

# Обеспечение клеток энергией

---

10 класс профиль

# метаболизм

Анаболизм

(*Anabole*- подъем)

Катаболизм

(*katabole*-разрушение)

## По источнику С

автотрофы

( $CO_2$ )

гетеротрофы

(органические вещества)

По источнику энергии

фотосинтетики

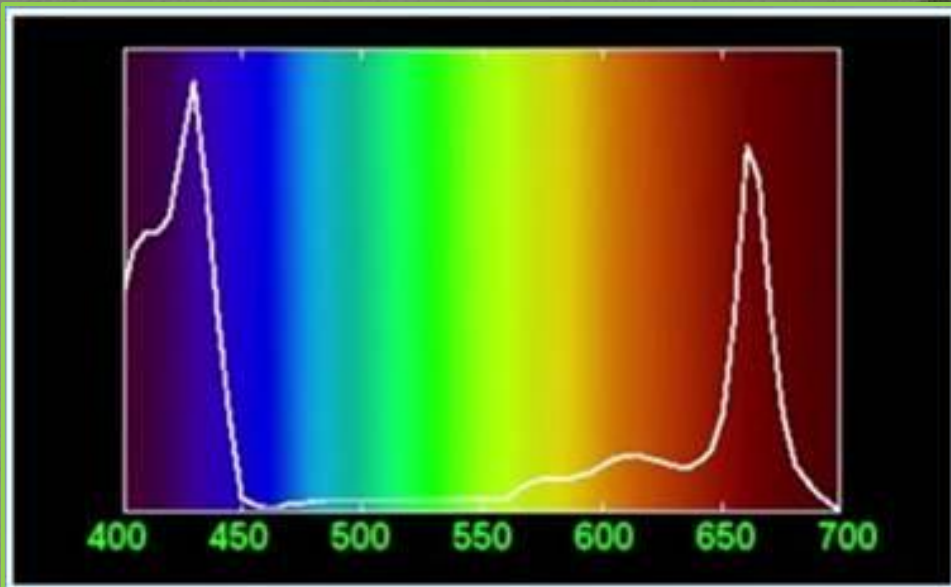
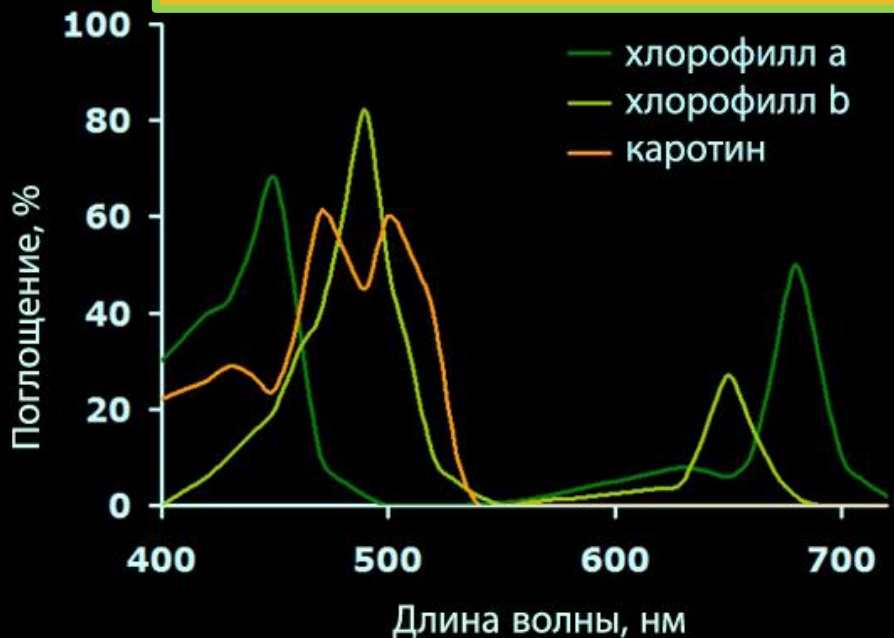
хемосинтетики



# Фотосинтез



# Фотосинтез



Хлорофилл поглощает красную (680 нм) и синюю (450 нм) части спектра. Зеленый цвет пигменты отражают и поэтому большинство растений имеют зеленую окраску



# История открытия фотосинтеза

- Фотосинтез был открыт в конце 18 столетия. В изучение этого процесса внесли свой вклад многие ученые. В 1600 году Бельгийский естествоиспытатель

*Ян ван Гельмонт* поставил первый эксперимент по изучению питания растений.



*Ян ван Гельмонт*

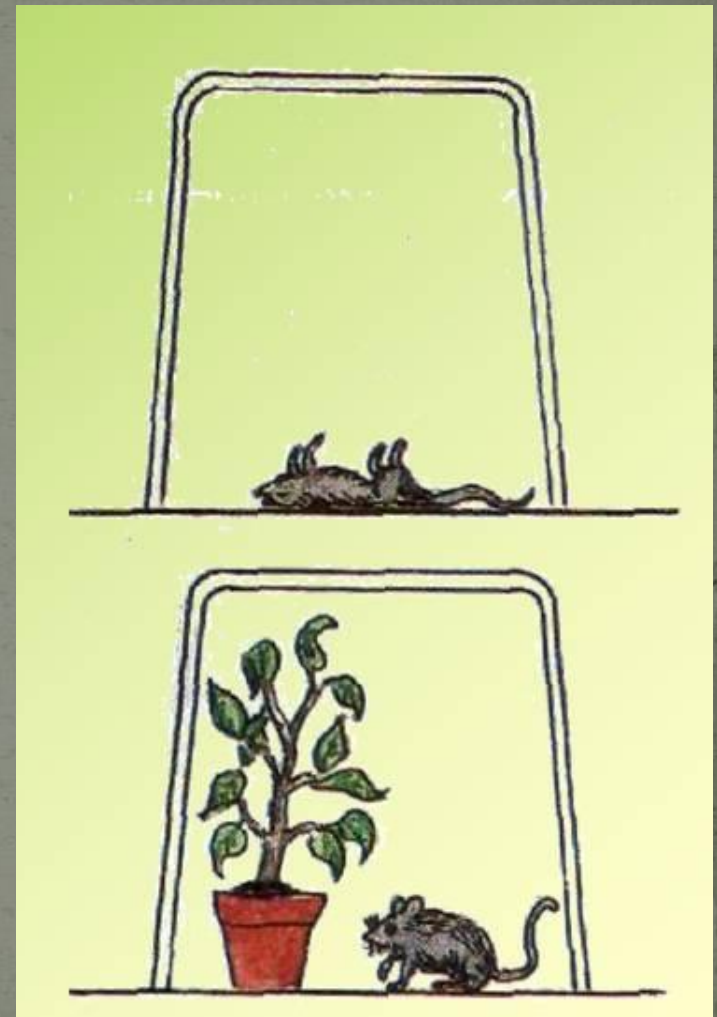


# История открытия фотосинтеза



В 1771 году английский химик *Джозеф Пристли* проделал следующий опыт: он посадил мышь под стеклянный колпак, и через 5 часов мышь погибла.

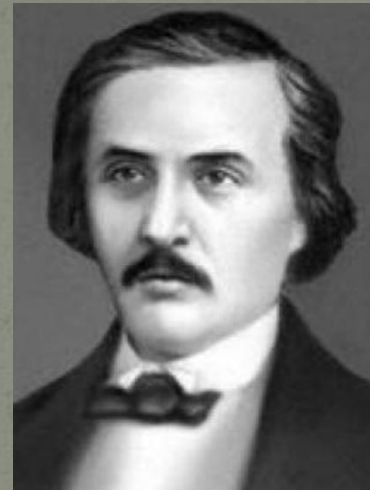
При внесении же под колпак веточки мяты мышь осталась живой.





# История открытия фотосинтеза

- Голландский ученый Ян *Ингенхаус* в 1779 году показал, что неизменным условием удачного опыта является наличие солнечного света.
- *Жан Сенебье* показал, что в процессе фотосинтеза происходит потребление «Фиксированного воздуха»

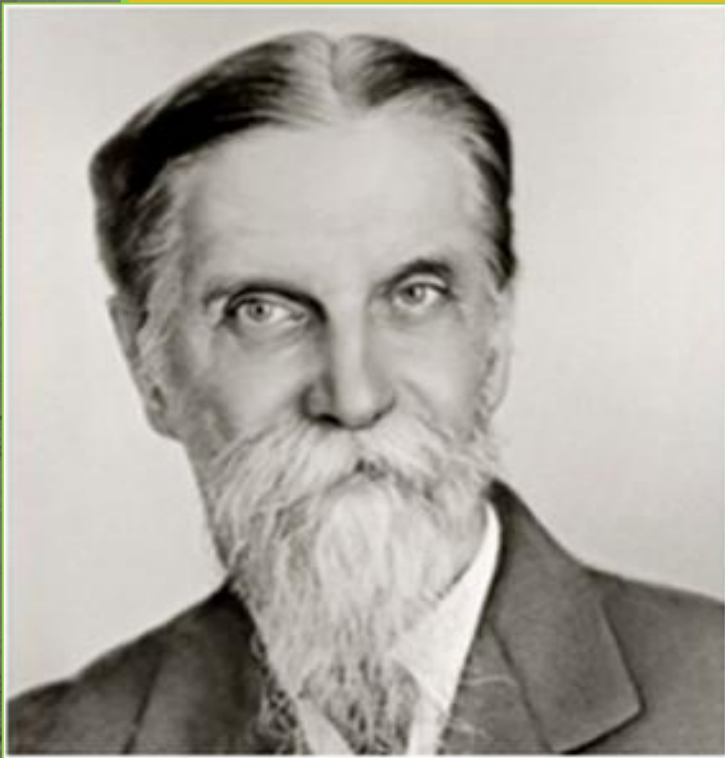


Ян Ингенхаус



Жан Сенебье

# Фотосинтез



Тимирязев Климент  
Аркадьевич

- ✓ К.А. Тимирязев (1871) впервые высказал идею о непосредственном участии хлорофилла в фотосинтезе
- ✓ Экспериментально установил, что фотосинтез осуществляется преимущественно в красных и синих лучах видимого спектра

