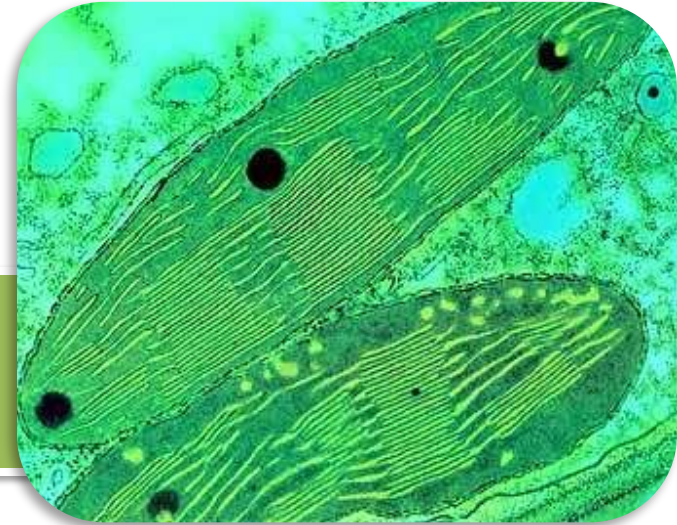


Tani

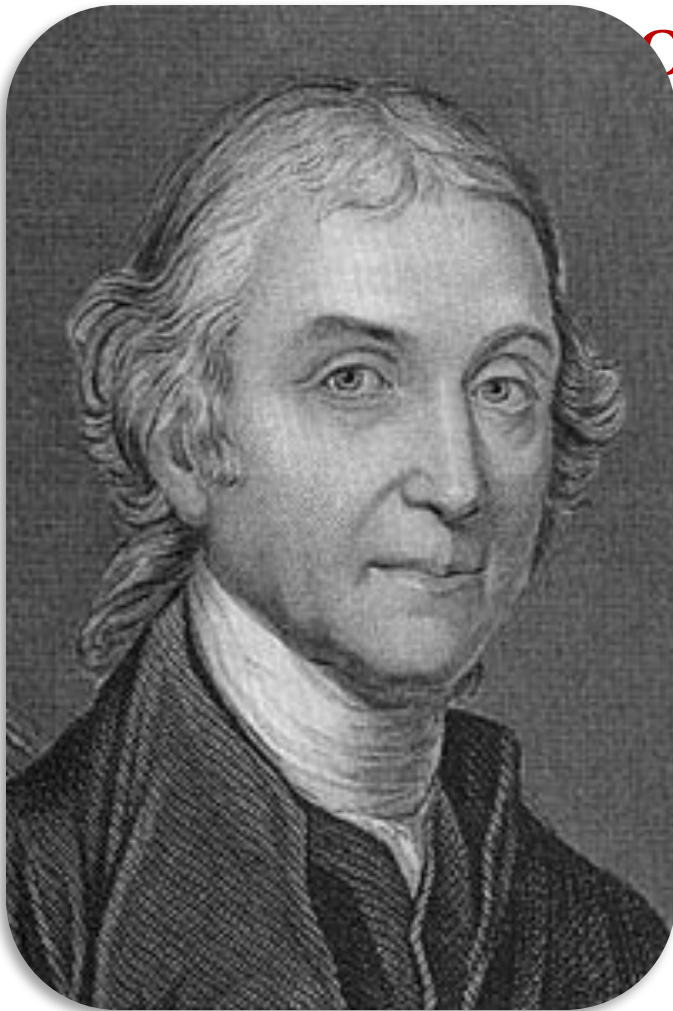


# Біосинтез углеводов



# История открытия фотосинтеза

## Опыт Джозефа Пристли (1772 год)



Первым обнаружил, что растения выделяют кислород, английский химик и философ Джозеф Пристли около 1770.



# Словарь

**ФОТОСИНТЕЗ** — синтез органических веществ из углекислого газа и воды с обязательным использованием энергии света

**ФОТОТРОФЫ** — организмы, использующие фотосинтез



# Организмы (по способу питания)

## Автотрофы

Могут синтезировать  
из простых  
неорганических  
соединений  
сложные органические  
вещества

## Гетеротрофы

Используют в качестве  
пищи готовые  
органические вещества

## Миксотрофы

Имеют смешанный тип  
питания



# ФОТОСИНТЕЗ

Фотосинтез — это процесс образования органического вещества из углекислого газа и воды на свету при участии фотосинтетических пигментов.

Суммарное уравнение фотосинтеза:



В современной физиологии растений под фотосинтезом чаще понимается фотоавтотрофная функция - совокупность процессов поглощения, превращения и использования энергии квантов света в реакциях превращения углекислого газа в органические вещества.

Пигменты локализованы в мембранах хлоропластов, и хлоропласты обычно располагаются в клетке так, чтобы их мембраны находились под прямым углом к источнику света (максимальное поглощение света).

