

Глава III.

Обеспечение клеток энергией.

Тема: Фотосинтез, хемосинтез

Задачи:

- Сформировать знания о реакциях пластического и энергетического обменов и их взаимосвязи;
- Дать характеристику фотоавтотрофному и хемоавтотрофному типам питания.

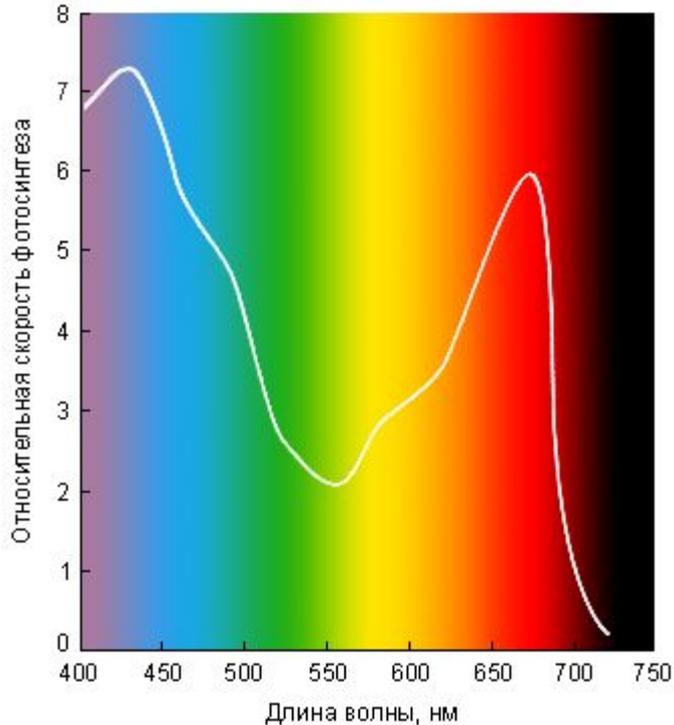
Свет



Фактор, поставляющий энергию для жизнедеятельности фотоавтотрофных организмов и обеспечивающий синтез основной части органического вещества на Земле, поддерживающий определенную температуру на поверхности Земли. Для живых организмов наиболее важны: свет ультрафиолетовой части спектра, видимый свет и инфракрасное излучение.

Жесткий ультрафиолет с длиной волны менее 290 нм губителен для живых клеток, до поверхности Земли не доходит, так как отражается озоновым экраном.

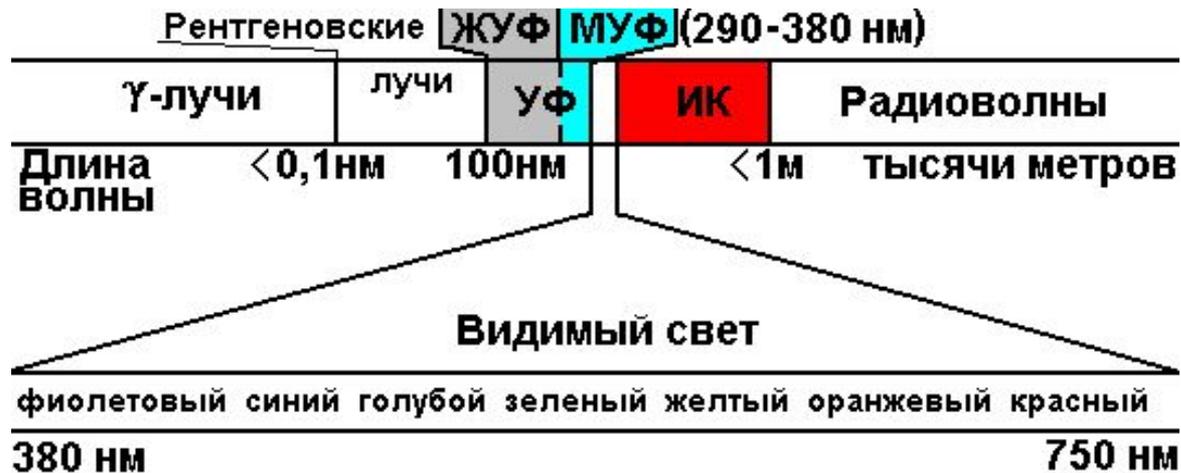
Свет



Мягкий ультрафиолет с длиной волны от 290 до 380 нм несет много энергии и вызывает образование витамина D в коже человека, он же воспринимается органами зрения многих насекомых.

Видимый свет с длиной волны от 380 до 750 нм используется для фотосинтеза фототрофными организмами (растениями, фотосинтезирующими бактериями, сине-зелеными) и животными для ориентации. Для фотосинтеза используются, в основном, *синие и красные лучи света*.

Свет



Инфракрасная часть солнечного спектра (тепловые лучи) с длиной волны более 750 нм вызывает нагревание предметов, особенно важна эта часть спектра для животных с непостоянной температурой тела — *пойкилотермных*.

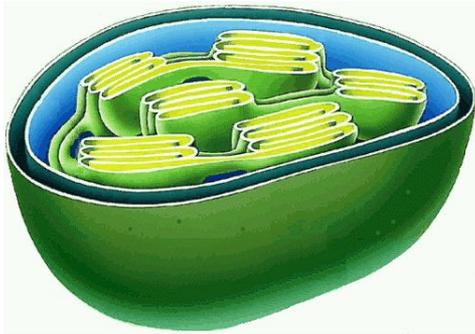
Количество энергии, которое несет свет обратно пропорционально длине волны, то есть меньше всего энергии несут инфракрасные лучи.

Фотосинтез

Фотосинтез — процесс образования органических веществ из углекислого газа и воды за счет энергии света, при этом выделяется кислород.

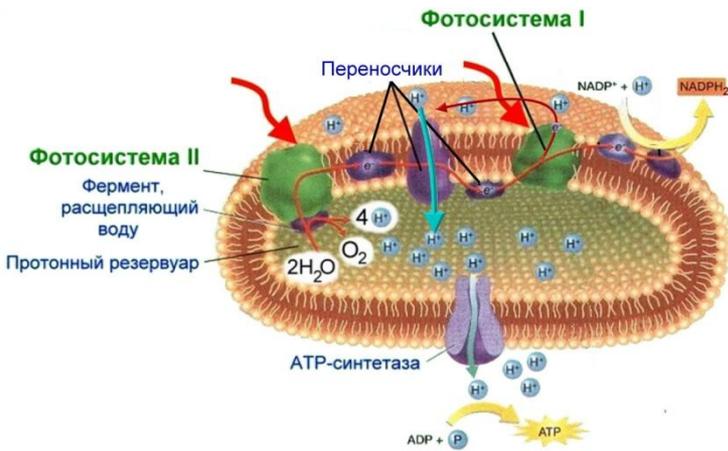


Главным органом фотосинтеза является лист, в клетках которого имеются специализированные органоиды, ответственные за фотосинтез — **хлоропласты**. Строение?



В процессе фотосинтеза различают две фазы: **световую** и **темновую**. **Световая фаза** происходит только на свету в **мембранах тилакоидов**.

Мембраны тилакоида содержат молекулы хлорофилла, белки цепи переноса электронов и особые ферменты — АТФ-синтетазы.



