

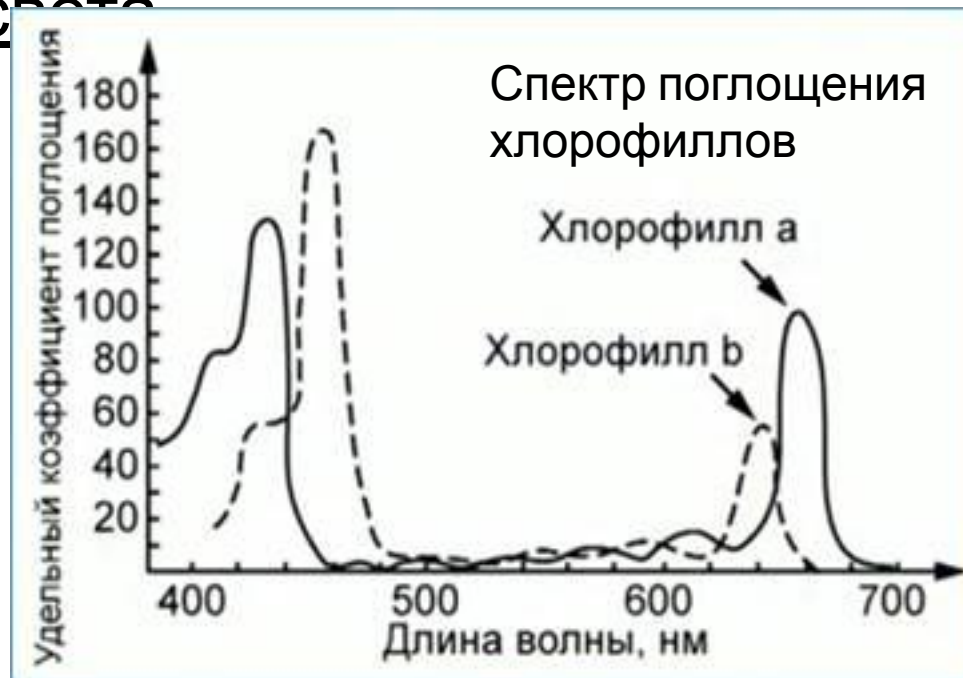
# ФОТОСИНТЕЗ

происходит в клетках зеленых растений, водорослей и в клетках некоторых бактерий, например цианобактерий, и осуществляется с помощью различных пигментов, в частности, с помощью хлорофилла.

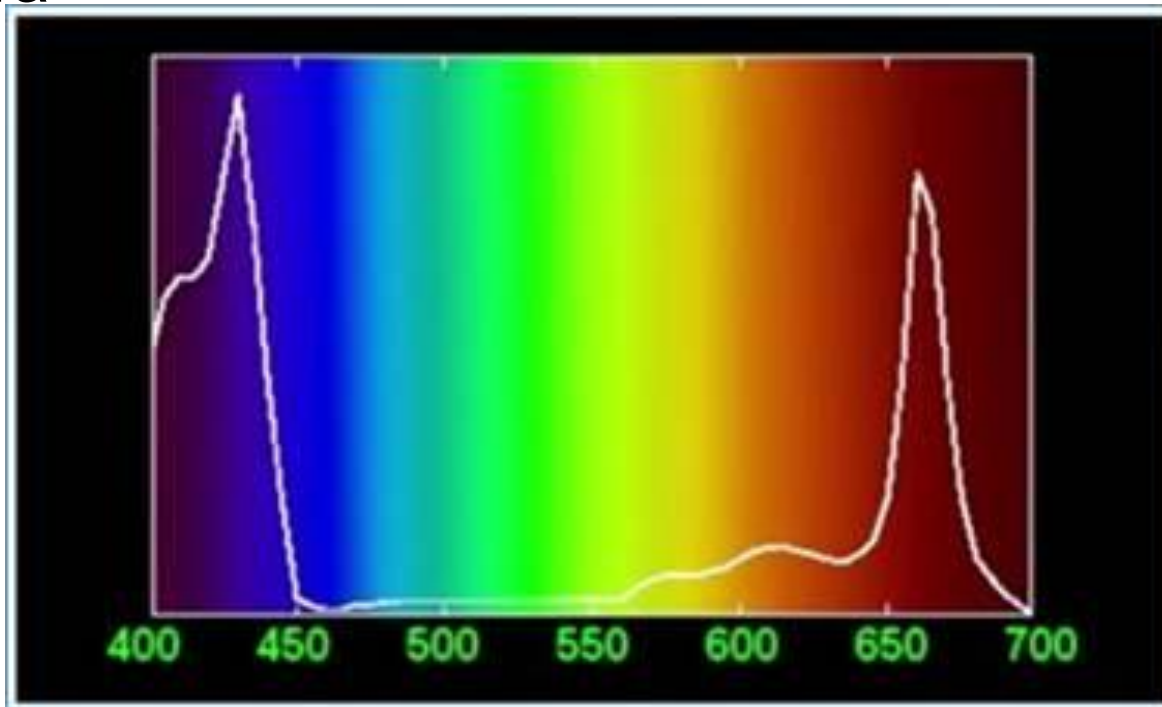


# Хлорофилл

- Хлорофилл у высших растений сосредоточен в хлоропластах, а основным органом фотосинтеза у высших растений является лист. Хлорофилл обладает особой химической структурой, которая позволяет ему улавливать кванты света.



- Хлорофилл поглощает, главным образом, красный и синий свет. Зеленый свет они отражают, и поэтому придают растениям характерную зеленую окраску, если только её не маскируют другие пигменты. Существуют несколько форм молекул хлорофилла, различающиеся по длине волны улавливаемого света



