

# Энергетический обмен общая схема



# Энергетический обмен

- **Энергетический обмен** (катаболизм, диссимиляция) — совокупность реакций расщепления органических веществ, сопровождающихся выделением энергии. Энергия, освобождающаяся при распаде органических веществ, не сразу используется клеткой, а запасается в форме АТФ и других высокоэнергетических соединений. АТФ — универсальный источник энергообеспечения клетки. Синтез АТФ происходит в клетках всех организмов в процессе фосфорилирования — присоединения неорганического фосфата к АДФ.
- У **аэробных** организмов (живущих в кислородной среде) выделяют три этапа энергетического обмена: подготовительный, бескислородное окисление и кислородное окисление; у **анаэробных** организмов (живущих в бескислородной среде) и аэробных при недостатке кислорода — два этапа: подготовительный, бескислородное окисление.

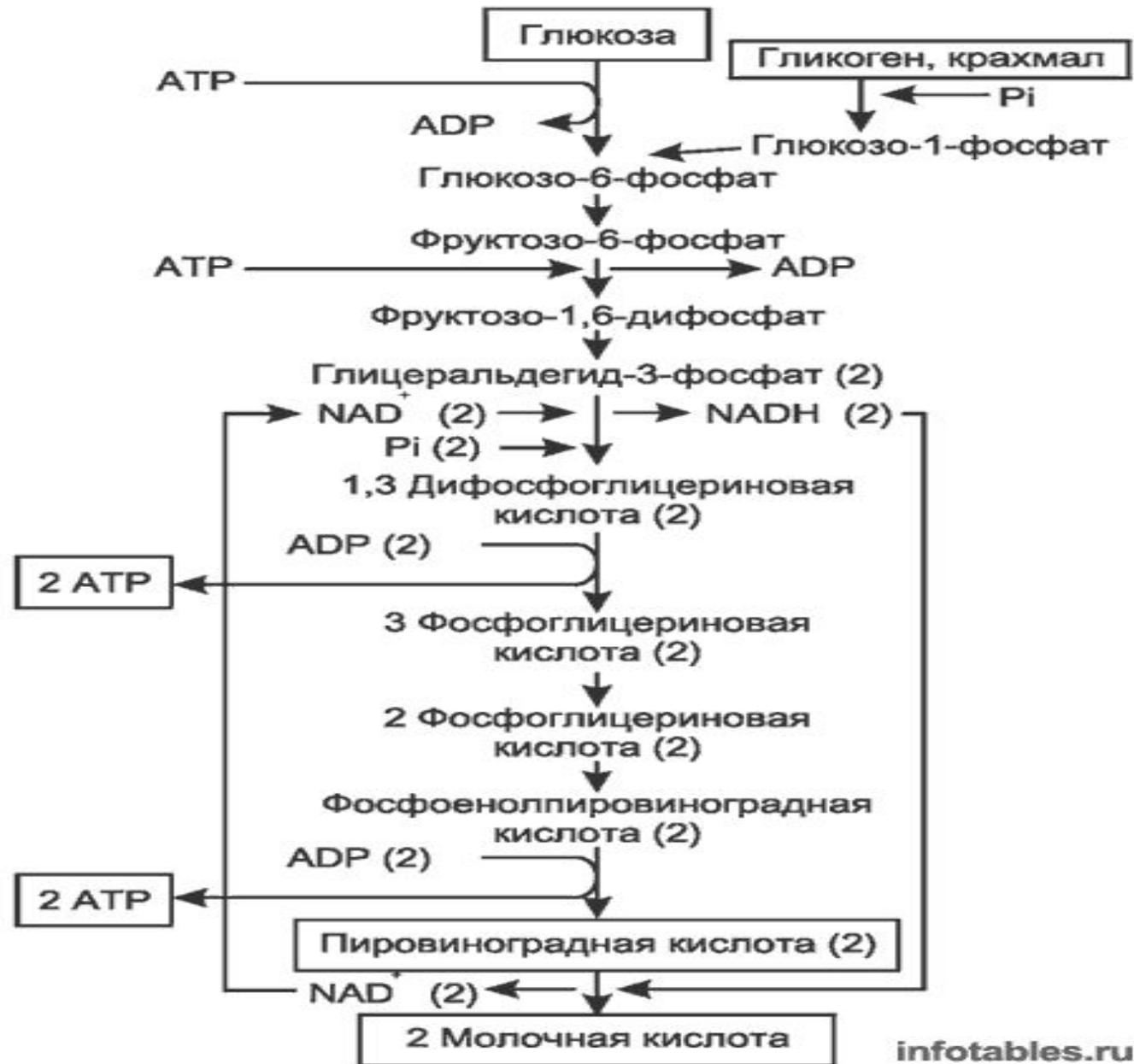
# Подготовительный этап

- Происходит ферментативное расщепление сложных органических веществ до простых:
  - белковые молекулы — до аминокислот,
  - жиры — до глицерина и карбоновых кислот,
  - углеводы — до глюкозы,
  - нуклеиновые кислоты — до нуклеотидов.
- Распад высокомолекулярных органических соединений осуществляется или ферментами желудочно-кишечного тракта или ферментами лизосом. Вся высвобождающаяся при этом энергия рассеивается в виде тепла. Образовавшиеся небольшие органические молекулы могут быть использованы в качестве «строительного материала» или могут подвергаться дальнейшему расщеплению.