*«доказать солнечный источник жизни — такова была задача, которую я поставил с первых же шагов научной деятельности и упорно и всесторонне осуществлял её в течение полувека».*

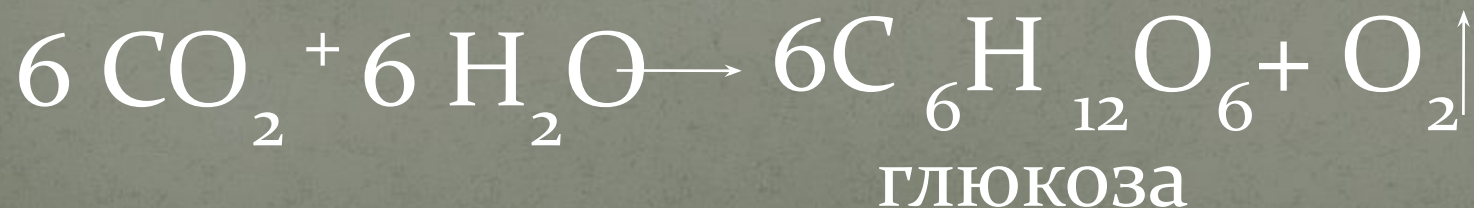


- Благодаря этому процессу существует весь органический мир на Земле
- Это единственный процесс, когда происходит преобразование солнечной энергии в энергию органических веществ
- Этот процесс обеспечивает живой мир органическими веществами
- Это единственный процесс, который снабжает атмосферу кислородом
- Этот процесс защищает живой мир от действия губительных ультрафиолетовых лучей

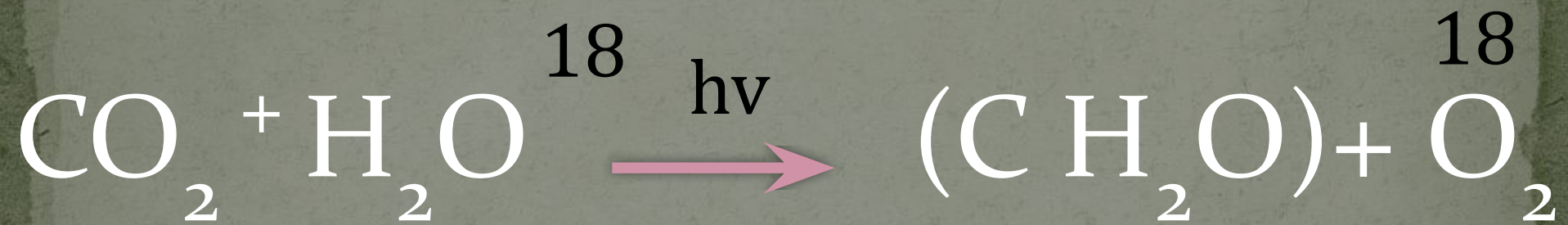
# Фотосинтез

**Фотосинтез** – (от греч. foto – «свет» и synthesis – «соединение»)

Фотосинтез – образование (синтез) органических веществ (углеводов) из неорганических веществ ( $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$ ) с использованием энергии света







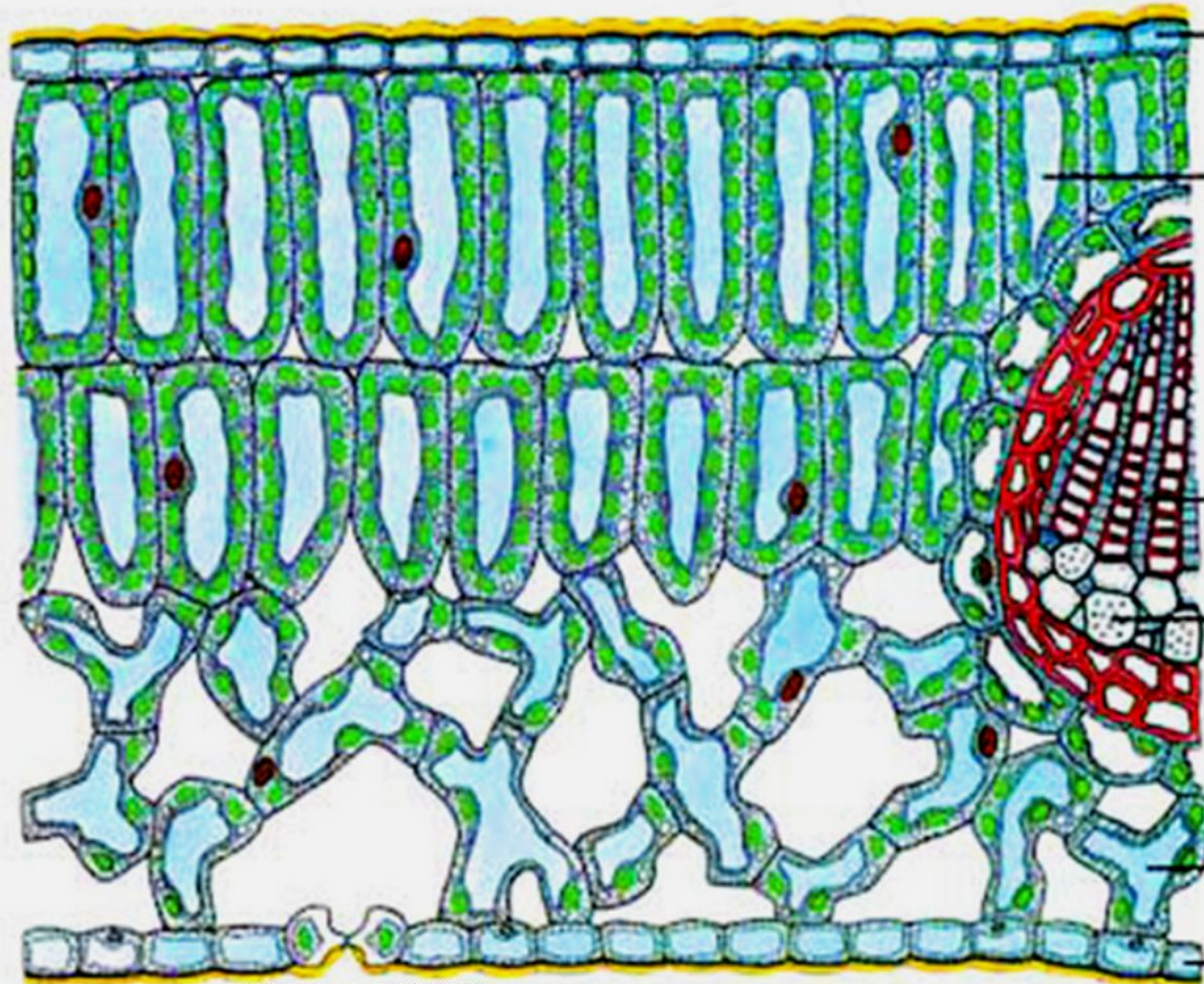
# Листо́вая моза́ика

✓ Листья имеют форму пластинки, что позволяет им ориентироваться в плоскости практически не затеняя друг друга, образуя листовую мозаику





