

- 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

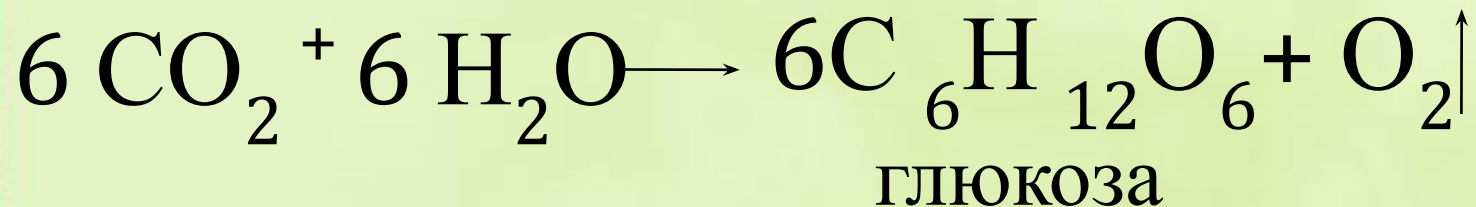
# Фотосинтез



# Фотосинтез

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

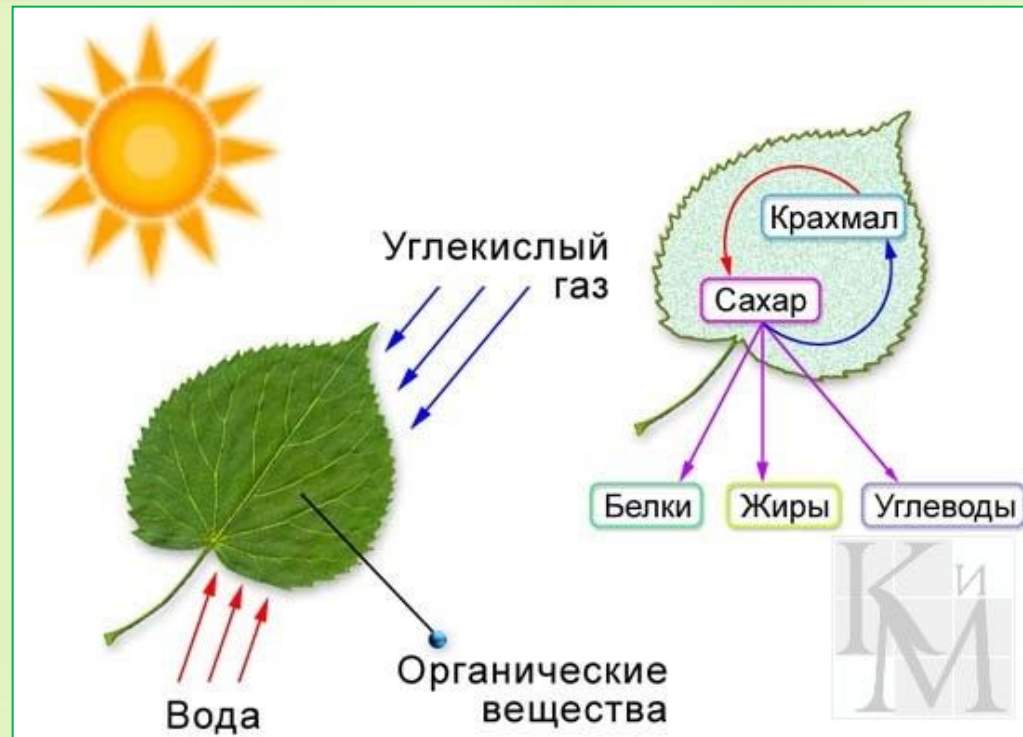
Фотосинтез – образование (синтез) органических веществ (углеводов) из неорганических веществ ( $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$ ) с использованием энергии света