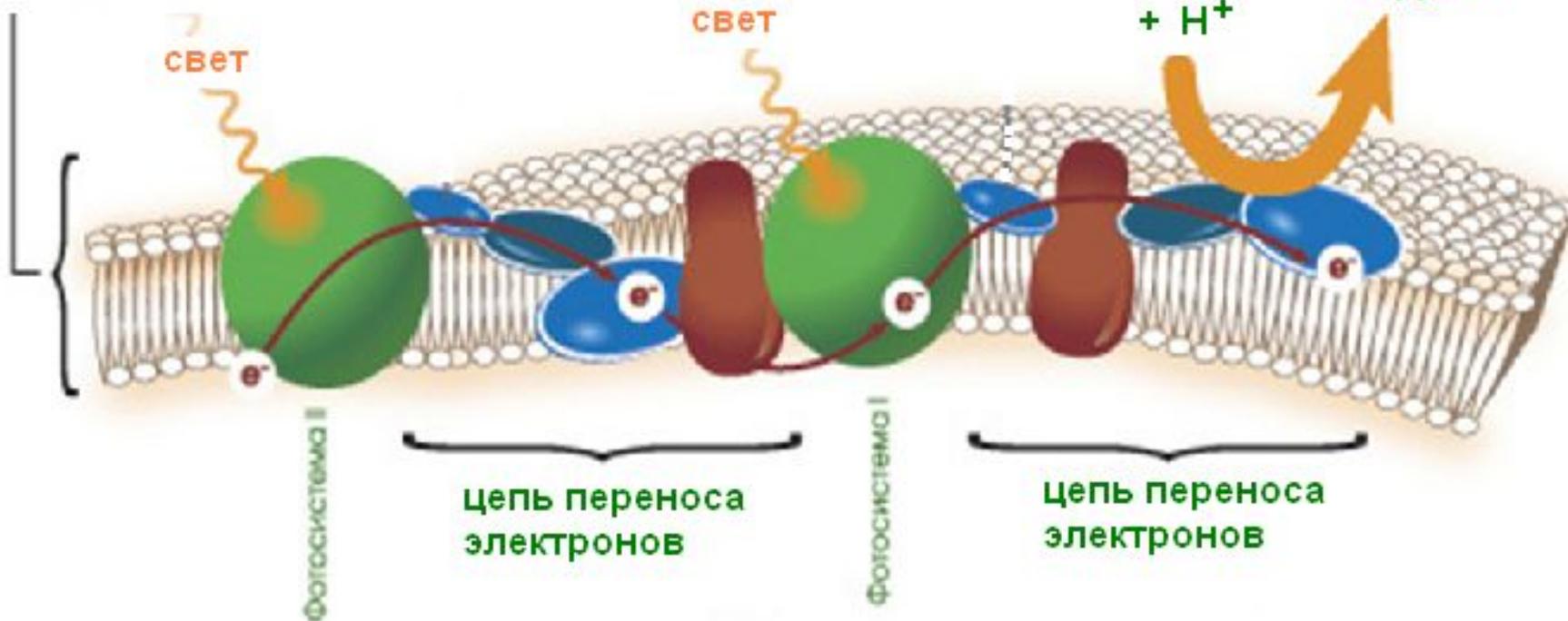
Строение хлоропласта

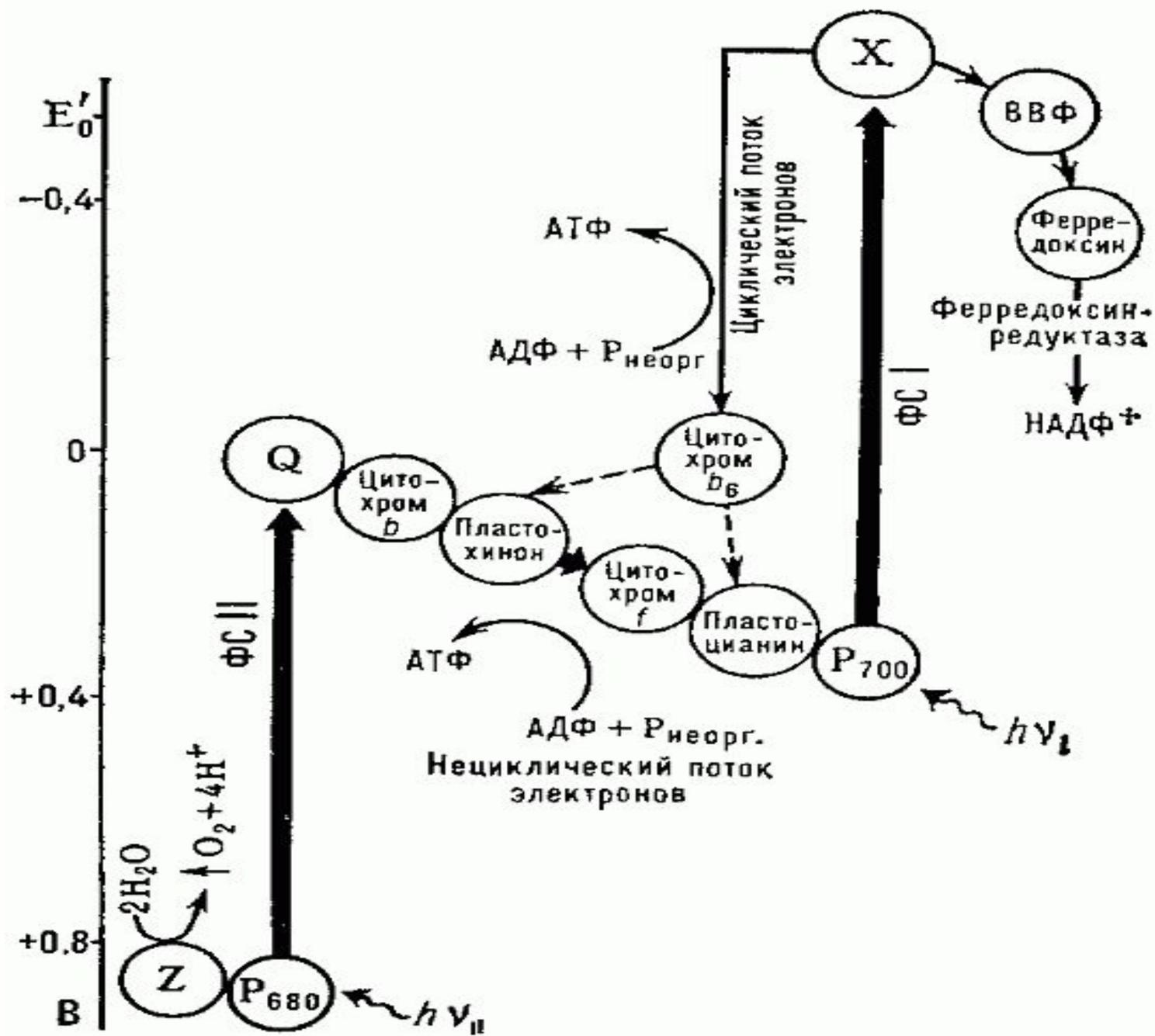


хлоропласт
мембрана тилакоида

S листьев 1 дерева = 120 кв. м

S хлоропл. листа = 1800 кв. м





ФОТОСИСТЕМЫ



Ф
Л
С
Т
И
Ф
С
П

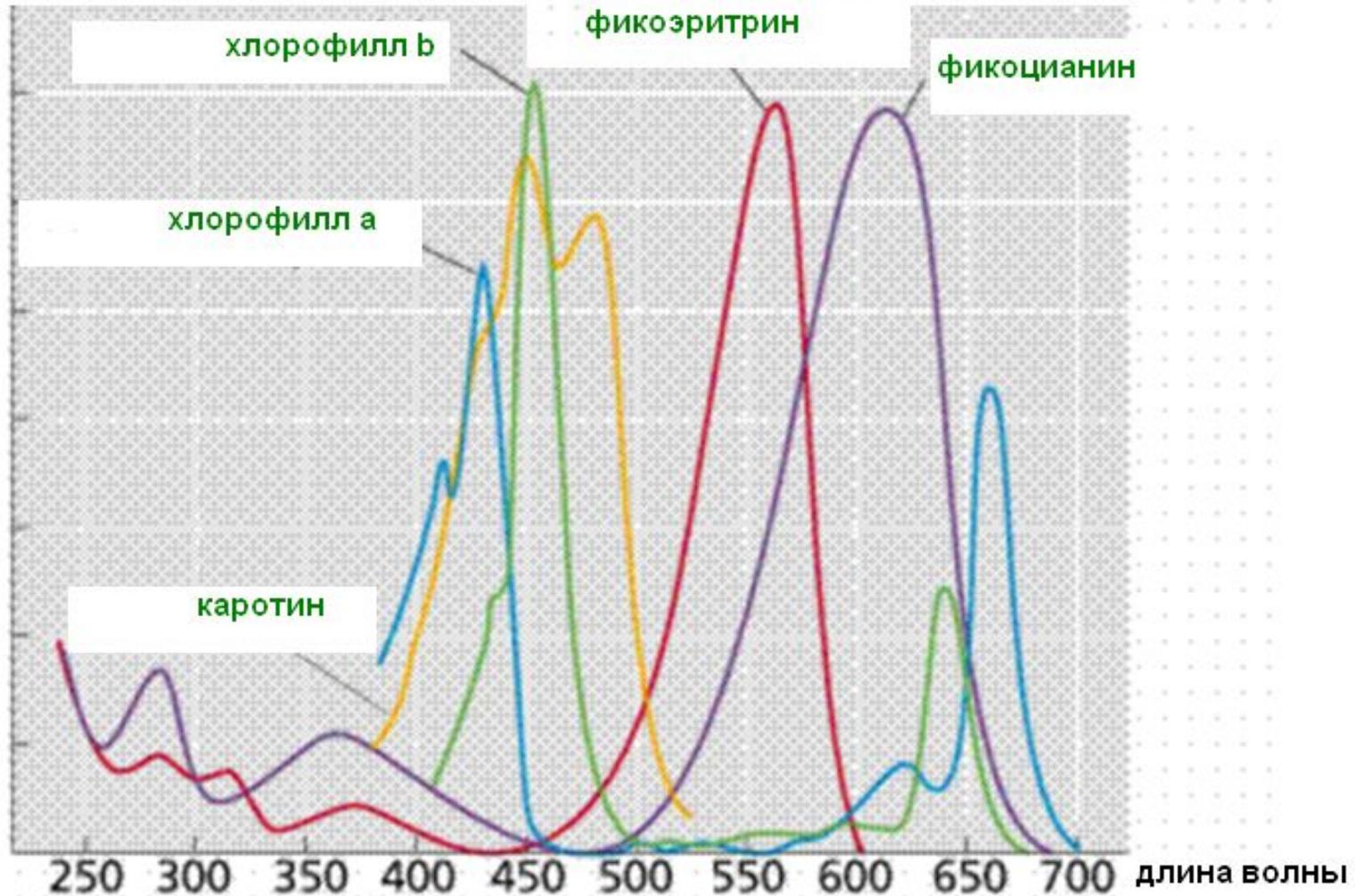


В-

Пигменты фотосинтеза



Спектры поглощения фотосинтезирующими пигментами



За

и

Пигменты фотосинтеза



Хлорофиллы Каротины



Фикоэритрин

Фикоцианин

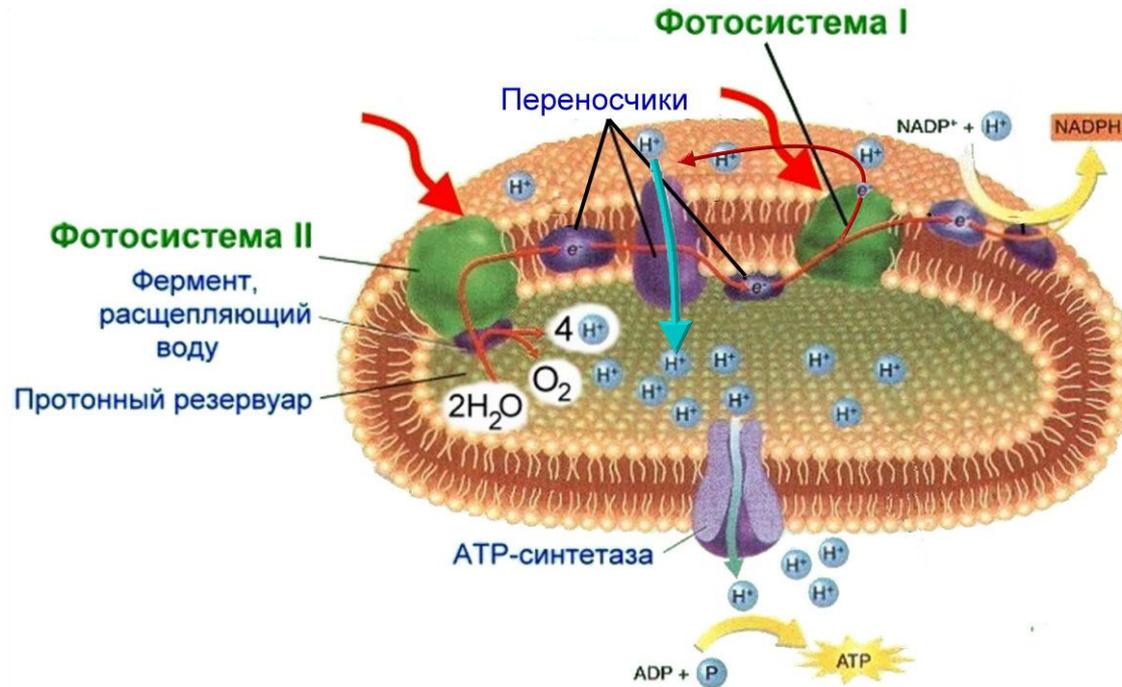


хлорофилл а



хлорофилл в

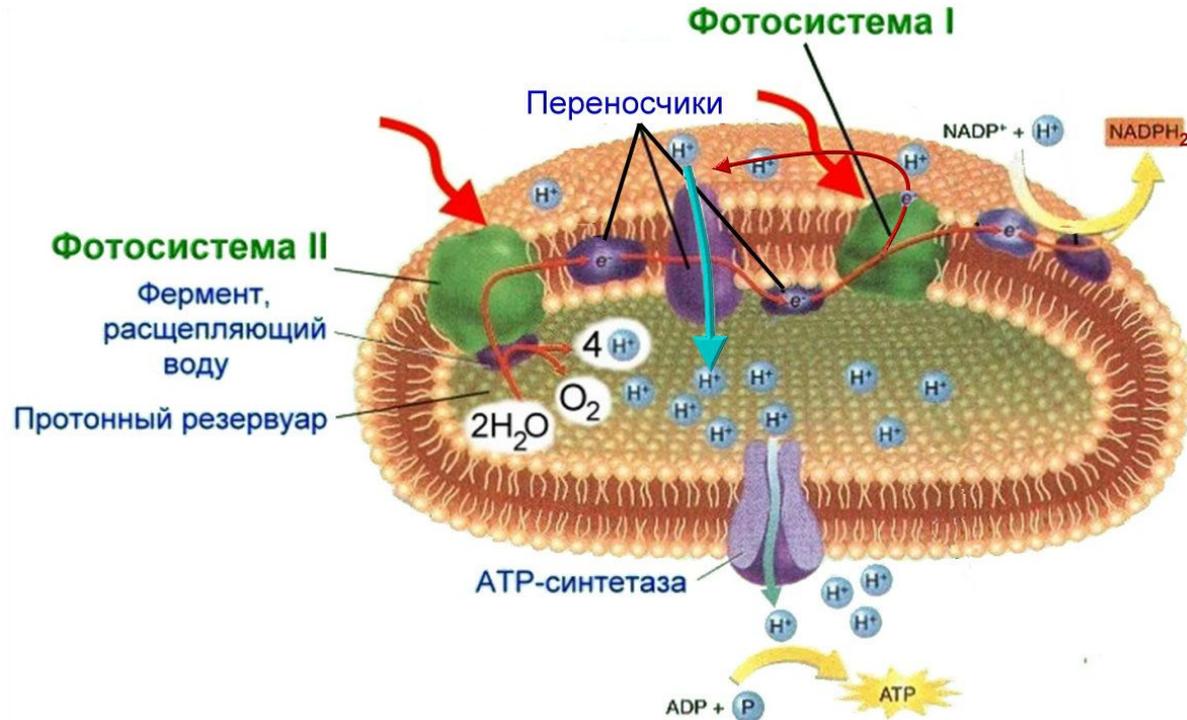
Световая фаза фотосинтеза



