

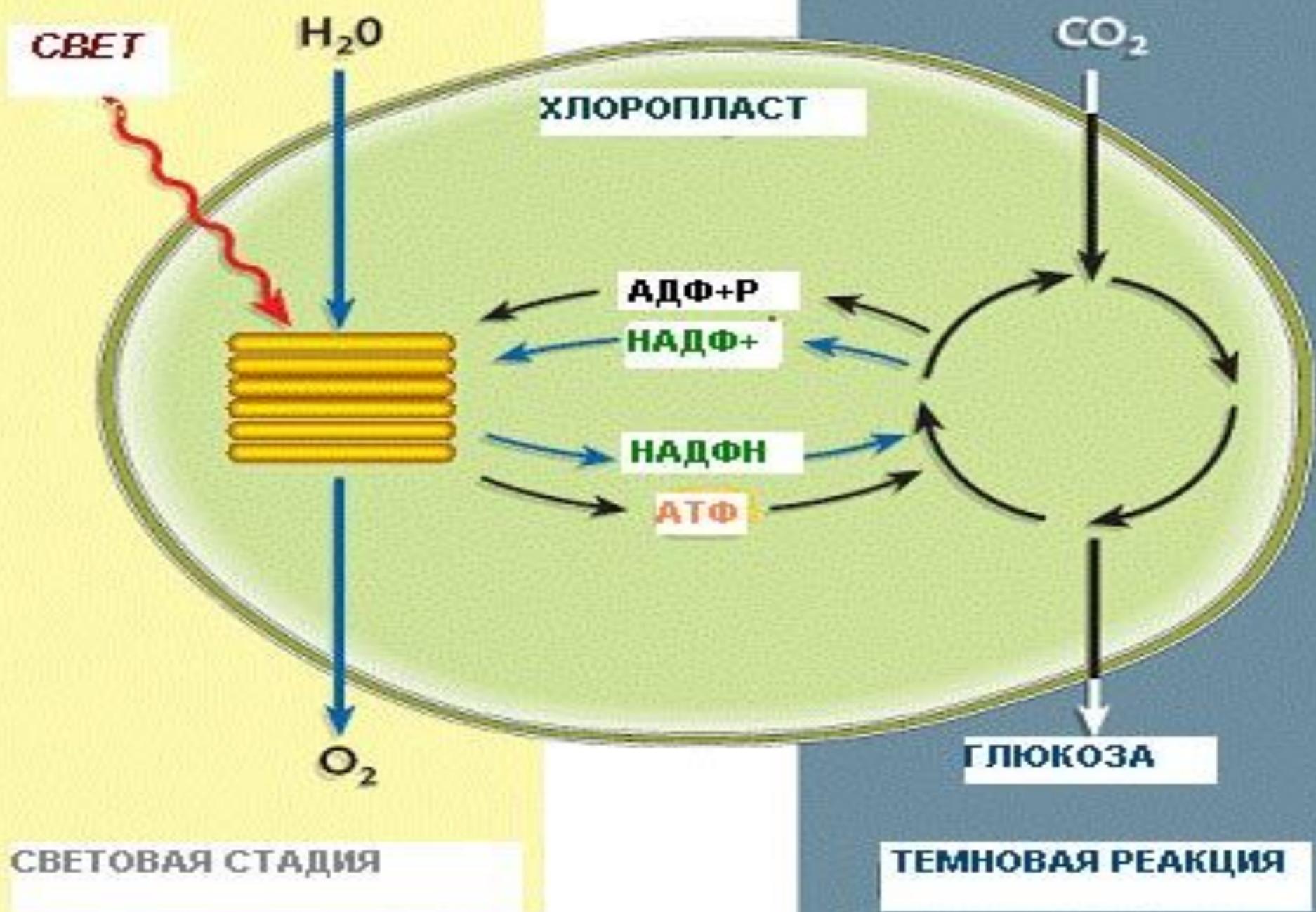
## *Глава III.*

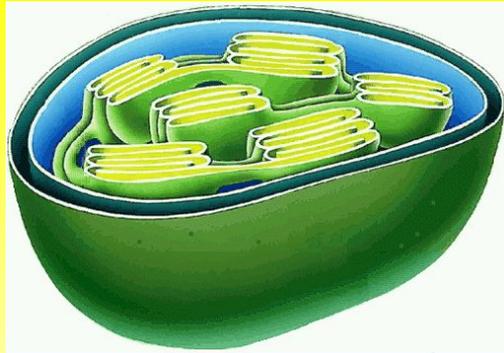
Обеспечение клеток энергией.

