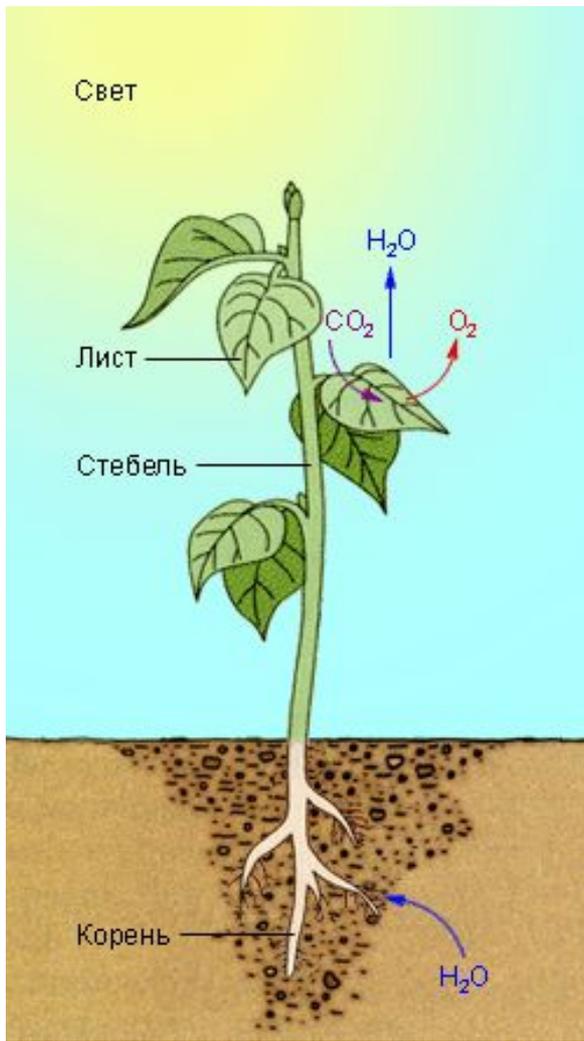


Метаболизм клетки:

Клеточное дыхание.

Фотосинтез, хемосинтез

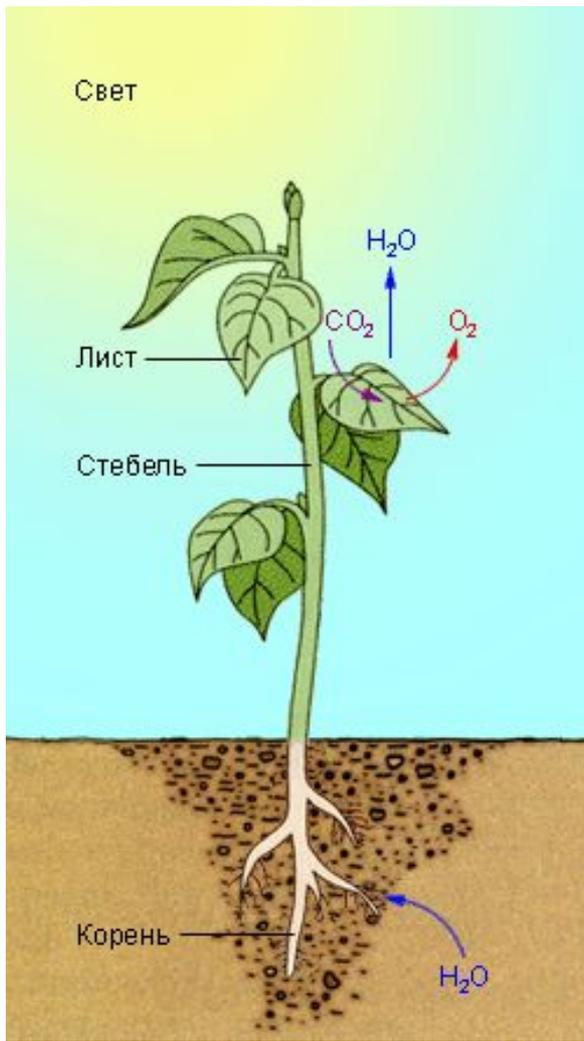
Общая характеристика обмена веществ



Важнейшее свойство живых организмов — **обмен веществ**. Любой живой организм — **открытая система**, которая потребляет из окружающей среды различные вещества и использует их в качестве строительного материала, или как источник энергии и выделяет в окружающую среду продукты жизнедеятельности и энергию.

Совокупность реакций обмена веществ, протекающих в организме, называется **метаболизмом**, состоящим из взаимосвязанных реакций **ассимиляции** (пластического обмена, анаболизма) и реакций **диссимиляции** (энергетического обмена, катаболизма).

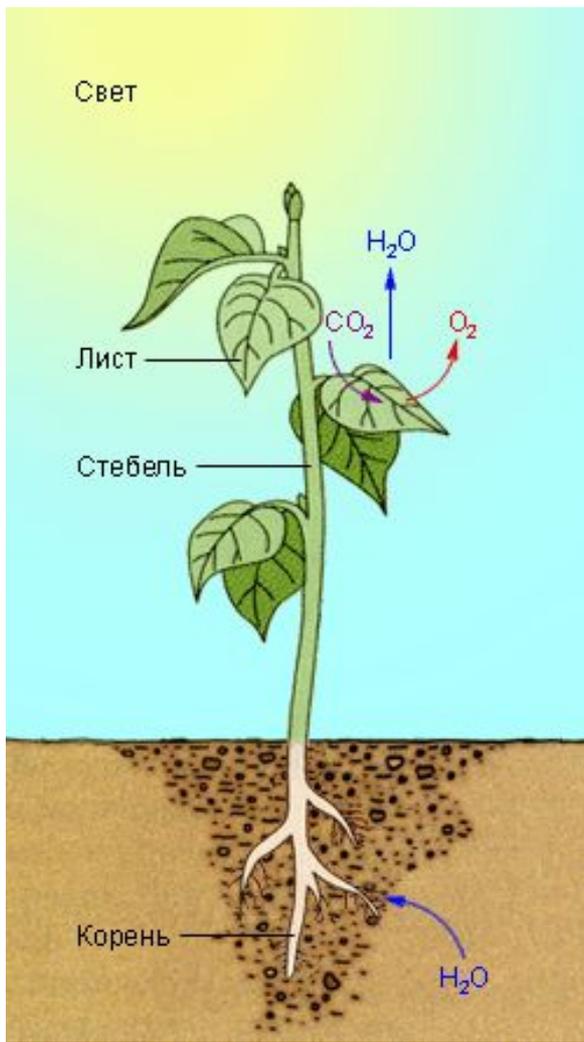
Общая характеристика обмена веществ



Эти две группы реакций *взаимосвязаны*, реакции биосинтеза невозможны без энергии, которая выделяется в реакциях энергетического обмена, реакции диссимиляции не идут без ферментов, образующихся в реакциях пластического обмена.

Для поддержания различных процессов жизнедеятельности, например: для движения, для биосинтеза различных органических соединений, для поглощения веществ — *организму необходимы энергия и строительный материал – органические вещества.*

Общая характеристика обмена веществ



Одна группа организмов (фотавтотрофы) использует **солнечную энергию** для синтеза органических веществ из неорганических;

вторая группа (хемотротрофы) использует энергию, выделяющуюся при окислении **неорганических веществ** для синтеза органических веществ из неорганических;

Третья группа организмов (хемогетеротрофы) окисляет **органические вещества, полученные извне** и использует выделяющуюся при этом энергию. Если организмы в зависимости от условий ведут себя как авто– либо как гетеротрофы, то их называют миксотрофами.

В качестве источника углерода автотрофы используют неорганические вещества (CO₂), а гетеротрофы — органические.

Энергетический обмен (катаболизм, реакции диссимиляции)

Процесс энергетического обмена можно разделить на три этапа:

на первом этапе происходит пищеварение, то есть **сложные органические молекулы** расщепляются до мономеров;

на втором происходит **бескислородное окисление** этих мономеров, **субстратное фосфорилирование**;

последнем этапе происходит **окисление с участием кислорода** в **митохондриях**.

Подготовительный этап.

Под действием ферментов пищеварительного тракта или ферментов лизосом

Сложные органические молекулы расщепляются:

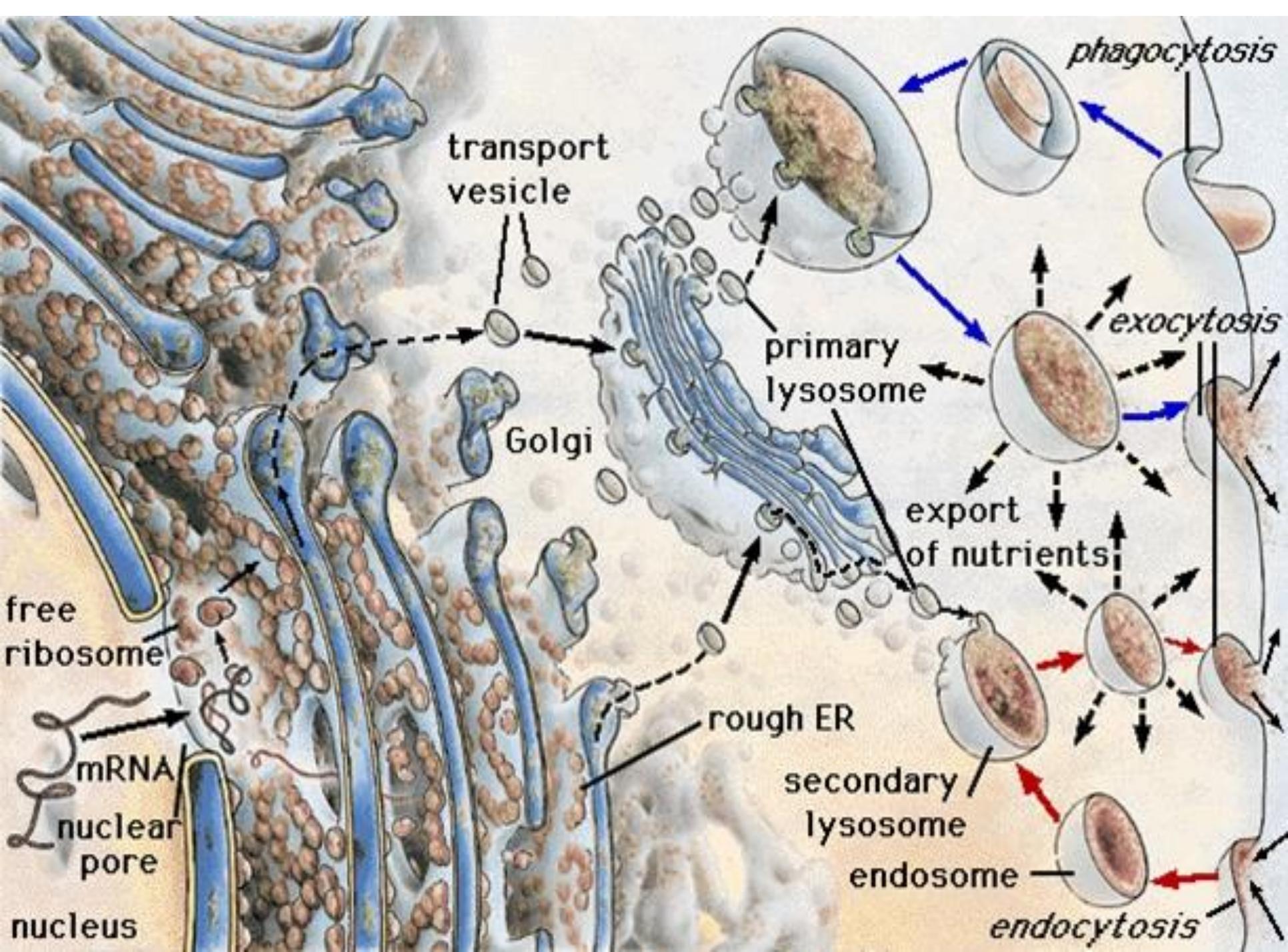
белки до аминокислот

жиры — до глицерина и карбоновых кислот

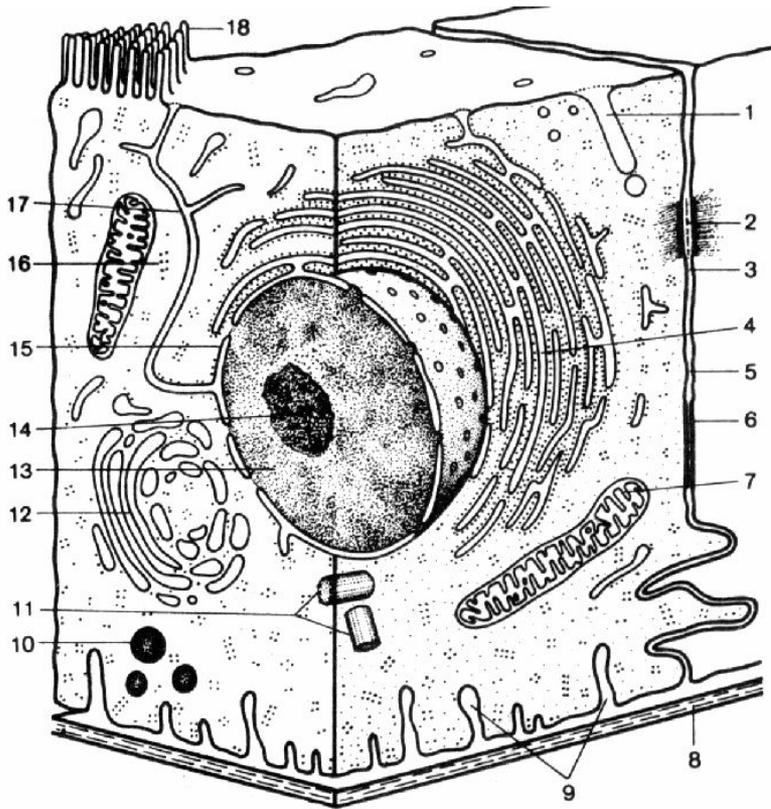
углеводы — до моносахаридов

нуклеиновые кислоты — нуклеотидов

Вся энергия при этом рассеивается в виде тепла.

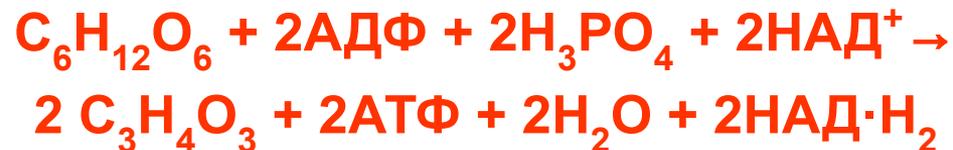


Гликолиз, или бескислородное окисление, субстратное фосфорилирование.

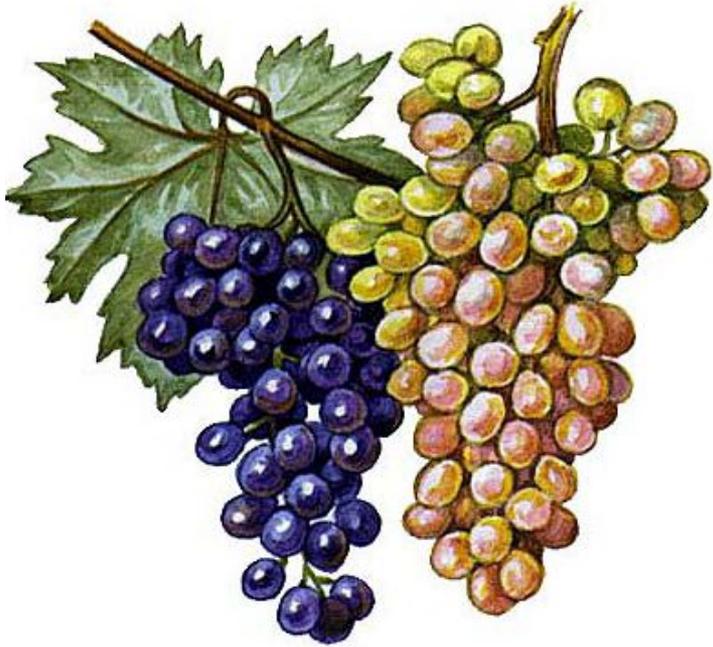


Окисление глюкозы в клетках без участия кислорода происходит путем дегидрирования, акцептором H служит кофермент НАД⁺. Реакции протекают в цитоплазме, **глюкоза** с помощью 10 ферментативных реакций превращается в **2 молекулы ПВК — пировиноградной кислоты** и образуется восстановленная форма переносчика водорода НАД·Н₂ (никотинамидаденин-динуклеотида).

При этом образуется 200 кДж энергии, 120 рассеивается в форме тепла, 80 кДж запасается в форме 2 моль АТФ:



Брожение.

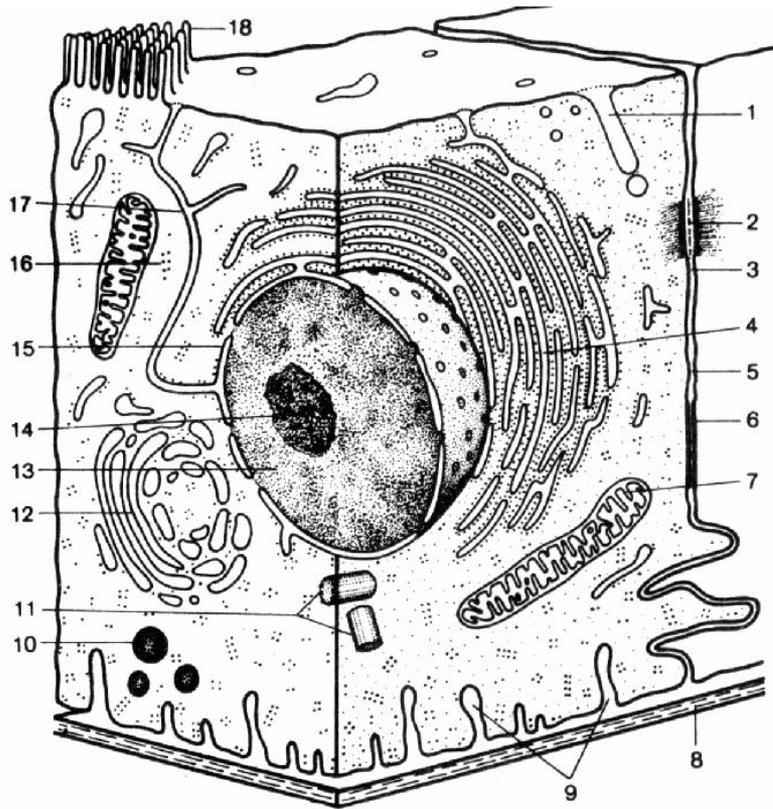


Дальнейшая судьба ПВК зависит от присутствия O_2 в клетке.

Если O_2 нет, происходит **анаэробное брожение (дыхание)**, причем у дрожжей и растений происходит *спиртовое брожение*, при котором сначала происходит образование уксусного альдегида, а затем этилового спирта:



Гликолиз, или бескислородное окисление, субстратное фосфорилирование.



У животных и некоторых бактерий при недостатке O_2 происходит **молочнокислое брожение** с образованием молочной кислоты:



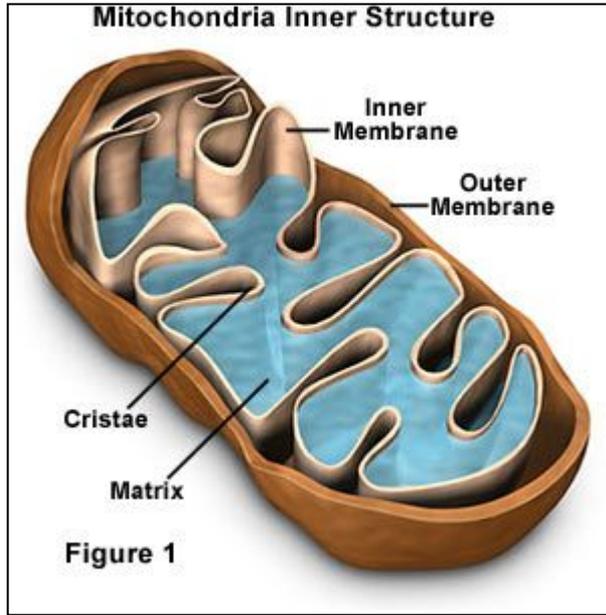
Кислородное окисление - дыхание

	III кислородный этап
Где происходит расщепление?	В митохондриях.
Чем активизируется расщепление?	Ферментами митохондрий.
До каких веществ расщепляются соединения клетки?	Пировиноградная кислота до CO_2 и H_2O
Сколько выделяется энергии?	Более 55% энергии запасается в виде АТФ.
Сколько синтезируется энергии в виде АТФ?	36 молекул АТФ.