Молекулы хлорофилла в мембранах тилакоидов организованы в *фотосистемы*, содержащие около 300 молекул. Более древняя фотосистема появилась у фотосинтезирующих зеленых бактерий — *фотосистема-1*, она способна отбирать электроны и протоны у сероводорода, при этом не происходит выделения O_2 :



Световая фаза фотосинтеза



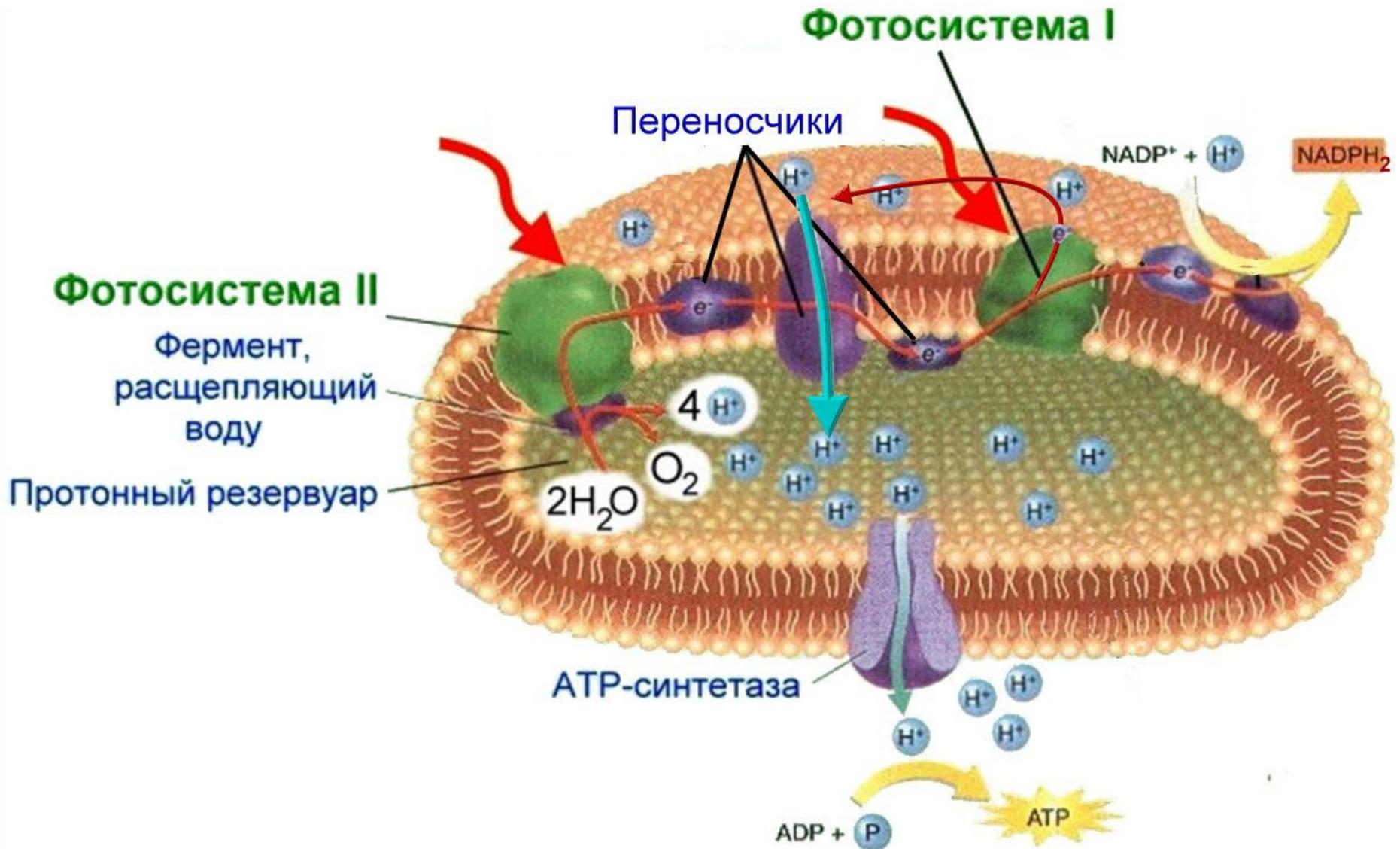
У **сине-зеленых (цианобактерий)**, а затем у всех настоящих растений, кроме фотосистемы-1, появляется **фотосистема-2**, способная разлагать воду с выделением O_2 , способная отбирать электроны у водорода воды:



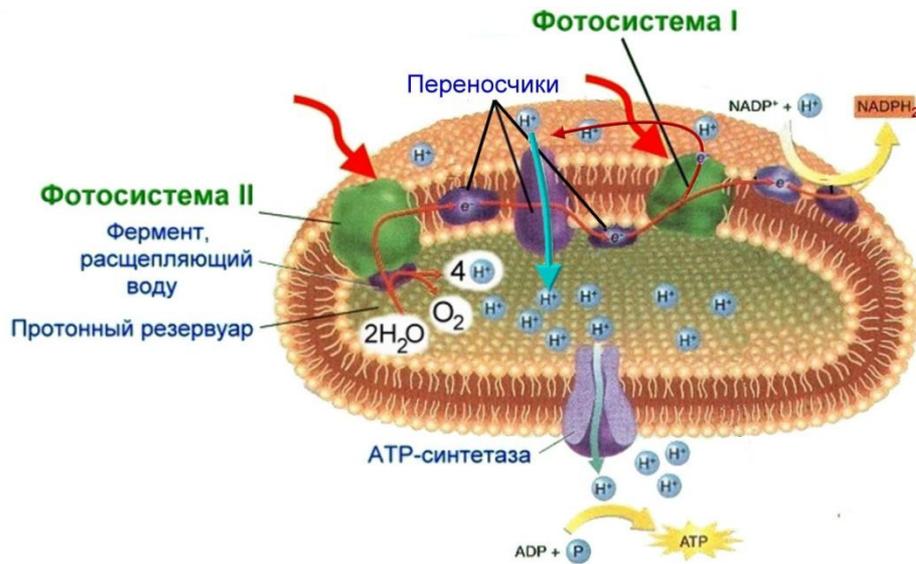
Сравните: у зеленых и пурпурных бактерий:



Световая фаза фотосинтеза



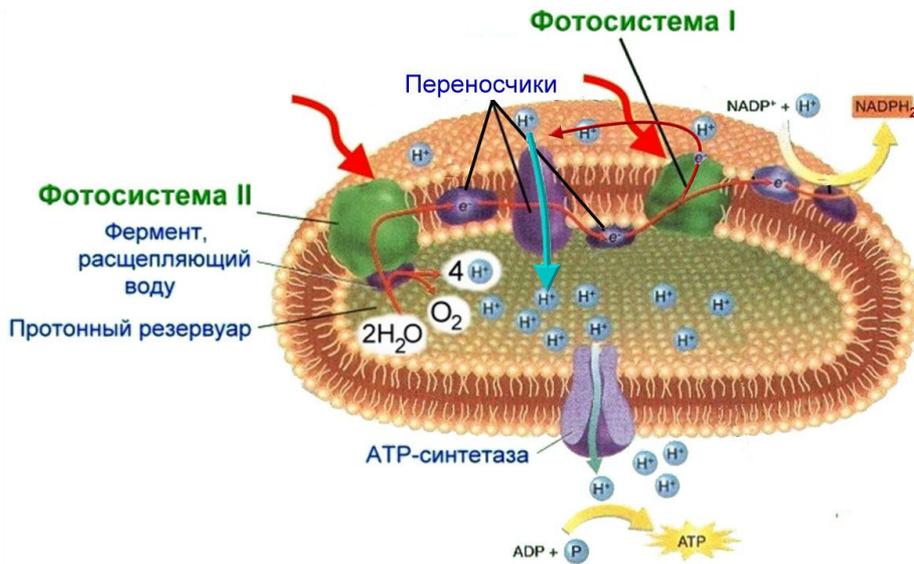
Световая фаза фотосинтеза



Под действием энергии кванта света электроны реакционного центра фотосистемы-2 (P-680) возбуждаются, покидают молекулу и попадают на молекулы переносчиков, встроенные в мембрану тилакоида.

Переносчики передают их на фотосистему-1 и за счет их избыточной энергии пополняют протонный резервуар, перемещая протоны водорода из стромы в полость тилакоида. Окисленные молекулы реакционного центра (P-680) восстанавливаются, разлагая воду — отбирая электроны у водорода воды с помощью особого фермента, связанного с фотосистемой-2. Кислород при этом удаляется во внешнюю среду, а протоны накапливаются в протонном резервуаре.