# Тема: Фотосинтез, хемосинтез

Задачи:

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





## Фотосинтез

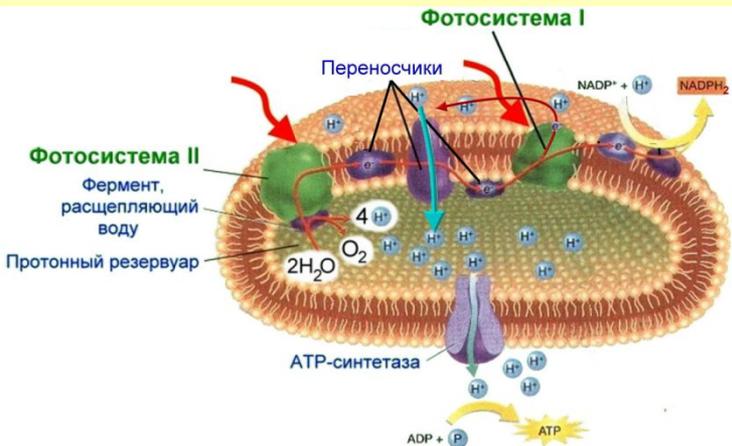
Фотосинтез — процесс образования органических веществ из углекислого газа и воды за счет энергии света, при этом выделяется кислород.



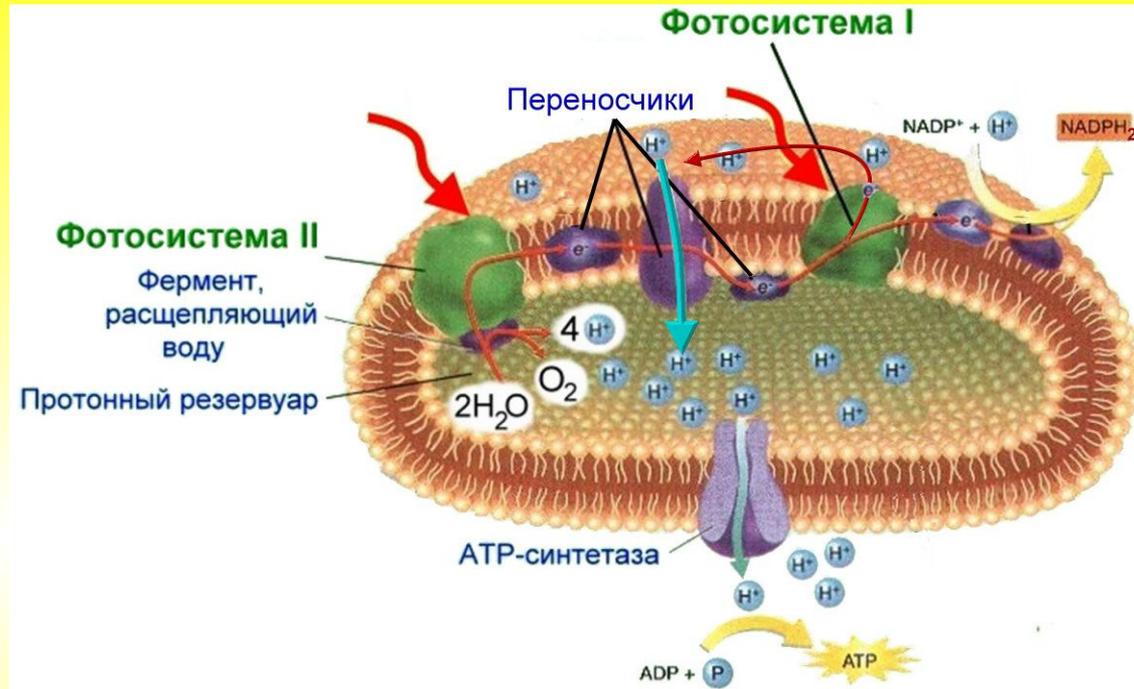
Главным органом фотосинтеза является лист, в клетках которого имеются специализированные органоиды, ответственные за фотосинтез — **хлоропласты**. Строение?