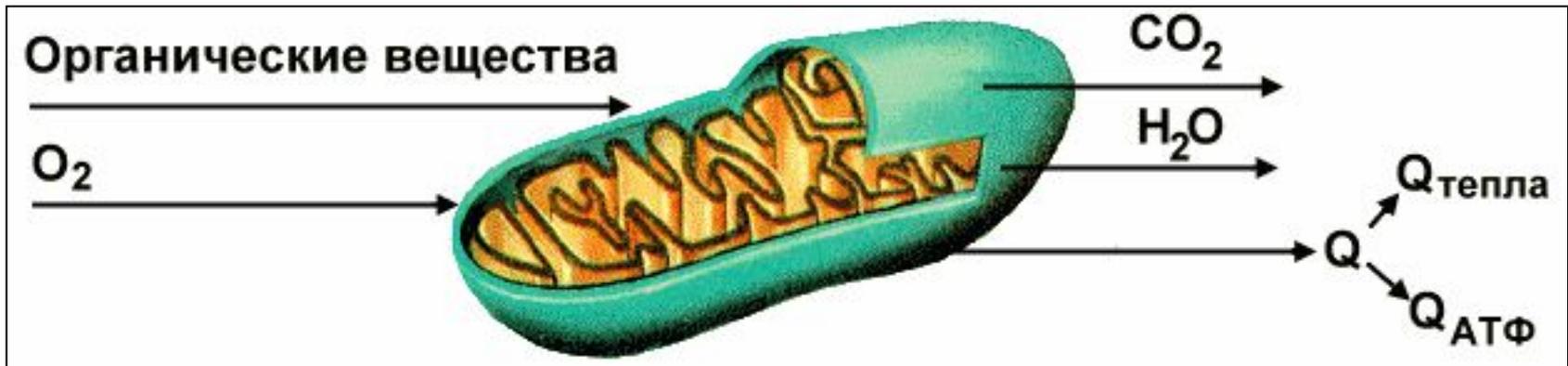
В результате ферментативного бескислородного расщепления глюкоза распадается не до конечных продуктов (CO_2 и H_2O), а до соединений, которые еще богаты энергией и, окисляясь далее, могут дать ее в больших количествах (молочная кислота, этиловый спирт и др.).

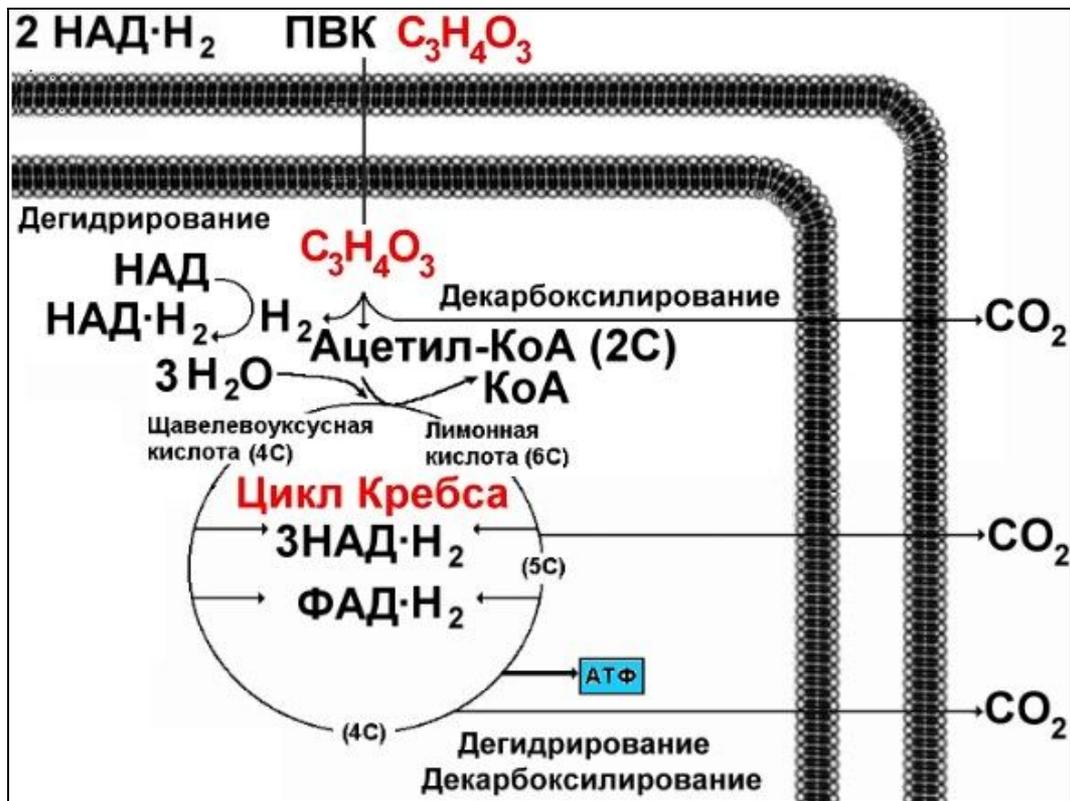
Поэтому в аэробных организмах после гликолиза (или спиртового брожения) следует завершающий этап энергетического обмена — **полное кислородное расщепление, или клеточное дыхание**. В процессе этого третьего этапа органические вещества, образовавшиеся в ходе второго этапа при бескислородном расщеплении и содержащие большие запасы химической энергии, окисляются до конечных продуктов CO_2 и H_2O .

Кислородное окисление - дыхание



Третий этап энергетического обмена — **кислородное окисление**, или **дыхание**, происходит в митохондриях.
Как устроены митохондрии?
Каковы функции митохондрий?
Каково происхождение митохондрий?

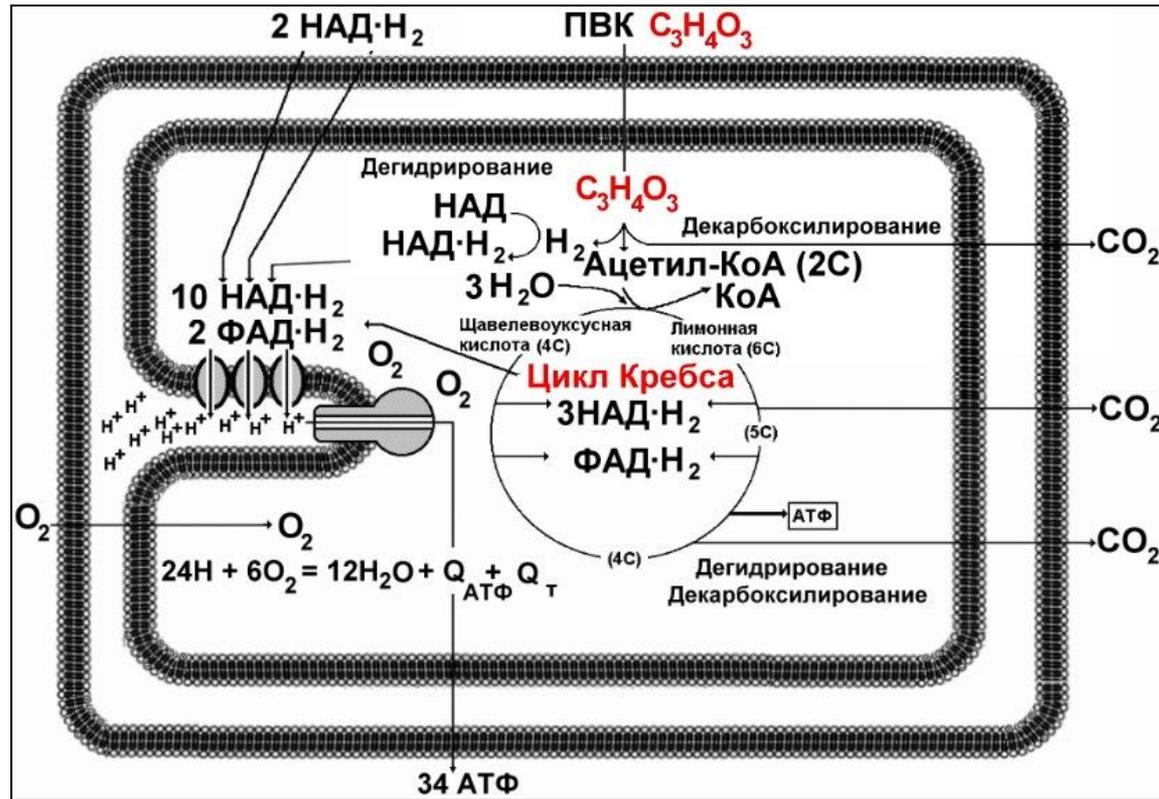




На первом этапе пировиноградная кислота проникает в митохондрии, в матрикс, где происходит ее **дегидрирование** (отщепление водорода) и **декарбоксилирование** (отщепление углекислого газа) с образованием **двууглеродной ацетильной группы**, которая вступает в цикл реакций, получивших название реакций цикла Кребса.

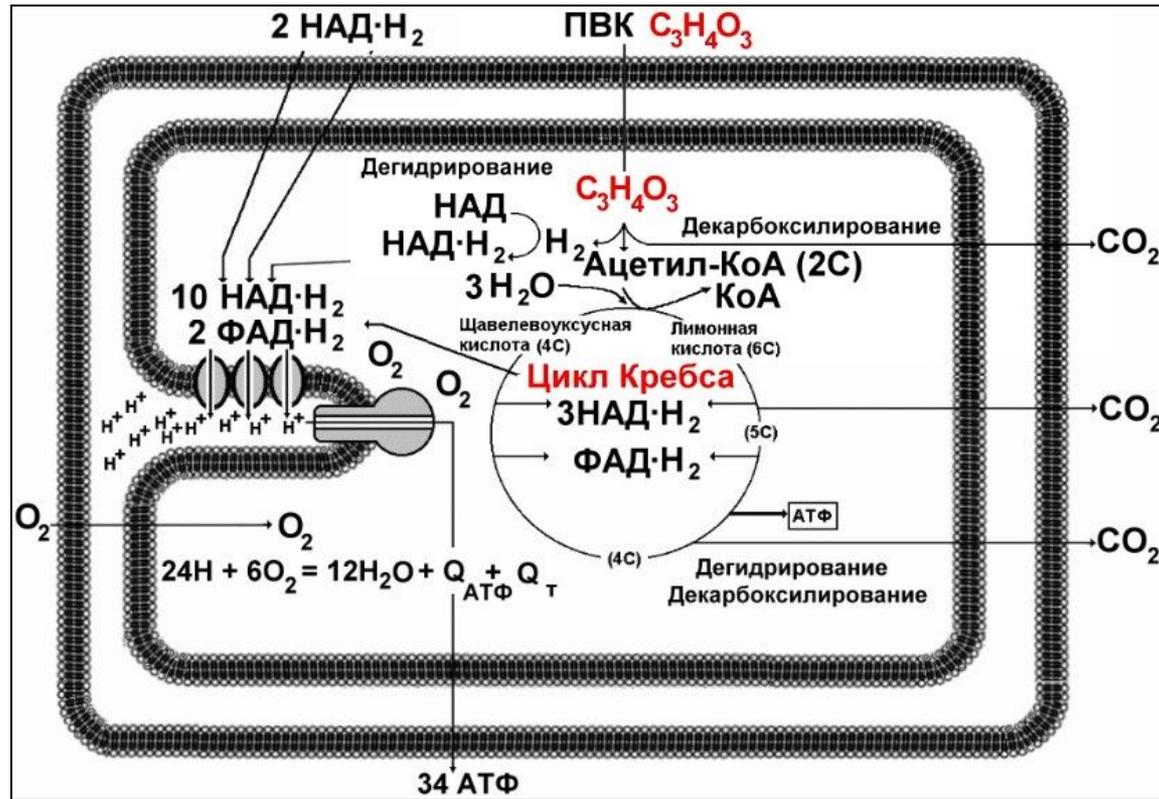
В цикле Кребса происходит дальнейшее окисление, связанное с **дегидрированием и декарбоксилированием**. В результате на каждую разрушенную моль ПВК из митохондрии удаляется 3 моль CO_2 , образуется **5 пар атомов водорода**, связанных с переносчиками ($4 NADH_2$, $FADH_2$), а также моль АТФ.