# Бескислородное окисление, или гликолиз

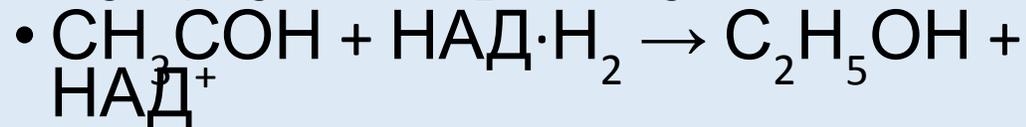
- Этот этап заключается в дальнейшем расщеплении органических веществ, образовавшихся во время подготовительного этапа, происходит в цитоплазме клетки и в присутствии кислорода не нуждается. Главным источником энергии в клетке является глюкоза. Процесс бескислородного неполного расщепления глюкозы — **гликолиз**.
- Гликолиз — сложный многоступенчатый процесс, включающий в себя десять реакций. Во время этого процесса происходит дегидрирование глюкозы, акцептором водорода служит кофермент НАД<sup>+</sup> (никотинамидаденинуклеотид).

# Схема процесса гликолиза и его реакции



# Гликолиз

- Дальнейшая судьба ПВК зависит от присутствия кислорода в клетке. Если кислорода нет, у дрожжей и растений происходит спиртовое брожение, при котором сначала происходит образование уксусного альдегида, а затем этилового спирта:



- У животных и некоторых бактерий при недостатке кислорода происходит молочнокислое брожение с образованием молочной кислоты:
- $\text{C}_3\text{H}_4\text{O}_3 + \text{НАД} \cdot \text{H}_2 \rightarrow \text{C}_3\text{H}_6\text{O}_3 + \text{НАД}^+$
- В результате гликолиза одной молекулы глюкозы высвобождается 200 кДж, из которых 120 кДж рассеивается в виде тепла, а 80% запасается в связях АТФ.

# Аэробное дыхание

- I фаза – подготовительная ( ПВК в ходе химических реакций дает Ацетил-кофермент А)
- II фаза – цикл Кребса
- III фаза – окислительное фосфолирирование = дыхательная цепь