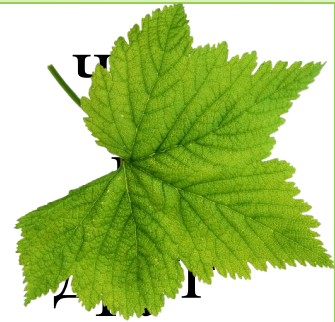
# Фотосинтез

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



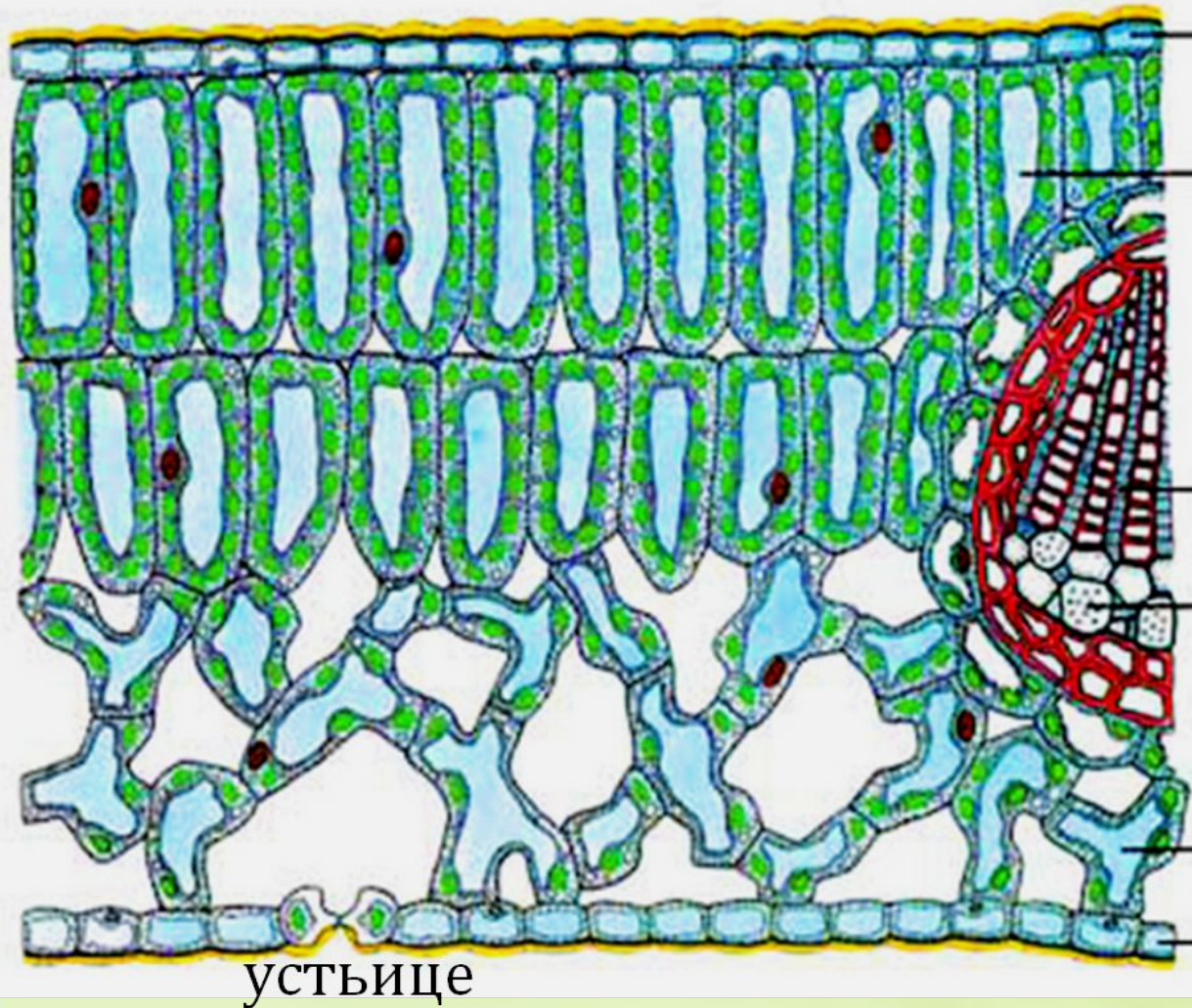
# Листо́вая моза́ика

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





# Строение листа



кожица

столбчатая  
ткань

ксилема

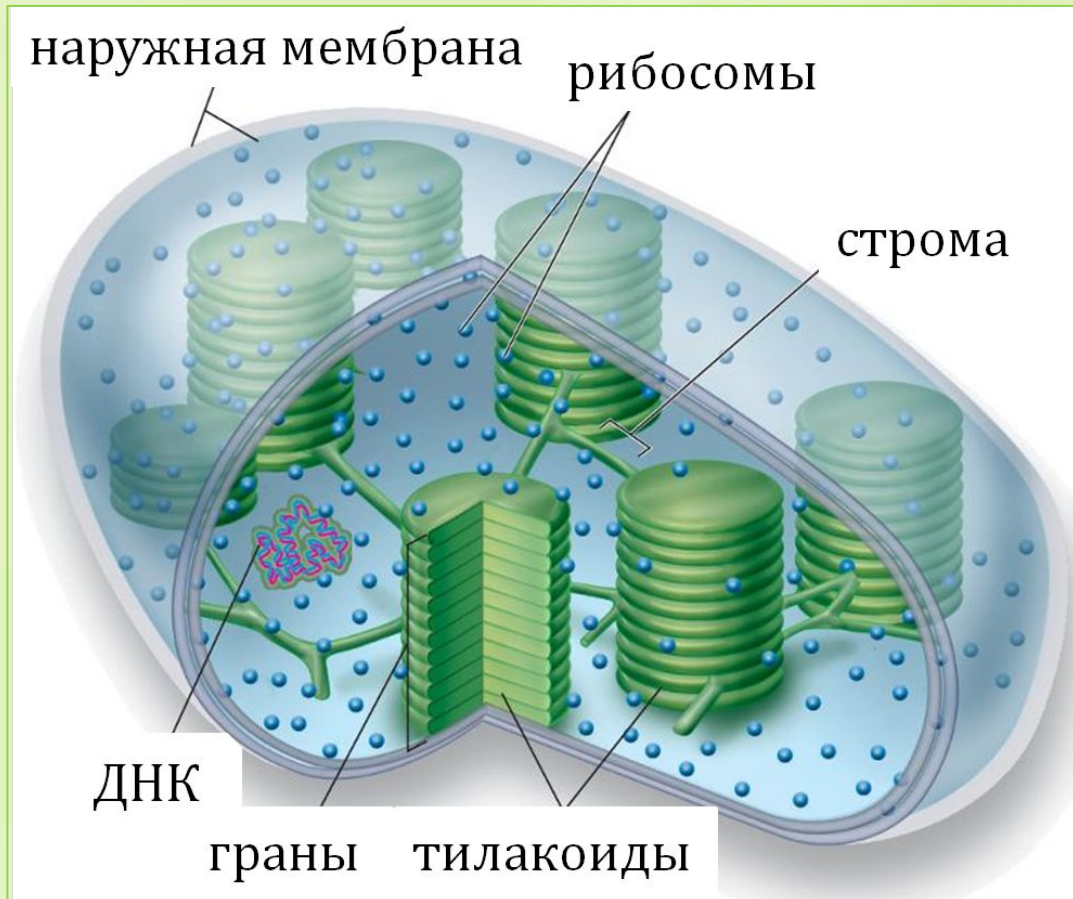
флоэма

губчатая  
ткань

кожица

устьице

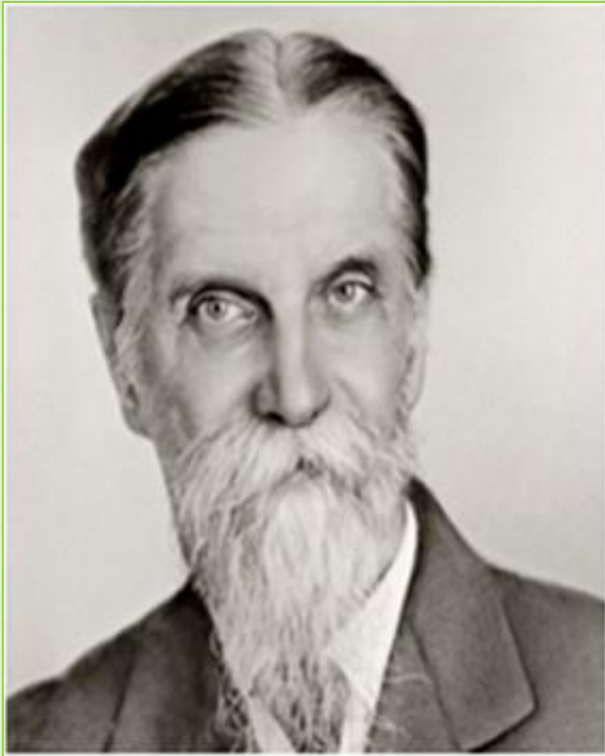
# Строение хлоропласта



Хлоропласт – органоид двояковыпуклой формы, что обеспечивает лучшее поглощение света



# Фотосинтез



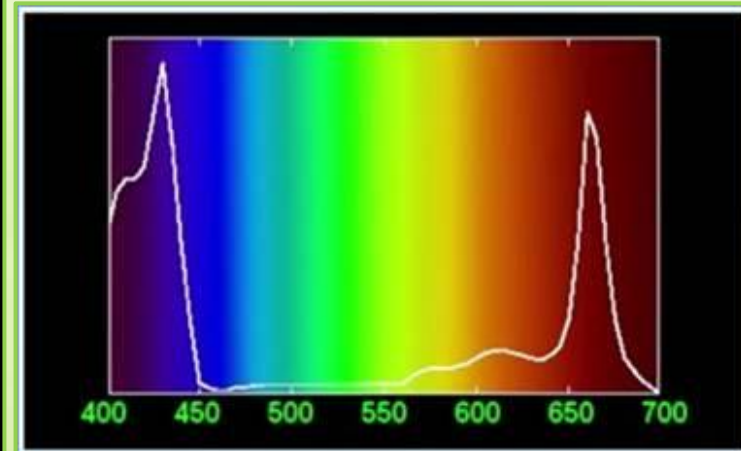
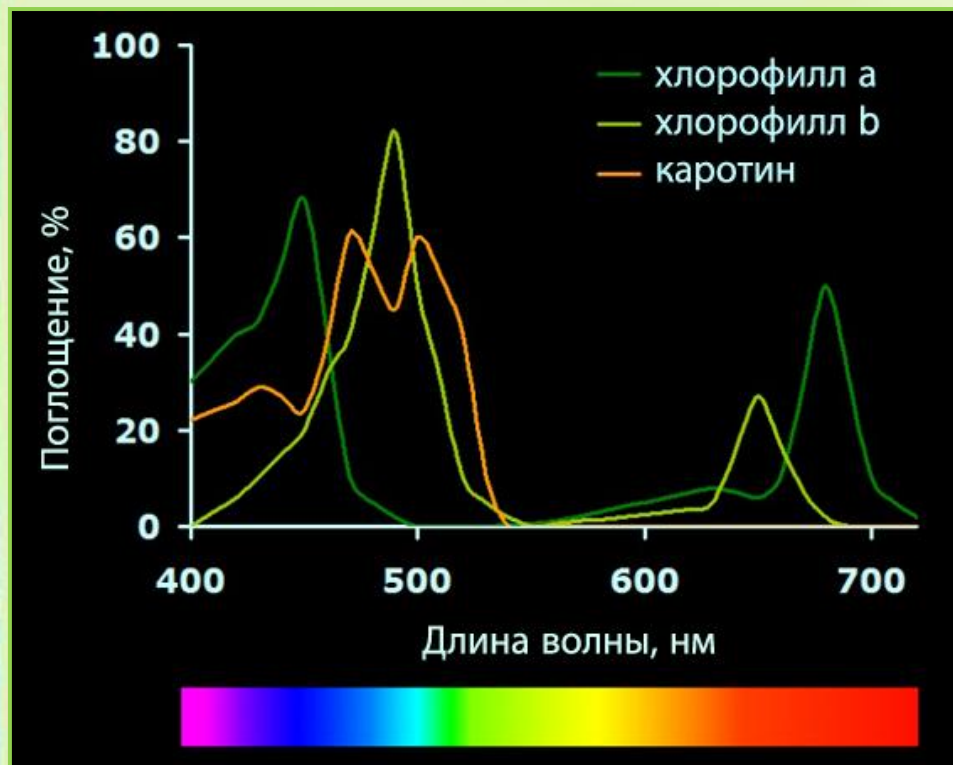
Тимирязев Климент  
Аркадьевич