Кислородное окисление - дыхание



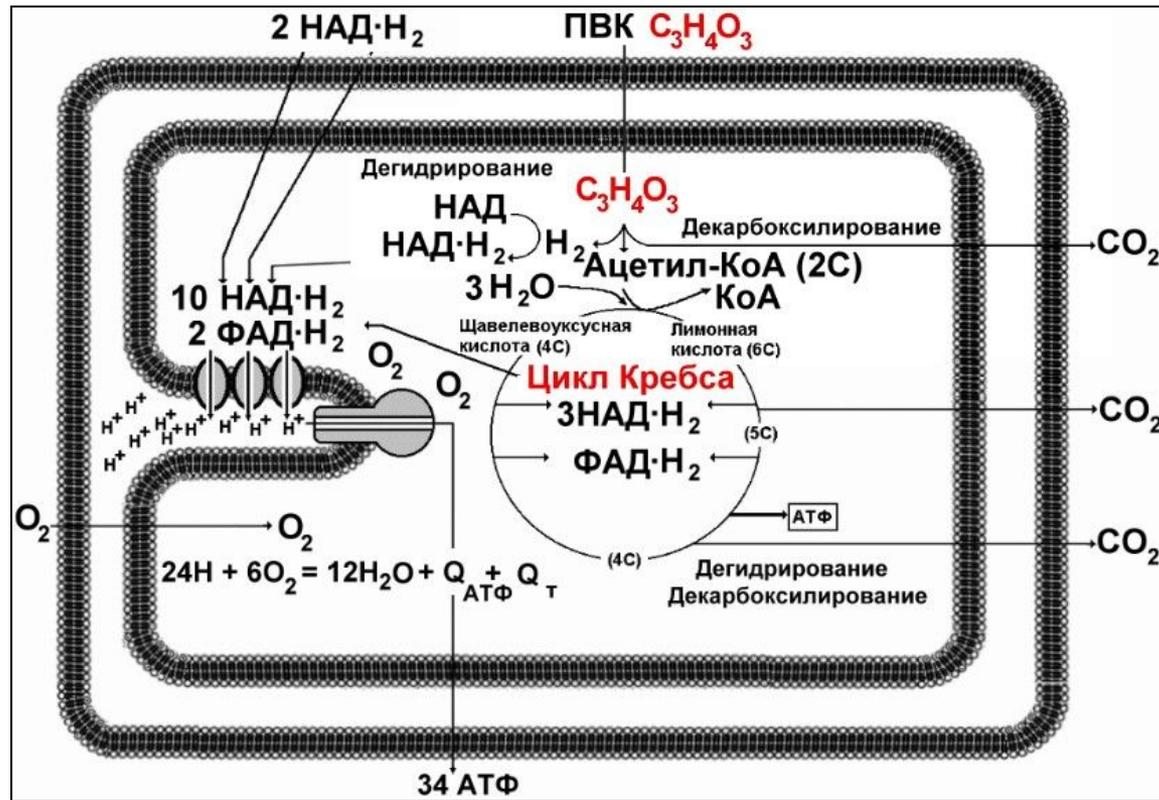
Последним этапом является *окисление пар атомов водорода с участием O₂ до H₂O с одновременным фосфорилированием АДФ до АТФ.* Этот процесс называется окислительным фосфорилированием и происходит на внутренней мембране митохондрий. Водород передается по трем большим ферментным комплексам дыхательной цепи (**флавопротеин, кофермент Q, цитохромы**).

Кислородное окисление - дыхание



У водорода отбираются электроны, а протоны закачиваются в межмембранное пространство митохондрий, в «*протонный резервуар*». Внутренняя мембрана непроницаема для ионов водорода. Электроны передаются по ферментам дыхательной цепи на *цитохромоксидазу*.

Кислородное окисление - дыхание



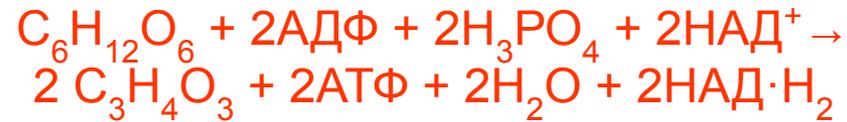
Когда разность потенциалов на внешней и внутренней стороне внутренней мембраны достигает 200 мВ, протоны ($24H^+$) проходят через канал фермента АТФ-синтетазы и происходит восстановление кислорода до воды ($12H_2O$) с выделением энергии, часть которой запасается в форме **34 АТФ**. Таким образом, в митохондрии образуется всего 36 АТФ – 55%, 45% - рассеивается в форме тепла. (2 АТФ в цикле Кребса и 34 при окислительном фосфорилировании).

Кислородное окисление - дыхание

	I подготовительный этап	II бескислородный этап	III кислородный этап
Где происходит расщепление?	В органах пищеварения. В лизосоме в клетке.	Внутри клетки.	В митохондриях.
Чем активизируется расщепление?	Ферментами пищеварительных соков.	Ферментами мембран клеток.	Ферментами митохондрий.
До каких веществ расщепляются соединения клетки?	Белки → аминокислоты. Жиры → глицерин + жирные кислоты. Углеводы → глюкоза.	Глюкоза → 2 молекулы молочной кислоты + энергия.	Пировиноградная кислота до CO_2 и H_2O
Сколько выделяется энергии?	Мало, рассеивается в виде тепла.	За счет 40% - синтезируется АТФ, 60% - рассеивается в виде тепла.	Более 55% энергии запасается в виде АТФ.
Сколько синтезируется энергии в виде АТФ?	—————	2 молекулы АТФ.	36 молекул АТФ.

Кислородное окисление - дыхание

Гликолиз:



При этом образуется 200 кДж энергии, 120 рассеивается в форме тепла, 80 кДж запасается в форме 2 моль АТФ

Суммарная реакция гликолиза и разрушения ПВК в митохондриях до водорода и углекислого газа выглядит следующим образом:



Ферменты дыхательной цепи и АТФ-синтетаза на кристах:



Суммарная реакция энергетического обмена выглядит так:



Если внутренняя мембрана повреждена, то окисление НАД·H₂ продолжается, но не работает АТФ-синтетаза и образования АТФ не происходит, вся энергия выделяется в форме тепла.

Анаболизм

Анаболизм включает в себя процессы синтеза аминокислот, моносахаридов, жирных кислот, нуклеотидов, полисахаридов, макромолекул белков, нуклеиновых кислот, АТФ.

В результате пластического обмена из питательных веществ, поступающих в клетку, строятся свойственные организму белки, жиры, углеводы, которые, в свою очередь, идут уже на создание новых клеток, их органов, межклеточного вещества.

Гетеротрофы синтезируют необходимые им органические вещества из частей полученных ими извне органических же веществ.

Автотрофы могут включать в органическое вещество элементы, пришедшие в их организм в виде молекул неорганических веществ в результате **хемосинтеза** и **фотосинтеза**.

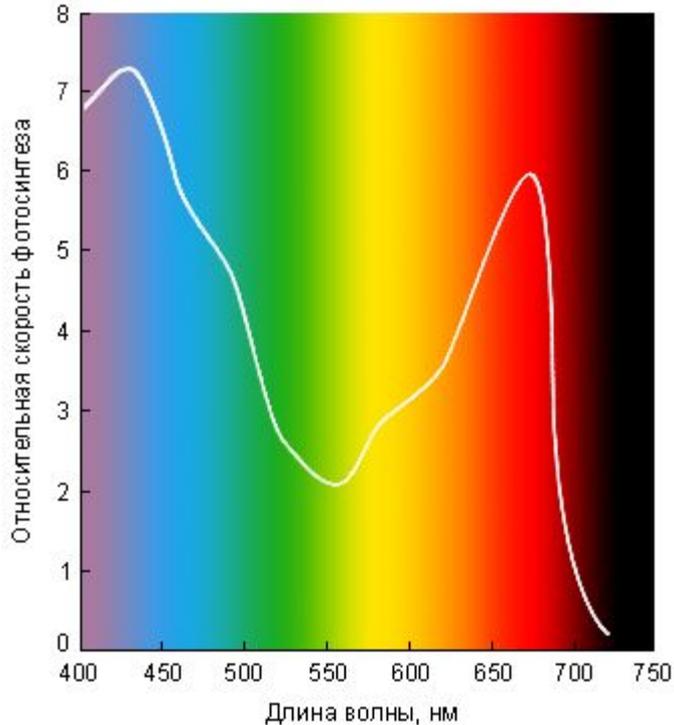
Свет



Фактор, поставляющий энергию для жизнедеятельности фотоавтотрофных организмов и обеспечивающий синтез основной части органического вещества на Земле, поддерживающий определенную температуру на поверхности Земли. Для живых организмов наиболее важны: свет ультрафиолетовой части спектра, видимый свет и инфракрасное излучение.

Жесткий ультрафиолет с длиной волны менее 290 нм губителен для живых клеток, до поверхности Земли не доходит, так как отражается озоновым экраном.