# Строение листа



кожица

столбчатая  
ткань

ксилема

флоэма

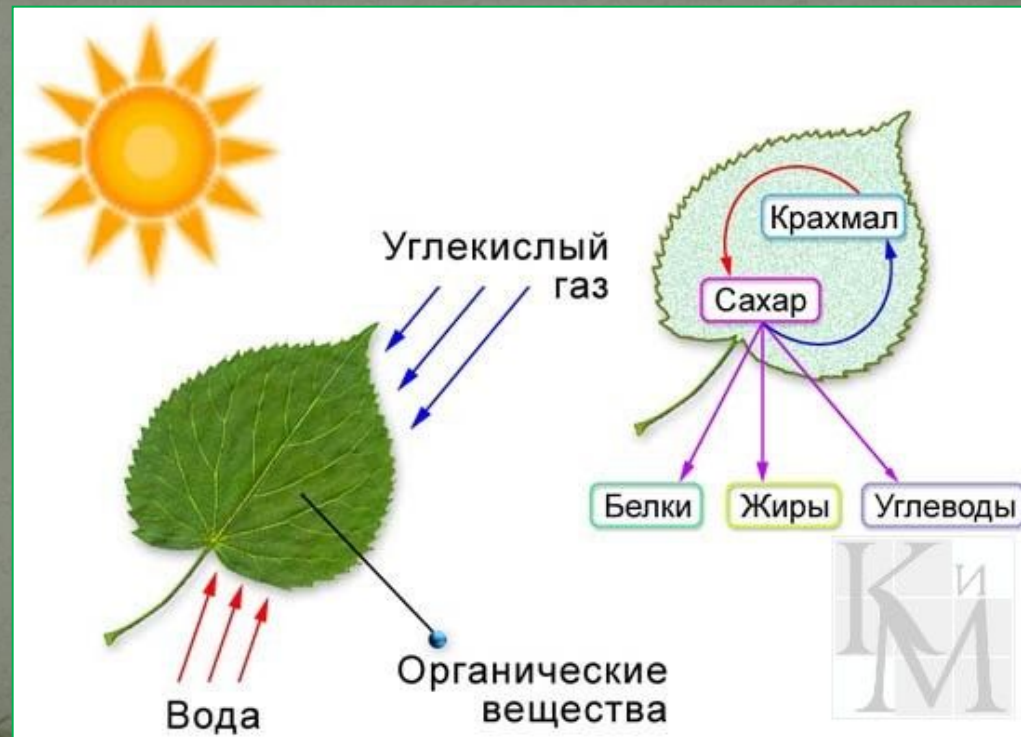
губчатая  
ткань

кожица

устьице

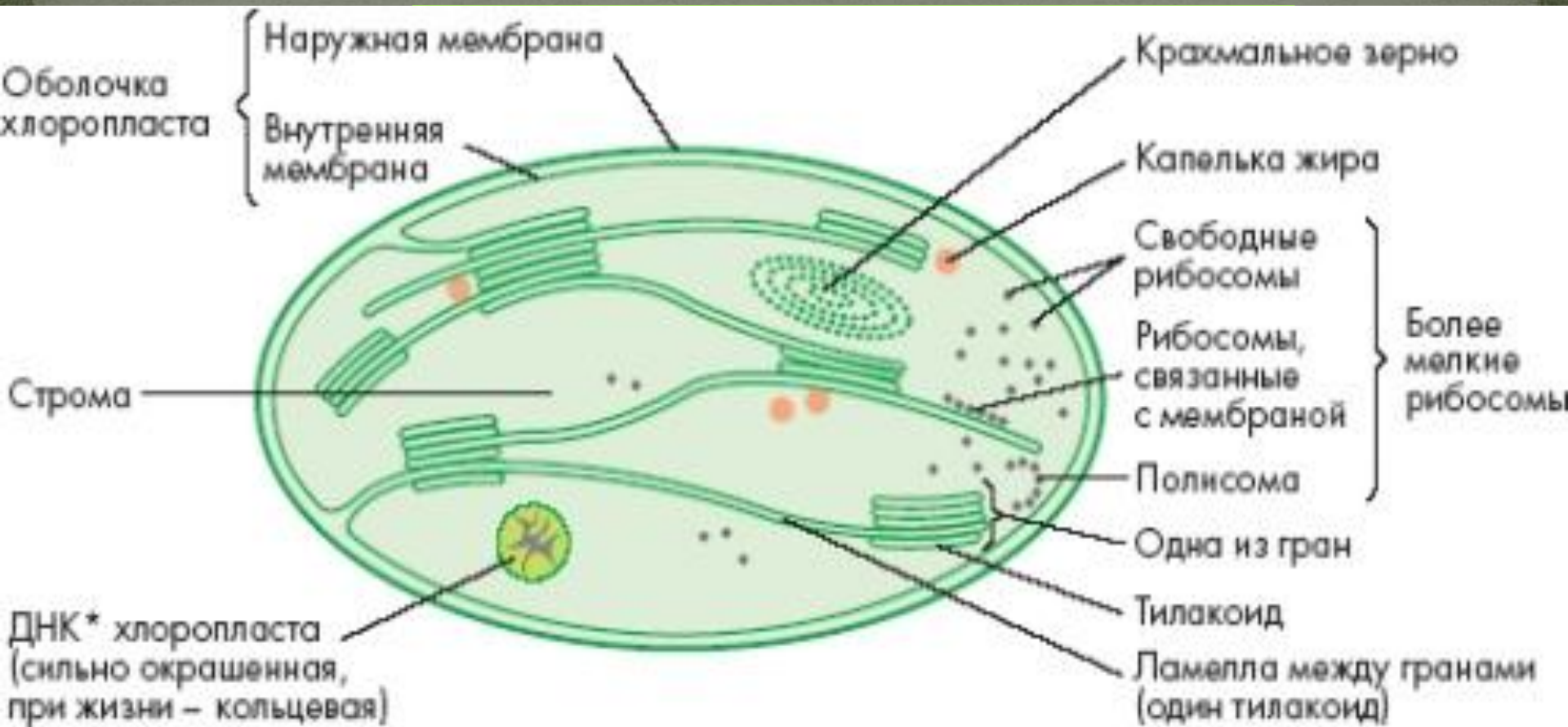
# Фотосинтез

- Главным органом фотосинтеза является лист, в клетках которого имеются специализированные органоиды – хлоропласты





# Строение хлоропласта



Хлоропласт – органоид двояковыпуклой формы, что обеспечивает лучшее поглощение света

*Класс пигментов и примеры*

*Цвет*

*Распространение*

### **Хлорофиллы**

Хлорофилл *a*

Желто-зеленый

У всех фотосинтезирующих организмов, кроме фотосинтезирующих бактерий

Хлорофилл *b*

Сине-зеленый

У высших растений и зеленых водорослей

Хлорофилл *c*

Зеленый

У бурых водорослей и некоторых одноклеточных водорослей, включая диатомовые

Хлорофилл *d*

Зеленый

У некоторых красных водорослей

Бактериохлорофиллы *a-d*

Бледно-синий

У фотосинтезирующих бактерий

**Каротиноиды** (каротины и ксантофиллы)

### **Каротины**

$\beta$ -Каротин

Оранжевый

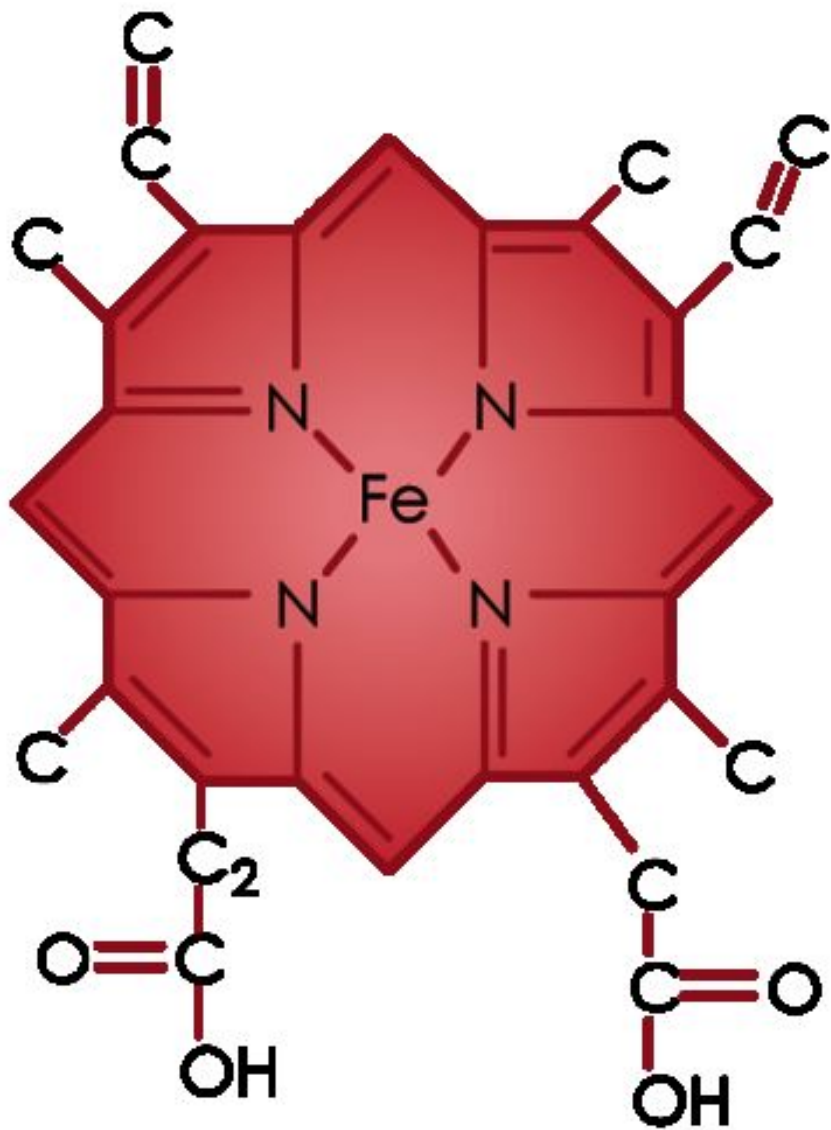
У всех фотосинтезирующих организмов, кроме фотосинтезирующих бактерий

**Ксантофиллы** (весьма разнообразные)

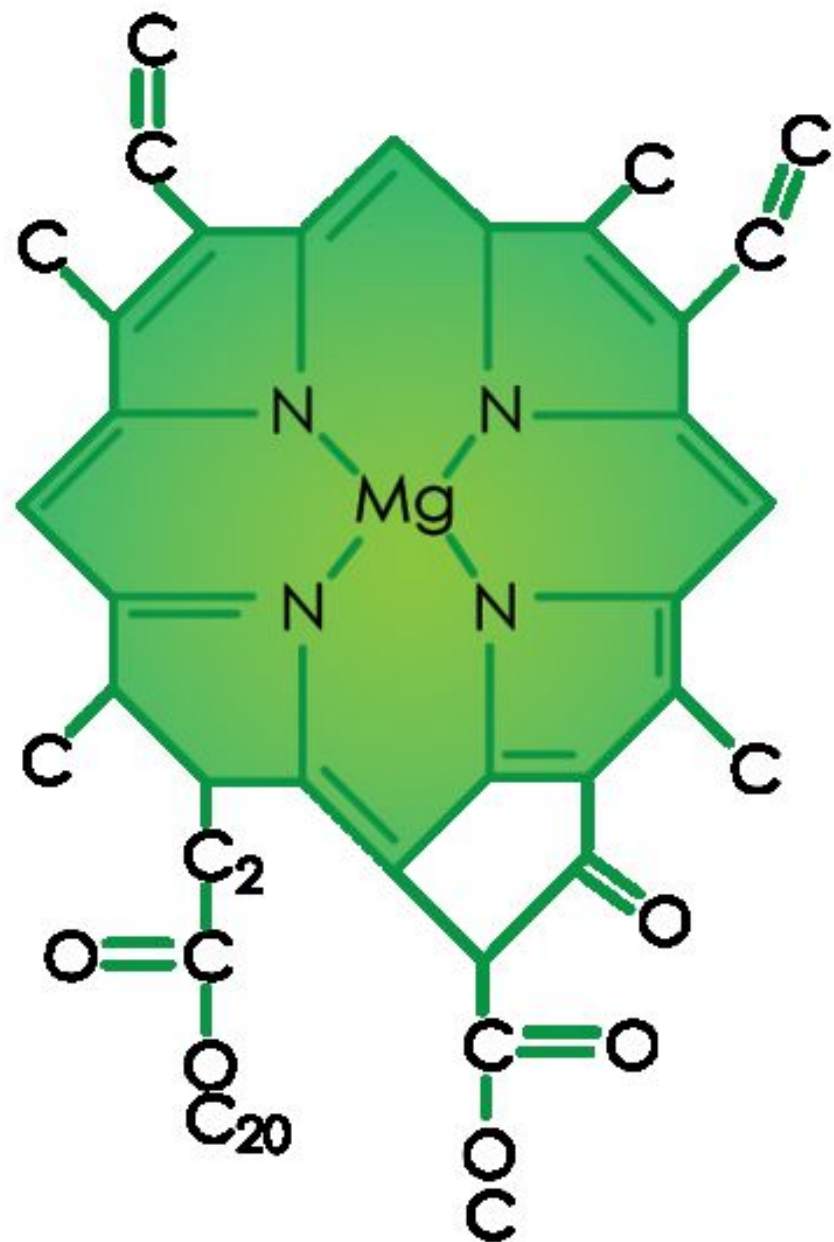
Все желтые

Фукоксантин придает специфическую окраску бурым водорослям. У него очень широкий спектр поглощения