✓ 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



# Фотосинтез



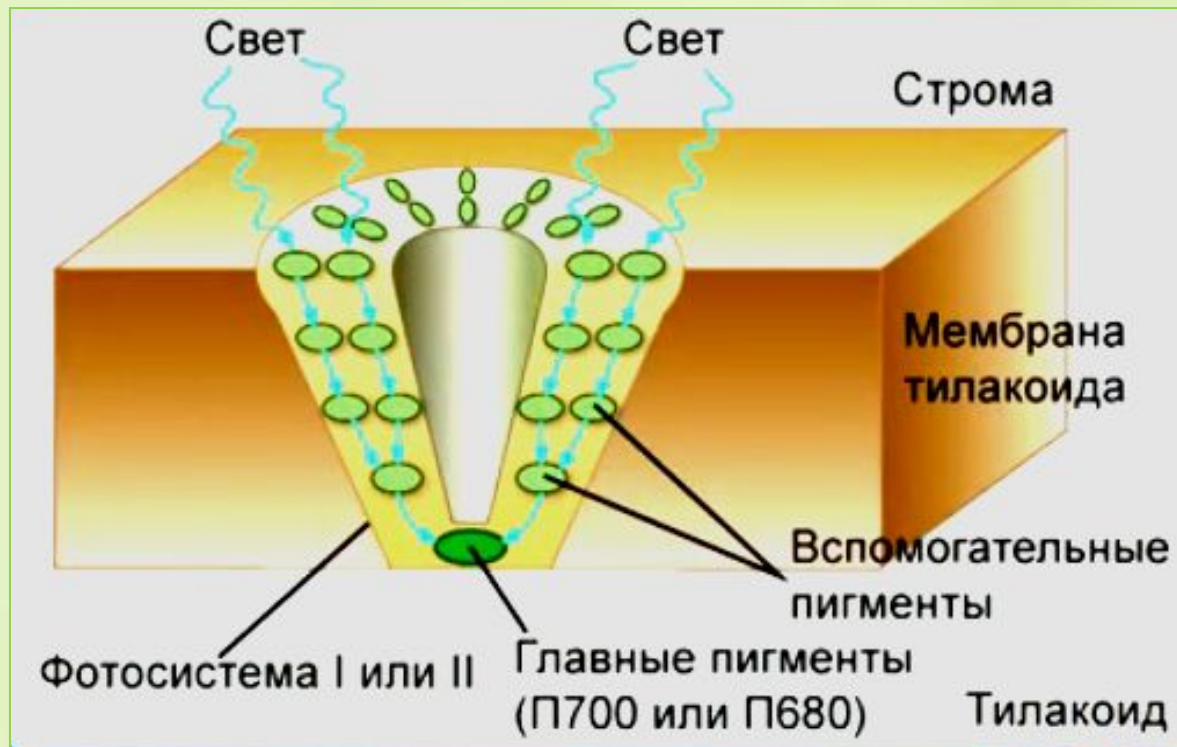
Хлорофилл поглощает красную (680 нм) и синюю (450 нм) части спектра. Зеленый цвет они отражают и поэтому придают растениям зеленую окраску

# Фазы фотосинтеза:

1. Световая фаза – протекает в гранах хлоропласта под влиянием энергии света

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

# Световая фаза:



- ✓ Пигменты растений, участвующие в фотосинтезе, "упакованы" в мембранах тилакоидов в виде функциональных единиц, называемых фотосистемами