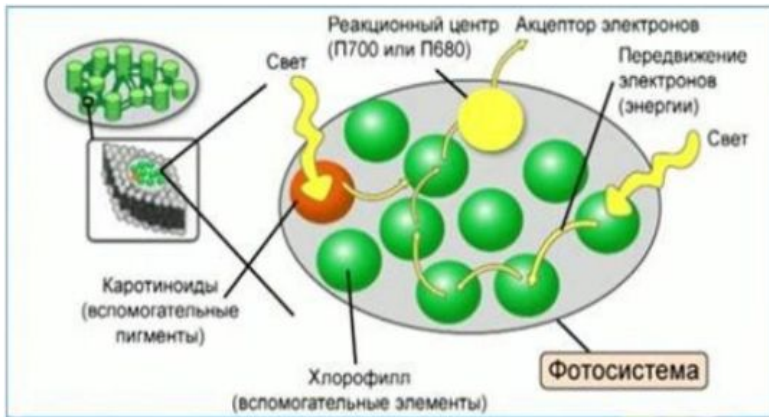
## Фотосинтетические пигменты

### Хлорофиллы

**Функция:** поглощать свет и превращать его энергию в химическую энергию.

### Каротиноиды

#### Строение фотосистемы и антенного комплекса собирающих свет пигментов



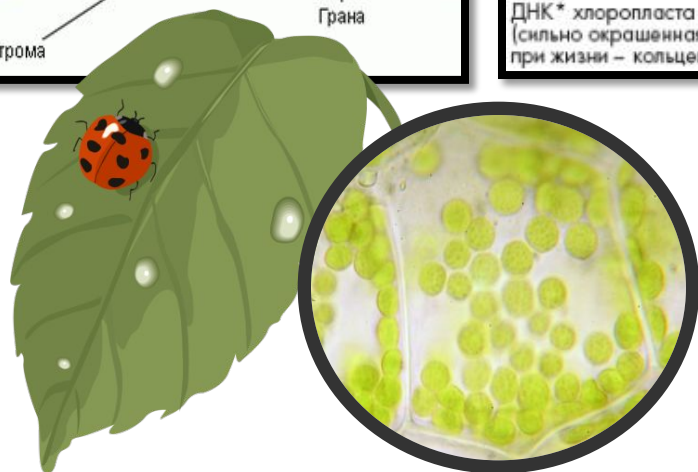
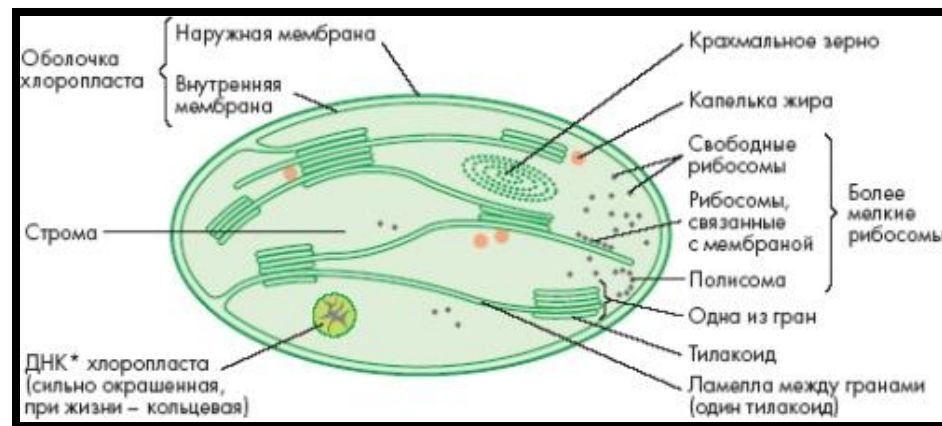
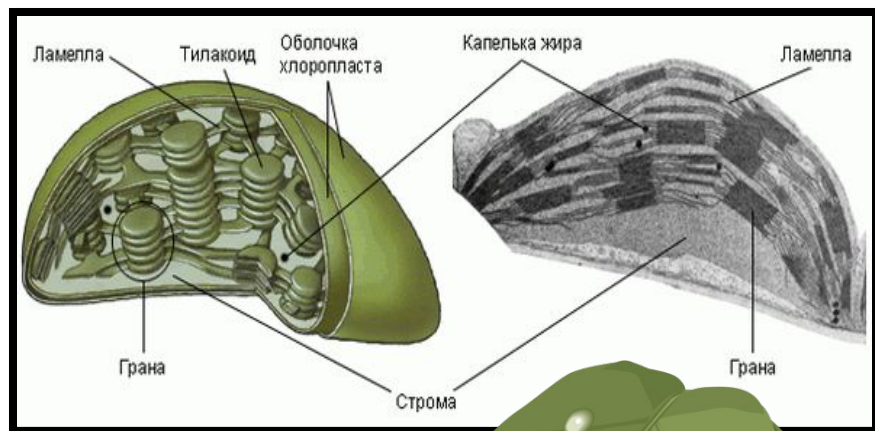
**Хлорофилл *a*** — единственный пигмент, который имеется у всех фотосинтезирующих растений и играет у них центральную роль в фотосинтезе.

**Хлорофилл *b*** и **каротиноиды** используются как дополнительные пигменты фотосинтеза и позволяют улавливать свет в более широком диапазоне длин волн, то есть выполняют **антенную функцию**.

Существует несколько разных типов хлорофилла (*a*, *b*, *c*, *d*), главным является хлорофилл *a*.