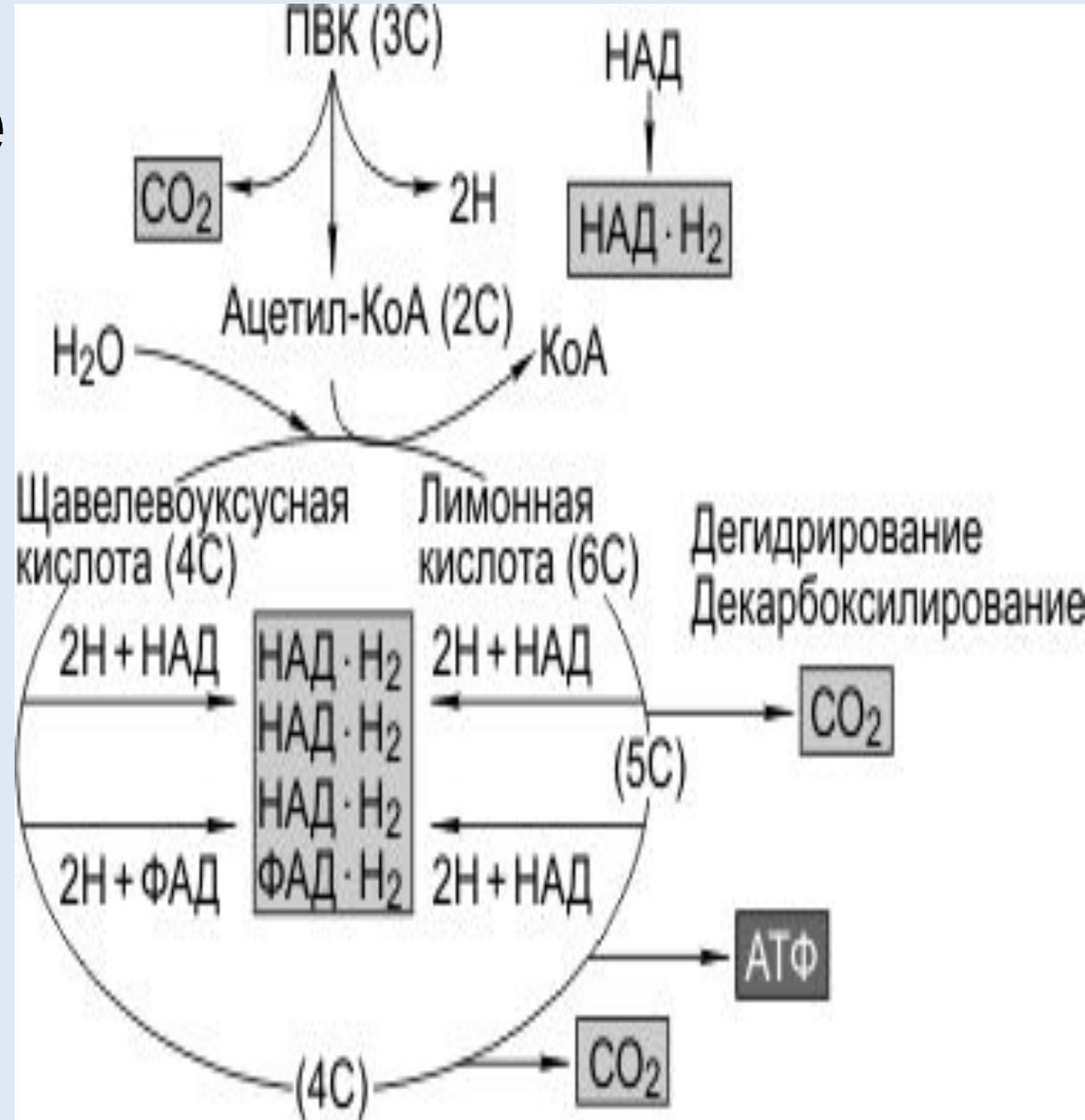


# Аэробное дыхание

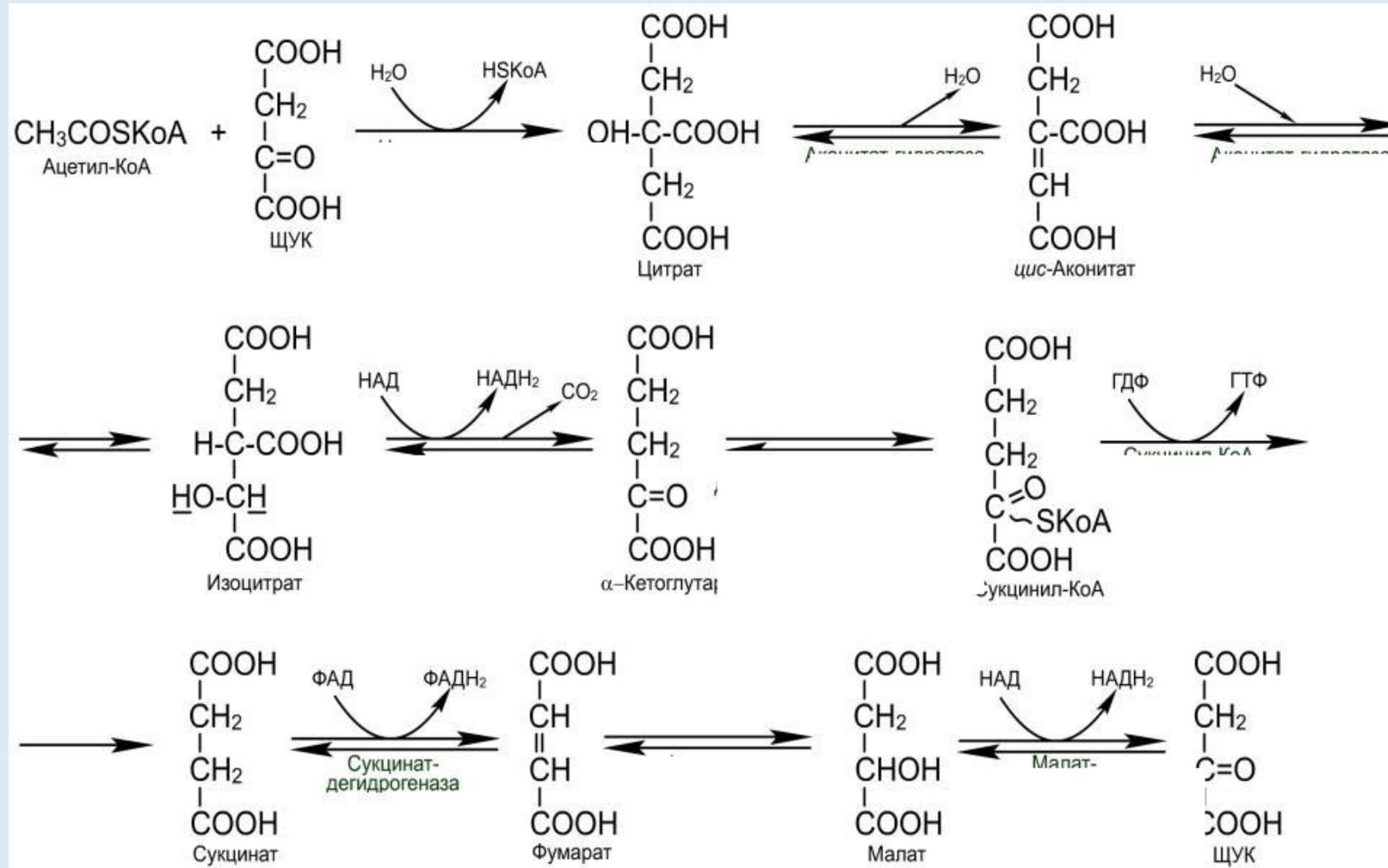
- Заключается в полном расщеплении пировиноградной кислоты, происходит в митохондриях и при обязательном присутствии кислорода.
- Пировиноградная кислота транспортируется в митохондрии. Здесь она превращается в богатое энергией производное уксусной кислоты- ацетилкофермент А, который вступает в цикл реакций, получивших название реакций цикла Кребса.

# Аэробное дыхание

- Идет дальнейшее окисление, связанное с дегидрированием и декарбоксилированием. В результате на каждую разрушенную молекулу ПВК из митохондрии удаляется три молекулы  $\text{CO}_2$ ; образуется пять пар атомов водорода, связанных с переносчиками ( $4\text{НАД}\cdot\text{H}_2$ ,  $\text{ФАД}\cdot\text{H}_2$ ), а также одна молекула АТФ.