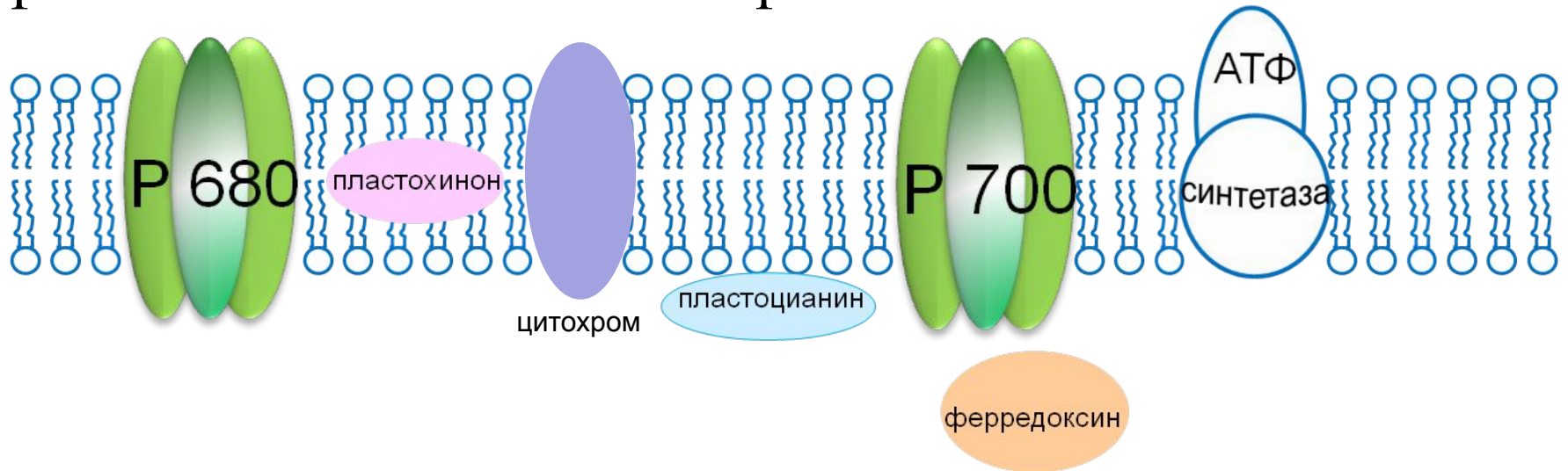


# ФОТОСИСТЕМЫ:

внутри тилакоида

фотосистема II

фотосистема I



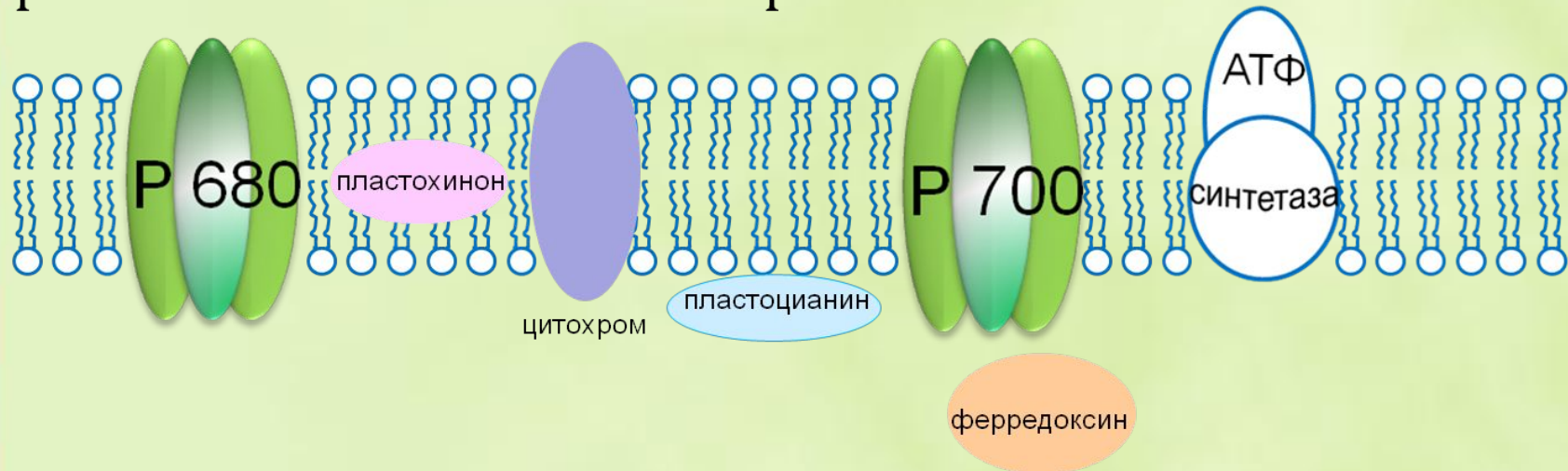
снаружи тилакоида

# 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:

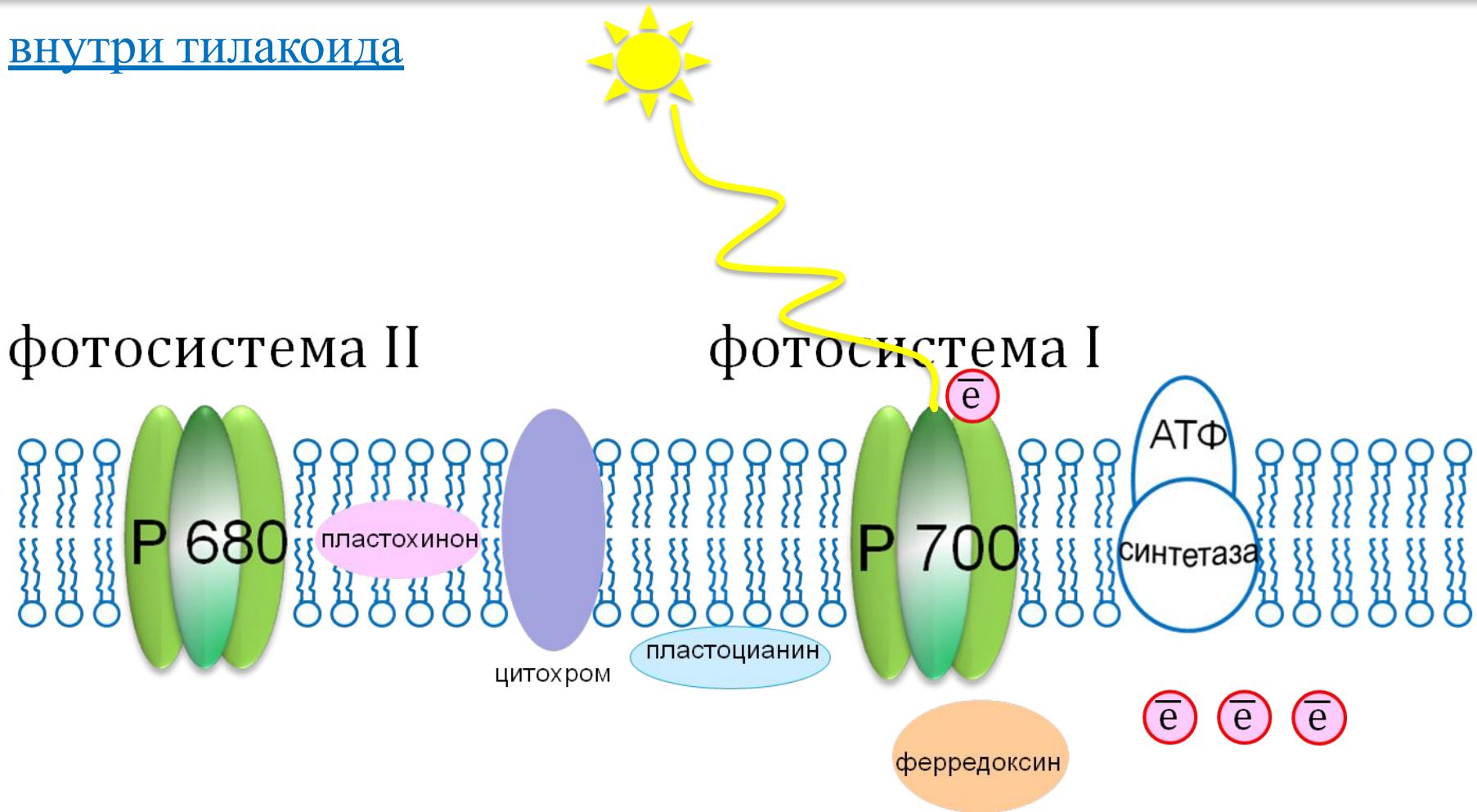
1. Молекула хлорофилла фотосистемы I поглощает квант света и переходит в возбужденное состояние. При этом электрон выбивается из молекулы хлорофилла

