



Лекция 3

Обмен веществ и энергии в организме

**Метаболизм (обмен веществ) –
совокупность хим. реакций,
протекающих во внутренней среде
организма .**

АНАБОЛИЗМ
Ассимиляция
Синтез

КАТАБОЛИЗМ
Диссимиляция
Распад

$$\text{Met} = \text{An} + \text{Kt}$$

АНАБОЛИЗМ - включает реакции синтеза.

Особенности:

- типичны реакции восстановления;
- всегда происходит потребление H, который отщепляется от субстрата;
- протекает с потреблением энергии.

An

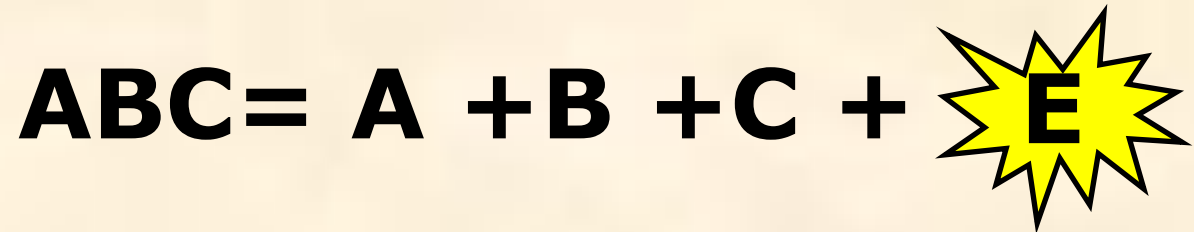


КАТАБОЛИЗМ - включает реакции расщепления.

Особенности:

- преобладают реакции окисления;
- всегда происходит потребление O_2 ;
- протекает с выделением энергии.

Kt



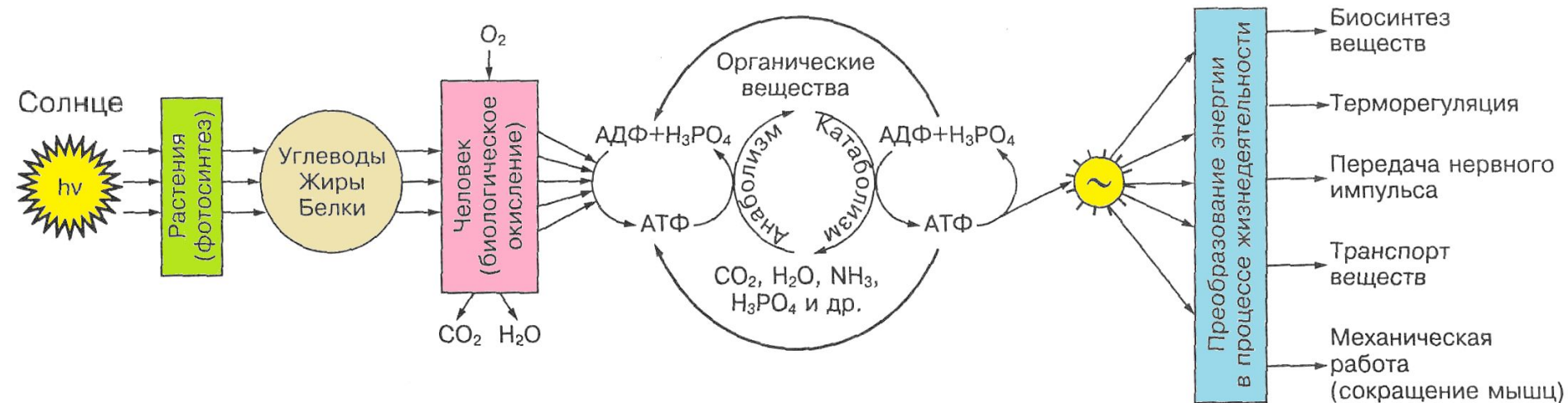
Основное назначение метаболизма

- **обновление химического состава организма;**
- **накопление химических веществ в организма – рост и развитие;**
- **обеспечение энергией всех потребностей организма.**

Преобразование энергии в организме

Энергия – способность производить работу.

Заклучена в химических связях питательных веществ.



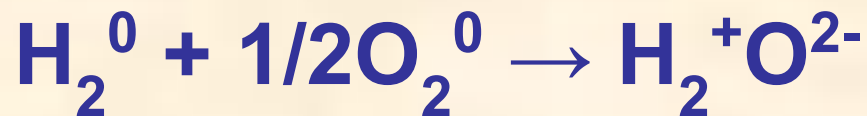
Основной носитель энергии – Н (водород). Эта энергия выделяется при переходе его электрона с одного энергетического уровня на другой.