Спектр поглощаемого хлорофиллом света

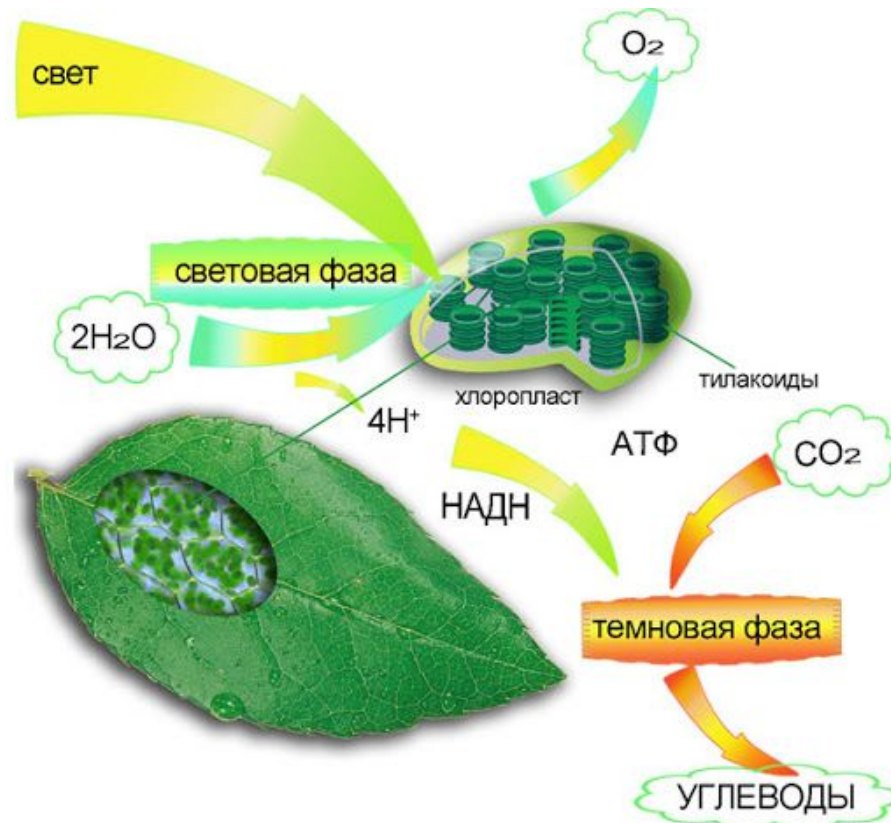
# Хлоропласт

- Структурной и функциональной единицей хлоропластов являются **тилакоиды** – плоские мембранные мешочки, уложенные в стопки (граны)



Отдельные граны соединены друг с другом ламеллами.

- В мембранах тилакоидов расположены особые комплексы, в которые входит молекула хлорофилла, а также молекула переносчиков электронов – цитохромов. Мембранная система – это то место, где протекают световые реакции фотосинтеза.
- Строма хлоропластов по своему строению напоминает гель – здесь протекают темновые реакции.
- Избыток углеводов, образовавшихся в процессе фотосинтеза, запасается в виде зерен крахмала



# Фотосинтетические пигменты

- Фотосинтетические пигменты бывают двух типов: главные (доставляют энергию для реакции фотосинтеза)
- вспомогательные (передают испускаемые ими электроны главному пигменту)

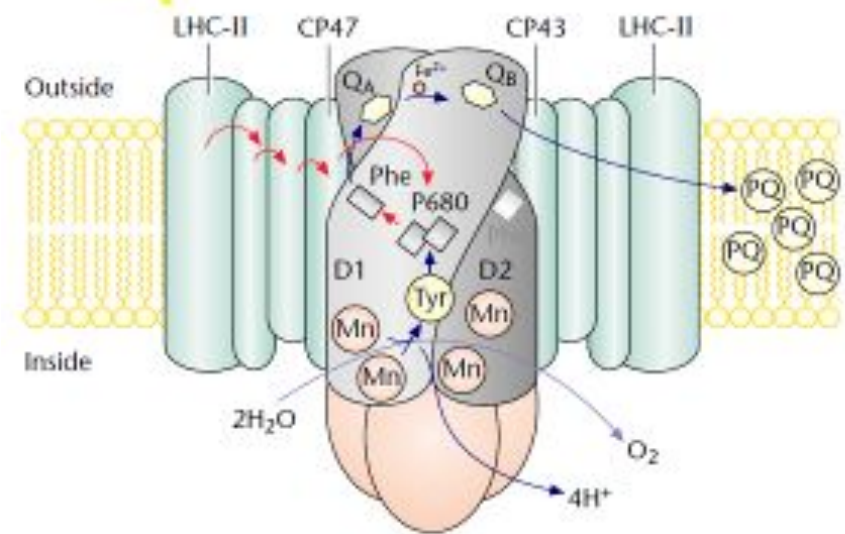
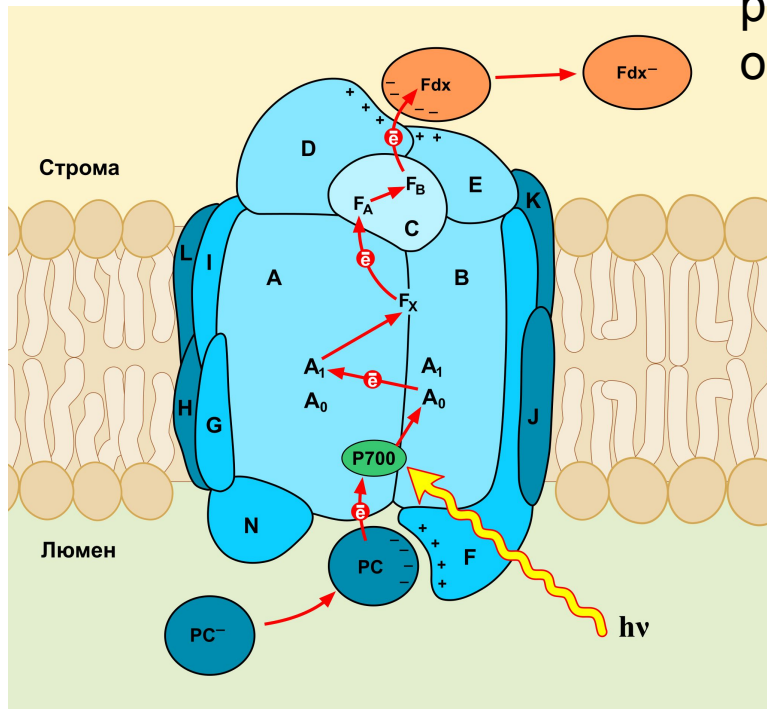
- Основными ловцами световых частиц являются две формы хлорофилла а, которые обозначают как P700 и P680 (P – пигмент, 680 – 700 это максимум поглощения в нм). Другие пигменты вы