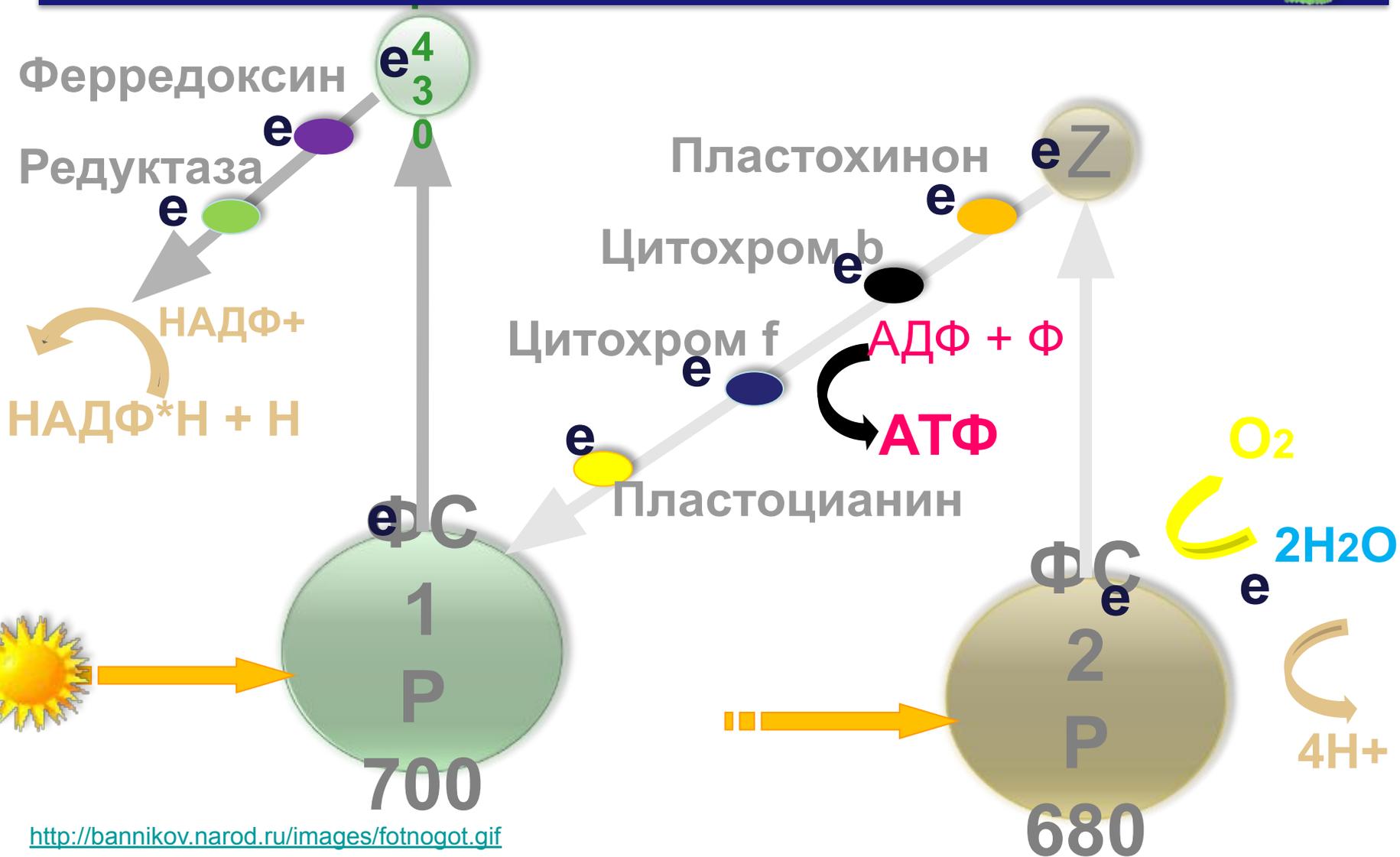
Световая фаза фотосинтеза



Когда разность потенциалов между наружной и внутренней сторонами мембраны тилакоида достигает 200 мВ, срабатывает фермент АТФ-синтетаза, протоны проталкиваются через его канал и происходит *фосфорилирование АДФ до АТФ*.

Электроны, с помощью переносчиков попавшие на фотосистему-1 передаются на ее реакционный центр (P-700), выбиваются на внешнюю поверхность мембраны тилакоида, где их энергия используется для восстановления переносчика водорода НАДФ·Н $_2$. Если не хватает АТФ, то электроны вновь передаются на молекулы переносчиков и их энергия затрачивается на пополнение протонного резервуара, то есть, в конечном счете, на синтез АТФ АТФ-синтетазой. Таким образом, в световую фазу происходит фотолиз воды, который сопровождается тремя важнейшими процессами: 1 — образованием кислорода; 2 — образованием АТФ; 3 — образованием НАДФ·Н $_2$.

Световая фаза фотосинтеза

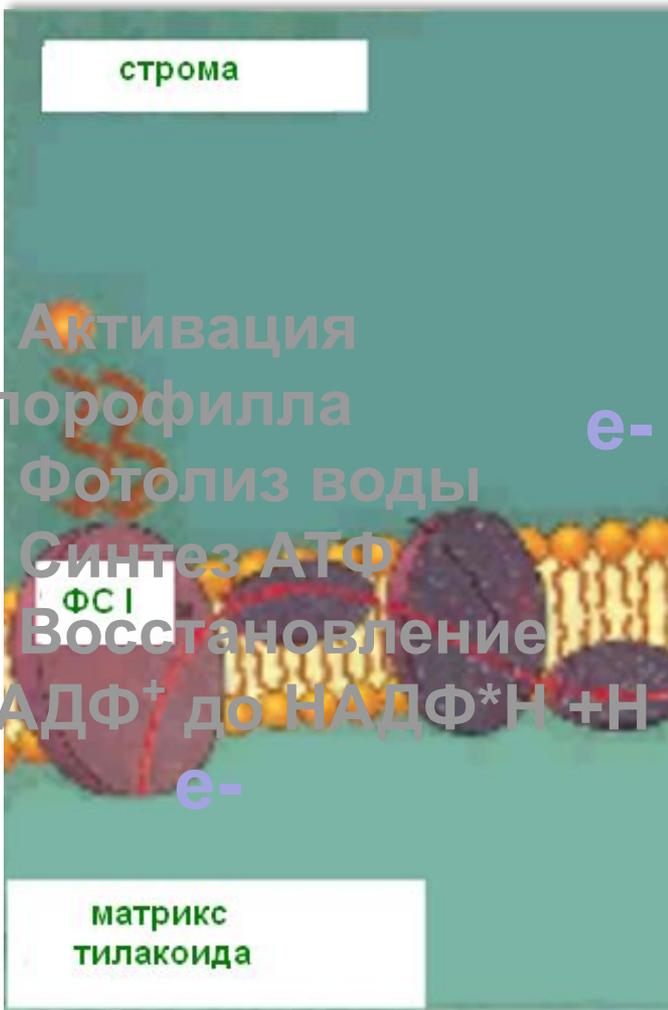


Световая фаза фотосинтеза

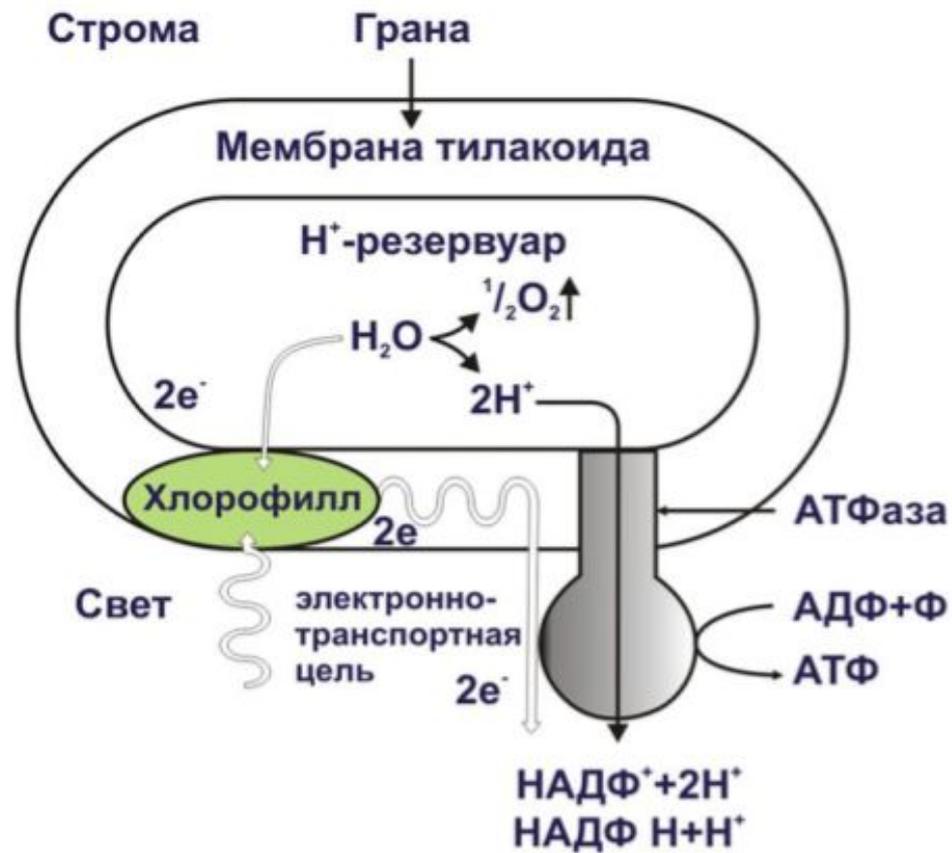


1. Активация хлорофилла
2. Фотолиз воды
3. Синтез АТФ
4. Восстановление НАДФ⁺ до НАДФ[•]H + H⁺