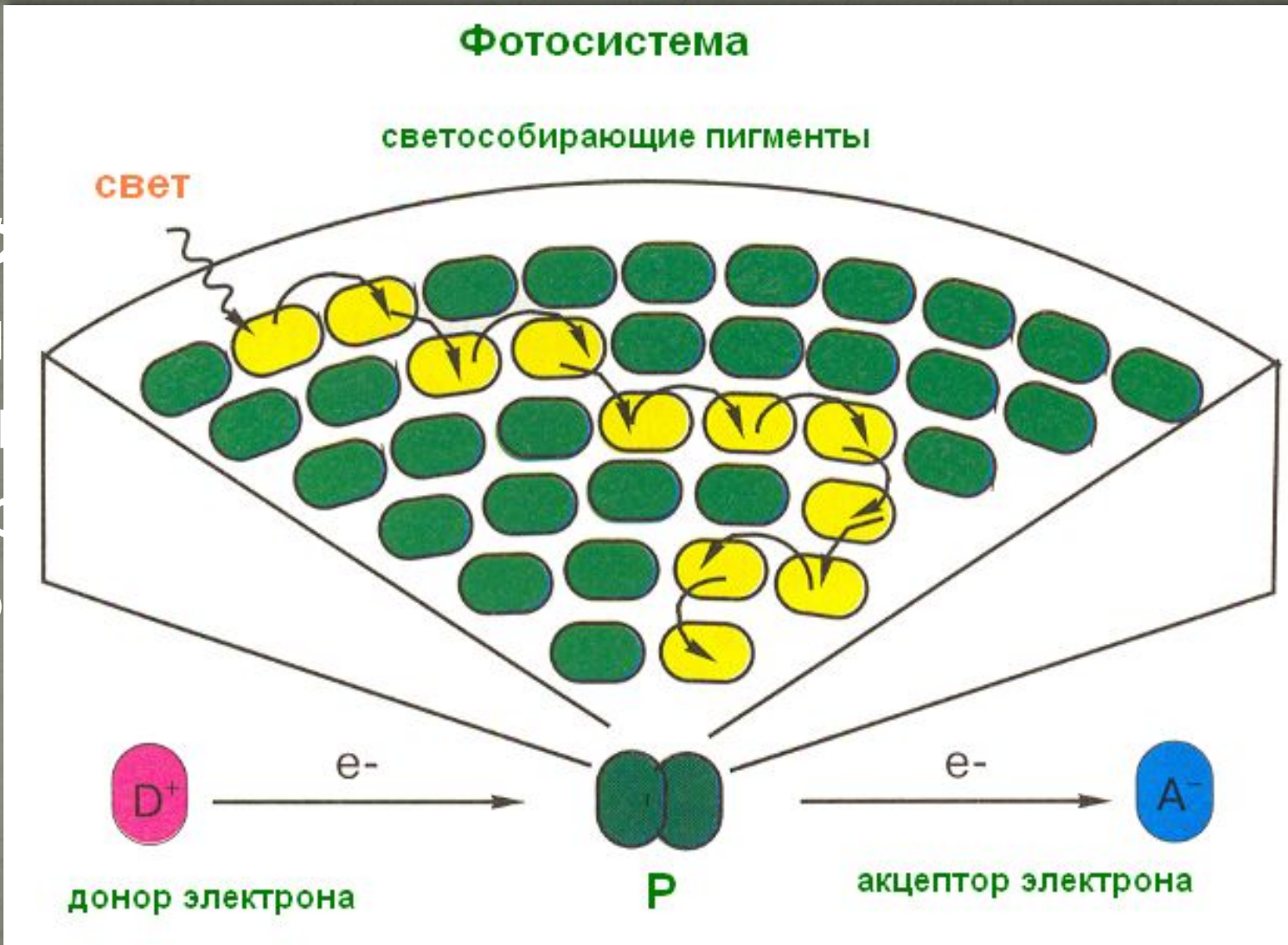


Гем



Хлорофилл

# Фотосистемы



кул,

Ф  
Л  
Т  
ф  
б

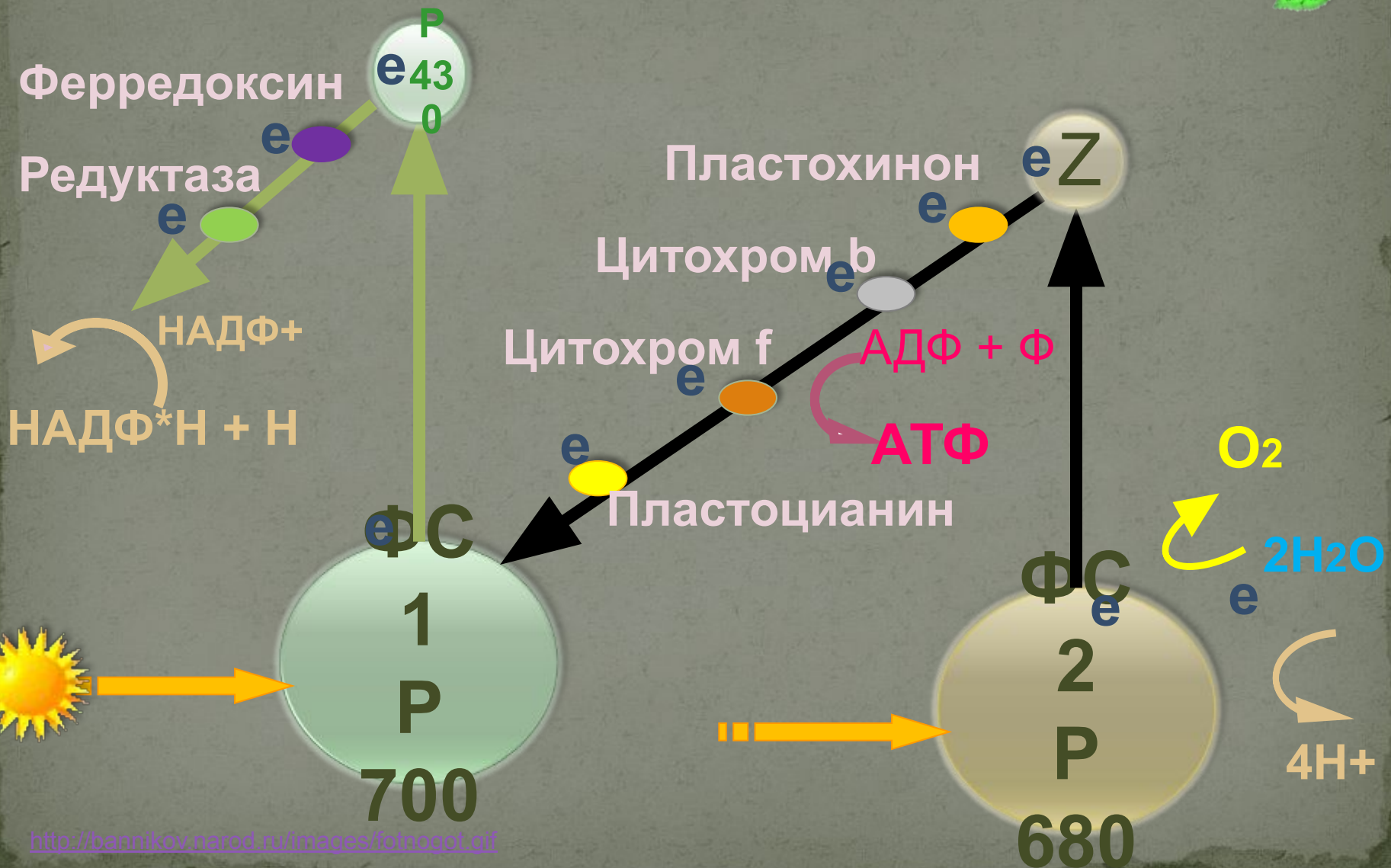


# Фазы фотосинтеза:

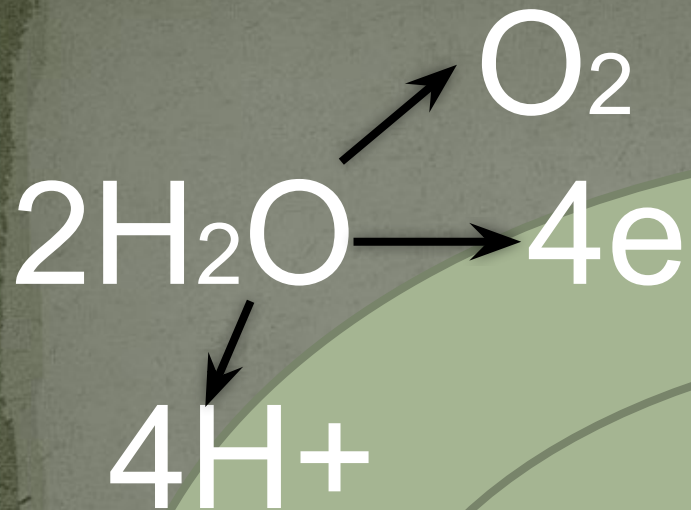
1. Световая фаза – протекает на мембранах тилакоидов и под влиянием энергии света