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

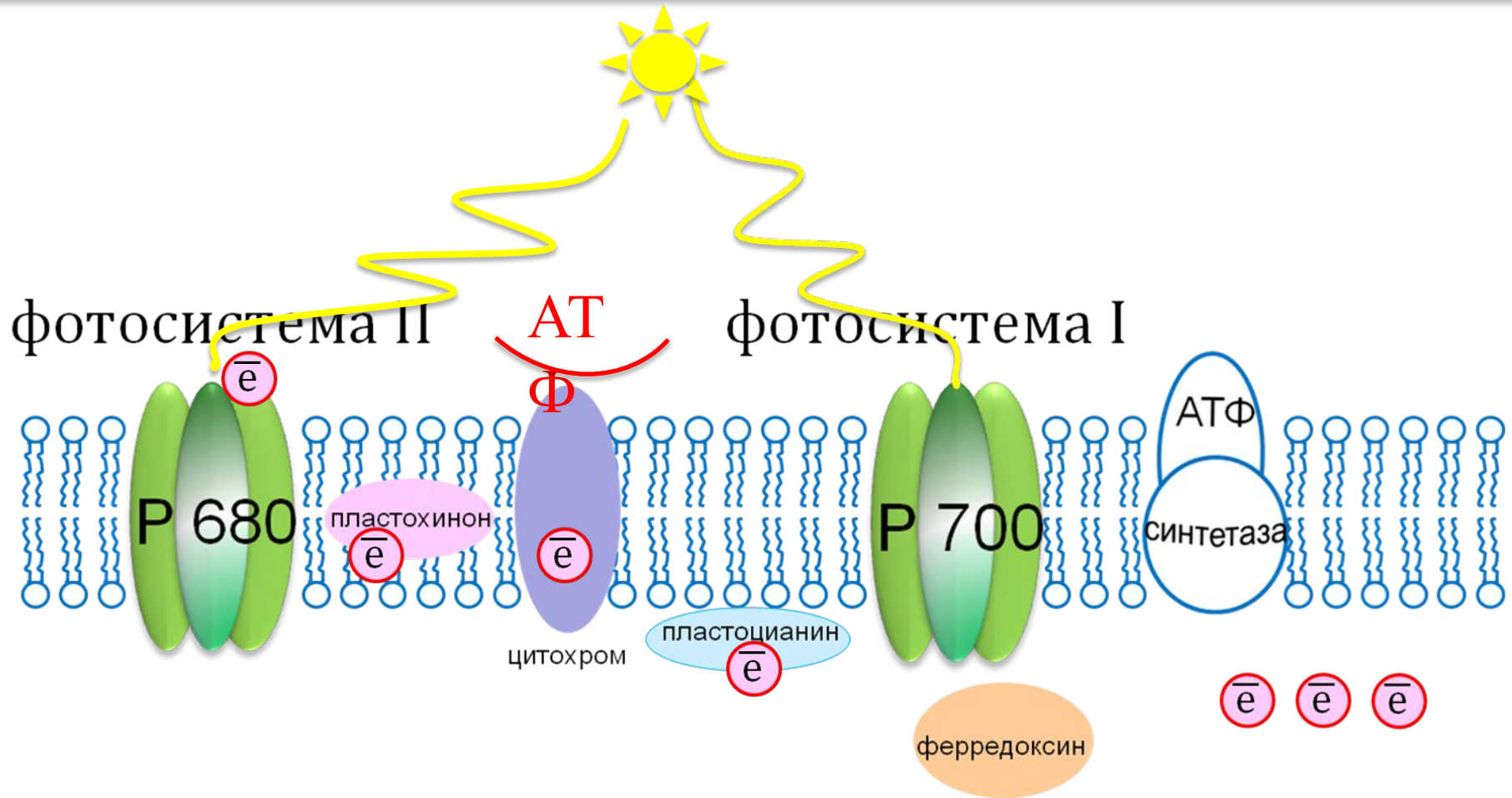


# Световая фаза:

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:



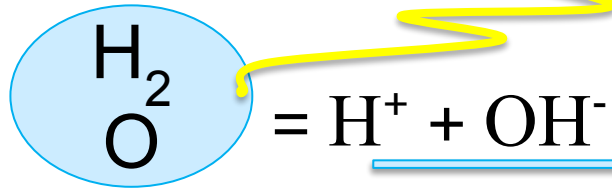


# Световая фаза:

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  $H^+ + OH^-$

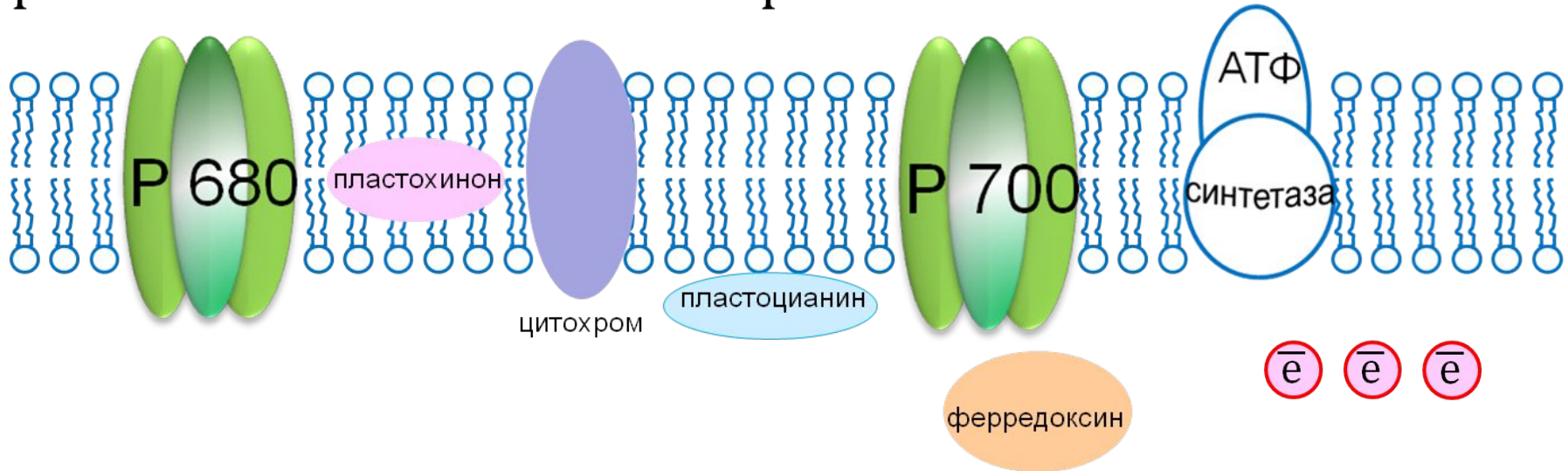
# Световая фаза:



фотосистема II

фотосистема I

$\text{H}^+ \text{H}^+ \text{H}^+$

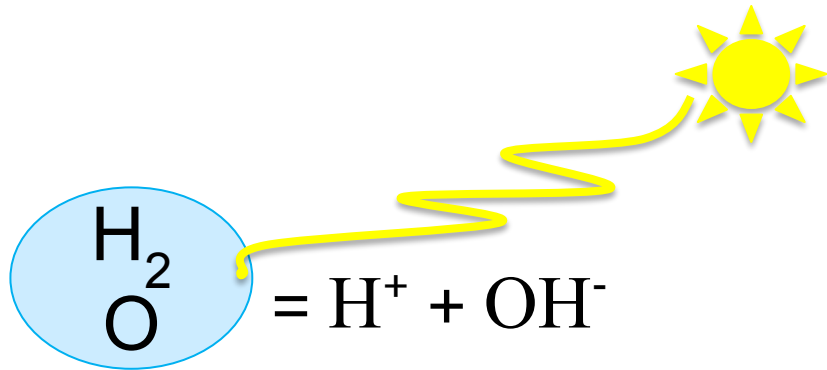


# Световая фаза:

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

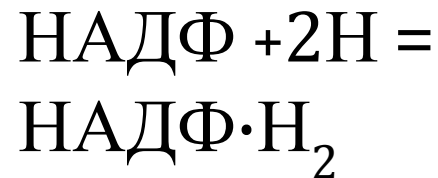
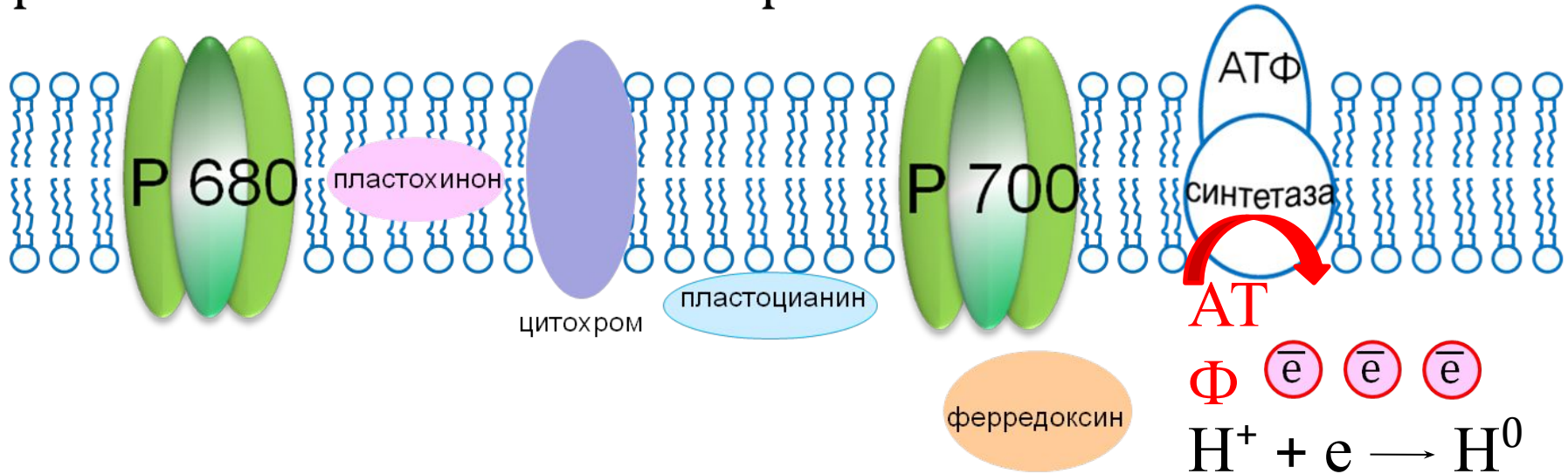
# Световая фаза:



фотосистема II

фотосистема I

$\text{H}^+ \text{H}^+ \text{H}^+$

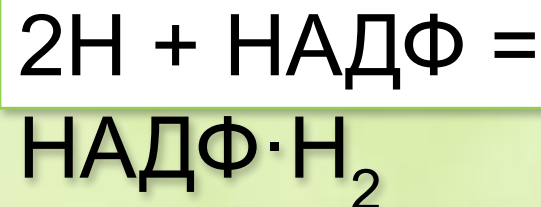




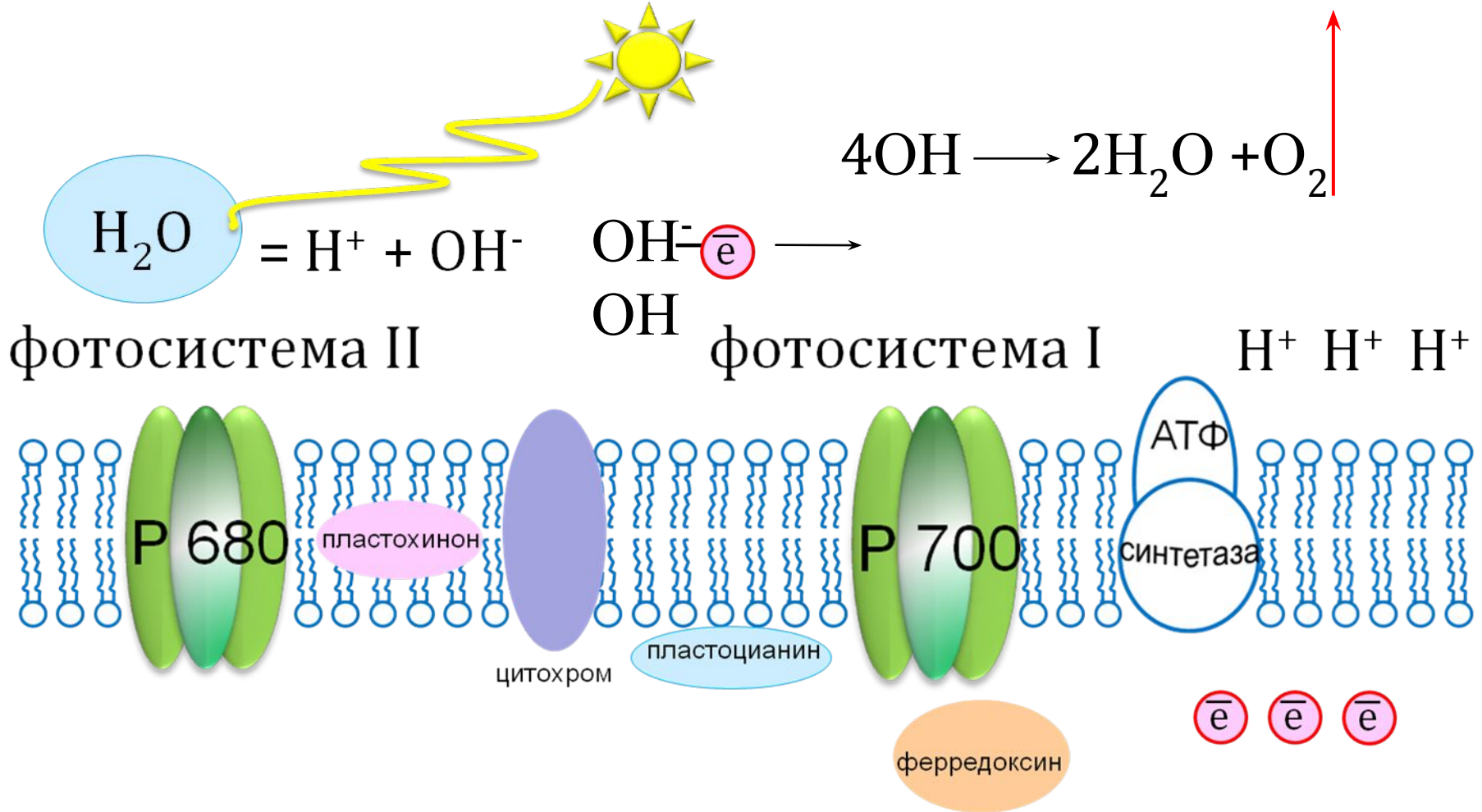
# Световая фаза:

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:

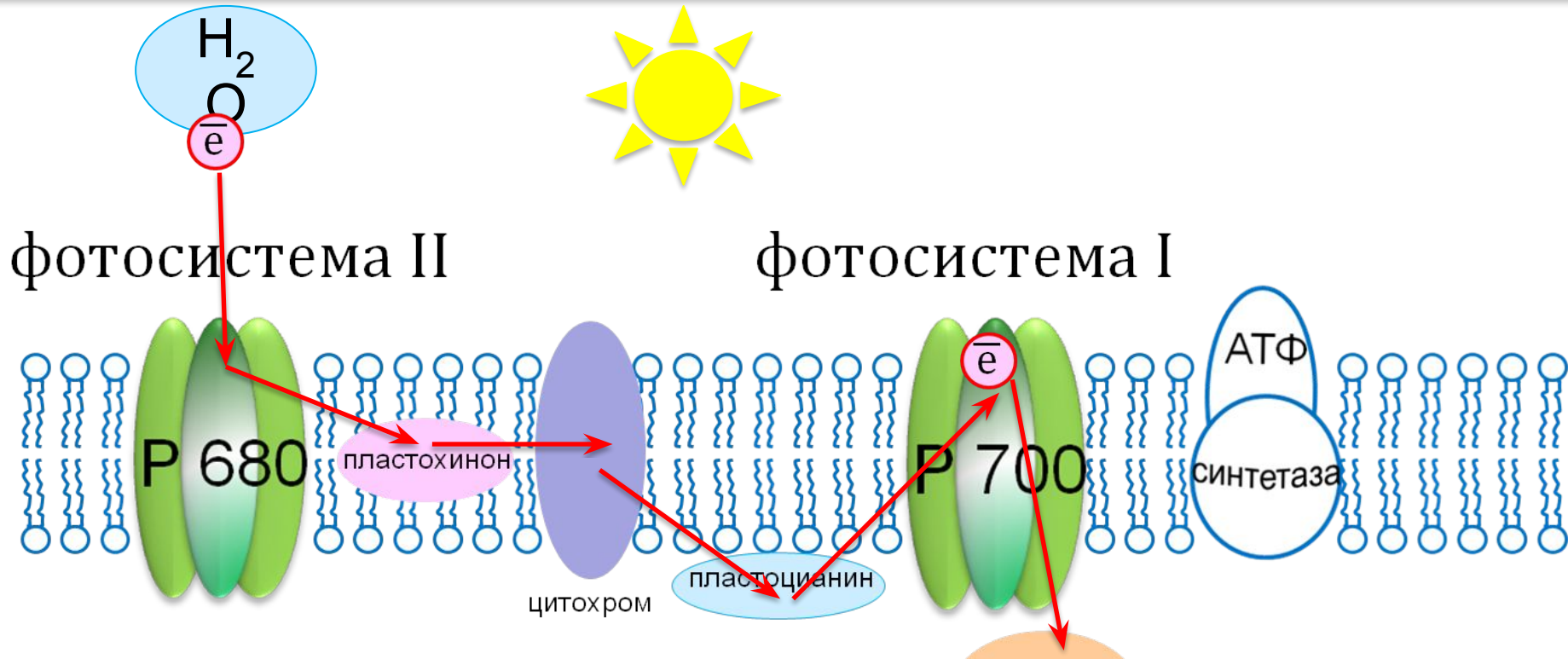


# Световая фаза:

Ионы гидроксильной группы отдают свои электроны, превращаясь в радикалы:  
 $\text{OH}^- \rightarrow \text{OH} \cdot$ . 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:



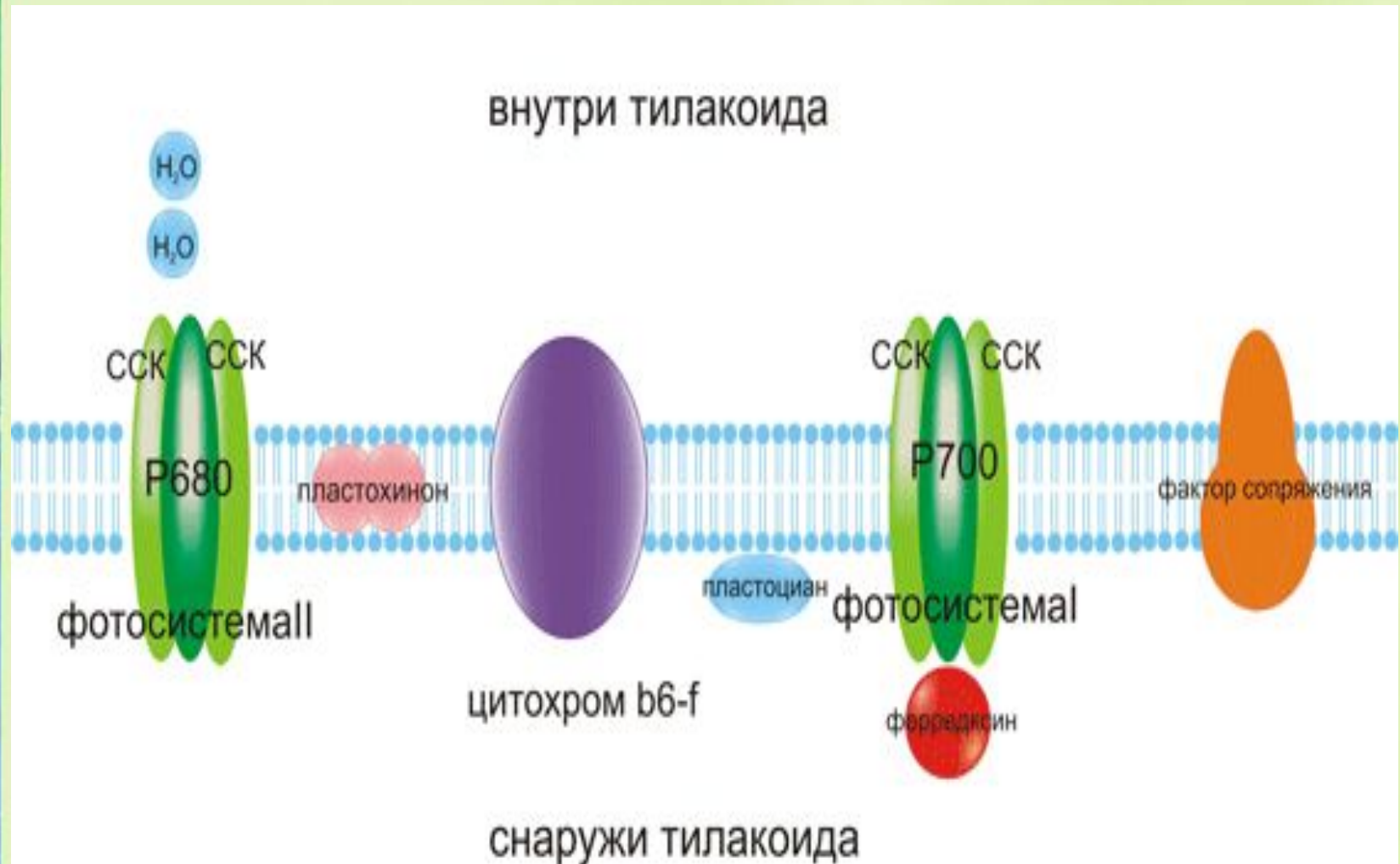
- Следовательно, на свету электроны перемещаются от воды к фотосистемам II и I, и затем к НАДФ – нециклический поток электронов



# Световая фаза:

- 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>

# Световая фаза:



# ХЛОРОПЛАСТ

Наружная мембрана

Световая фаза

Темновая фаза

Строма

яркий свет

O<sub>2</sub>

Тилакоид граны

Внутренняя мембрана

$\text{Хл.}^+ + \bar{e} \rightarrow \text{Хл.}$

$\text{OH}^- - \bar{e} \rightarrow \text{OH}$

H<sub>2</sub>O

O<sub>2</sub>

АТФ синтетаза

H<sup>+</sup>-канал

H<sup>+</sup> H<sup>+</sup> H<sup>+</sup>

АДФ+Ф

АТФ

$2\text{H}^+ + 4\bar{e} + \text{НАДФ}^+ \rightarrow \text{НАДФ} \cdot \text{H}_2$

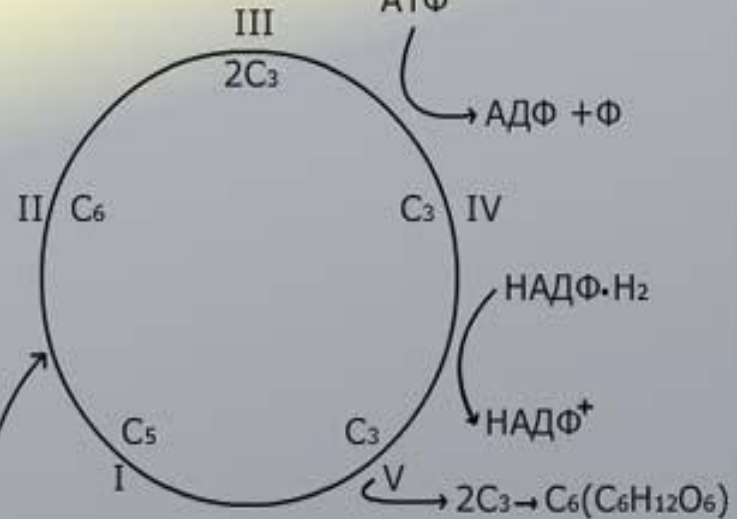
$\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{OH}^-$