Свет



Мягкий ультрафиолет с длиной волны от 290 до 380 нм несет много энергии и вызывает образование витамина D в коже человека, он же воспринимается органами зрения многих насекомых.

Видимый свет с длиной волны от 380 до 750 нм используется для фотосинтеза фототрофными организмами (растениями, фотосинтезирующими бактериями, сине-зелеными) и животными для ориентации.

Для фотосинтеза используются, в основном, *синие и красные лучи света*.

Свет



Инфракрасная часть солнечного спектра (тепловые лучи) с длиной волны более 750 нм вызывает нагревание предметов, особенно важна эта часть спектра для животных с непостоянной температурой тела — *пойкилотермных*.

Количество энергии, которое несет свет обратно пропорционально длине волны, то есть меньше всего энергии несут инфракрасные лучи.

Фотосинтез

Фотосинтез — процесс образования органических веществ из углекислого газа и воды за счет энергии света при участии фотосинтетических пигментов (хлорофилл у растений, бактериохлорофилл и бактериородопсин у бактерий).

Бесхлорофильный фотосинтез

Осуществляется археями рода *Halobacterium*, является наиболее примитивным типом фотосинтеза, кванты света поглощаются белком-бактериородопсином, имеющим сходство с родопсином в виде наличия ретиналя, этот тип фотосинтеза отличается отсутствием электрон-транспортной цепи, синтез АТФ осуществляется через создание электрохимического градиента протонов или ионов хлора при помощи бактериородопсиновой и галородопсиновой ионной помпы.

Хлорофильный фотосинтез

Аноксигенный

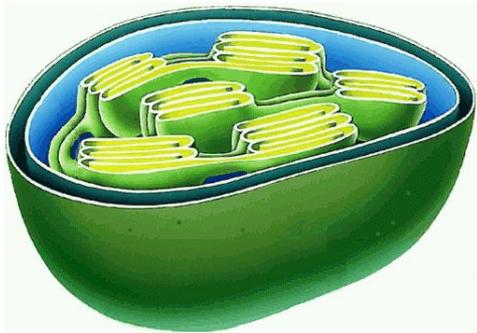
Осуществляется пурпурными и зелеными бактериями, а также геликобактериями.

Оксигенный

Оксигенный фотосинтез распространён гораздо шире.

Осуществляется растениями, цианобактериями и прохлорофитами.

Фотосинтез растений



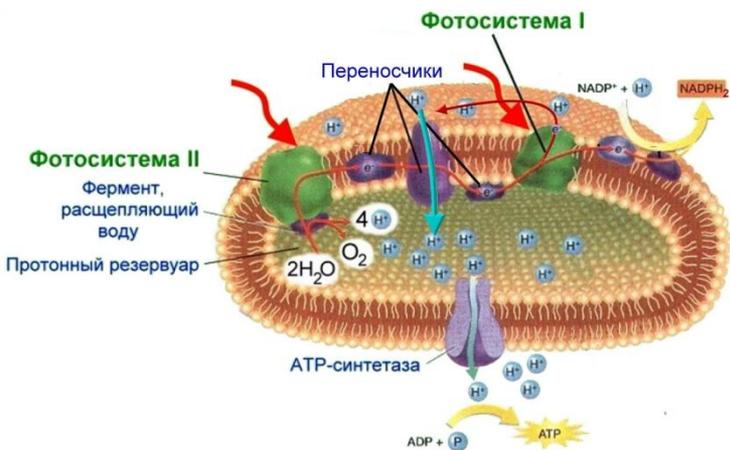
Фотосинтез у растений — процесс образования органических веществ из углекислого газа и воды за счет энергии света, при этом выделяется кислород.

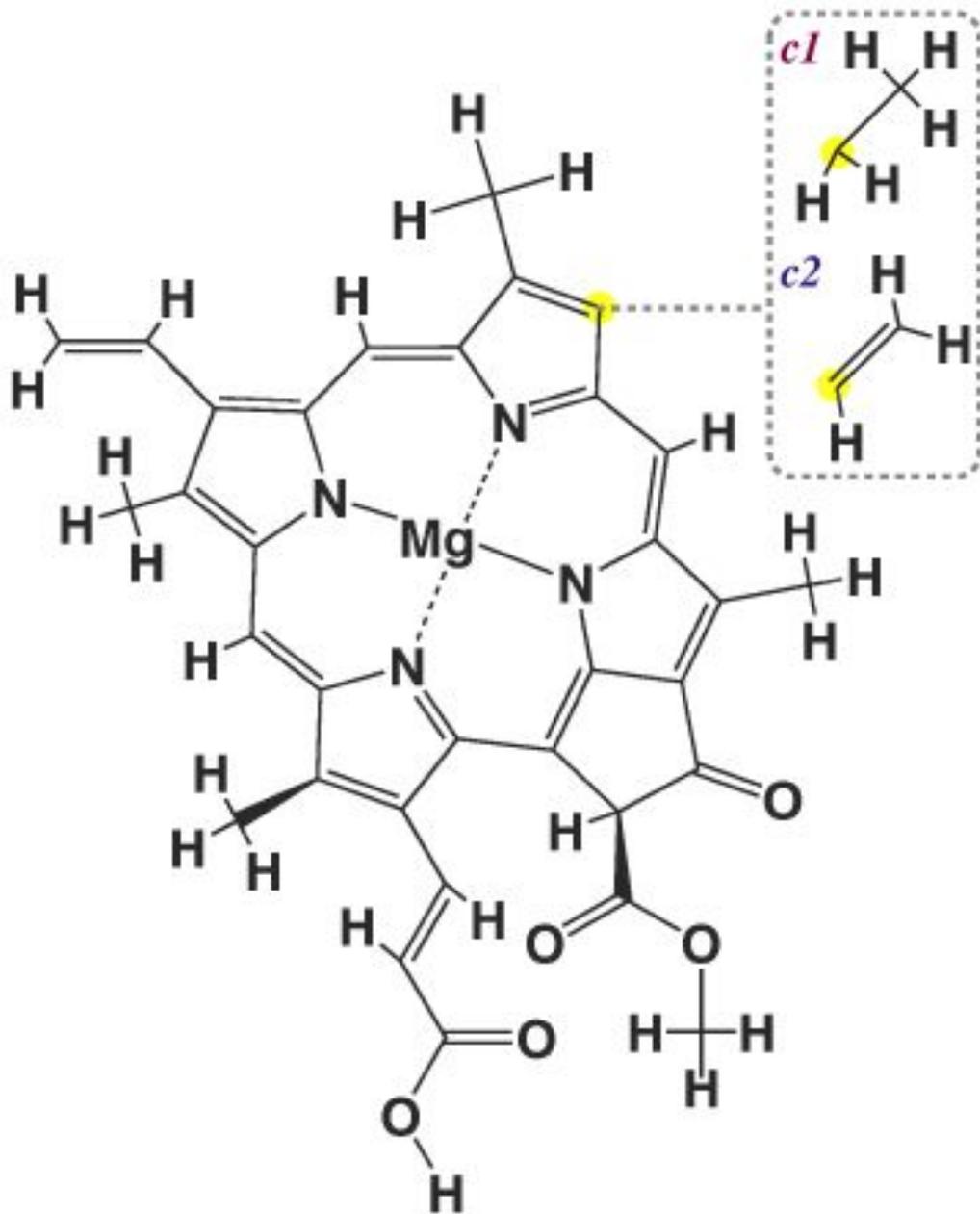


Главным органом фотосинтеза является лист, в клетках которого имеются специализированные органоиды, ответственные за фотосинтез — **хлоропласты**.

В процессе фотосинтеза различают две фазы: **световую** и **темновую**. **Световая фаза** происходит только на свету в **мембранах тилакоидов**.

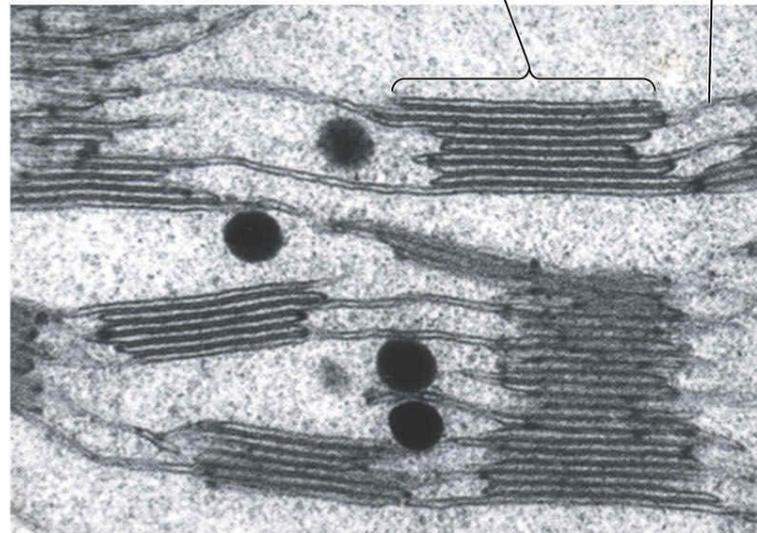
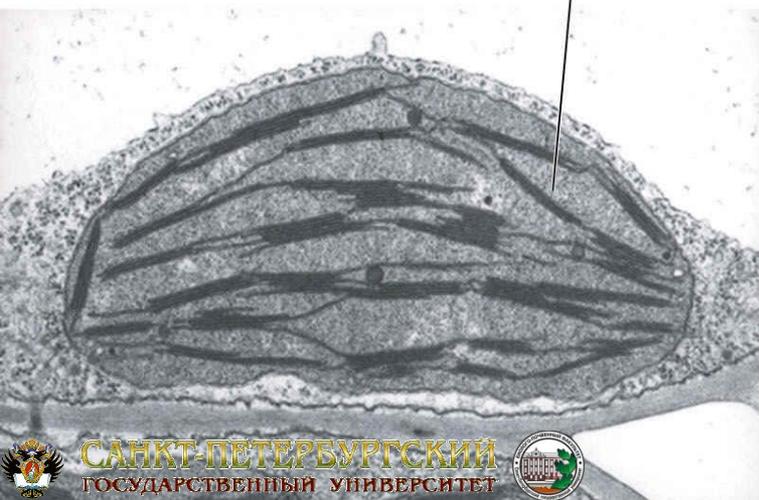
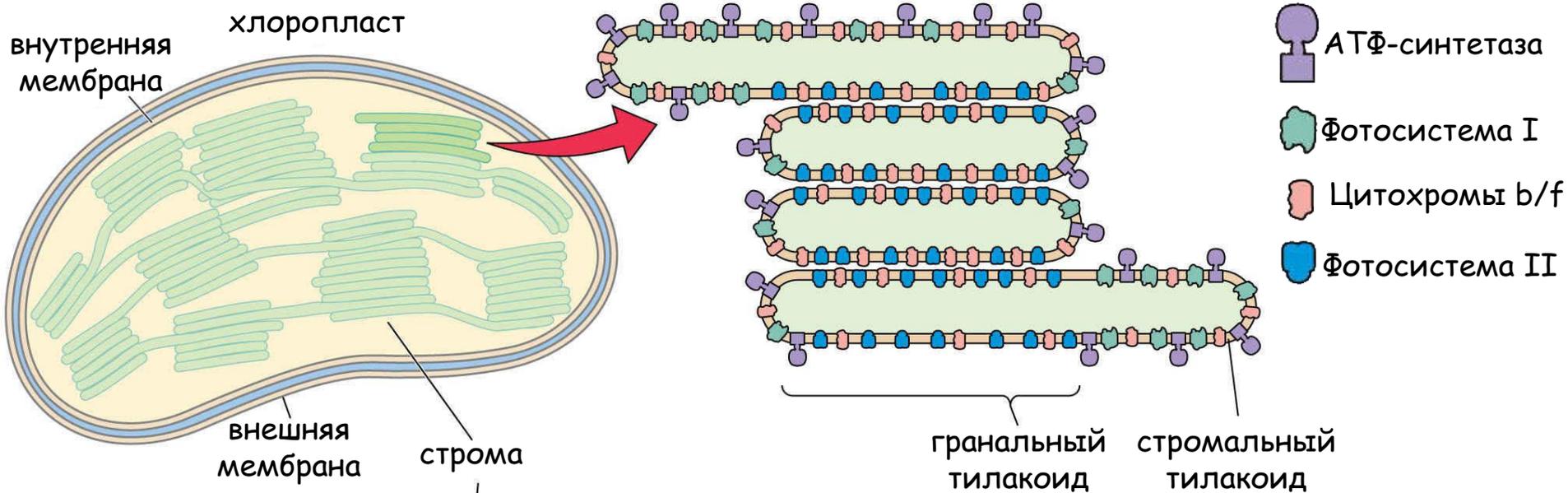
Мембраны тилакоида содержат молекулы хлорофилла, белки цепи переноса электронов и особые ферменты — АТФ-синтетазы.