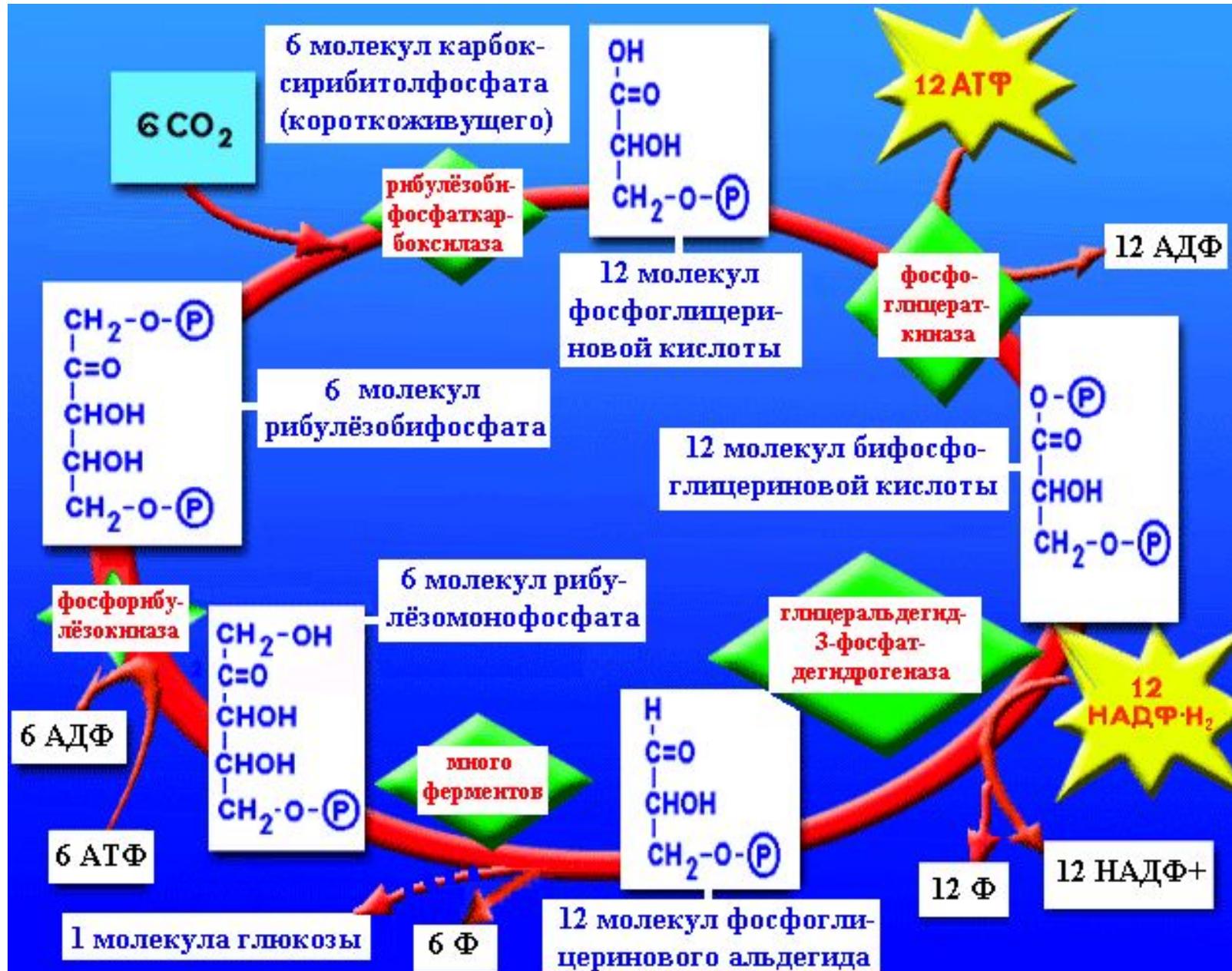
строма



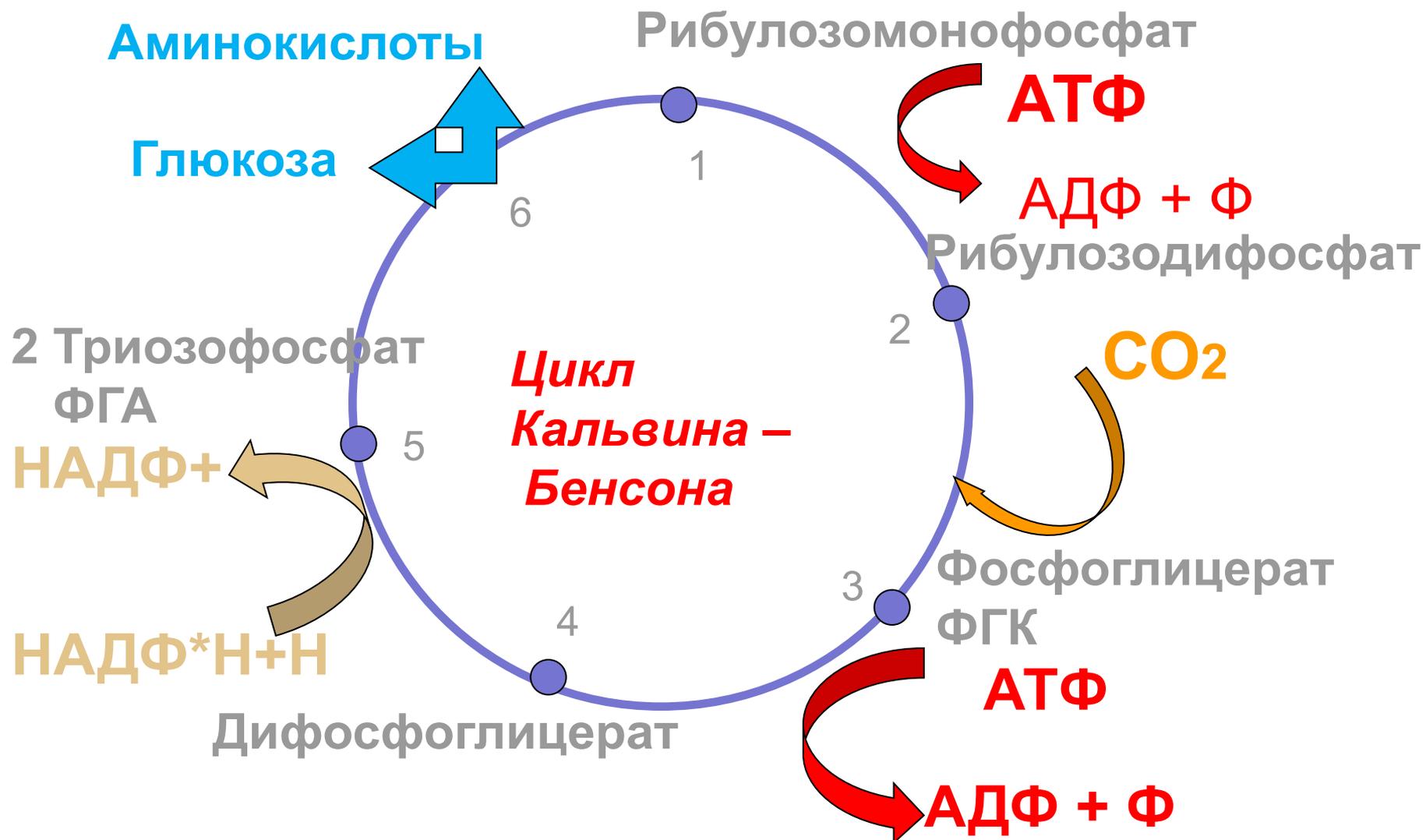
матрикс тилакоида

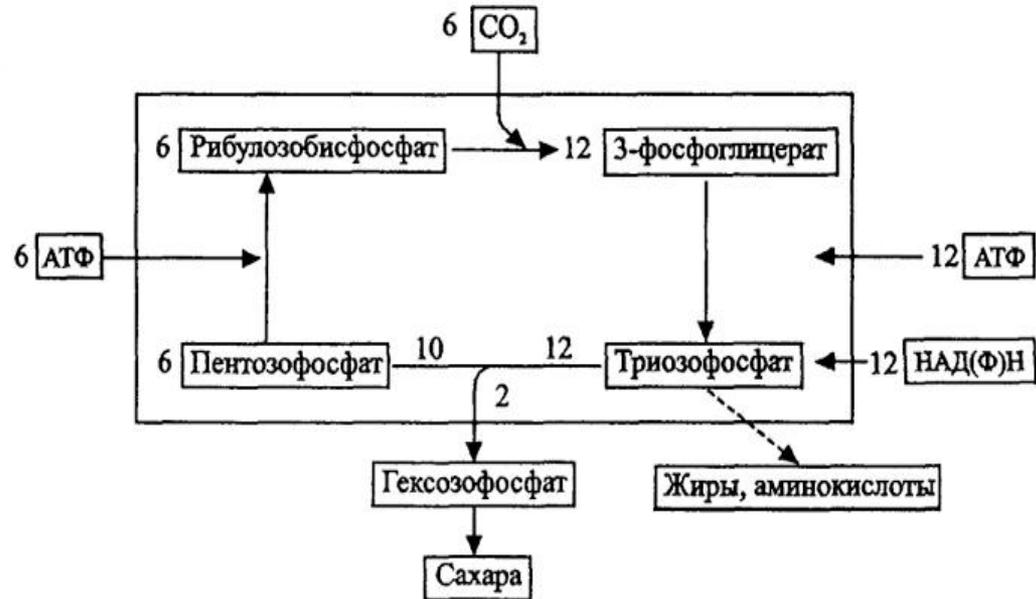
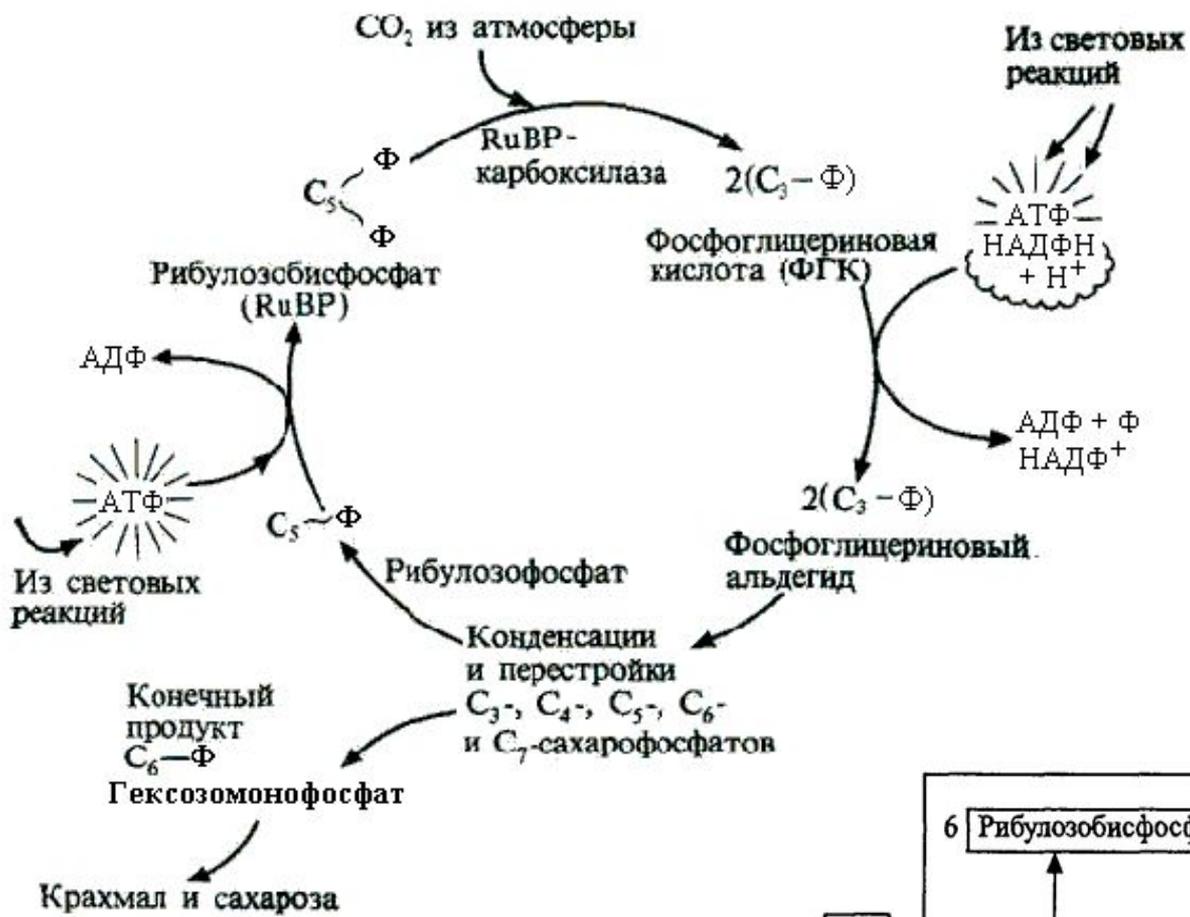