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.



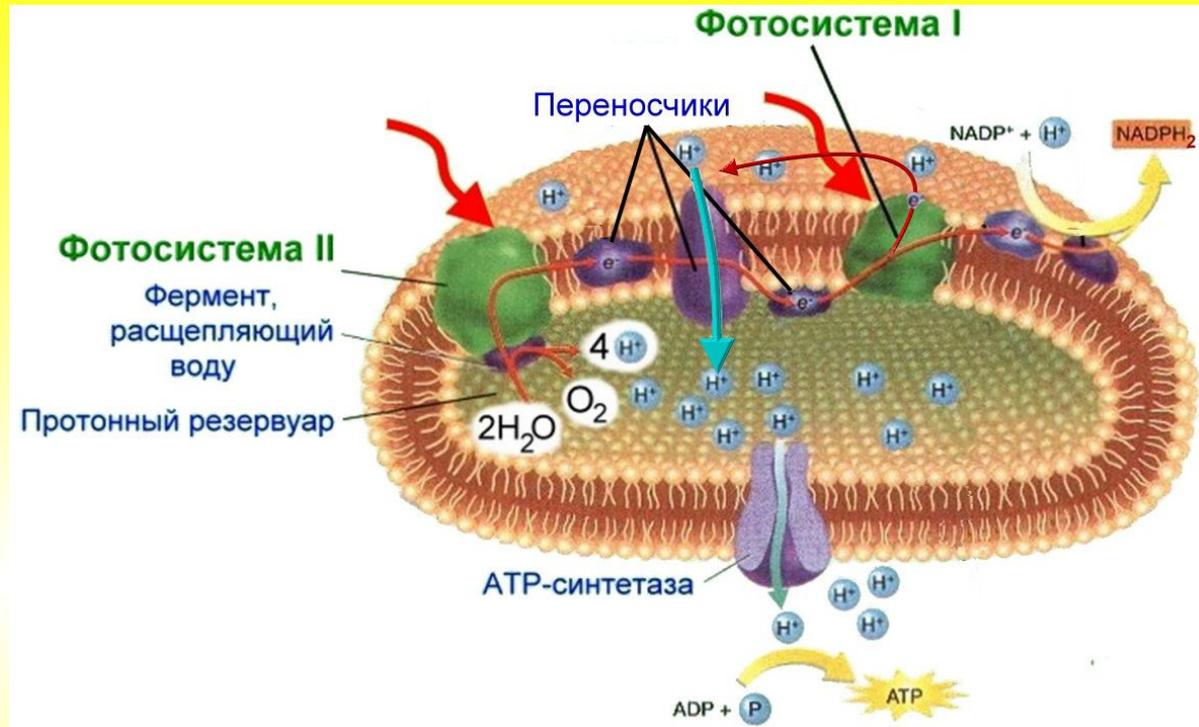
## Световая фаза фотосинтеза



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  $\text{O}_2$ :