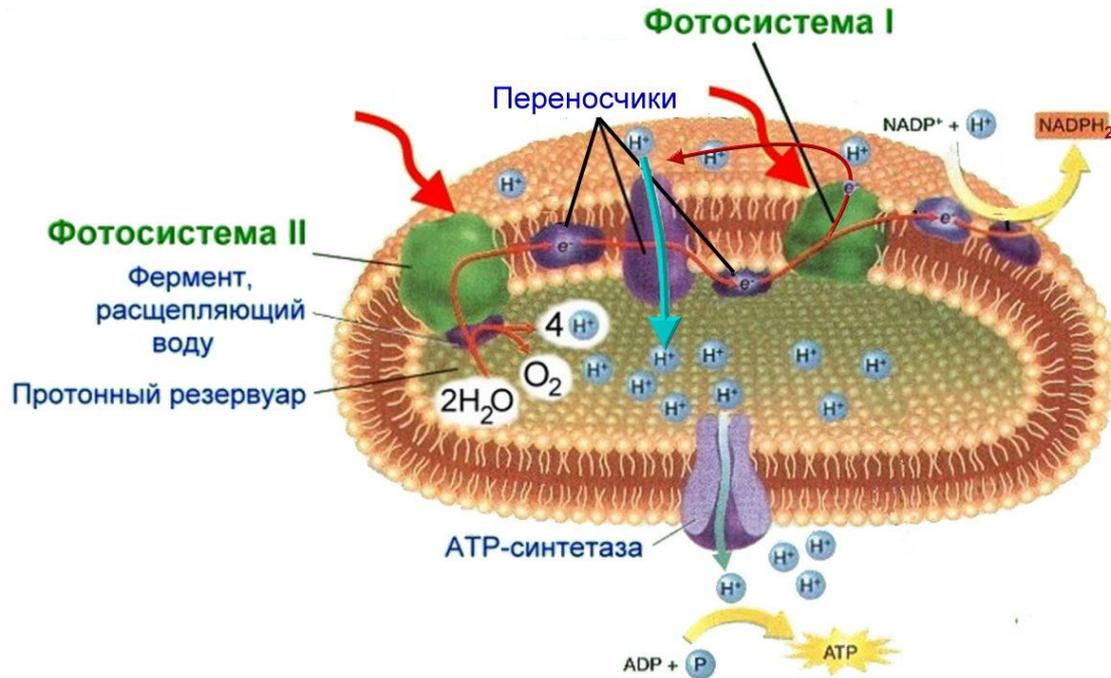


Хлорофилл

Строение хлоропласта и расположение фотосинтетических комплексов



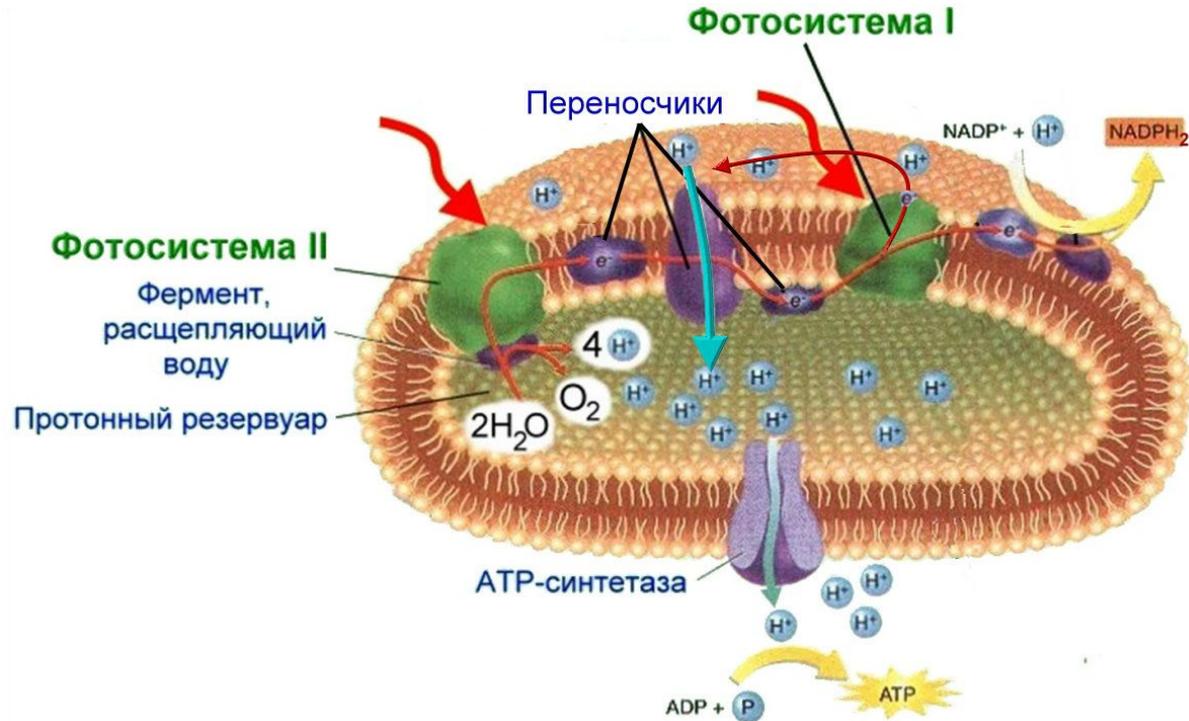
Световая фаза фотосинтеза



Молекулы пигментов 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 O_2 :



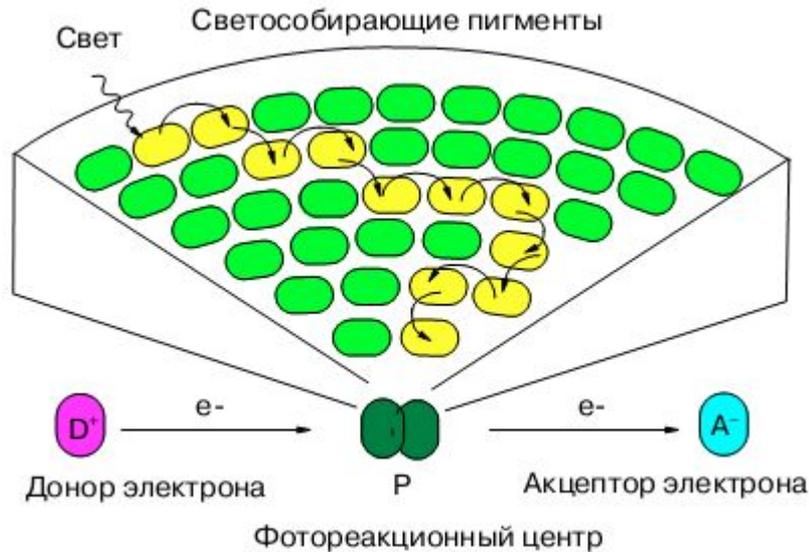
Световая фаза фотосинтеза



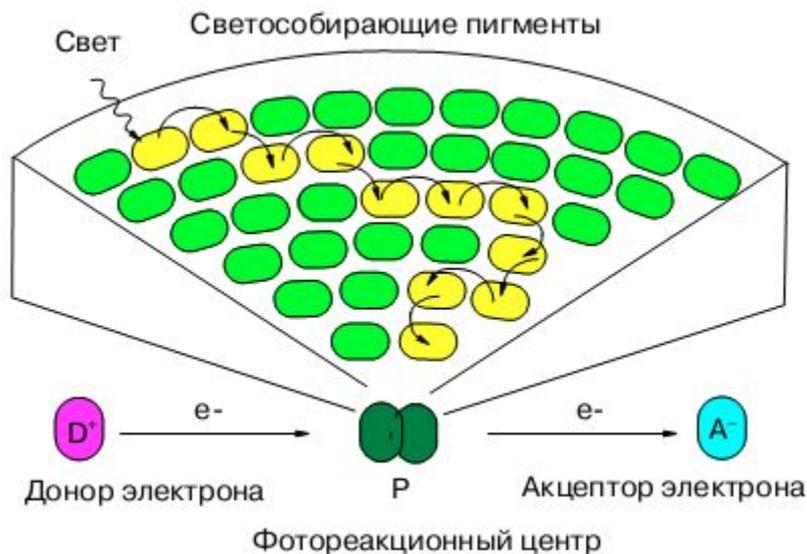
У **сине-зеленых (цианобактерий)**, а затем у всех настоящих растений, кроме фотосистемы-1, появляется **фотосистема-2**, способная разлагать воду с выделением O_2 , способная отбирать электроны у водорода воды:



Антенный комплекс. Фотофизическая стадия.