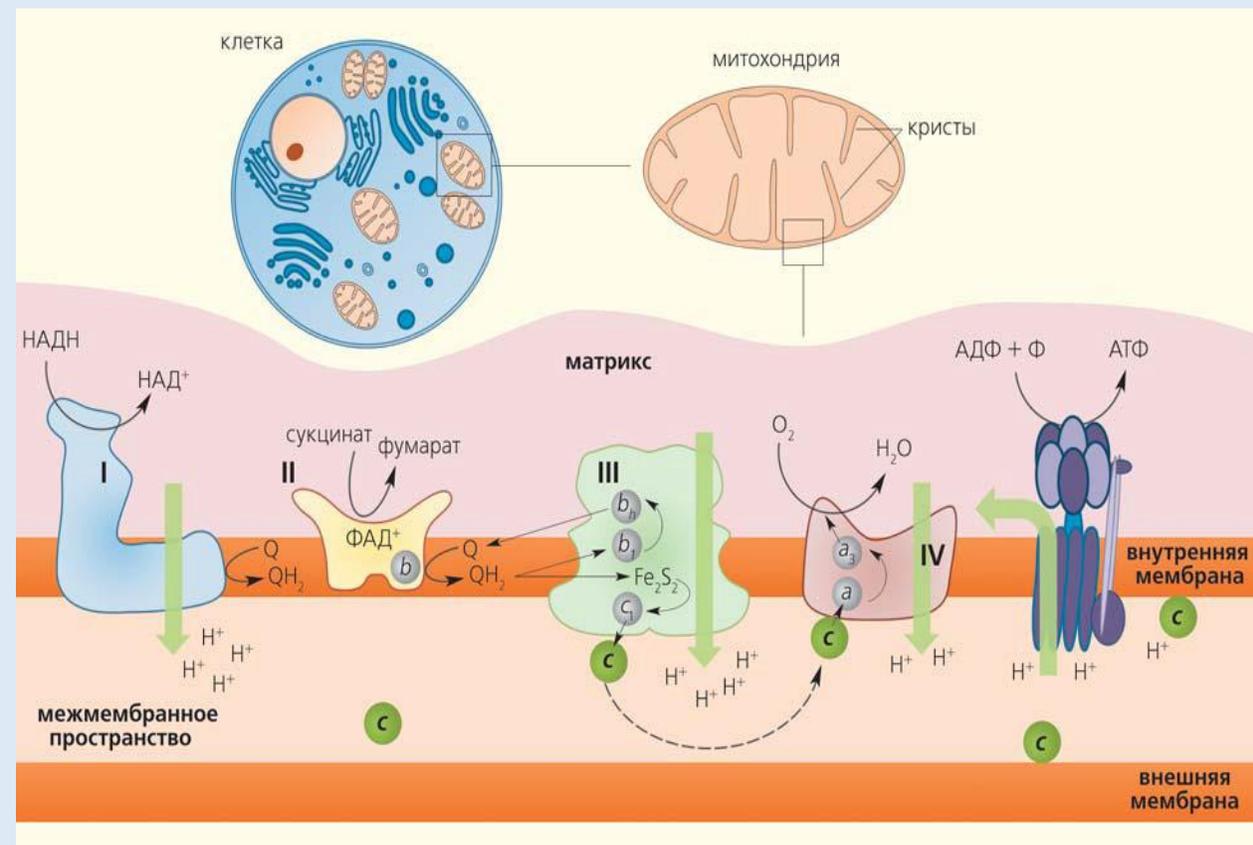
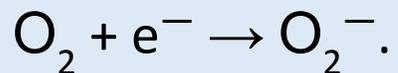
# Схема цикла Кребса



- Суммарная реакция гликолиза и разрушения ПВК в митохондриях до водорода и углекислого газа выглядит следующим образом:
- $$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6\text{H}_2\text{O} \rightarrow 6\text{CO}_2 + 4\text{АТФ} + 12\text{H}_2.$$
- Две молекулы АТФ образуются в результате гликолиза, две — в цикле Кребса; две пары атомов водорода ( $2\text{НАД}\cdot\text{H}_2$ ) образовались в результате гликолиза, десять пар — в цикле Кребса.

