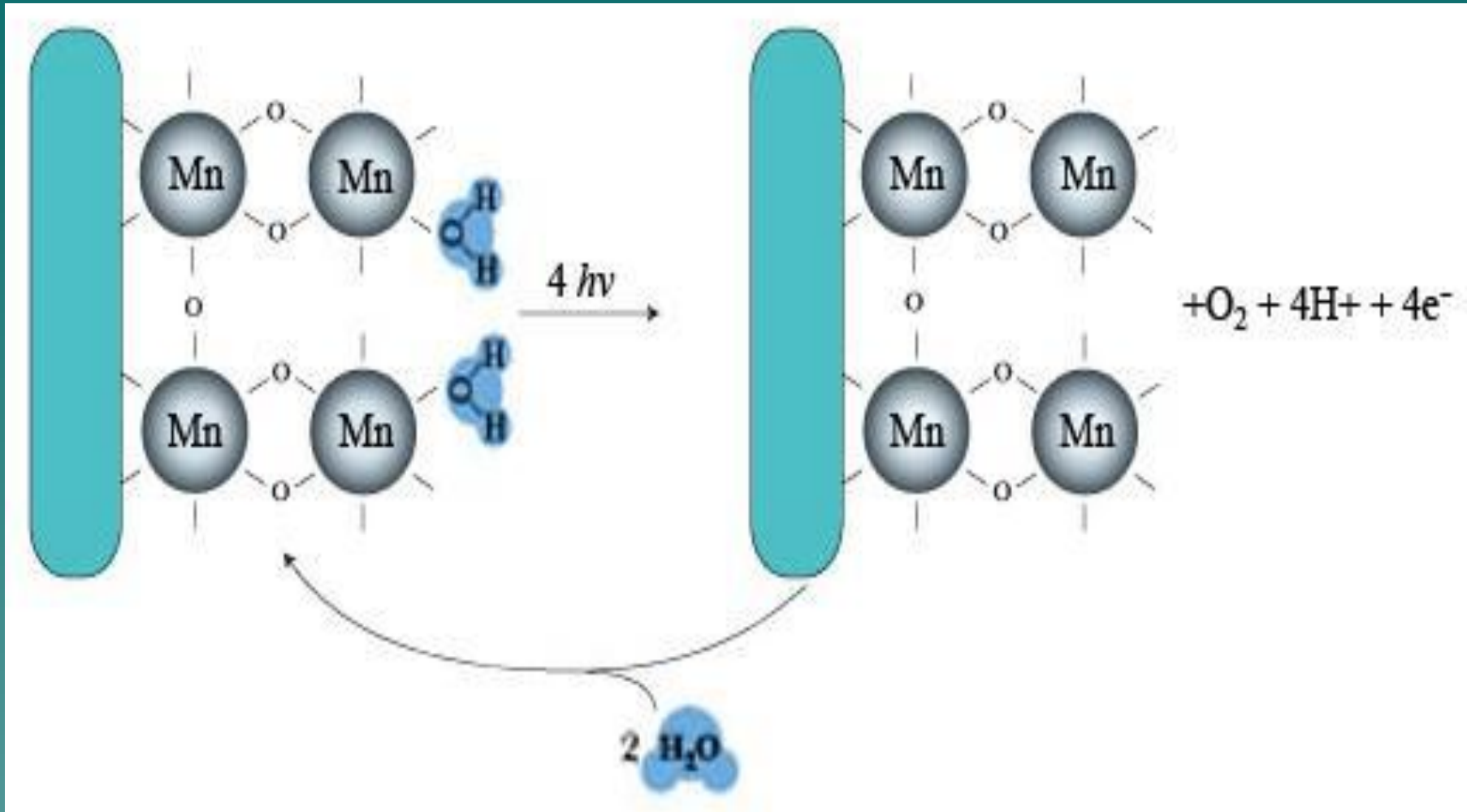
С помощью **изотопа кислорода**  ${}^{18}\text{O}$  была доказана справедливость этого утверждения.

# 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