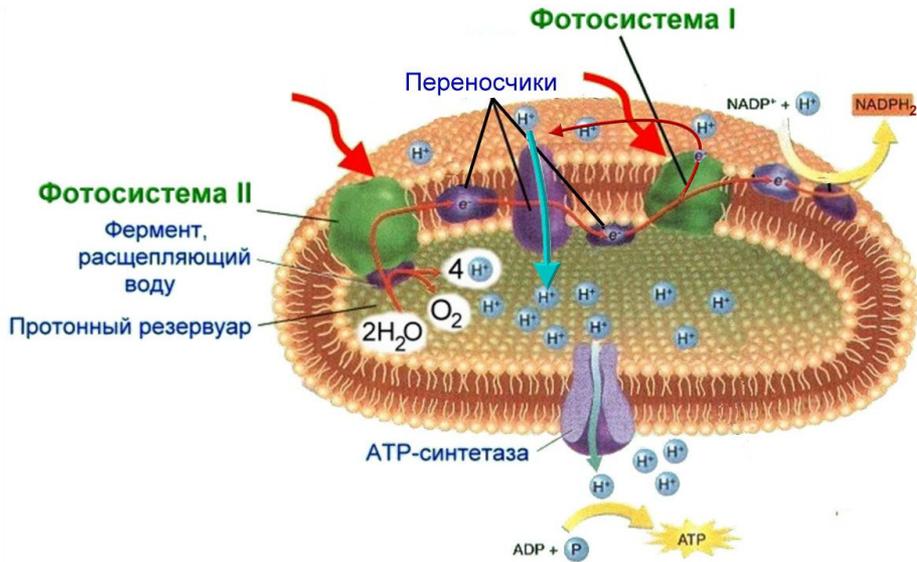


Молекула пигмента поглощает *квант света* и переходит в *возбужденное состояние*, характеризующееся *электронной структурой* с повышенной энергией и способностью легко отдавать электрон.



Каждая фотосистема состоит из светособирающих (антенных) молекул пигментов (хлорофилла *a*, хлорофилла *b*, каротиноидов, фикобилинов) и реакционного центра (РЦ). Реакционный центр, в свою очередь, включает фотоактивный пигмент-ловушку и первичные доноры и акцепторы электронов. Пигмент-ловушка Фотосистемы I поглощает свет с длиной волны 700 нм и обозначается P_{700} (или Π_{700}), а пигмент-ловушка Фотосистемы II поглощает свет с длиной волны 680 нм и обозначается P_{680} (или Π_{680}).

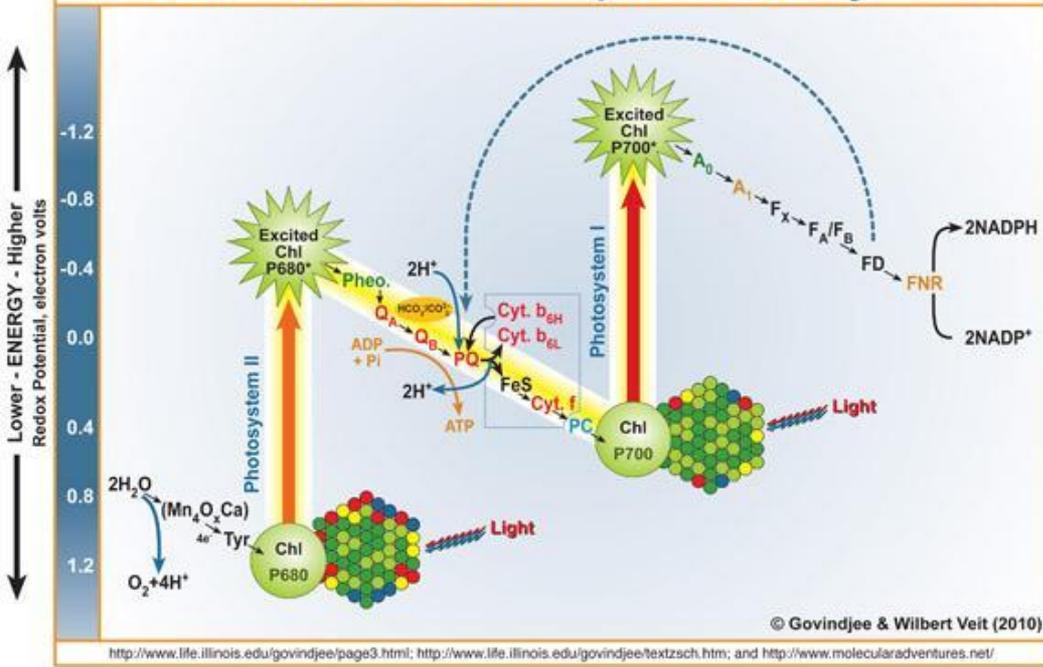
Световая фаза фотосинтеза



Под действием энергии кванта света электроны реакционного центра фотосистемы II (P-680 – реакционный центр, у которого максимум поглощения – световые волны длиной 680 нм). возбуждаются, покидают молекулу и попадают на молекулы переносчиков, встроенные в мембрану тилакоида.

Переносчики передают их на фотосистему I. При этом часть энергии идет на образование молекулы аденозинтрифосфата (АТФ). Окисленные молекулы реакционного центра (P-680) восстанавливаются, разлагая воду — отбирая электроны у водорода воды с помощью особого фермента, связанного с фотосистемой II. Кислород при этом удаляется во внешнюю среду, а протоны накапливаются в протонном резервуаре.

Z-Scheme of Electron Transport in Photosynthesis

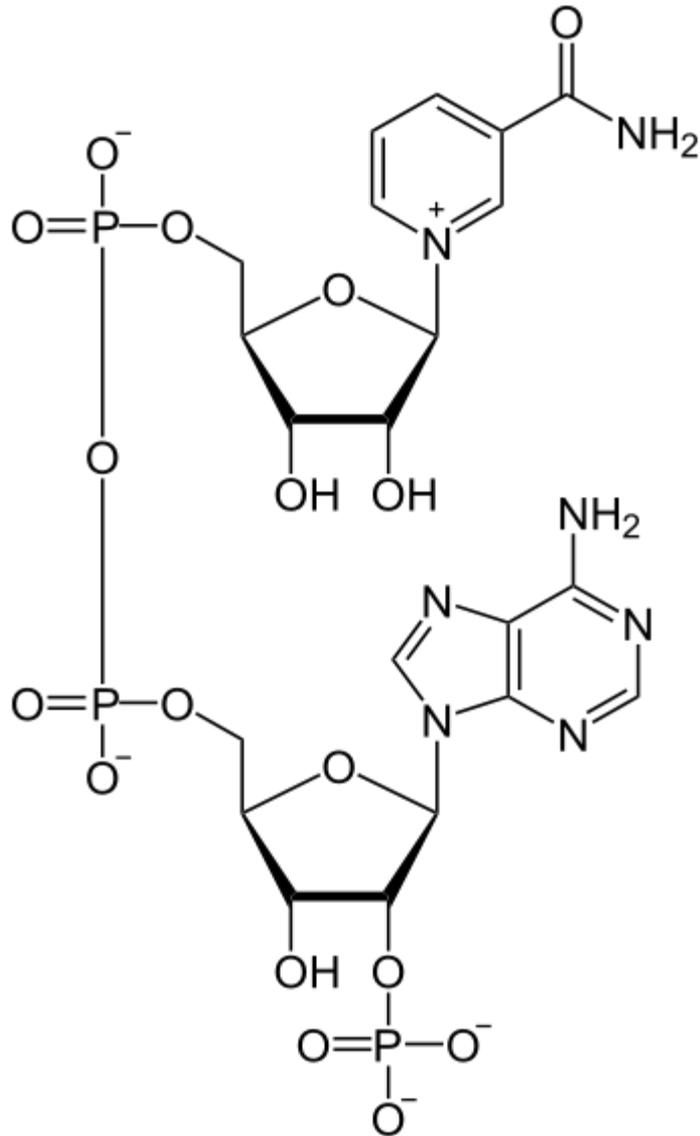


Под действием энергии кванта света электроны реакционного центра фотосистемы I (P-700 – реакционный центр, у которого максимум поглощения – световые волны длиной 700 нм). возбуждаются, также покидают молекулу и попадают на молекулы переносчиков, встроенные в мембрану тилакоида.

Окисленные молекулы реакционного центра (P-700) восстанавливаются, получая электроны от фотосистемы II через электрон-транспортную цепь. Энергия электрона из Фотосистемы I и ионы водорода, образовавшиеся ранее при расщеплении молекулы воды, идут на образование НАДФ-Н, другой молекулы-переносчика.