2. Темновая фаза – протекает в строме хлоропласта, для ее реакций не нужна энергия света

# Световая фаза фотосинтеза







pH 8

pH 4

АТФ-аза

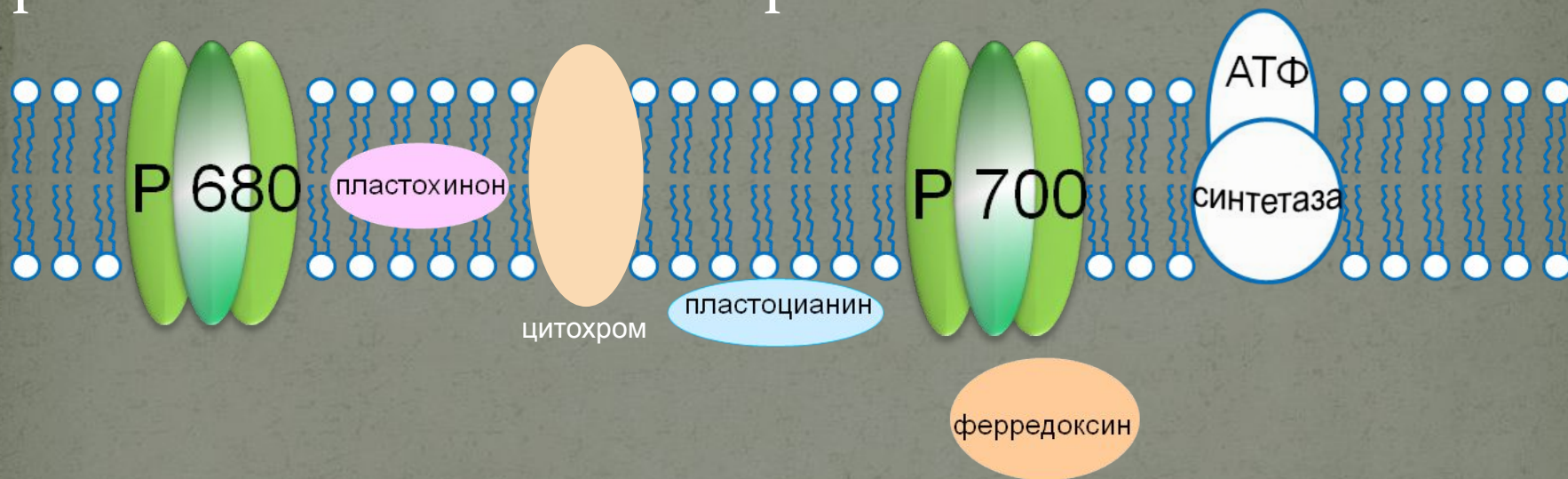


# ФОТОСИСТЕМЫ:

внутри тилакоида (люмен)

фотосистема II

фотосистема I



снаружи тилакоида (строма)

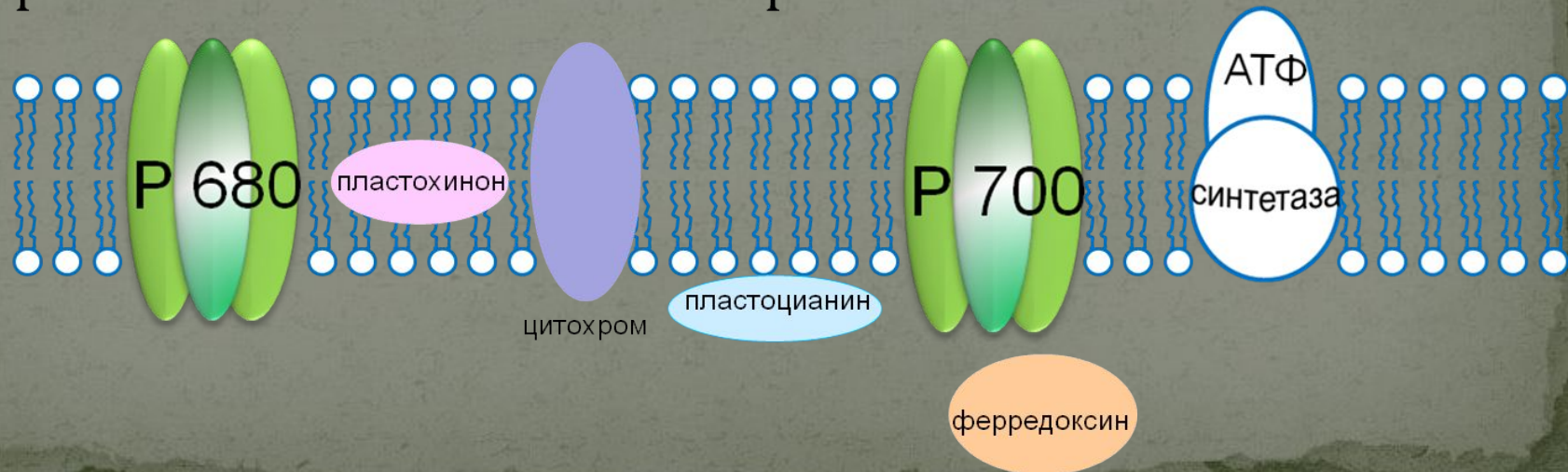


# ФОТОСИСТЕМЫ:

- ✓ Основными ловцами световых частиц являются две формы хлорофилла:  $P_{700}$  и  $P_{680}$  (P – пигмент, 700 и 680 – максимум поглощения света в нм). Другие пигменты выполняют вспомогательную роль

фотосистема II

фотосистема I



# Световая фаза:

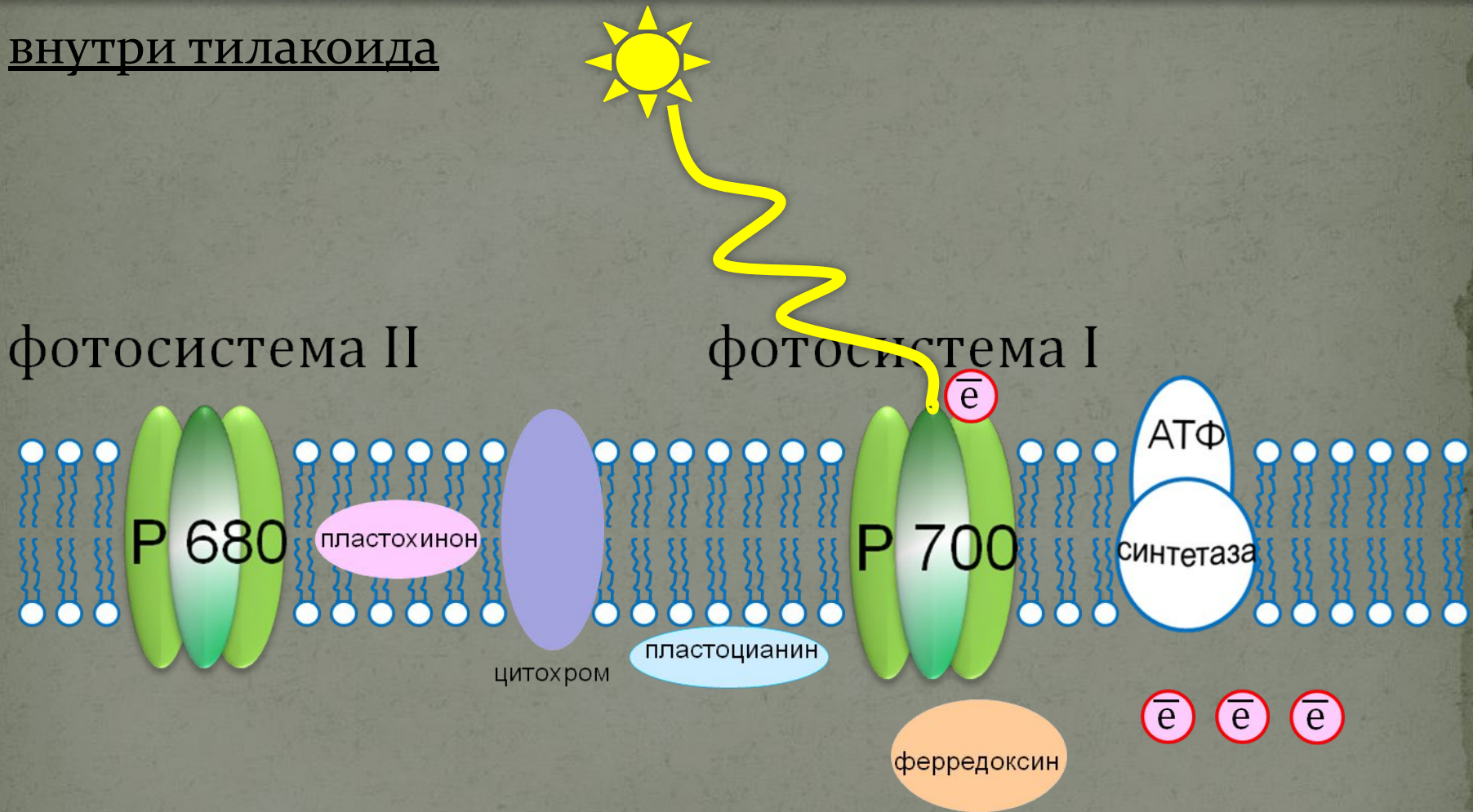
1. Молекула хлорофилла фотосистемы I поглощает квант света и переходит в возбужденное состояние. При этом электрон выбивается из молекулы хлорофилла

2. Богатый энергией электроны, поступает в особую цепь переносчиков и передаются на наружную поверхность мембраны тилакоидов, где накапливаются и мембрана заряжается отрицательно