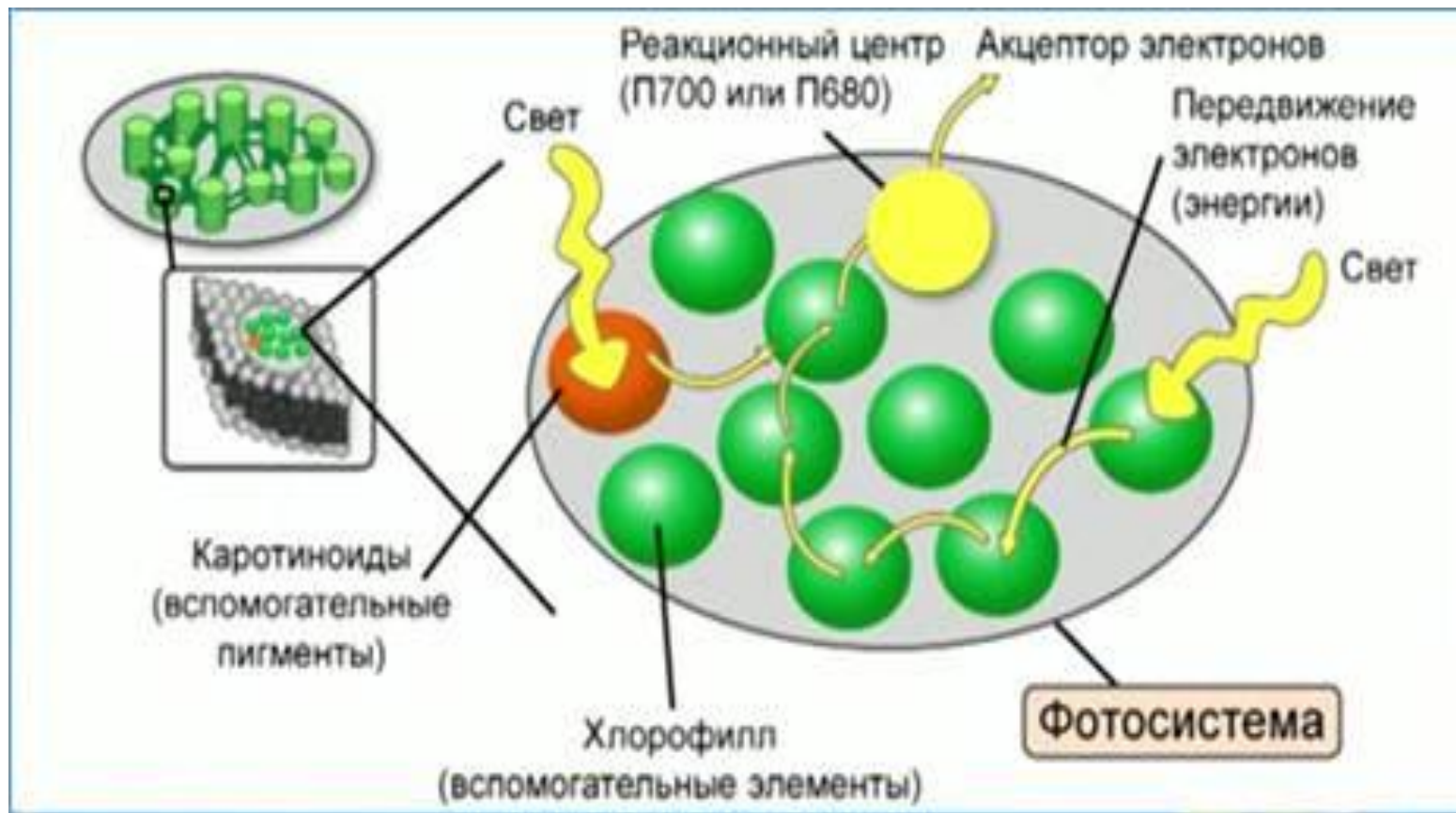


- В настоящее время принято считать, что существуют две фотосинтетические единицы, которые называют фотосистема 1 и фотосистема 2. Каждая из этих единиц состоит из набора вспомогательных пигментов, которые передают энергию на молекулу главного пигмента, а именно на молекулу хлорофилла

Эта молекула называется реакционным центром. В реакционном центре энергия используется для осуществления химической реакции.



Именно здесь происходит преобразование световой энергии в энергию химических связей, что является центральным событием фотосинтеза