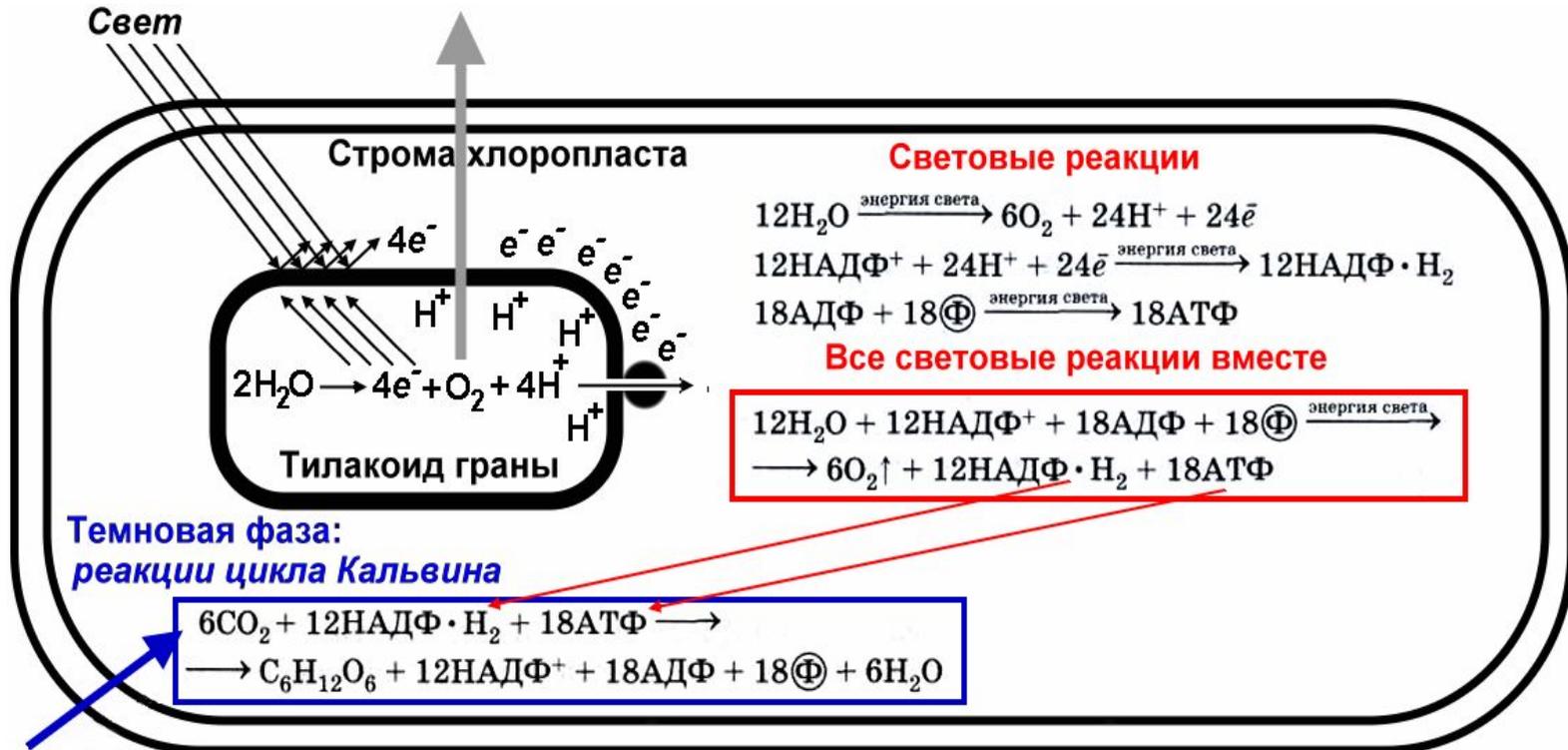
Никотинамидадениндинуклеотидфосфат

(НАДФ, NADP)



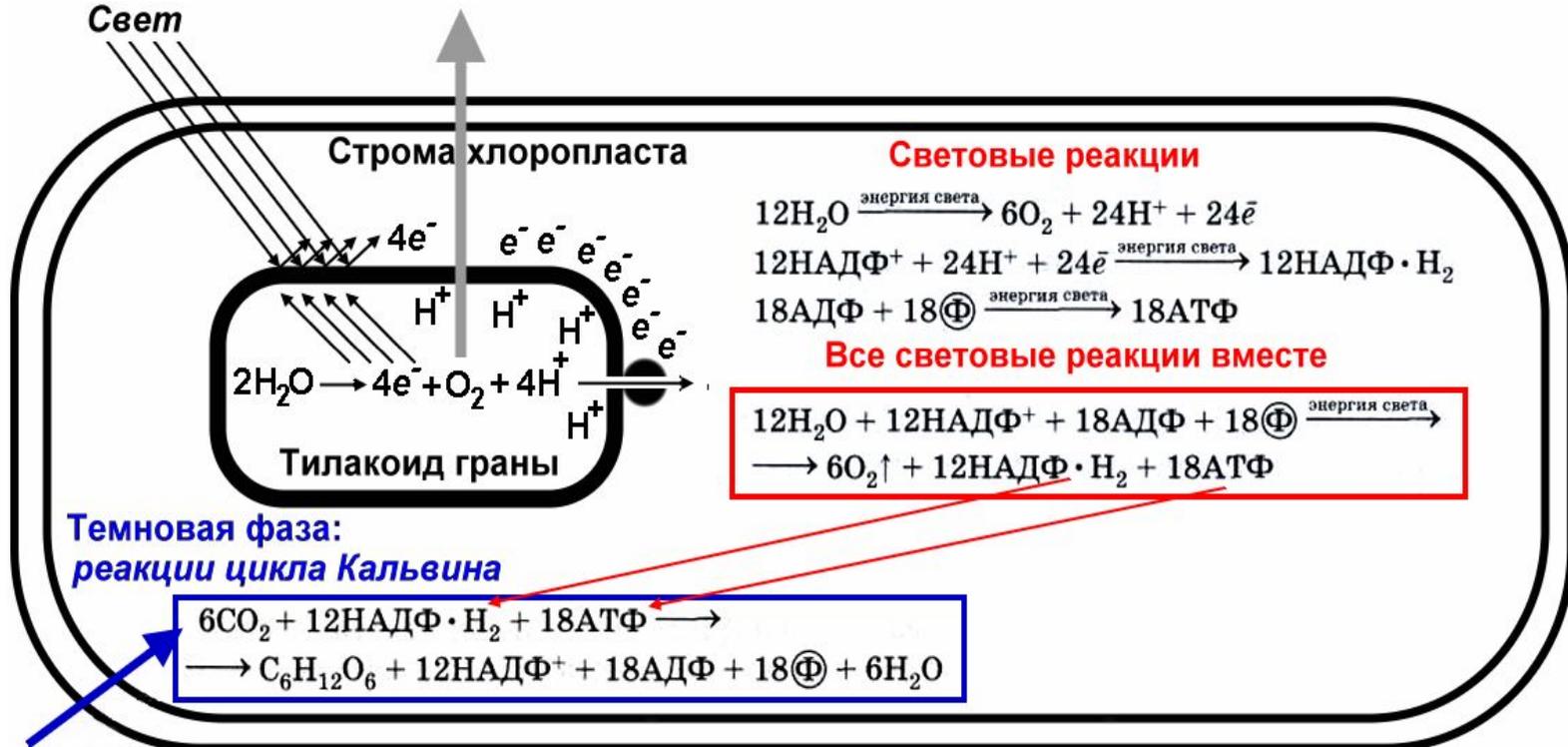
Кофермент некоторых дегидрогеназ — ферментов, катализирующих окислительно-восстановительные реакции в живых клетках. NADP принимает на себя водород и электроны окисляемого соединения и передаёт их на другие вещества. NADP восстанавливается при световых реакциях фотосинтеза и затем обеспечивает водородом синтез углеводов при темновых реакциях.

Темновая фаза фотосинтеза



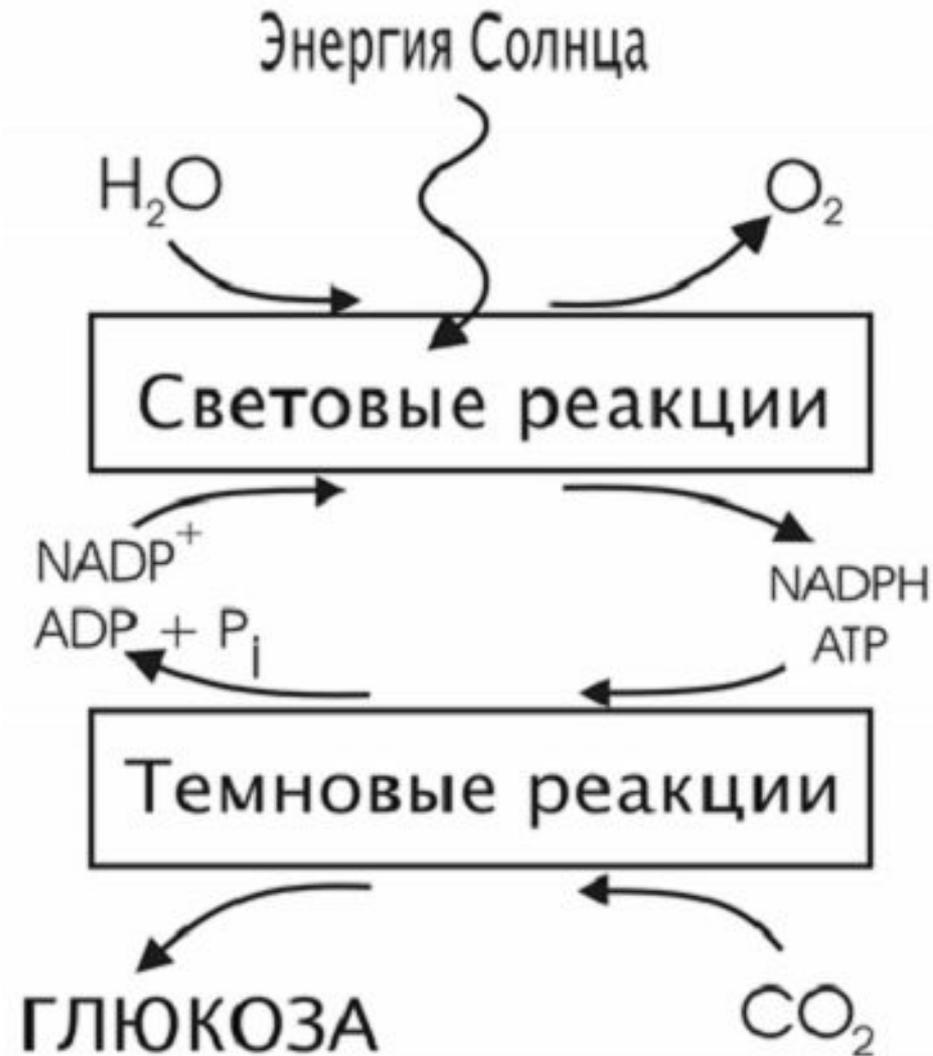
Темновая фаза протекает в другое время и в другом месте — в **строме** хлоропласта (снаружи тилакоидов). Для ее реакций не нужна энергия света. Происходит фиксация CO_2 и карбоксилирование пятиуглеродного сахара **рибулозобисфосфата** с образованием 6-углеродного соединения. Затем происходит **цикл реакций Кальвина**, в которых через ряд промежуточных продуктов происходит образование глюкозы. На эти реакции расходуется энергия, запасенная в АТФ, и НАДФ-Н. То есть в световой фазе образуются АТФ и НАДФ-Н, в темновой они расходуются.

Темновая фаза фотосинтеза



Мелвин Кальвин, лауреат Нобелевской премии, показал, как происходит образование углеводов в темновую фазу фотосинтеза. Происходит поглощение 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.

ФОТОСИНТЕЗ: Стадии



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:

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:



Фотоавтотрофы:

Фотосинтезирующие серобактерии (зеленые и пурпурные)

Имеют фотосистему-1 и при фотосинтезе не выделяют кислород, донор водорода – H_2S :



У цианобактерий (синезеленых) появилась фотосистема-2 и при фотосинтезе кислород выделяется, донором водорода для синтеза органики является H_2O :