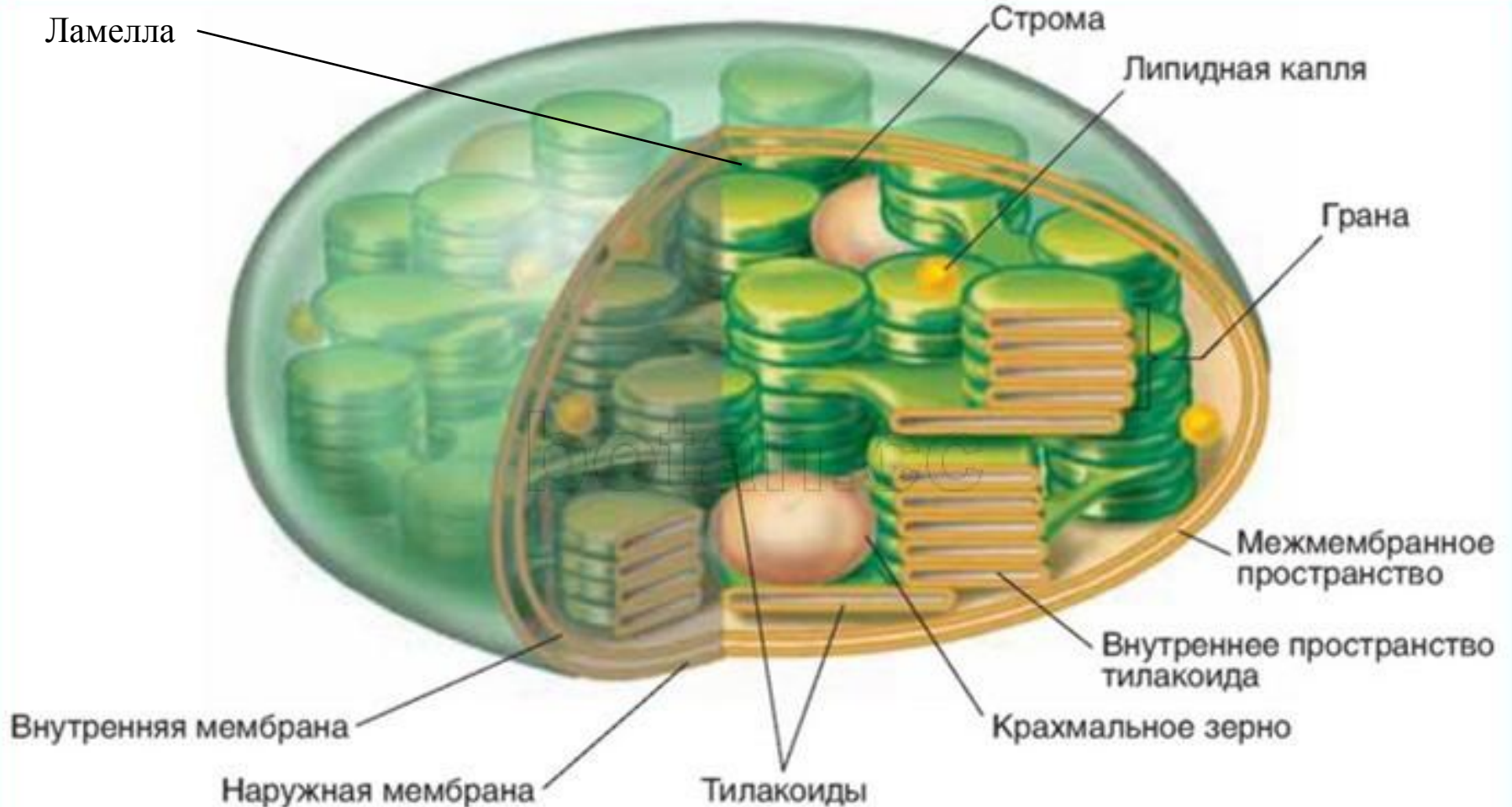
❖ У растений в фотосинтезе участвует пигмент **хлорофилл**, который содержится в хлоропластах на мембранах **тилакоидов**.



- ❖ Хлоропласты, как антенны, поглощают кванты света и передают возбуждение в особые реакционные центры. Эти центры находятся в фотосистемах (**фотосистема II** и **фотосистема I**).
- ❖ В них имеются особые молекулы хлорофилла: Фотосистема I — P700, в фотосистеме II — P680 (т.е. они поглощают свет именно такой длины волны (680 и 700 нм)).



# Схема строения хлоропласта



**ТИЛАКОИДЫ** - выпячивания внутренней мембраны пластид, имеющие вид плоских мешочков

**СТРОМА** – внутренняя среда хлоропласта.

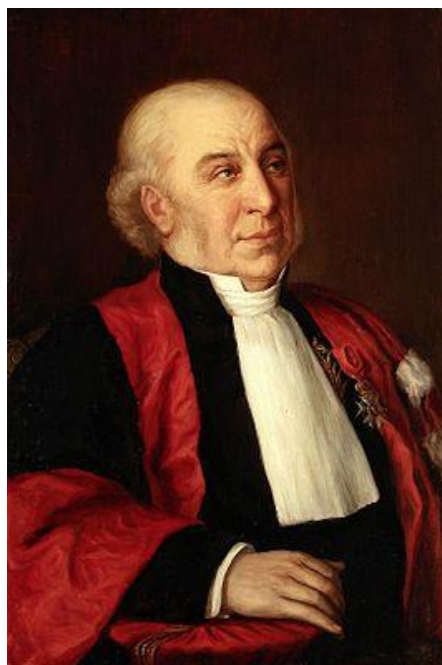




# Открытие пигмента хлорофилла

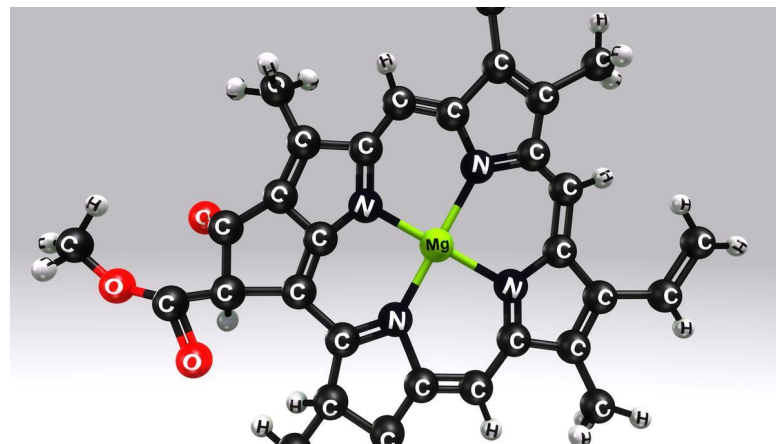


**Пьер Жозеф Пеллетье**  
(1788–1842)



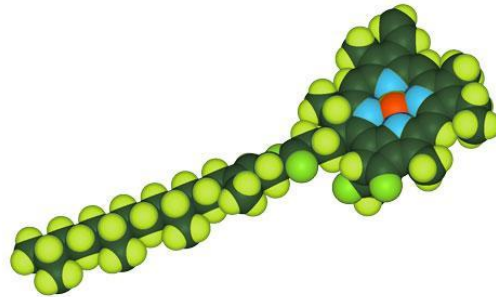
**Жозеф Бьенеме  
Каванту**  
(1795–1877)

В 1817 французские химики выделили зеленый пигмент **хлорофилл** (по-гречески *σμός* – chloros, зеленый; *juλλn* – phyllon, лист).