Перемещение электронов к реакционному центру

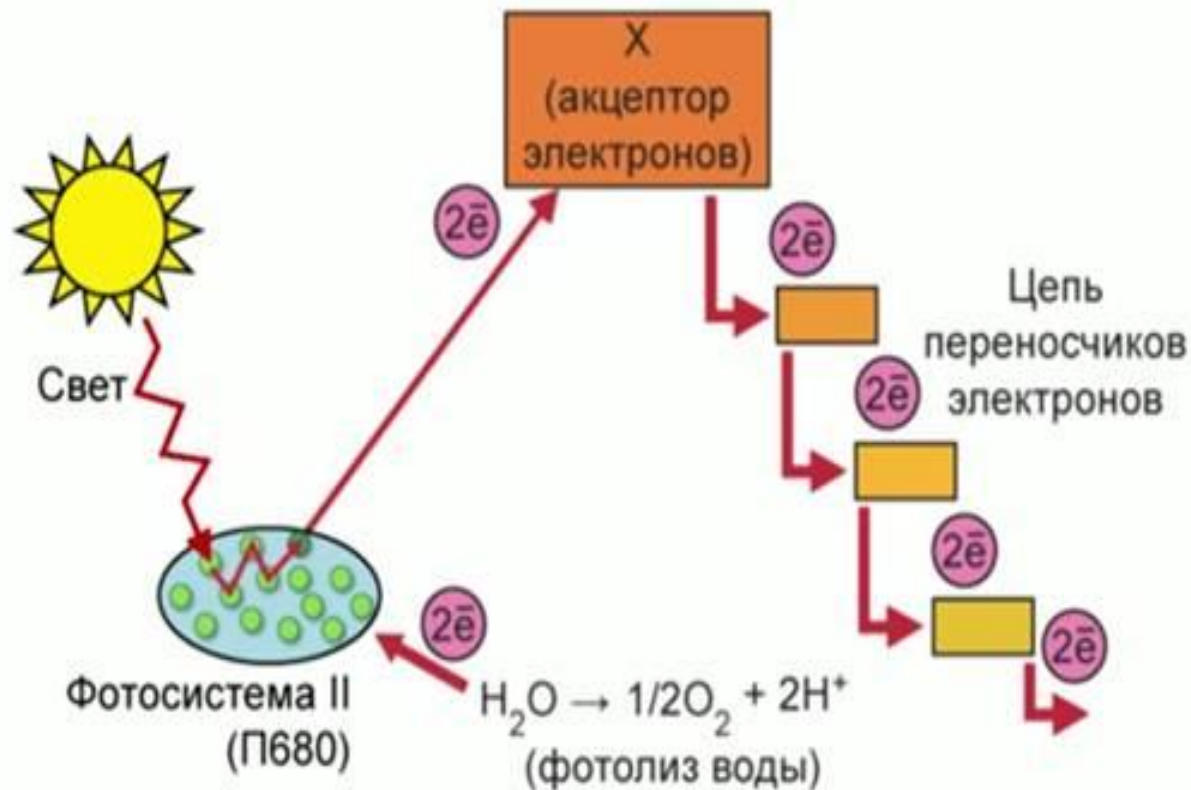
# Фазы фотосинтеза

- Фотосинтез происходит в две фазы, а именно в **световую фазу** и **темновую фазу**.

- Во время **световой фазы** происходит образование энергии, которая затем расходуется на темновые реакции.
- Процесс световой фазы фотосинтеза включает в себя **нециклическое фотофосфорилирование и фотолиз воды**.

- В качестве побочного продукта реакции в результате фотолиза воды выделяется кислород. Реакция происходит на мембранах тилакоидов.

- Квант красного света, поглощенный хлорофиллом П680 (фотосистема II), переводит электрон в возбужденное состояние



- Возбужденный светом электрон приобретает большой запас энергии, вследствие чего перемещается на более высокий энергетический уровень. Такой электрон захватывается акцептором электронов X, перемещаясь с одной ступени на другую, то есть от одного акцептора к другому, он теряет энергию, которая используется для СИ

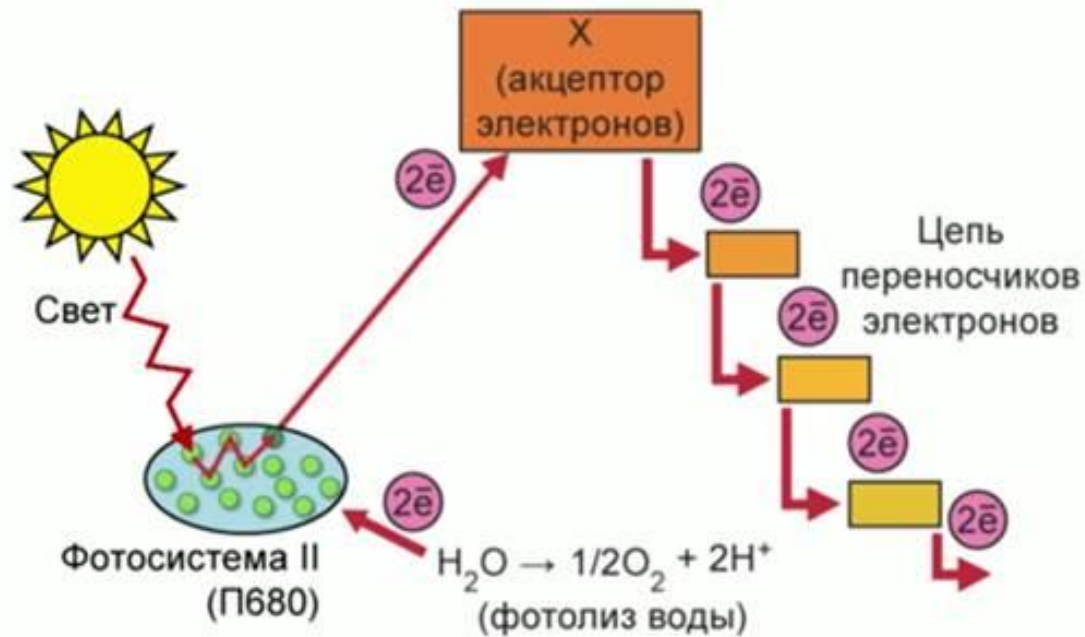
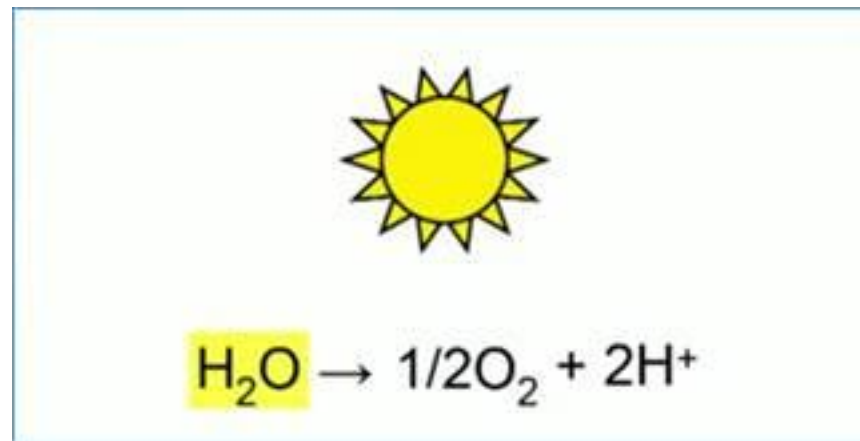


Схема процессов световой фазы фотосинтеза

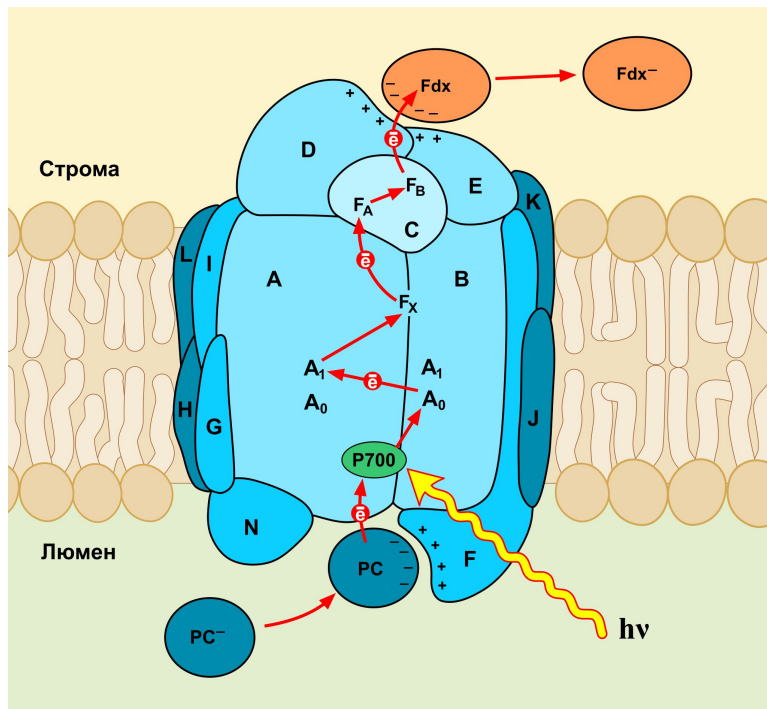
- Место вышедших электронов молекулы хлорофилла П680, занимают электроны воды, так как вода под действием света подвергается фотолизу, где в качестве побочного продукта образуется кислород. Фотолиз происходит в полости тилакоида