H<sup>+</sup> H<sup>+</sup> H<sup>+</sup>-резервуар

$\text{Хл.} \rightarrow \text{Хл.}^+ + \bar{e}$

Белки-переносчики  $\bar{e}$

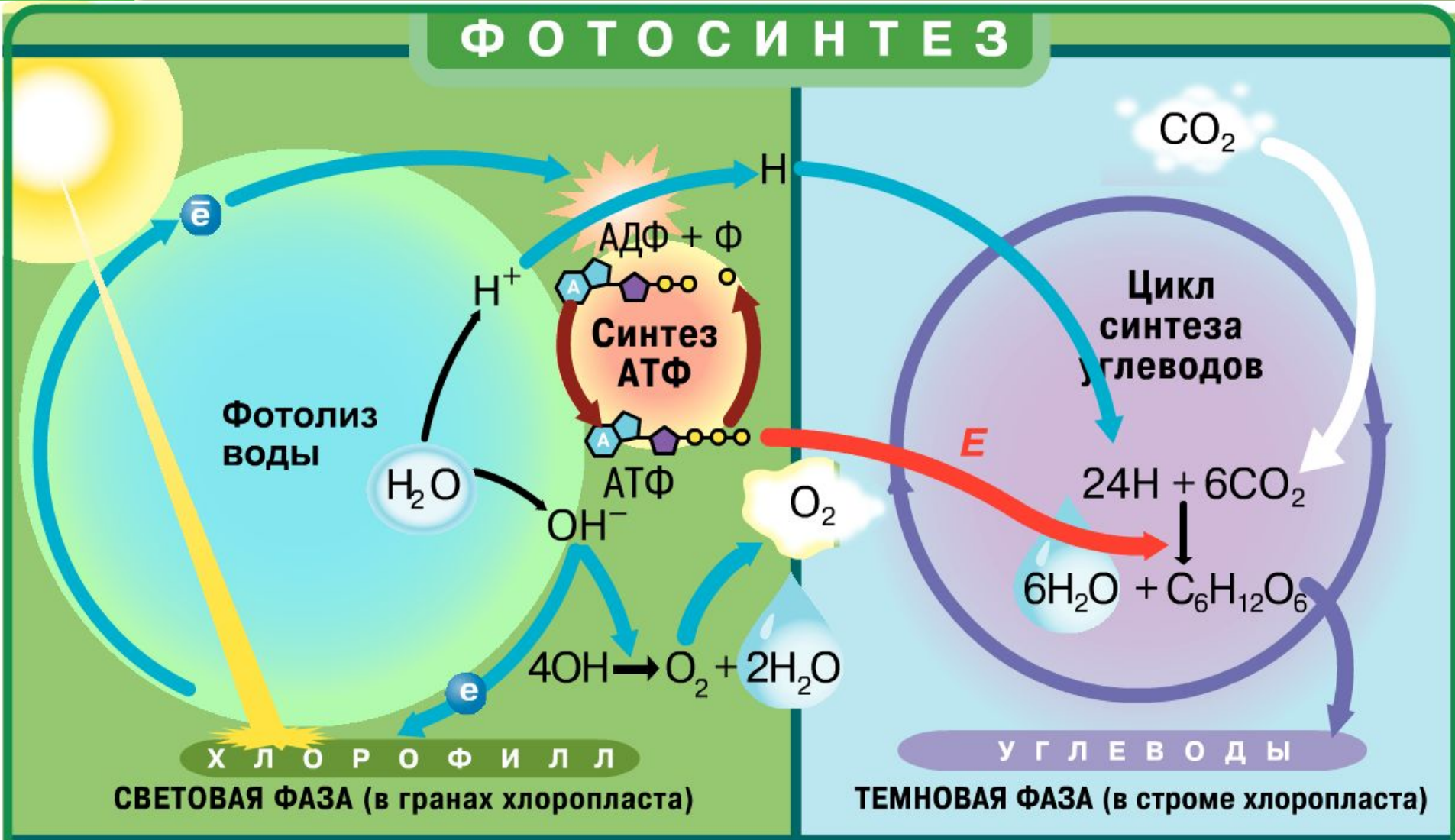
$\bar{e}$   $\bar{e}$   $\bar{e}$   $\bar{e}$



CO<sub>2</sub>

# Темновая фаза:

## ФОТОСИНТЕЗ



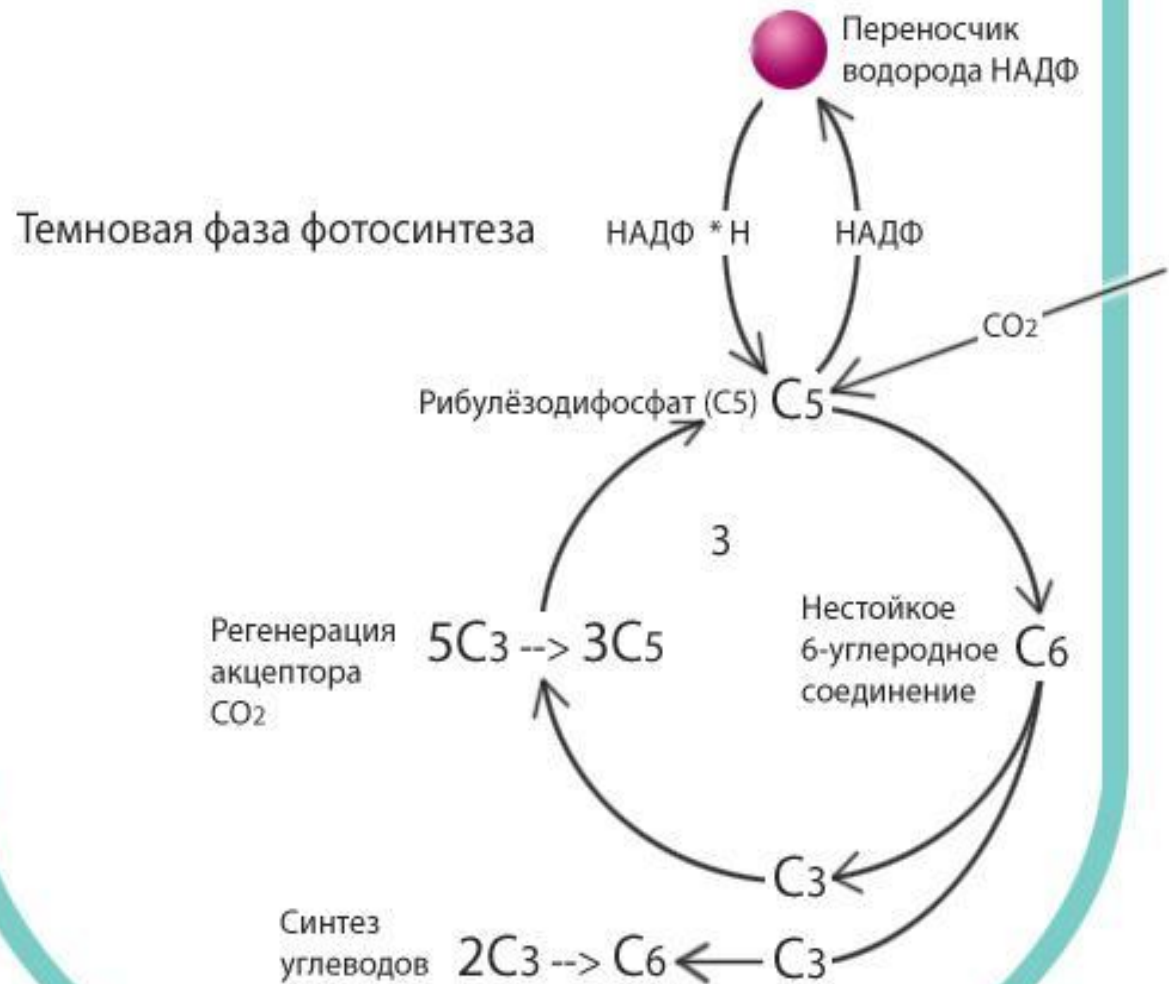


# Темновая фаза:

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

# Цикл Кальвина:



# 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.**