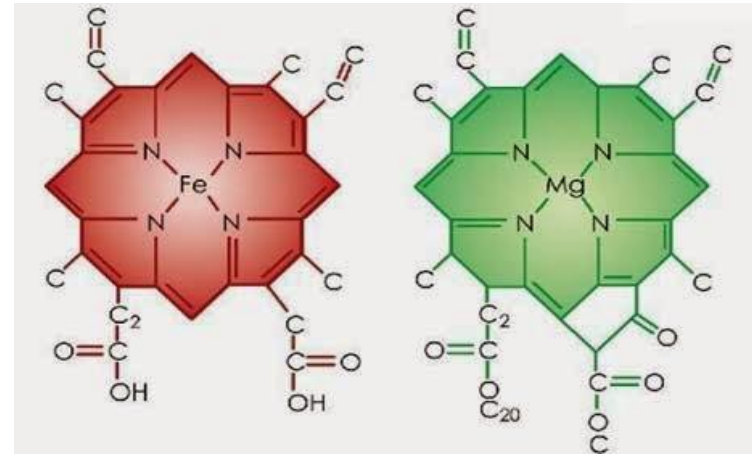


# Хлорофилл

- ❖ Умеет поглощать Е солнечного света, переходя в возбужденное состояние.
- ❖ Способность к флуоресценции.
- ❖ Зеленый свет - отражают и потому придают растениям характерную зеленую окраску, если только ее не маскируют другие пигменты.
- ❖ Существует несколько форм этого пигмента, различающиеся расположением в мембране.
- ❖ Каждая отличается по положению максимума поглощения в красной области (например, максимум может быть при 670, 680, 690, 700 нм).



**Порфириновое кольцо** - плоская пластинка, от которой отходят две органических цепочки, одна - очень длинная, отходит под углом, и с ее помощью хлорофилл крепится к мембранам.



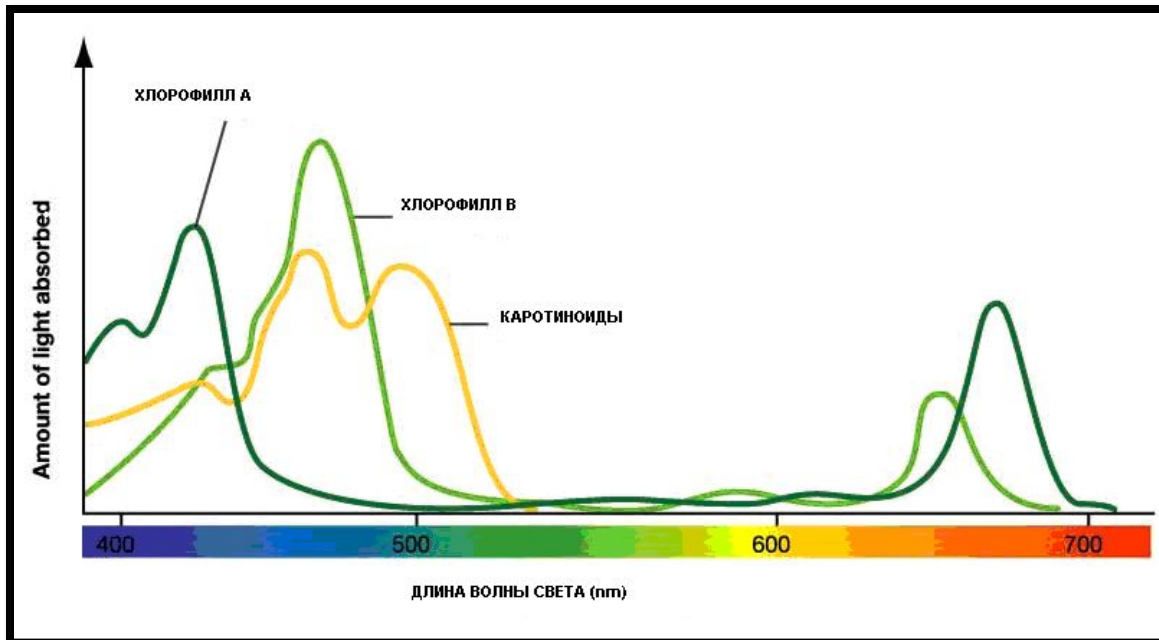
- ❖ По химическому строению хлорофилл напоминает белок крови — гемоглобин. Он имеет такое же **порфириновое кольцо**, только у **гемоглобина** в центре этого кольца находится **атом железа**, а у **хлорофилла** — **магний**.



# Хлорофилл

**К.А. Тимирязев** доказал, что хлорофилл в той же концентрации, что и в листе имеет две линии поглощения – красную и сине-фиолетового спектра. Именно в этом спектре фотосинтез идет более интенсивно.

В хлоропластах содержится очень много молекул хлорофилла, но фотосинтез происходит примерно в 1 % молекул хлорофилла.



# Каротиноиды

- ❖ **Каротиноиды** — пигменты желтого, красного и оранжевого цвета.
- ❖ Придают окраску цветкам и плодам растений.
- ❖ Постоянно присутствуют в листьях, но незаметны из-за присутствия хлорофилла.
- ❖ Хорошо видны осенью, когда разрушается хлорофилл (придают листьям желтую и красную окраску).