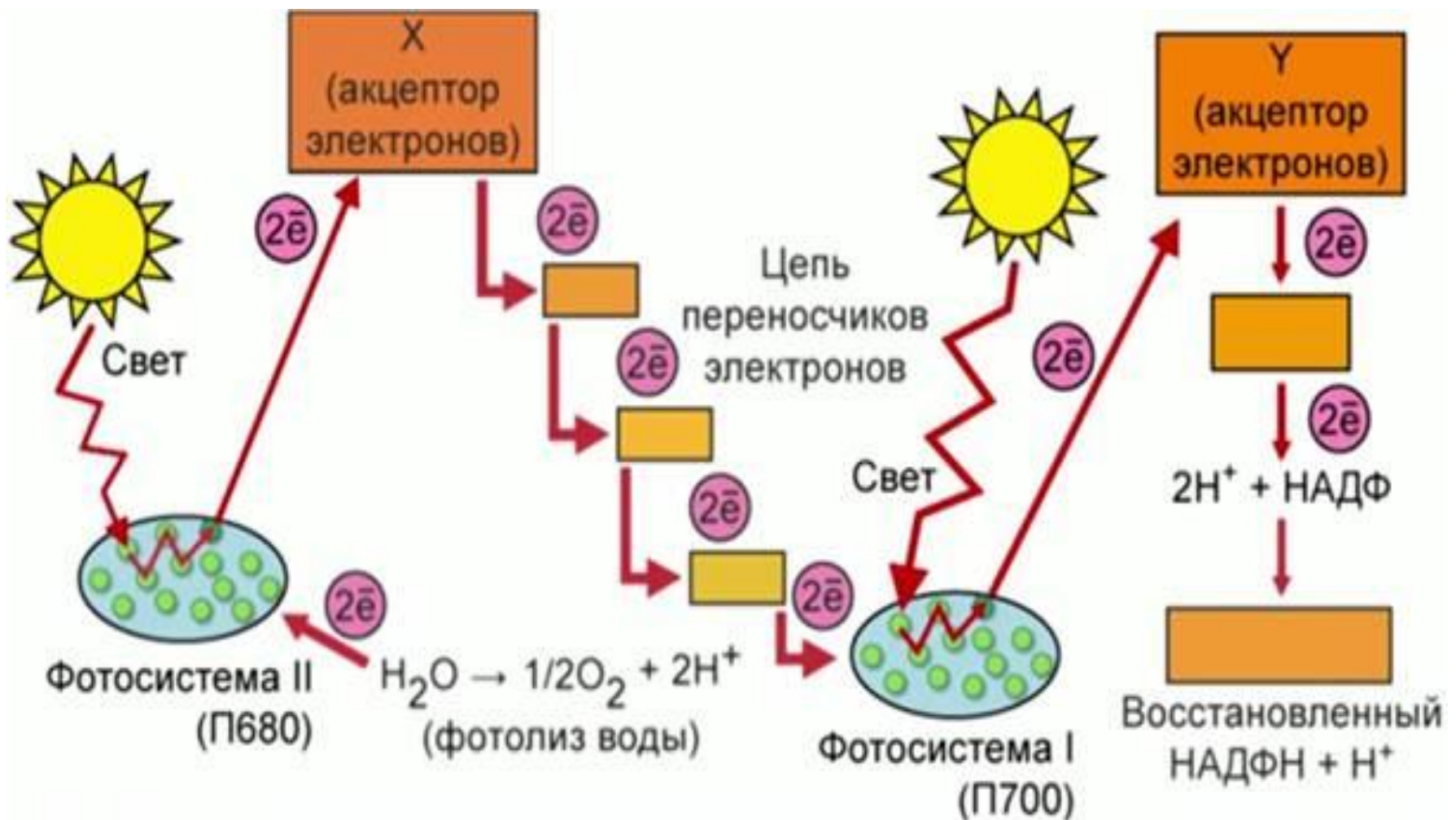


Фотолиз  
ВОДЫ



- В фотосистеме I возбужденные электроны под действием фотона света также переходят на более высокий уровень и захватываются акцептором Y. В конце концов, электроны доходят от Y до переносчика – НАДФ, и, взаимодействуя с ионами водорода, выделенными при фотолизе воды, образуют восстановленный НАДФН. НАДФ расшифровывается как – никотинамидадениндинуклеотидфосфат.