## Световая фаза фотосинтеза



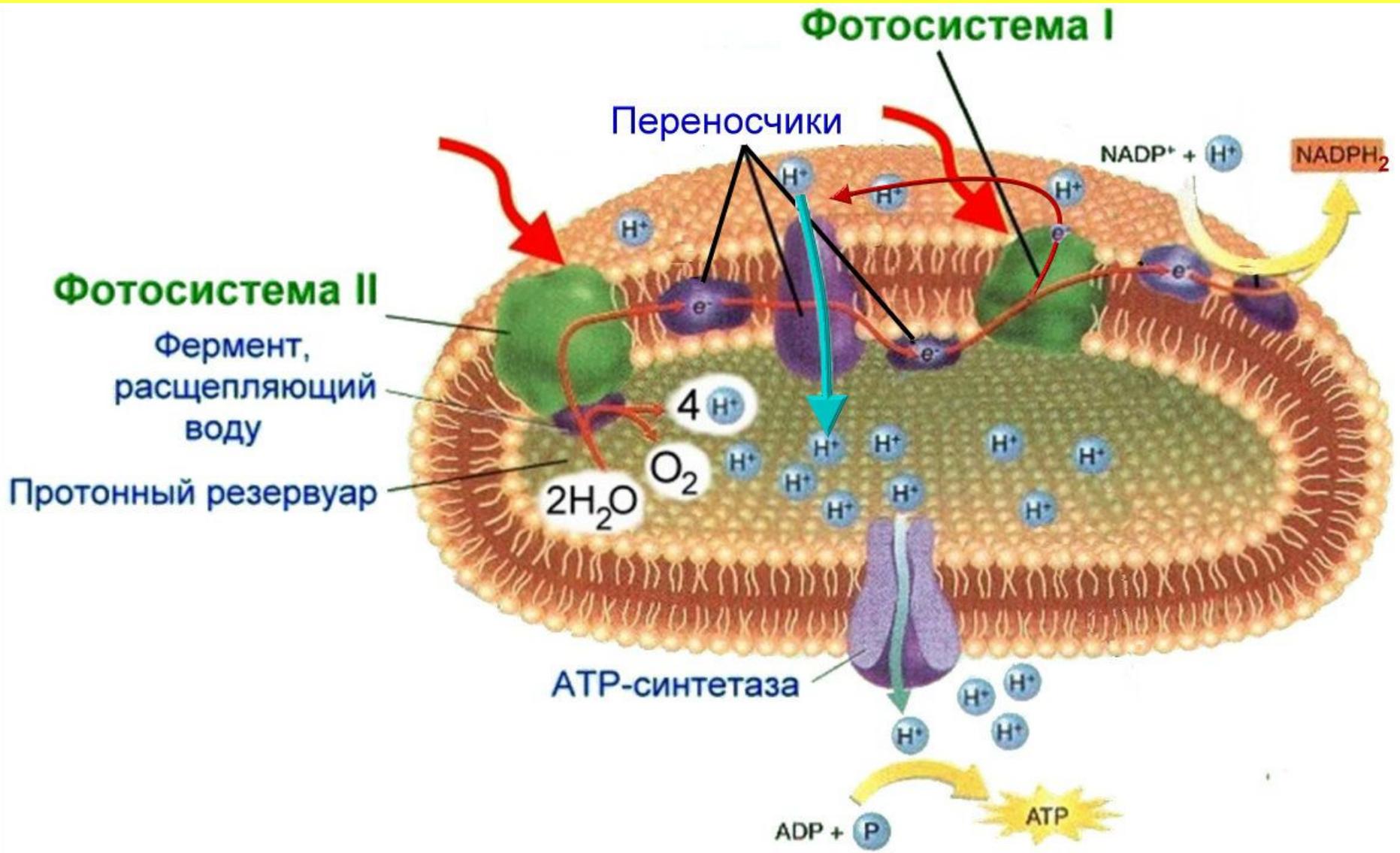
У **сине-зеленых (цианобактерий)**, а затем у всех настоящих растений, кроме фотосистемы-1, появляется **фотосистема-2**, способная разлагать воду с выделением  $\text{O}_2$ , способная отбирать электроны у водорода воды:



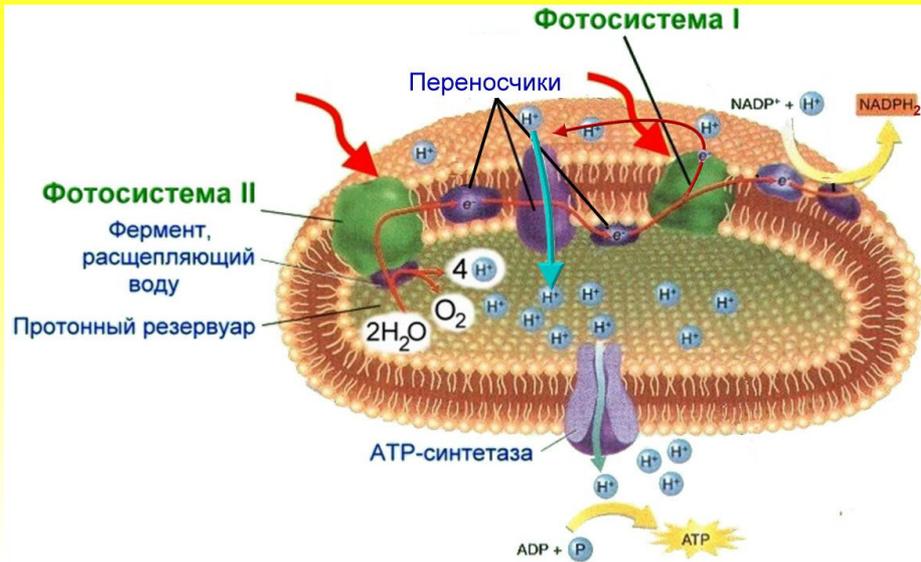
Сравните: у зеленых и пурпурных бактерий:



# Световая фаза фотосинтеза



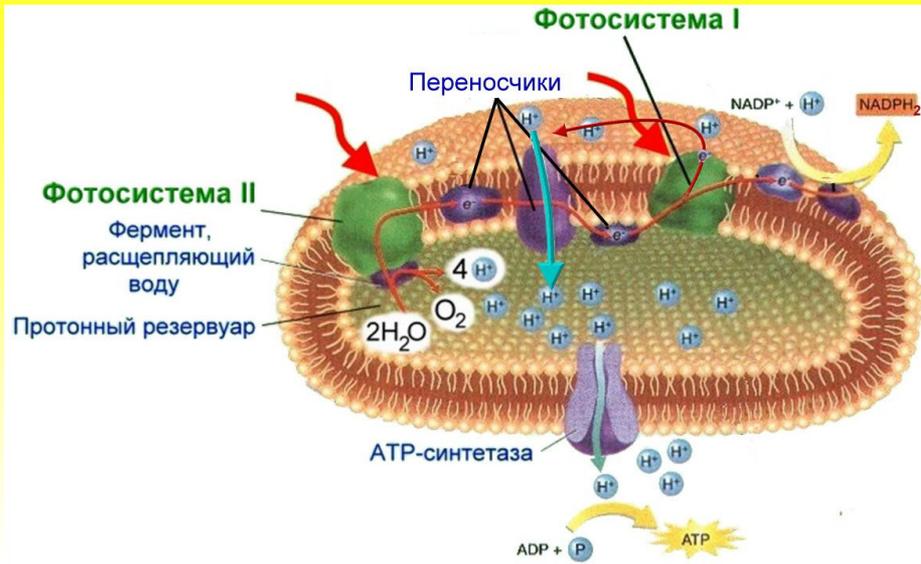
## Световая фаза фотосинтеза



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<sub>2</sub>. 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<sub>2</sub>.

# Суммарные уравнения и частные реакции фотосинтеза

Общая реакция фотосинтеза



Фотолиз воды



Образование восстановителя

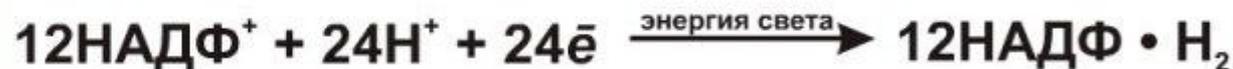
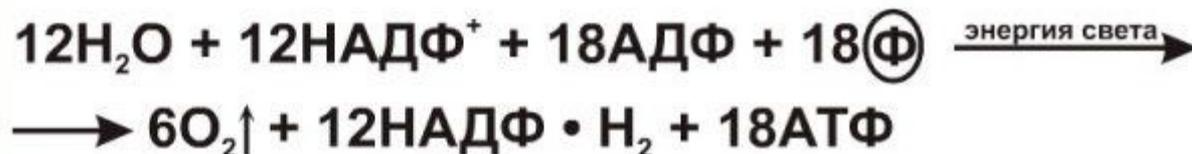