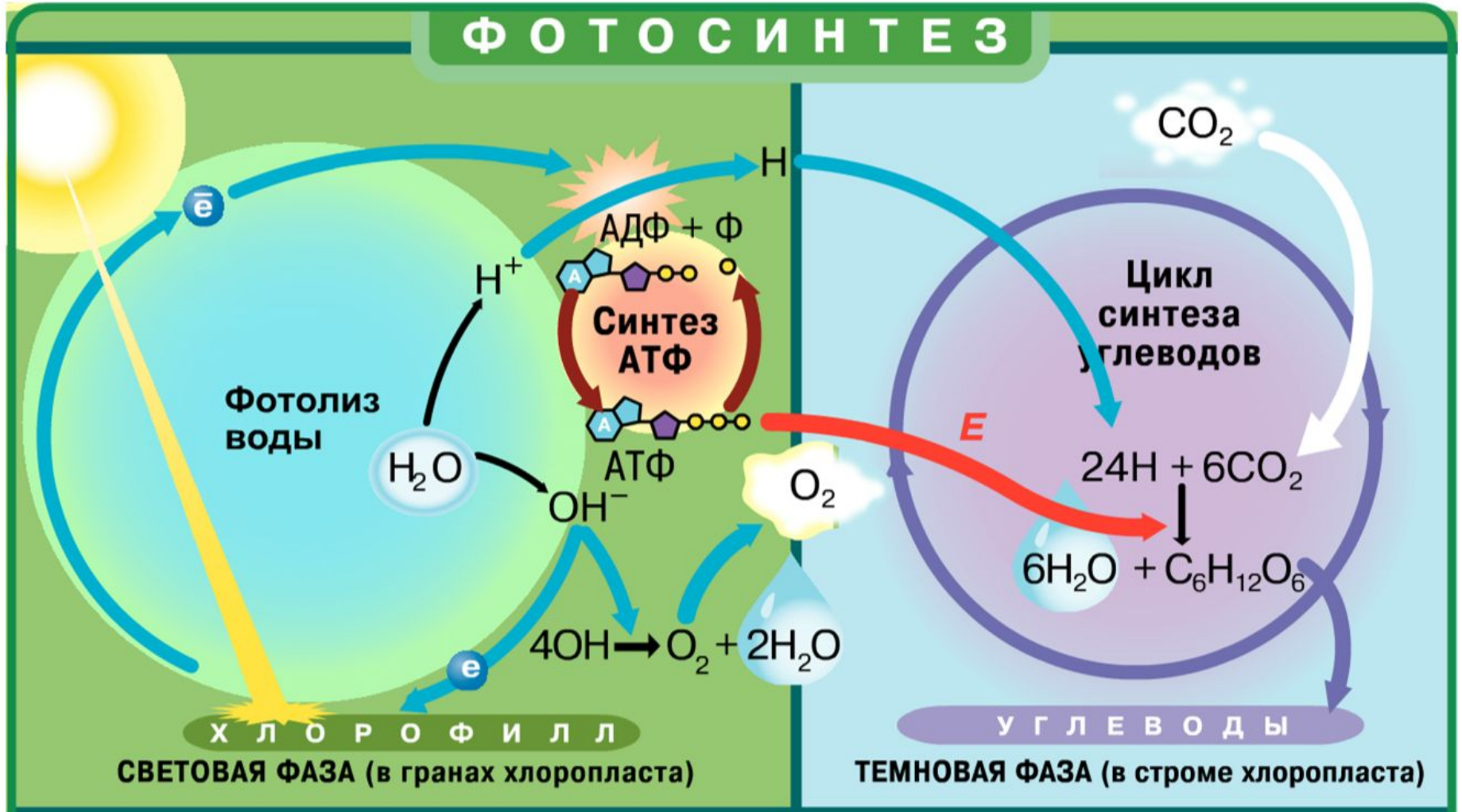
## Функции каротиноидов:

- ❖ поглощают солнечный свет (особенно в коротковолновой — сине-фиолетовой — части спектра) и поглощенную энергию передают хлорофиллу;
- ❖ защищают хлорофилл от избытка света и от окисления кислородом, выделяющимся при фотосинтезе.



# Этапы фотосинтеза

## ФОТОСИНТЕЗ

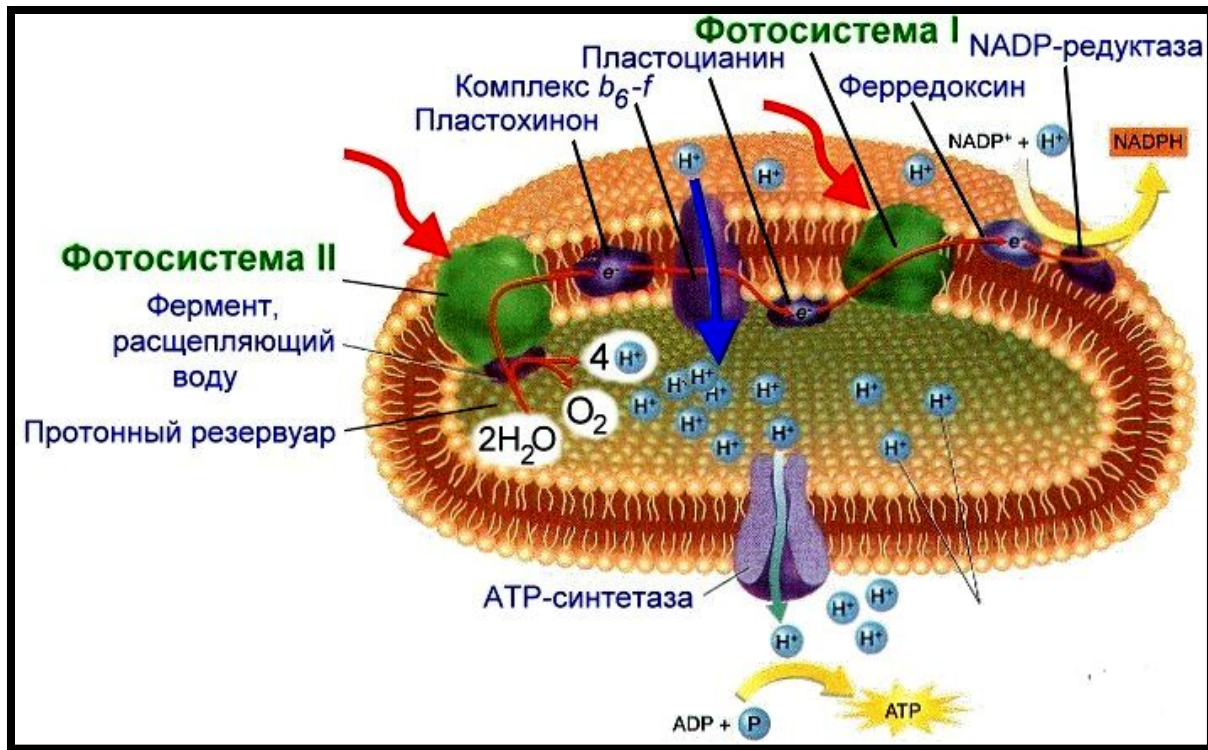


# Стадии фотосинтеза

	Световая фаза	Темновая фаза
Где происходит?	В гранах хлоропласта На свету	В строме хлоропласта На свету и в темноте
Основные процессы	Возбуждение хлорофилла, фотолиз воды, восстановление НАДФ, синтез АТФ	Синтез глюкозы из $\text{CO}_2$ путем ряда последовательных сложных ферментативных реакций
Исходные вещества	$\text{H}_2\text{O}$ НАДФ АДФ	$\text{CO}_2$ НАДФ*Н АТФ
Образующиеся вещества	НАДФ*Н АТФ $\text{O}_2$	$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$
Источник Е	Свет	АТФ
Вещества, катализирующие реакции фотосинтеза	Ферменты	Ферменты