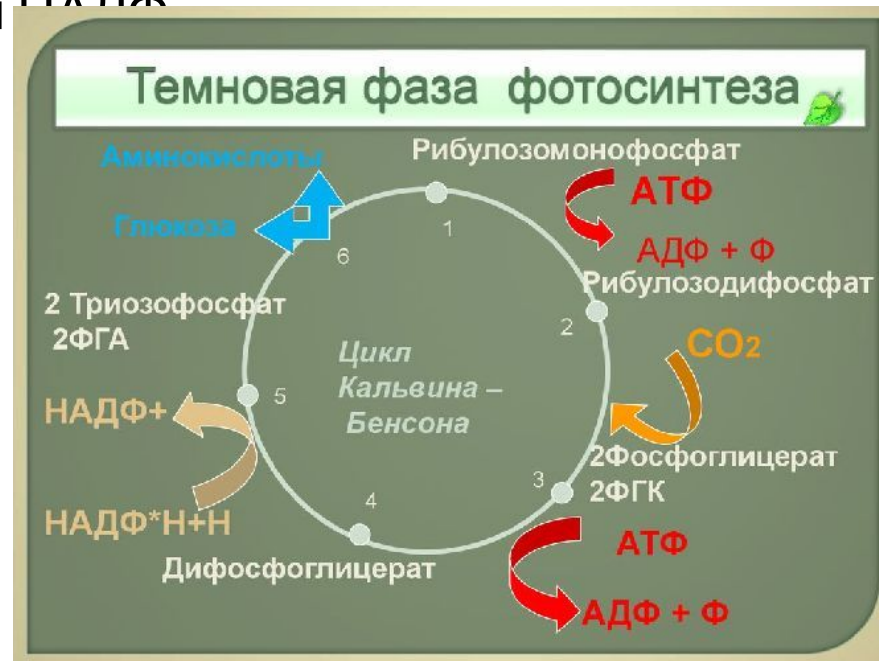




Место вышедших электронов в молекуле П700 занимают электроны, полученные от фотосистемы II П680. Таким образом, на свету электроны перемещаются от воды к фотосистемам II и I, и затем к НАДФ. Такой однонаправленный поток электронов носит название нециклического потока электронов, а образование АТФ, которое при этом происходит, носит название **нециклического фотофосфорилирования**. Таким образом, в световой фазе образуются АТФ и восстановленный НАДФ, богатые энергией, и в качестве побочного продукта

# Темновая фаза фотосинтеза

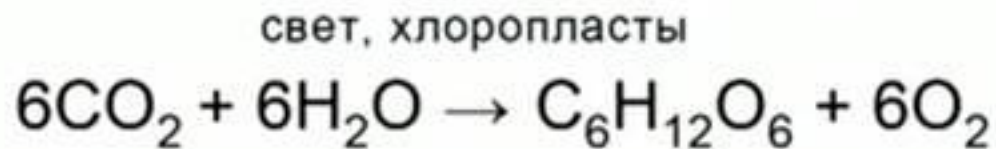
- Если световая фаза протекает только на свету, то темновая фаза не зависит от света. Темновая фаза протекает в строме хлоропластов, куда переносятся богатые энергией соединения, а именно АТФ и восстановленный НАДФ, кроме этого, туда же поступает углекислый газ в качестве источника углеводов, который берется из воздуха и поступает в растения через устьица. В реакциях темновой фазы углекислый газ восстанавливается до глюкозы с помощью энергии, запасенной молекулами АТФ и НАДФ.



- Превращение углекислого газа в глюкозу в ходе темновой фазы фотосинтеза получило название **цикла Кальвина** – по имени его первооткрывателя.

- **Первая стадия фотосинтеза – световая** – происходит на мембранах хлоропласта в тилакоидах.
- **Вторая стадия фотосинтеза – темновая** – протекает внутри хлоропласта, в строме.

- Суммарное уравнение фотосинтеза выглядит следующим образом. При взаимодействии 6 молекул углекислого газа и 6 молекул воды образуется одна молекула глюкозы и выделяется шесть молекул кислорода. Этот процесс протекает на свету в хлоропластах у высших растений.



# Значение фотосинтеза

- В результате фотосинтеза растения накапливают органические вещества и обеспечивают постоянство углекислого газа и кислорода в атмосфере.
- В верхних слоях воздушной оболочки из кислорода образуется озон, который имеет химическую формулу  $O_3$ .
- Озоновый экран защищает все живое нашей планеты от проникновения опасных коротковолновых ультрафиолетовых лучей.

- К. А. Тимирязев говорил: «Едва ли какой процесс, совершающийся на поверхности Земли, заслуживает в такой степени всеобщего внимания, как тот далеко еще не разгаданный процесс, который происходит в зеленом листе, когда на него падает луч солнца. Рассматриваемый с химической точки зрения, – это тот процесс, в котором неорганическое вещество, углекислота и вода превращается в органическое. Рассматриваемый с физической, динамической точки зрения, – это тот процесс, в котором живая сила солнечного луча превращается в химическое напряжение, в запас работы. Рассматриваемый с той и другой точки зрения это процесс, от которого в конечной инстанции, зависят все проявления жизни на





# Пигменты хлоропластов

- Все фотосинтезирующие организмы содержат пигменты, которые способны улавливать солнечный свет, а именно видимую часть солнечного спектра, запуская тем самым реакции фотосинтеза. Из фотосинтезирующих организмов, в частности из растений, пигменты экстрагируют с помощью различных растворителей, таких как спирт и ацетон.
- Затем разделение пигментов осуществляется с помощью хроматографии. Впервые это на колонке сорбентов проделал русский ученый М. С. Цвет в 1903 г. – в качестве сорбента он использовал мел и сахарную пудру

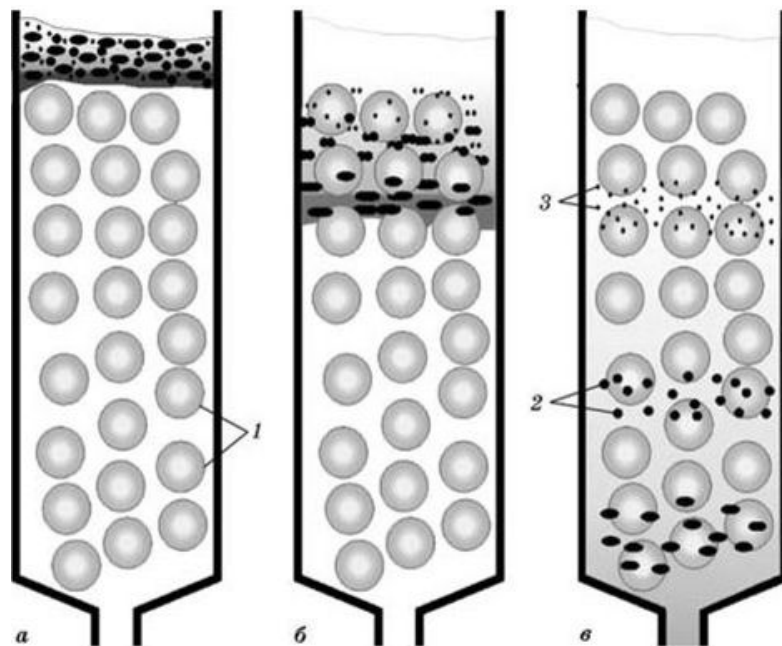


Адсорбционная колонка, предложенная М. С. Цветом (На фото)

- М. С. Цвет изобрел принципиально новый метод разделения пигментов, и выделил следующие пигменты: хлорофилл а, хлорофилл b и несколько фракций желтых пигментов



- Метод адсорбционной хроматографии сейчас широко используется в научной практике для разделения веществ.