# Световая фаза:

внутри тилакоида



снаружи тилакоида



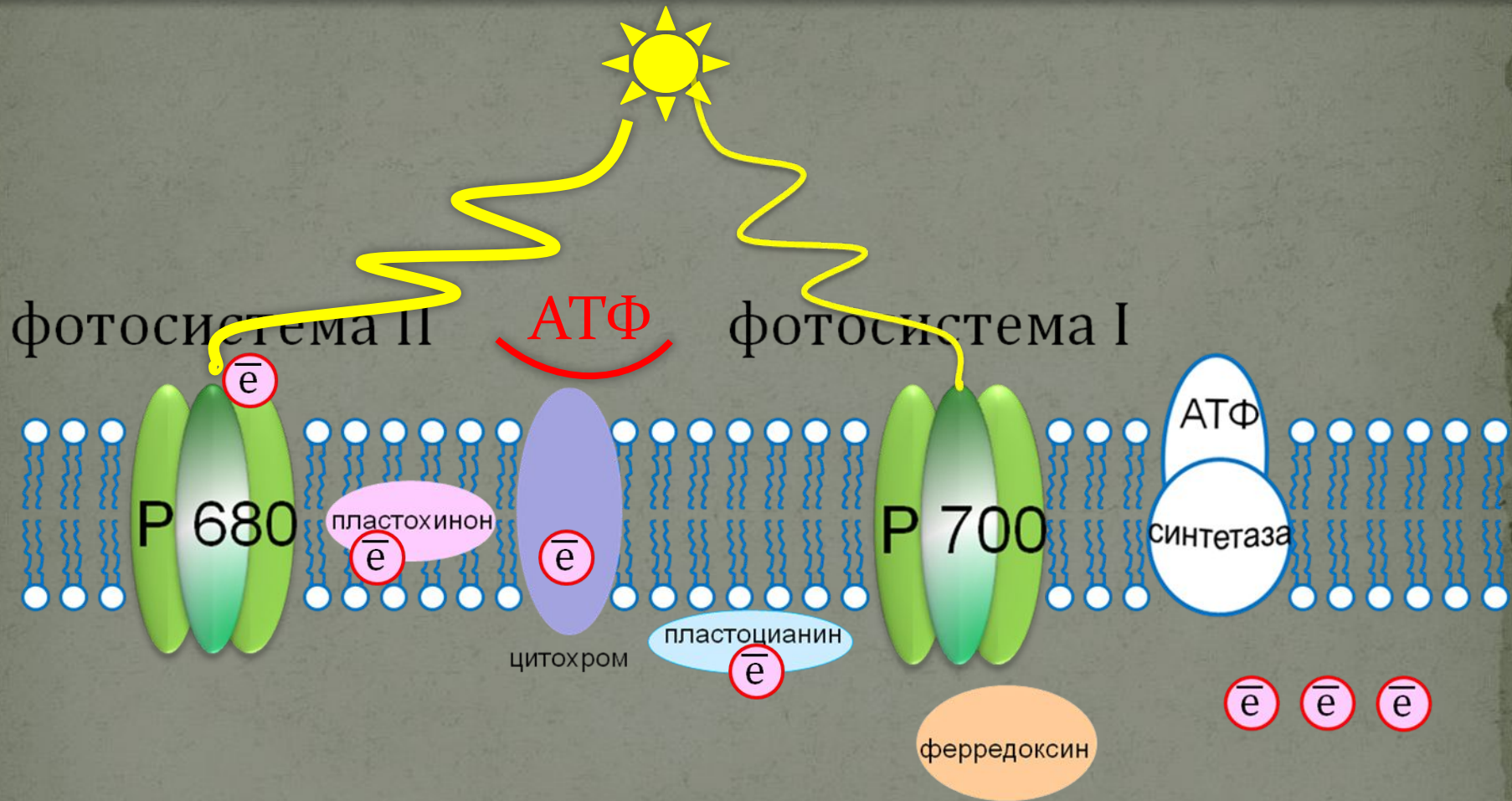
# Световая фаза:

3. Квант красного света, поглощенный хлорофиллом P680 фотосистемы II, переводит электрон в возбужденное состояние и выбивает его из молекулы

4. Электрон захватывается акцепторами переносчиками, перемещаясь от одного акцептора к другому, он теряет энергию, которая используется для синтеза АТФ



# Световая фаза:



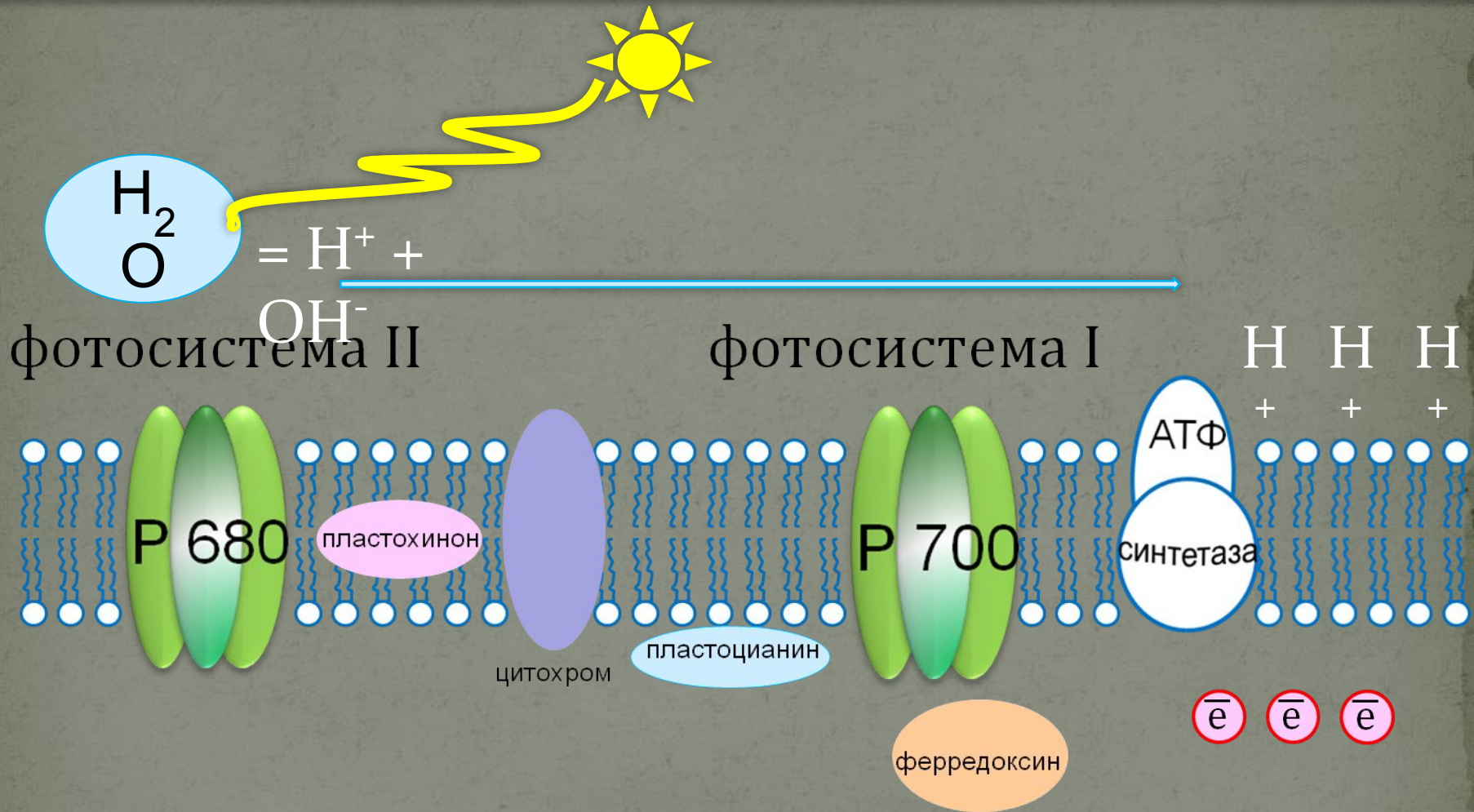
# Световая фаза:

5. Электрон поступает в фотосистему I и восстанавливает молекулу  $P_{700}$ . При этом молекула  $P_{700}$  возвращается *в исходное состояние* и становится вновь способной поглощать свет

6. Молекула хлорофилла  $P_{680}$  фотосистемы II восстанавливает свой электрон за счет фотолиза воды, т.е. расщепление воды под действием энергии света на  $H^+ + OH^-$