# Фотосистемы



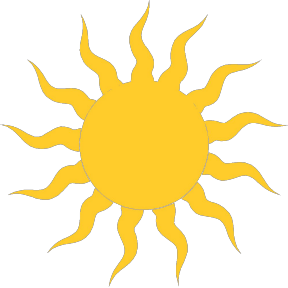
## Фотосистема I

- ❖ Фотолиз воды при участии электронов за счет фотореакций  
 $H_2O \rightarrow H^+ + OH^-$
- ❖ Получение НАДФ\*Н – восстановителя для темновой фазы

## Фотосистема II

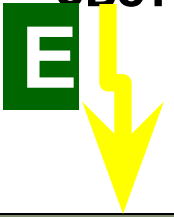
- ❖ Синтез АТФ (нециклическое фосфорилирование):  
 $18\text{АДФ} + 18\text{Ф} \rightarrow 18\text{АТФ}$
- ❖ Образование O<sub>2</sub> (побочный продукт фотолиза воды).





# ФОТОСИНТЕЗ

Солнечный свет



СВЕТОВАЯ ФАЗА

АТФ  $H^+$

ТЕМНОВАЯ ФАЗА

ГЛЮКОЗА

ЗНАЧЕНИЕ  
ФОТОСИНТЕЗА

$O_2$

2

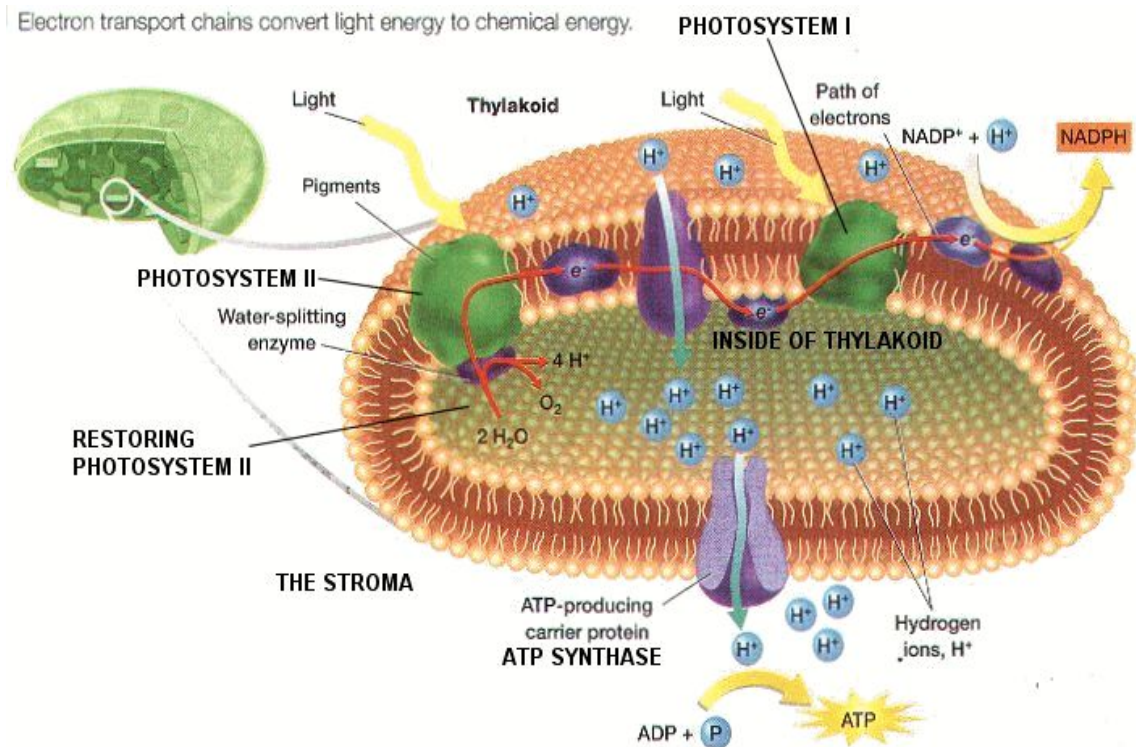
2