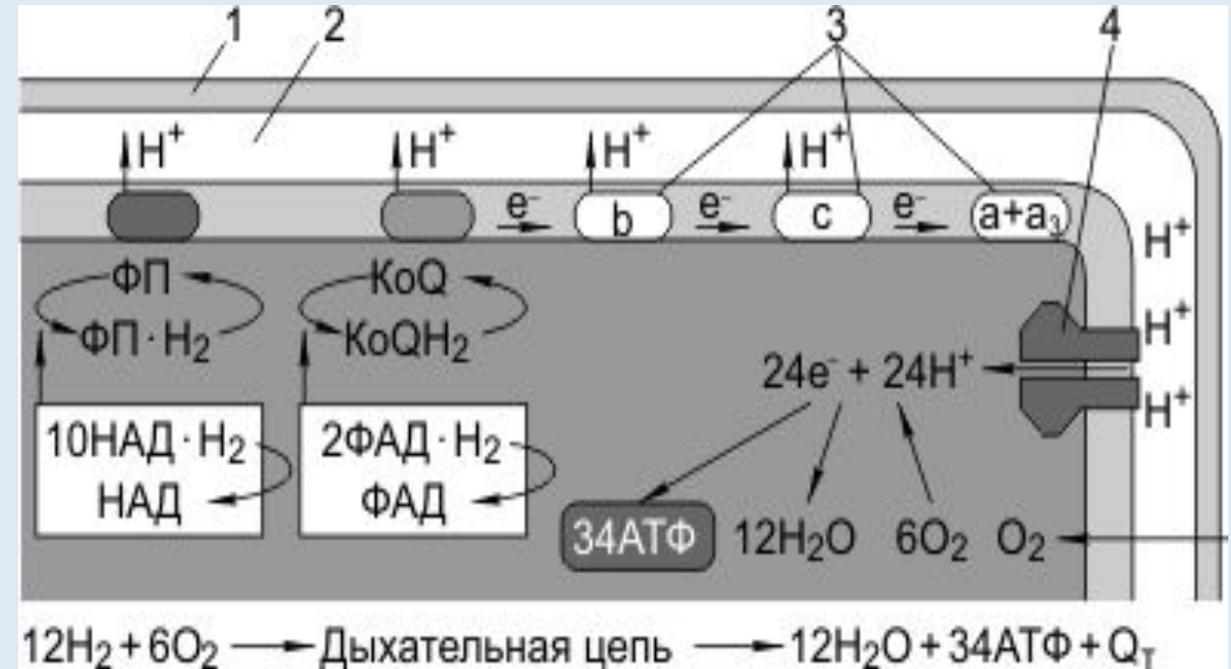
# Дыхательная цепь

- Последним этапом является окисление пар атомов водорода с участием кислорода до воды с одновременным фосфорилированием АДФ до АТФ. Водород передается трем большим ферментным комплексам (флавопротеины, коферменты Q, цитохромы) дыхательной цепи, расположенным во внутренней мембране митохондрий. У водорода отбираются электроны, которые в матриксе митохондрий в конечном итоге соединяются с кислородом:



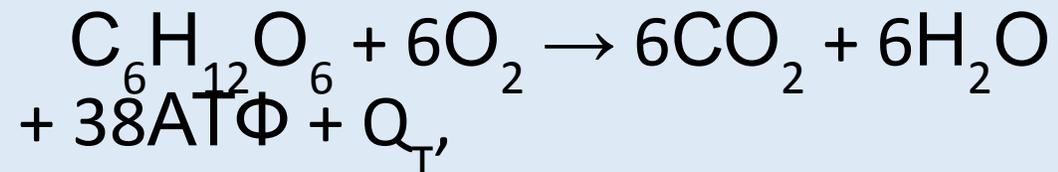
# Дыхательная цепь

- Протоны закачиваются в межмембранное пространство митохондрий, в «протонный резервуар». Внутренняя мембрана непроницаема для ионов водорода, с одной стороны она заряжается отрицательно (за счет  $O_2^-$ ), с другой — положительно (за счет  $H^+$ ). Когда разность потенциалов на внутренней мембране достигает 200 мВ, протоны проходят через канал фермента АТФ-синтетазы, образуется АТФ, а цитохромоксидаза катализирует восстановление кислорода до воды. Так в результате окисления двенадцати пар атомов водорода образуется 34 молекулы АТФ.



- 1 — наружная мембрана; 2 — межмембранное пространство, протонный резервуар;
- 3 — цитохромы; 4 — АТФ-синтетаза.

- Суммарная реакция расщепления глюкозы до углекислого газа и воды выглядит следующим образом:



где  $Q_T$  — тепловая энергия.