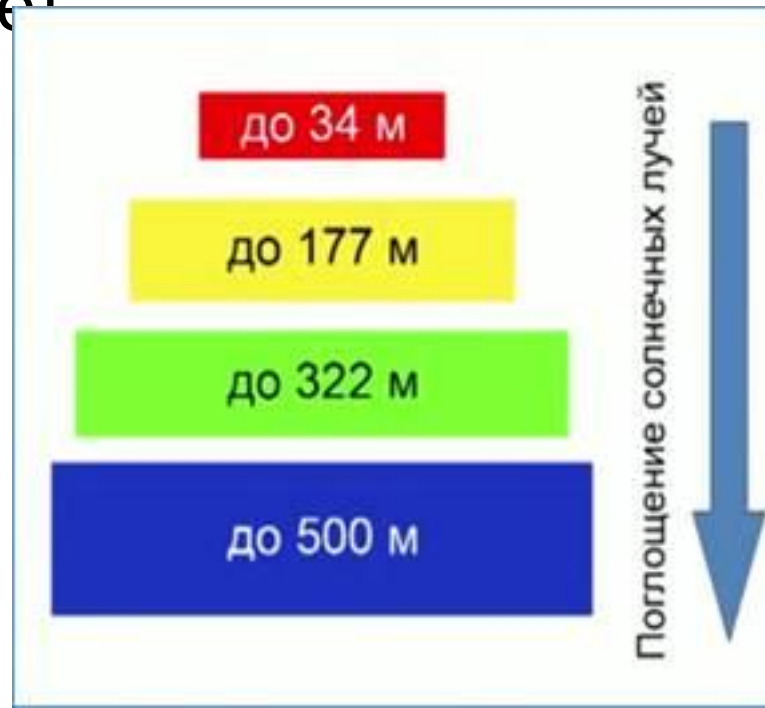
- Растительные организмы содержат несколько видов пигментов, которые выполняют определенные функции.
- Как правило, в пластидах высших растений и водорослей содержится три класса основных пигментов – хлорофиллы, каротиноиды и фикобилины. Хлорофиллы и каротиноиды, как правило, нерастворимы в воде, а фикобилины растворимы.

- Распространение пигментов у фотосинтезирующих эукариотических организмов.

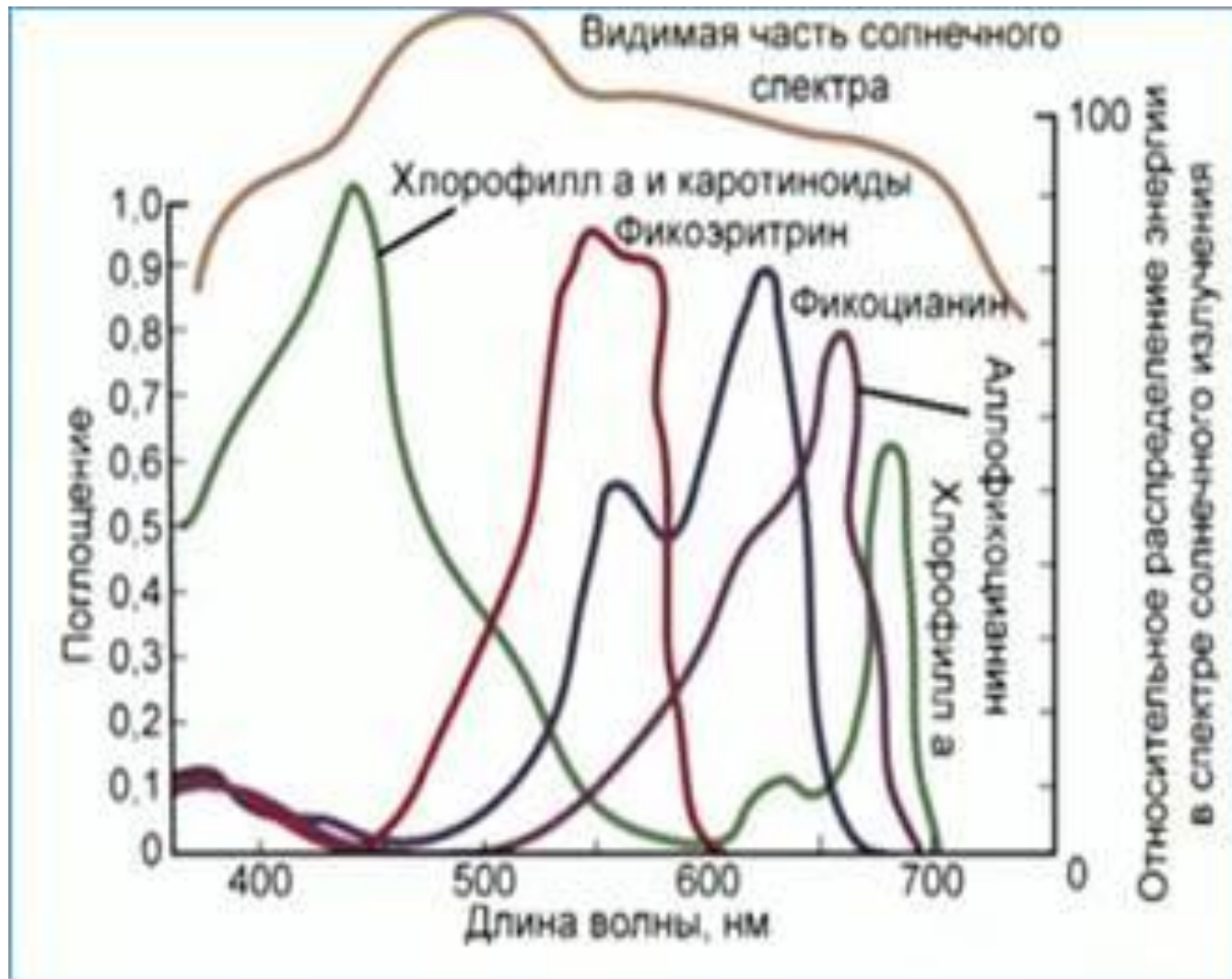
Организмы	Хлорофилл			Каротиноиды	Фикобилины
	a	b	c		
Семенные растения	+	+	-	+	-
Мхи, папоротники	+	+	-	+	-
Зеленые водоросли	+	+	-	+	-
Эвгленовые водоросли	+	+	-	+	-
Бурые водоросли	+	-	+	+	-
Красные водоросли	+	-	-	+	+

- Хлорофилл а встречается у всех представленных в таблице фотосинтезирующих организмов, потому что он является главным пигментом фотосинтеза.
- Каротиноиды в качестве вспомогательных пигментов также встречаются у всех представленных в таблице фотосинтезирующих организмов, тогда как фикобилины находятся только у красных водорослей.