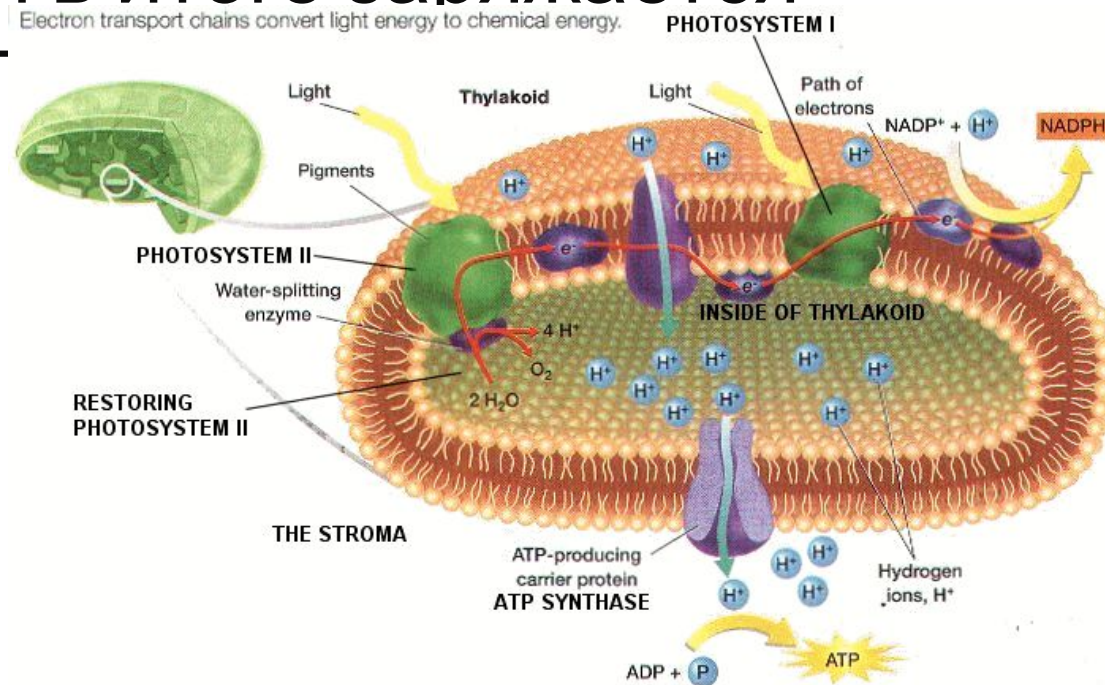
# ФОТОСИНТЕЗ

Световая фаза происходит только на свету в мембранах тилакоидов, содержащих молекулы хлорофилла, белки цепи переноса электронов и особые ферменты – АТФ-синтетазы.



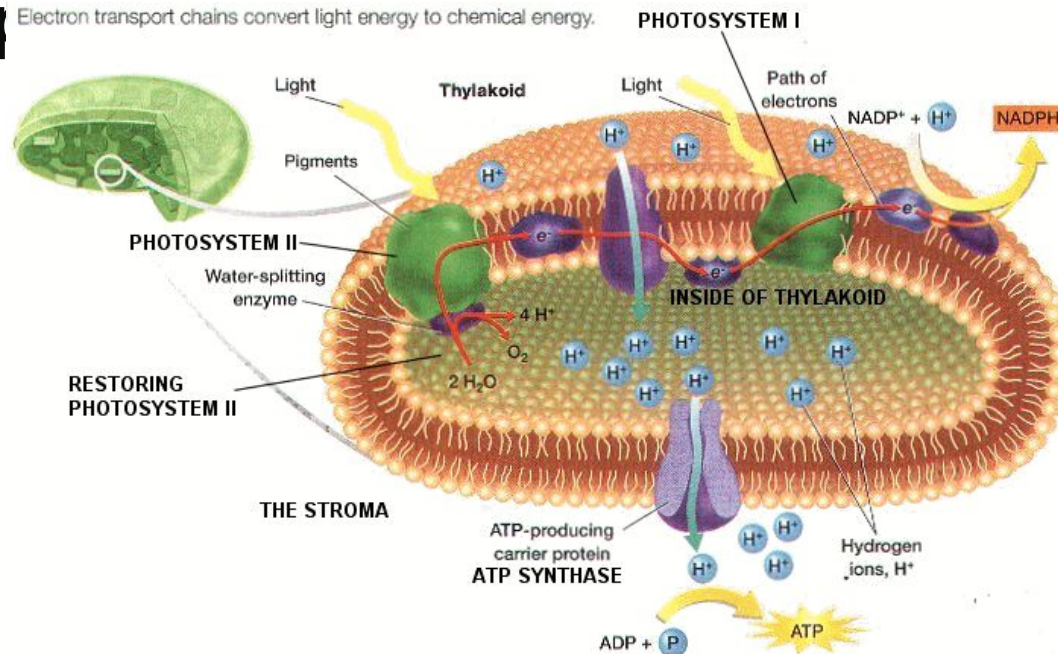
# Световая фаза фотосинтеза

- Под действием энергии кванта света электроны хлорофилла возбуждаются, покидают молекулу и попадают на внешнюю сторону мембраны тилакоида, которая в итоге заряжается отрицательно

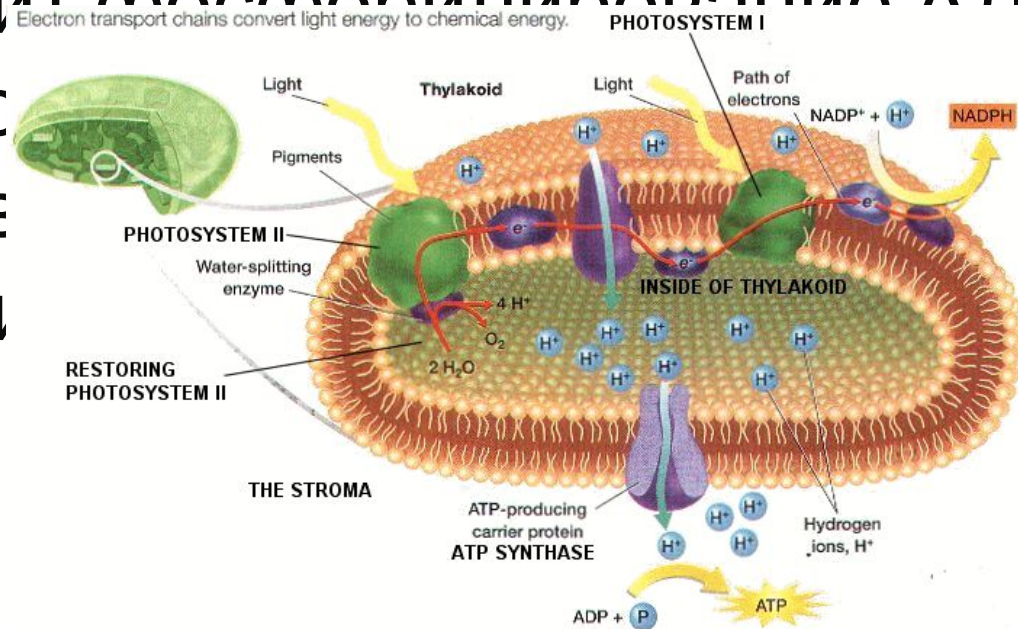


# Световая фаза фотосинтеза

- Окисленные молекулы хлорофилла 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»