Сущность энергетического обмена – освобождение Н из питательных веществ и использование его энергии для обеспечения хим. процессов в организме.

Освобождение энергии происходит при биологическом окислении

Химики называют «ОКИСЛЕНИЕМ»

- процесс увеличения положительной валентности вещества = отдачу электрона.
- Но электрон не бывает свободным и, приходится говорить о наиболее сложном типе химических процессов: ОКИСЛИТЕЛЬНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫХ реакциях = ОВР.
- Например:



ОСОБЕННОСТИ БИОЛОГИЧЕСКОГО ОКИСЛЕНИЯ

1. Субстрат не соединяется непосредственно с O_2 . От него отнимается **H** – происходит **дегидрирование**.

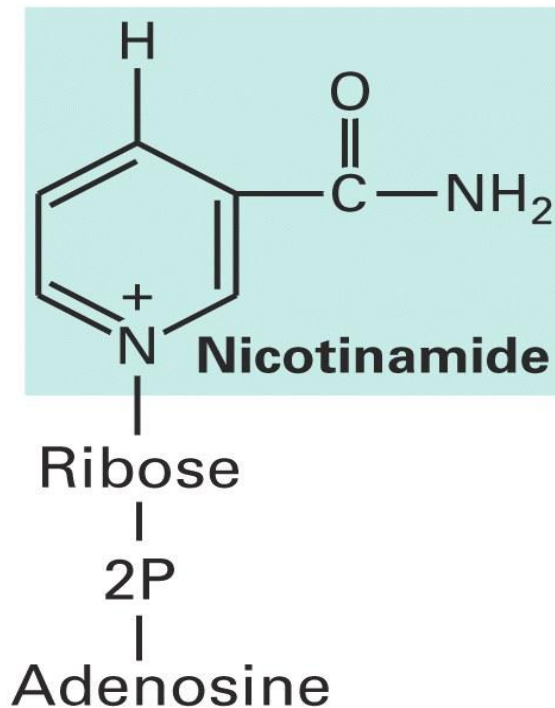
2. Окисление представляет собой ряд последовательных превращений с участием ферментов класса оксидоредуктаз – **дегидрогеназ и цитохромов**.

Никотинамидные **Флавиновые**

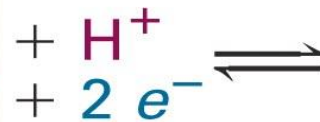
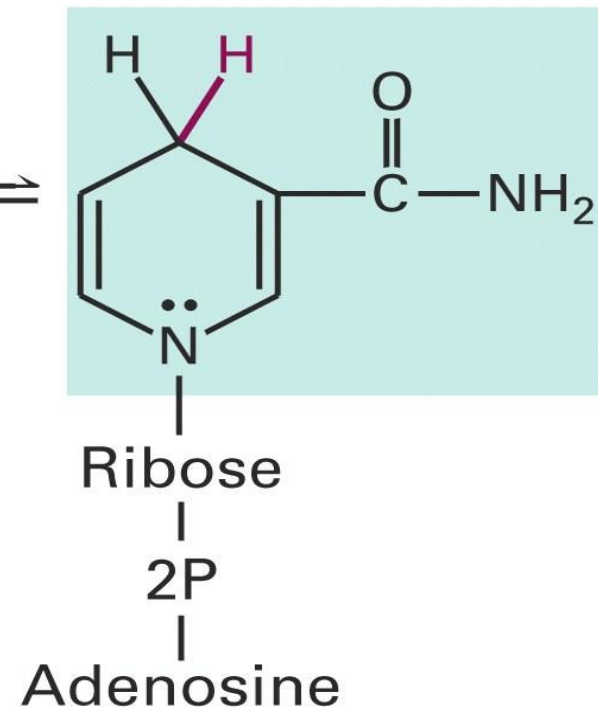
Никотинамидные дегидрогеназы

Один из моноклеотидов – адениловый = АМФ,
а другой – никотинамидный - производное
витамина В5 = РР.