- Наличие пигментов связано и с распространением фотосинтезирующих организмов вглубь мирового океана.
- Например, зеленые водоросли распространены до 30 м, поскольку более активно поглощают красный свет.



- Фикобилины поглощают свет в желто-зеленых областях спектра.





- Эта особенность позволяет красным водорослям, живущим в глубине моря, осуществлять фотосинтез, используя слабый голубоватый зеленый свет, который проникает



Кроме этого, в красных водорослях содержится **фикоэритрин** – или фикобилин красного цвета. Он и придает красным водорослям характерную окраску.

# Полуавтономность хлоропластов

- Хлоропласты, как и митохондрии, являются полуавтономными структурами. Они содержат кольцевую молекулу ДНК, рибосомы и различные формы РНК, то есть собственную белоксинтезирующую систему. Это позволяет им частично обеспечивать себя белком. Кольцевая молекула ДНК характерна также и для бактерий.
- Для эукариотов характерна линейная ДНК. Рибосомы у хлоропластов такие же, как и у бактерий, относящиеся к 70S типу. То есть хлоропласты скорее напоминают бактерии, которые потеряли свою самостоятельность.
- Большой интерес представляет вопрос о возникновении хлоропластов в процессе эволюции. Хлоропласты, независимо от ядра, способны к делению, дифференцировке и синтезу собственных белков. Однако, они все-таки находятся в частичной зависимости от ядра из-за того, что не все необходимые для жизнедеятельности белки могут синтезировать сами.

# Высший уровень знаний))

- Константа седиментации (скорость оседания в ультрацентрифуге) у цитоплазматических **рибосом** эукариотических клеток равняется 80S (большая и малая субъединицы 60S и 40S, соответственно), у **рибосом** бактериальных клеток (а также у **рибосом** митохондрий и пластид) — 70S (большая и малая субъединицы 50S и 30S, соответственно).

## 70S рибосомы



ПРОКАРИОТЫ

+

МИТОХОНДРИИ,  
ПЛАСТИДЫ

## 80S рибосомы

ЭУКАРИОТЫ

70S рибосомы

80S рибосомы



**S** - Сведберг

- ЕДИНИЦА ИЗМЕРЕНИЯ КОНСТАНТЫ СЕДИМЕНТАЦИИ
- ПОКАЗЫВАЕТ СКОРОСТЬ ОСАЖДЕНИЯ ПРИ УЛЬТРАЦЕНТРИФУГИРОВАНИИ
- ИСПОЛЬЗУЕТСЯ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ РАЗМЕРОВ ЧАСТИЦ

- Считается, что раньше хлоропласты были свободноживущими цианобактериями, которые поглотила гетеротрофная клетка



Цианобактерии –  
фотосинтезирующие  
прокариоты

- Но по какой-то причине она не переварила цианобактерии, а стала использовать их в качестве симбионтов.
- С течением времени эти свободно живущие цианобактерии, которые вошли в симбиоз с гетеротрофной клеткой, потеряли свою самостоятельность и стали находиться внутри этой клетки в виде органелл. Это событие привело к возникновению фотосинтезирующих организмов.
- К примеру, изолированные клетки млекопитающих могут захватывать путем фагоцитоза хлоропласты, при этом хлоропласты в клетках млекопитающих сохраняют свою структуру и жизнеспособность на протяжении 6 клеточных делений. И выделенные из клеток млекопитающих хлоропласты способны к фотосинтезу.

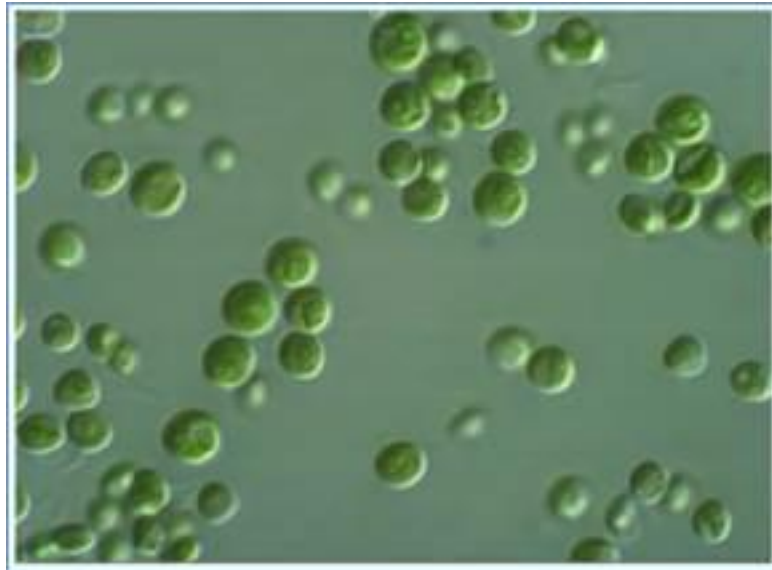
# Эффект усиления Эмерсона

- Впервые идею о существовании двух фотосинтезирующих систем в растениях высказал Роберт Эмерсон, изучая зависимость эффективности фотосинтеза от длины световой волны



Роберт  
Эмерсон

- У одноклеточной водоросли хлореллы он анализировал влияние длины световой волны на квантовый выход фотосинтеза, то есть количество кислорода, выделившегося в процессе фотосинтеза в расчете на 1 квант поглощенной энергии.



- Однако при дальнейшем увеличении длины волны света свыше 685 нм, квантовый выход фотосинтеза резко падал.
- Если же хлореллу освещать и коротковолновым (650 нм) и длинноволновым (700 нм) красным светом суммарный эффект будет больше, чем при действии каждого луча в отдельности. Это явление получило название **эффекта усиления Эмерсона**, и дало возможность Эмерсону предположить, что в растениях существуют две фотосинтезирующие системы, которые должны работать согласованно.