- 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, а это восстановление переносчи



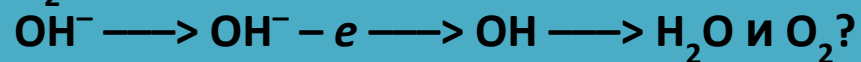
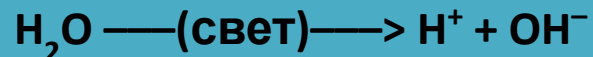
# Световая фаза

тилакоид

строма

- а) хлорофилл  $\xrightarrow{\text{свет}}$  хлорофилл<sup>\*</sup> + e
- б) e + белки-переносчики  $\rightarrow$  на наружную поверхность мембраны тилакоида
- в)  $\text{НАДФ}^+ + 2\text{H}^+ + 4e \rightarrow \text{НАДФ}\cdot\text{H}_2$

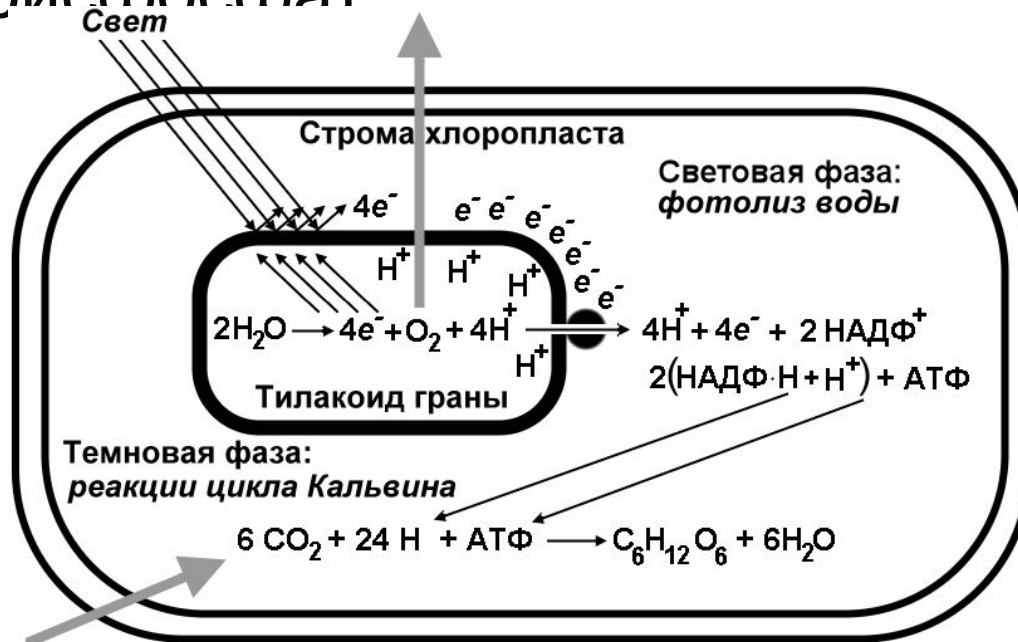
Фотолиз воды



$\text{H}^+$  – источник энергии, необходимой для синтеза АТФ из АДФ +  $\text{P}_\text{H}$

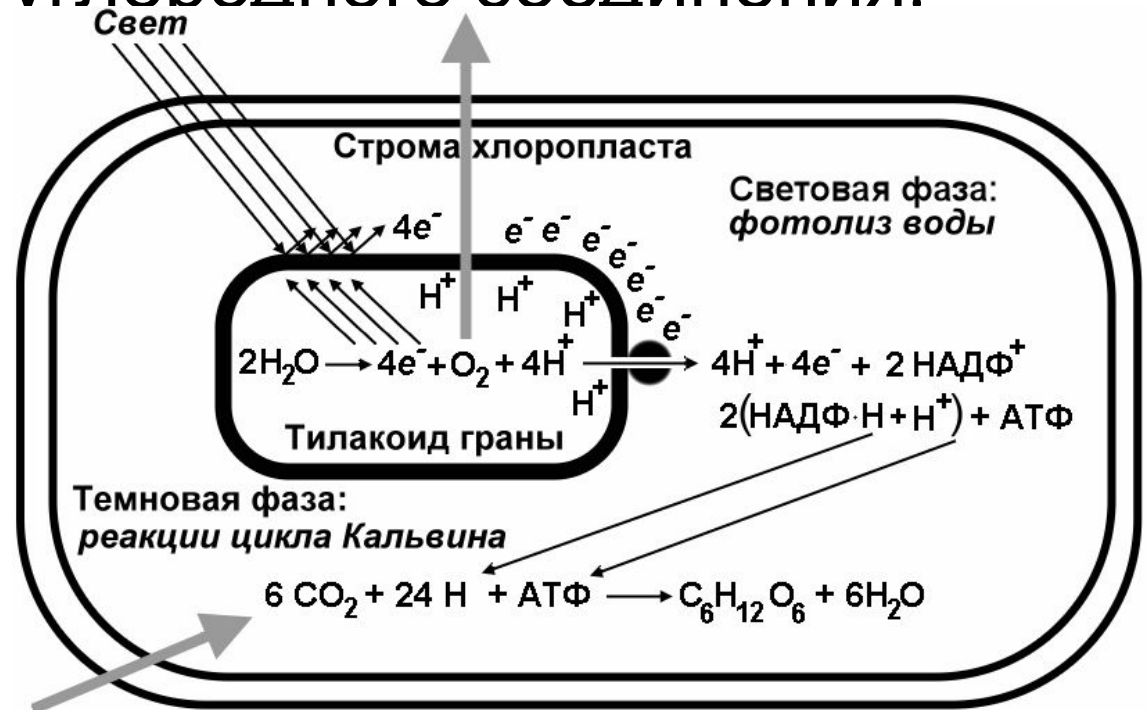
# Темновая фаза

- 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

- 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.



# Темновая фаза

- Затем происходит цикл реакций Кальвина, в которых через ряд промежуточных продуктов происходит образование ГЛЮКС