Темновая фаза

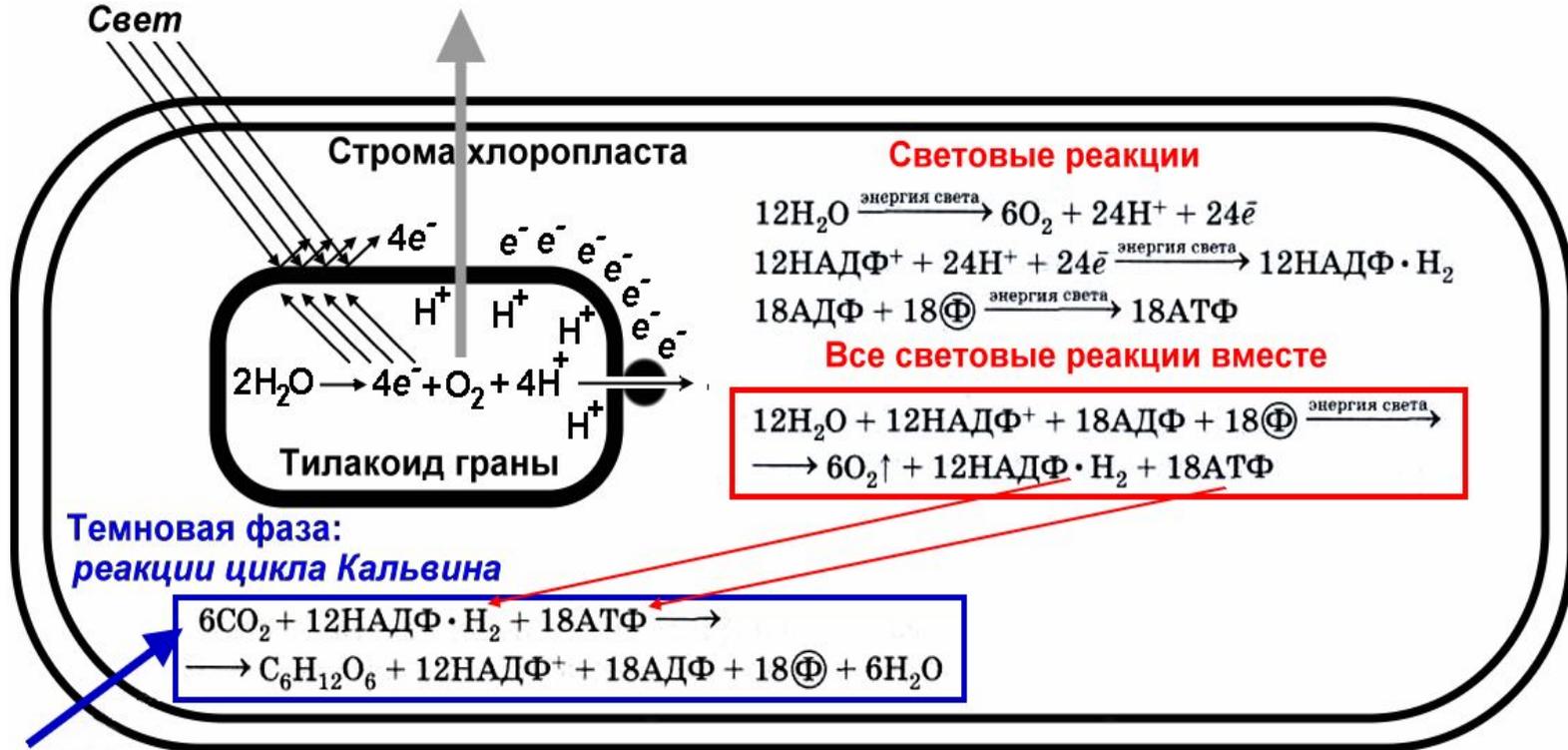


Темновая фаза фотосинтеза



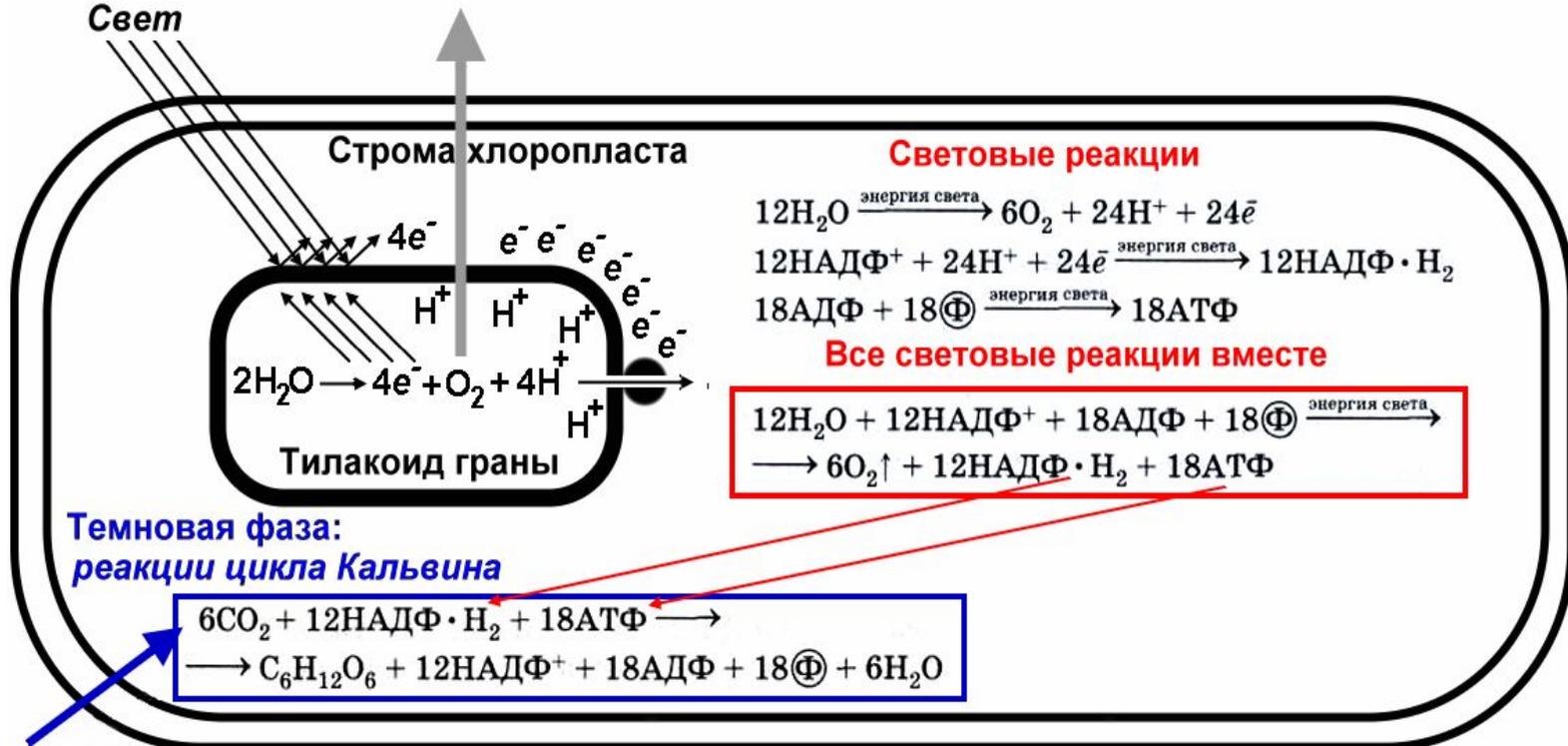


Темновая фаза фотосинтеза



Темновая фаза протекает в другое время и в другом месте — в **строме** хлоропласта. Для ее реакций не нужна энергия света. Происходит фиксация углекислого газа, содержащегося в воздухе, причем акцептором углекислого газа является пятиуглеродный сахар рибулозобисфосфат.

Темновая фаза фотосинтеза



Мелвин Кальвин, лауреат Нобелевской премии, показал, как происходит образование углеводов в темновую фазу фотосинтеза. Происходит поглощение CO_2 и карбоксилирование пятиуглеродного сахара **рибулозобисфосфата** с образованием 6-углеродного соединения. Затем происходит **цикл реакций Кальвина**, в которых через ряд промежуточных продуктов происходит образование глюкозы.

Суммарные уравнения и частные реакции фотосинтеза

Общая реакция фотосинтеза



Фотолиз воды



Образование восстановителя

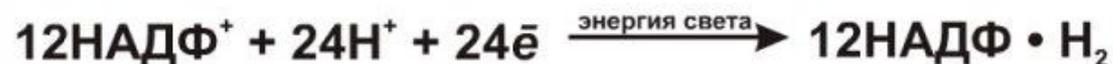
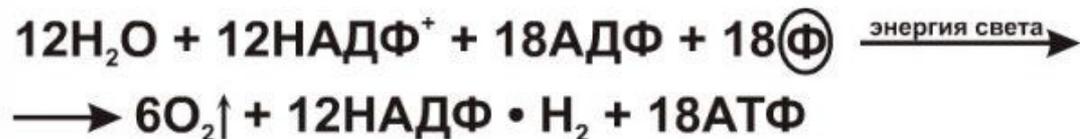


Фото-фосфорилирование



Все световые реакции вместе



Задание 1. Заполните таблицу «Сравнение световой и темновой фаз фотосинтеза»



| <i>Критерии для сравнения</i> | <i>Световая фаза</i> | <i>Темновая фаза</i> |
|-------------------------------|----------------------|----------------------|
| <i>Локализация</i> | | |
| <i>Основные процессы</i> | | |
| <i>Исходные вещества</i> | | |
| <i>Образующиеся продукты</i> | | |
| <i>Источник энергии</i> | | |

Задание 1. Заполните таблицу «Сравнение световой и темновой фаз фотосинтеза»

| Критерии для сравнения | Световая фаза | Темновая фаза |
|------------------------|--|--|
| Локализация | Мембрана тилакоидов | Строма хлоропласта |
| Основные процессы | Фотолиз воды Восстановление НАДФ ⁺ до НАДФ* Н ₂ Синтез АТФ | Окисление НАДФ* Н ₂ Распад АТФ до АДФ и Ф. Фиксация СО ₂ Цикл Кальвина) |
| Исходные вещества | Вода, АДФ, Ф, НАДФ ⁺ | АТФ, НАДФ* Н ₂ , рибулёзомонофосфат |
| Образующиеся продукты | НАДФ* Н ₂ , АТФ | Глюкоза, аминокислоты и т.п. |
| Источник энергии | Световая энергия | Энергия АТФ |

Хемоавтотрофный тип питания

Автотрофные организмы – организмы, синтезирующие органические вещества из неорганических за счет энергии солнечного света – **фотоавтотрофы** или за счет энергии окисления неорганических соединений – **хемоавтотрофы**.

Хемоавтотрофы:

Хемосинтетики окисляют аммиак (нитрифицирующие бактерии) сероводород, серу, водород и соединения железа. Источником водорода для восстановления углекислого газа является вода. Открыт в 1887 году С.Н.Виноградским.

Важнейшая группа хемосинтетиков – **нитрифицирующие бактерии**, способные окислять аммиак, образующийся при гниении органических остатков, сначала до азотистой, а затем до азотной кислоты:



Азотная кислота, реагируя с минеральными соединениями почвы, образует нитраты, которые хорошо усваиваются растениями.

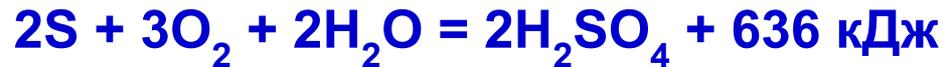
Хемоавтотрофный тип питания

Хемоавтотрофы:

Бесцветные серобактерии окисляют сероводород и накапливают в своих клетках серу:



При недостатке сероводорода бактерии производят дальнейшее окисление серы до серной кислоты:



Железобактерии окисляют двухвалентное железо до трехвалентного:



Водородные бактерии используют энергию, выделяющуюся при окислении молекулярного водорода:

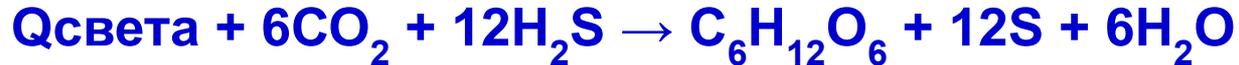


Хемоавтотрофный тип питания

Фотоавтотрофы:

Фотосинтезирующие серобактерии (зеленые и пурпурные)

Имеют фотосистему-1 и при фотосинтезе не выделяют кислород, донор водорода – H_2S :



У цианобактерий (синезеленых) появилась фотосистема-2 и при фотосинтезе кислород выделяется, донором водорода для синтеза органики является H_2O :



Повторение

Тест 1. У фотосинтезирующих серобактерий фотосистемы:

1. Только первая. 
2. Только вторая.
3. И первая и вторая.
4. Фотосистемы еще отсутствуют.

Тест 2. Впервые появляется фотосистема 2:

1. У зеленых серобактерий.
2. У пурпурных серобактерий.
3. У цианобактерий (синезеленых). 
4. У одноклеточных водорослей.

Тест 3. Фотосистемы располагаются:

1. В мембранах тилакоидов. 
2. Внутри тилакоидов.
3. В строме.
4. В межмембранном пространстве.

Повторение

Тест 4. В световую фазу фотосинтеза протоны накапливаются:

1. В мембранах тилакоидов.
2. Внутри тилакоидов. 
3. В строме.
4. В межмембранном пространстве.

Тест 5. Реакции темновой фазы фотосинтеза протекают:

1. В мембранах тилакоидов.
2. Внутри тилакоидов.
3. В строме. 
4. В межмембранном пространстве.

***Тест 6. В световую фазу фотосинтеза происходит:*

1. Образование АТФ. 
2. Образование НАДФ·Н₂. 
3. Выделение О₂. 
4. Образование углеводов.

Повторение

Тест 7. В темновую фазу фотосинтеза происходит:

1. Образование АТФ.
2. Образование НАДФ·Н₂.
3. Выделение О₂.
4. Образование углеводов. ←

Тест 8. При фотосинтезе происходит выделение О₂, выделяющегося при разложении молекул:

1. СО₂.
2. Н₂О. ←
3. СО₂ и Н₂О.
4. С₆Н₁₂О₆.

***Тест 9. Способны синтезировать органические вещества, используя неорганический источник углерода:*

1. Хемоавтотрофы. ←
2. Хемогетеротрофы.
3. Фотоавтотрофы. ←
4. Любые гетеротрофы.

Повторение

****Тест 10. Способны синтезировать органические вещества, используя органический источник углерода:**

1. Хемоавтотрофы.
2. Хемогетеротрофы. 
3. Фотоавтотрофы.
4. Любые гетеротрофы 

****Тест 11. Из световой фазы в темновую поступают:**

1. Вода.
2. Углекислый газ.
3. Кислород.
4. АТФ. 
5. НАДФ-Н₂ 