# Световая фаза:

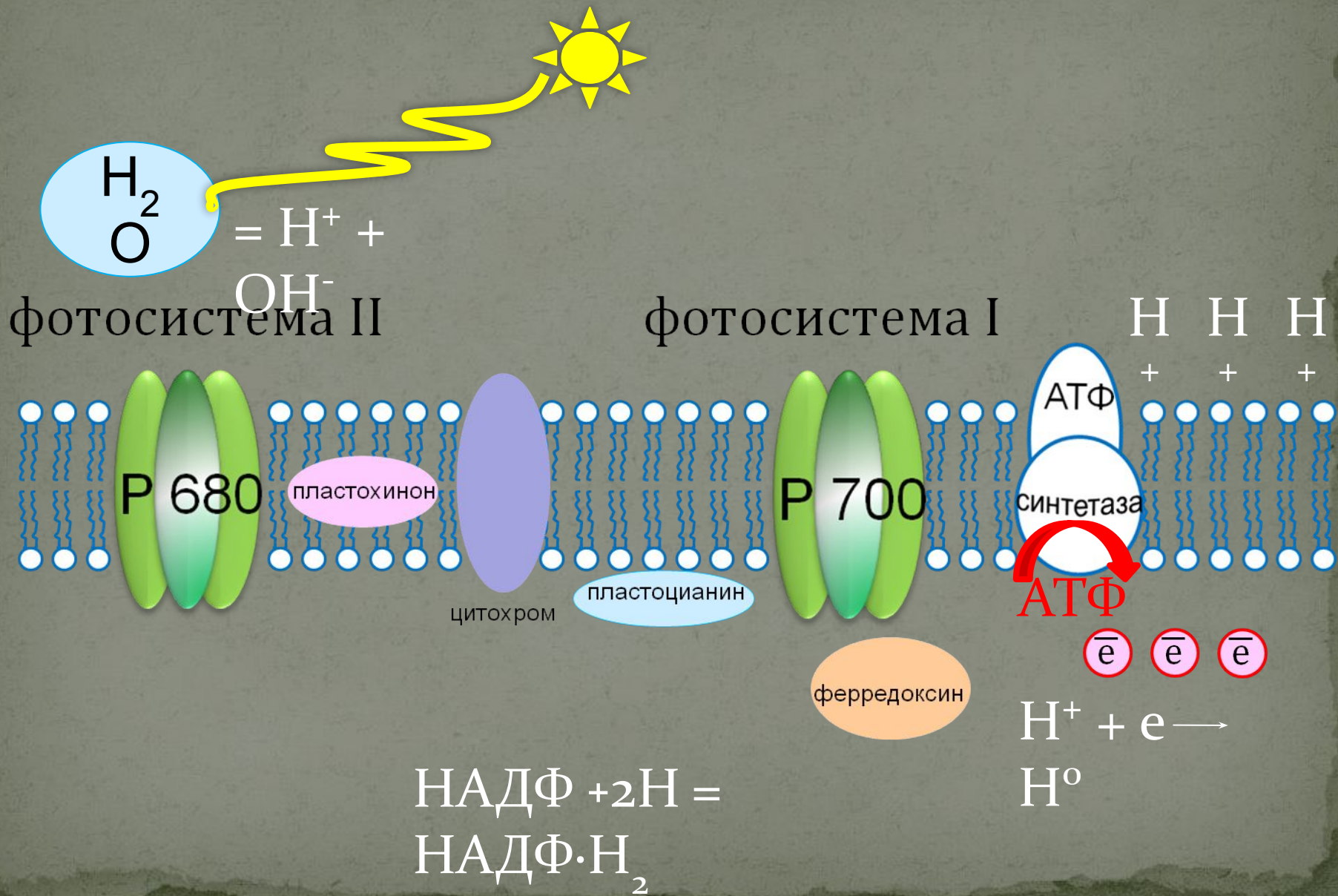


# Световая фаза:

7. Протоны водорода накапливаются внутри тилакоида, создавая  $H^+$ -резервуар. В результате внутренняя поверхность мембраны заряжается положительно

8. При достижении критической величины разности потенциалов протоны  $H^+$  проталкиваются через канал АТФ-синтетазы. Освобождающаяся при этом энергия используется для синтеза молекул АТФ

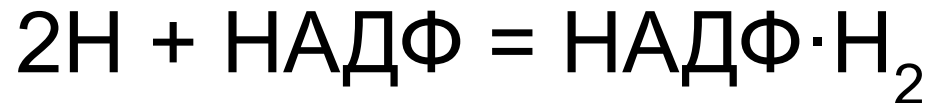
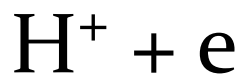
# Световая фаза:



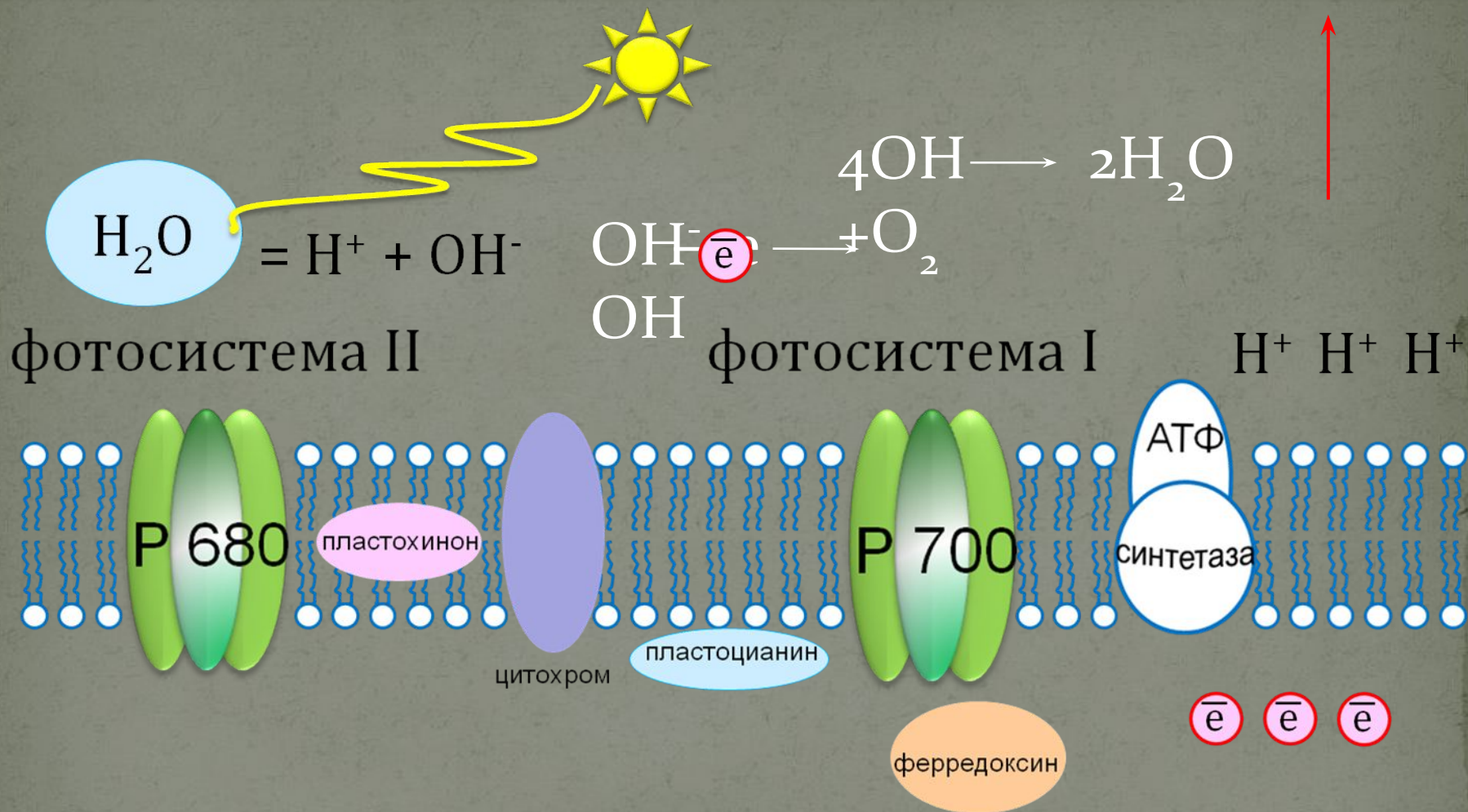


# Световая фаза:

9. Катионы водорода на наружной стороне мембраны присоединяют электроны молекулы хлорофилла, образуя атомарный водород, который с помощью переносчика НАДФ (никотинамидадениндинуклеотидфосфат) поступает в строму хлоропласта на синтез ГЛЮКОЗЫ



# Световая фаза:



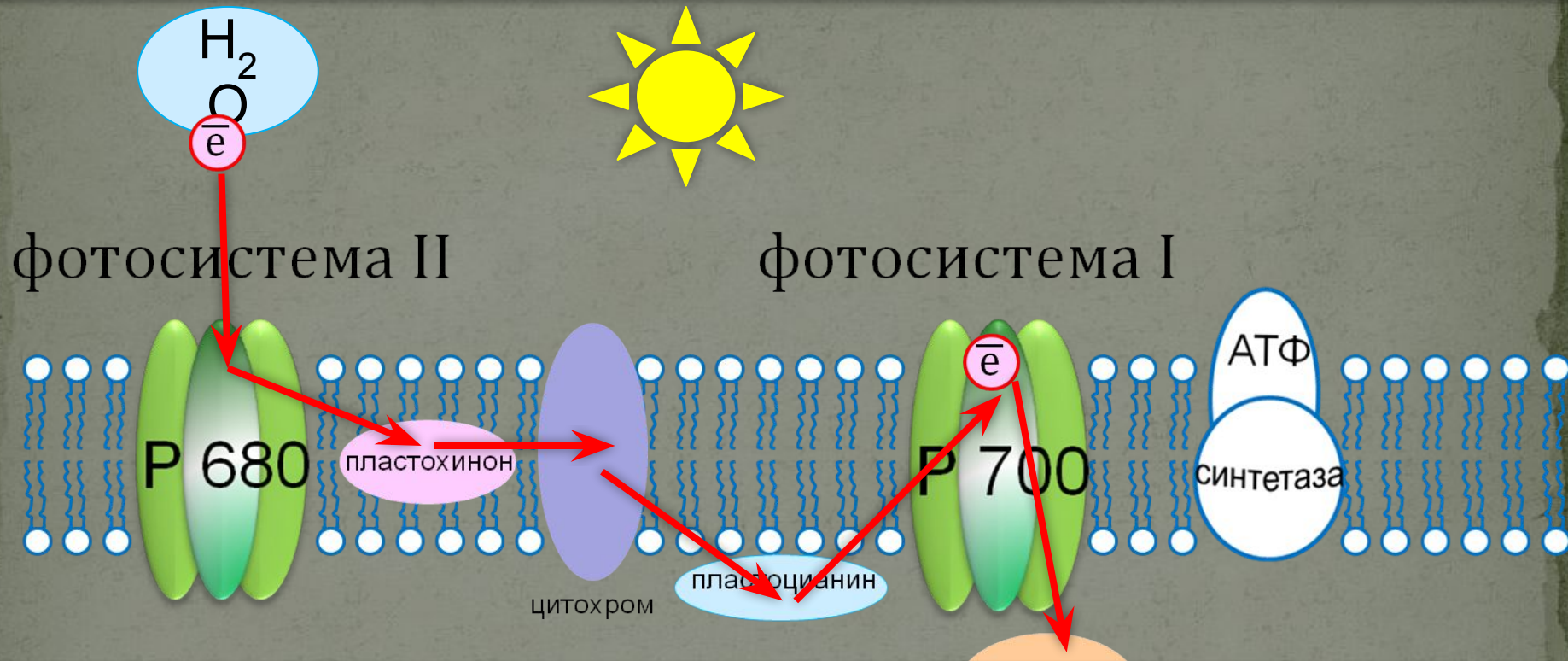
# Световая фаза:

$\text{OH}^- \bar{e} \rightarrow \text{OH}$ . Этот электрон закрывает «дыру» в молекуле хлорофилла фотосистемы II.  $4\text{OH} \rightarrow 2\text{H}_2\text{O} + \text{O}_2$  ↑

- Таким образом, в результате переноса электронов и протонов через мембрану происходит превращение световой энергии в химическую энергию связей молекул АТФ – фотофосфорилирование



# Световая фаза:



- Следовательно, на свету электроны перемещаются от воды к фотосистемам II и I, и затем к НАДФ – нециклический поток электронов

# Световая фаза фотосинтеза

## Нециклический транспорт электронов



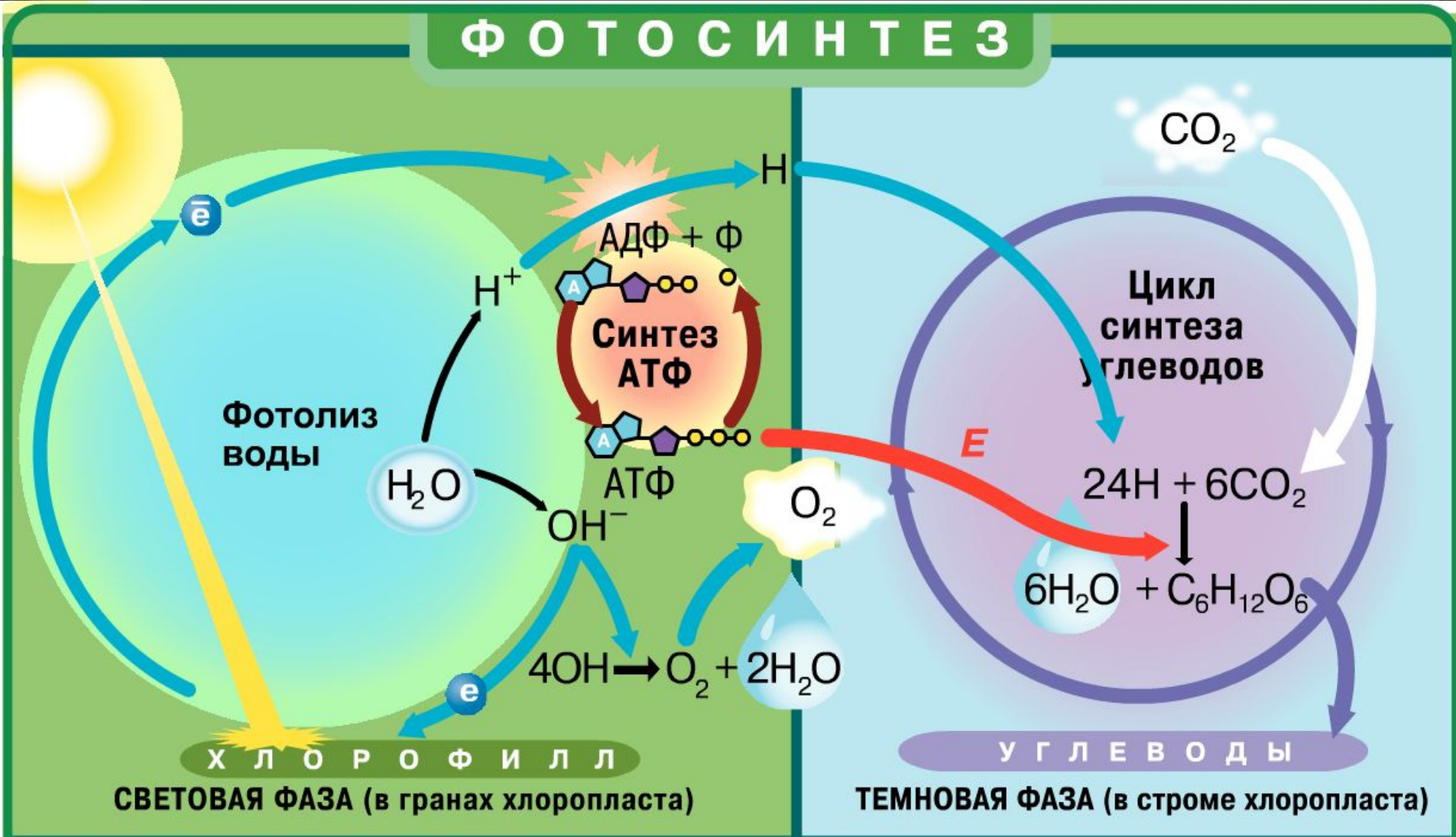
# Световая фаза:

- Таким образом, энергия солнечного света порождает три процесса:
  - 1) Образование кислорода вследствие фотолиза воды
  - 2) Синтез АТФ
  - 3) Образование атомов водорода в форме НАДФ·Н<sub>2</sub>



# Темновая фаза:

## ФОТОСИНТЕЗ



# Цикл фиксации углерода или цикл Кальвина

- Первая стадия – карбоксилирование (непосредственная фиксация углекислого газа).
- Вторая стадия – восстановление (образование 3-фосфоглицеринового альдегида (ФГА)).
- Третья стадия – регенерация (восстановление первоначальных реагентов).
- Четвертая стадия – образование продуктов фотосинтеза

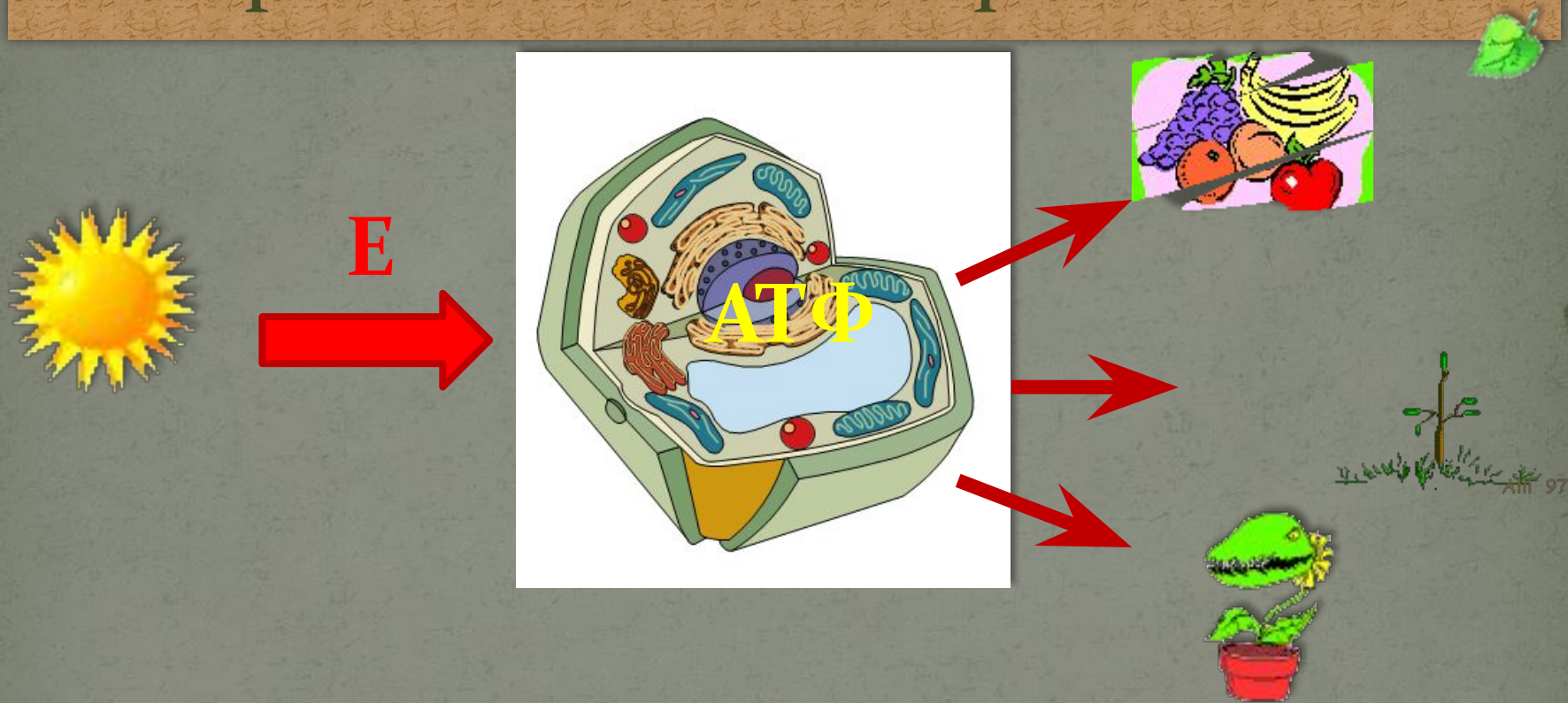


# Темновая фаза фотосинтеза





# Энергообеспечение фотосинтеза



Фотофосфорилирование:



# Суммарное уравнение фотосинтеза



# Темновая фаза:

1. Протекает в строме хлоропласта как на свету, так и в темноте и представляет собой ряд последовательных преобразований  $\text{CO}_2$

2. Ферменты связывают пятиуглеродный сахар с углекислым газом воздуха. При этом образуются соединения, которые последовательно восстанавливаются до молекулы глюкозы



## Задание 2. Заполните таблицу «Сравнение световой и темновой фаз фотосинтеза»



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

# «Сравнение световой и темновой фаз фотосинтеза»



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

# Хемосинтез

Хемосинтез – это образование органических веществ из неорганических веществ за счёт энергии, полученной в результате реакций окисления неорганических соединений (сероводород, водород, аммиак)

Хемосинтез производится бактериями, не содержащими хлорофиллы

Хемосинтез был открыт в 1887 году  
Виноградским С.Н.