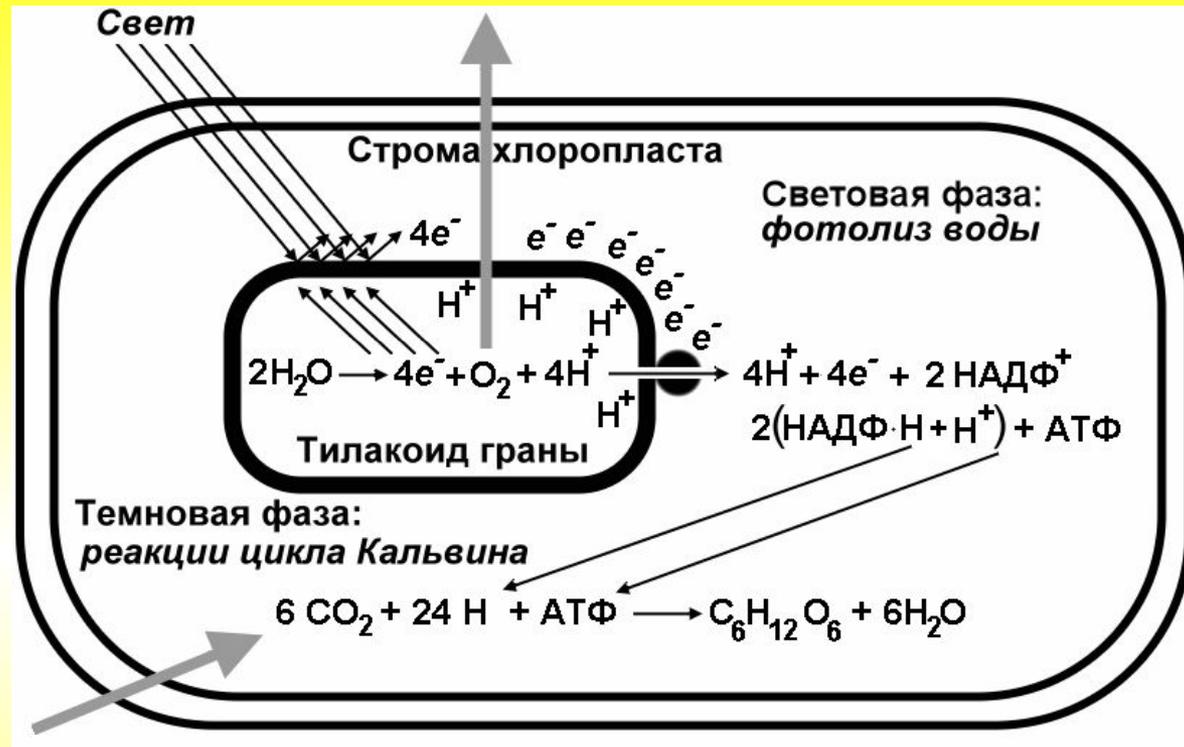
Фото-фосфорилирование



Все световые реакции вместе

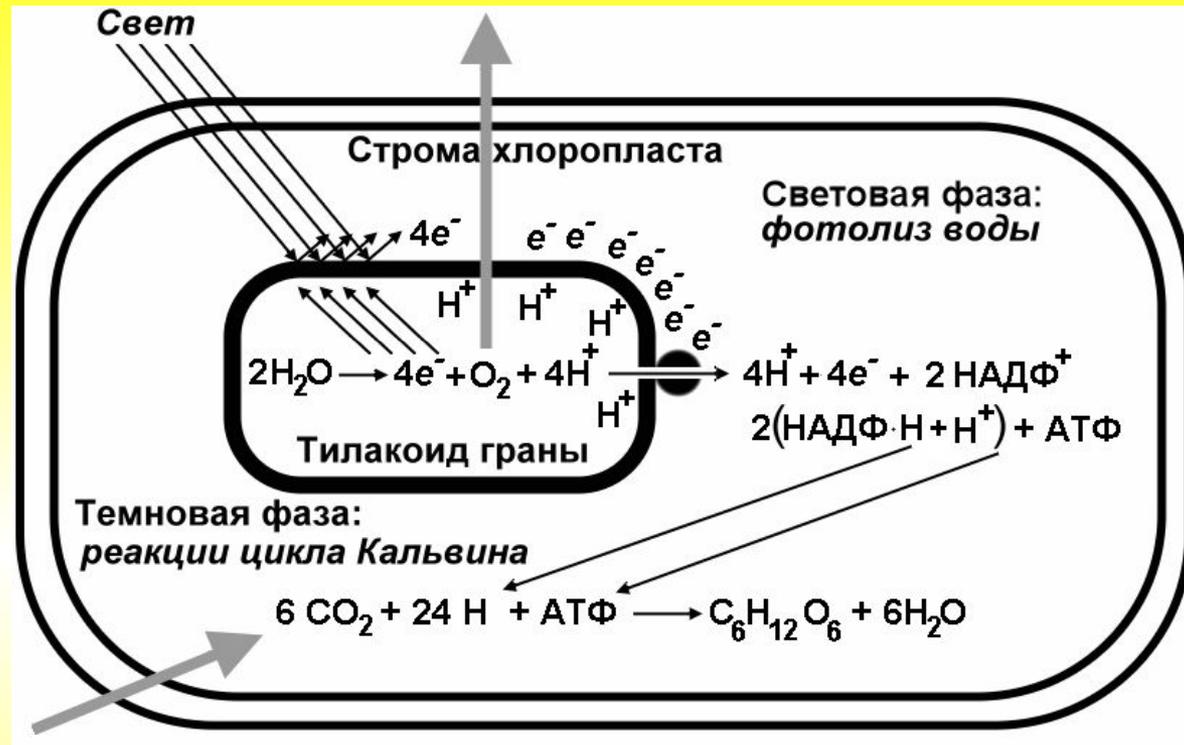


## Темновая фаза фотосинтеза



**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  $\text{CO}_2$  и карбоксилирование пятиуглеродного сахара **рибулозобисфосфата** с образованием 6-углеродного соединения. Затем происходит **цикл реакций Кальвина**, в которых через ряд промежуточных продуктов происходит образование глюкозы.

## 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.

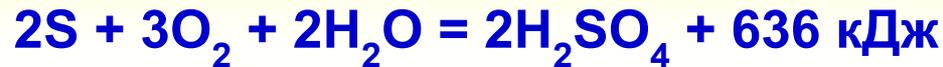
# Хемоавтотрофный тип питания

## Хемоавтотрофы:

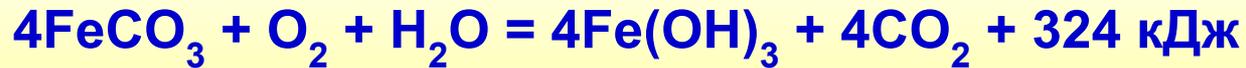
**Бесцветные серобактерии** окисляют сероводород и накапливают в своих клетках серу:



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 –  $\text{H}_2\text{S}$ :



**У цианобактерий (синезеленых)** появилась фотосистема-2 и при фотосинтезе кислород выделяется, донором водорода для синтеза органики является  $\text{H}_2\text{O}$ :



## 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·Н<sub>2</sub>. 
3. Выделение О<sub>2</sub>. 
4. Образование углеводов.

## Повторение

*Тест 7. В темновую фазу фотосинтеза происходит:*

1. Образование АТФ.
2. Образование НАДФ·Н<sub>2</sub>.
3. Выделение О<sub>2</sub>.
4. Образование углеводов. ←

*Тест 8. При фотосинтезе происходит выделение О<sub>2</sub>, выделяющегося при разложении молекул:*

1. СО<sub>2</sub>.
2. Н<sub>2</sub>О. ←
3. СО<sub>2</sub> и Н<sub>2</sub>О.
4. С<sub>6</sub>Н<sub>12</sub>О<sub>6</sub>.

*\*\*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-Н<sub>2</sub> 