(a) Oxidized: NAD^+

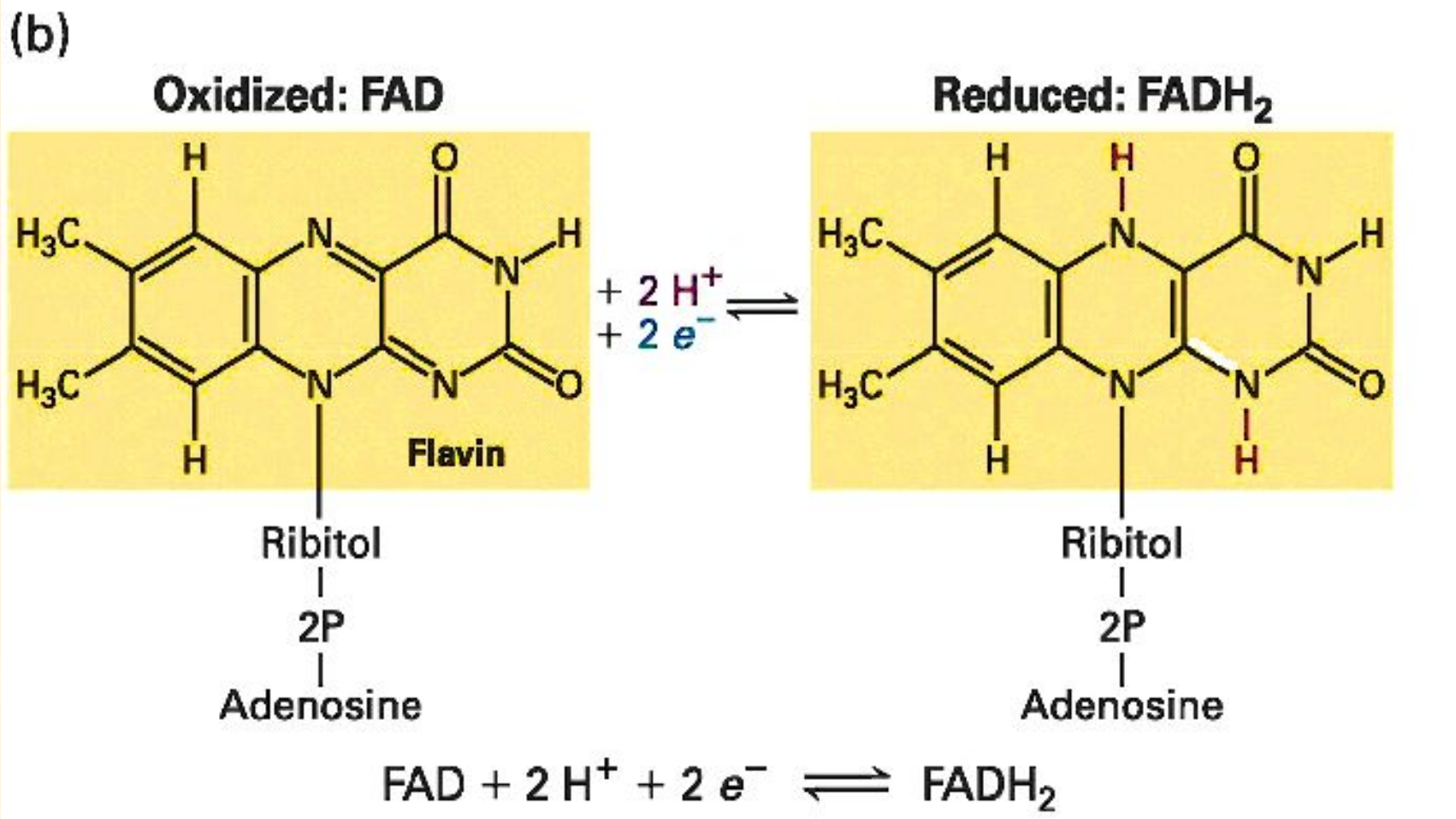


Reduced: NADH



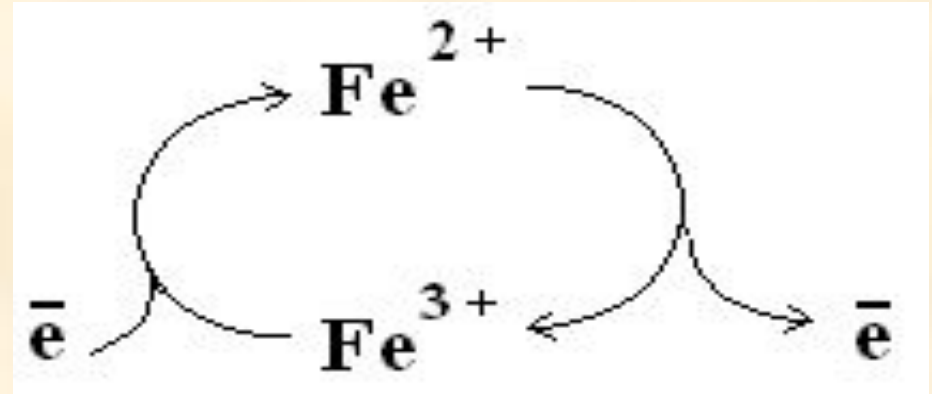
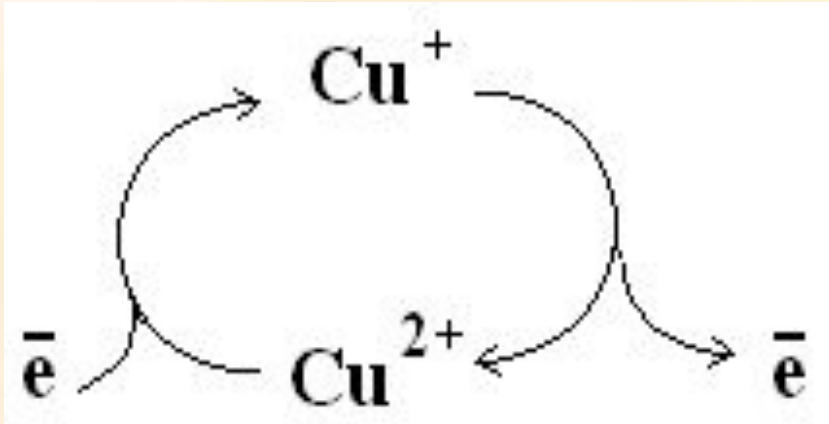
Флавиновые дегидрогеназы

Производные витамина В2 = рибофлавина.



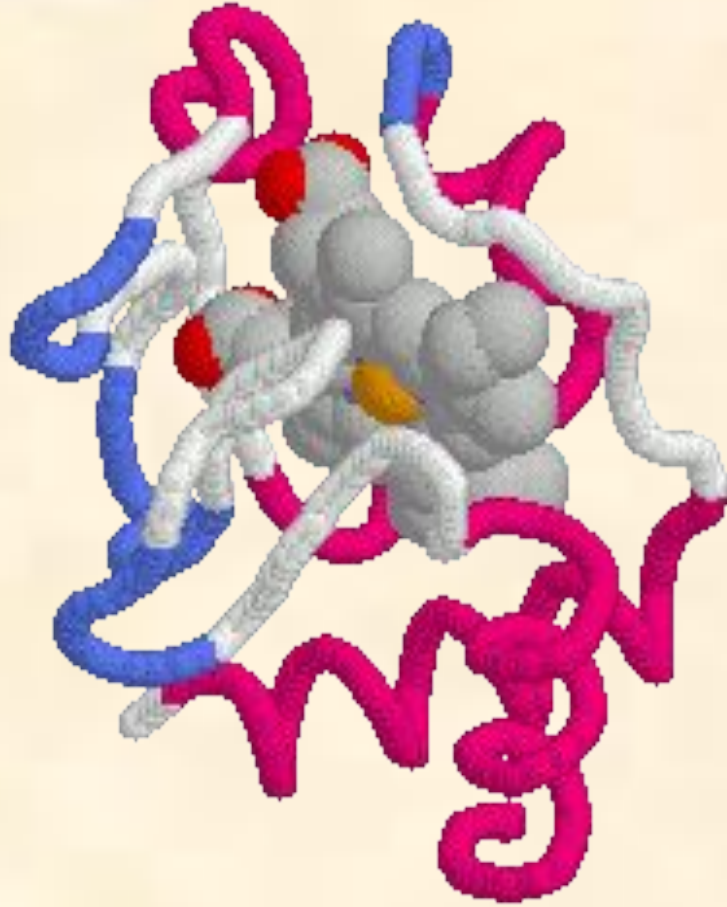
Цитохромы

Электронпереносящие белки.



- Сложные белки небольшой молекулярной массы, рабочей частью которых служит Me переменной валентности. Обозначаются b, c, a, a₃.
- Fe чаще входит в состав макроцикла тетрапиррола = гем.
- Как правило, цитохромы - в составе биомембран, как промежуточные звенья дыхательных цепей = систем транспорта водорода от субстрата.

Цитохром С



- Водорастворимый белок ВММ, содержащий плоский гем с центральным атомом Fe (II), способным к обратимому одноэлектронному восстановлению в цепи переноса электрона = ЦПЭ или дыхательной цепи = ДЦ.
- Его гем связан с белком так, чтобы принимать электрон с комплекса III = цитохром с редуктазы и передавать его на комплекс IV = цитохром с оксидазу.

ОСОБЕННОСТИ БИОЛОГИЧЕСКОГО ОКИСЛЕНИЯ

3. Выделение энергии происходит постепенно и сопровождается синтезом макроэргических соединений.

Макроэргические вещества содержат связи, выделяющие при гидролизе большое количество энергии.

Обычная связь = 2-3 ккал.

(-)

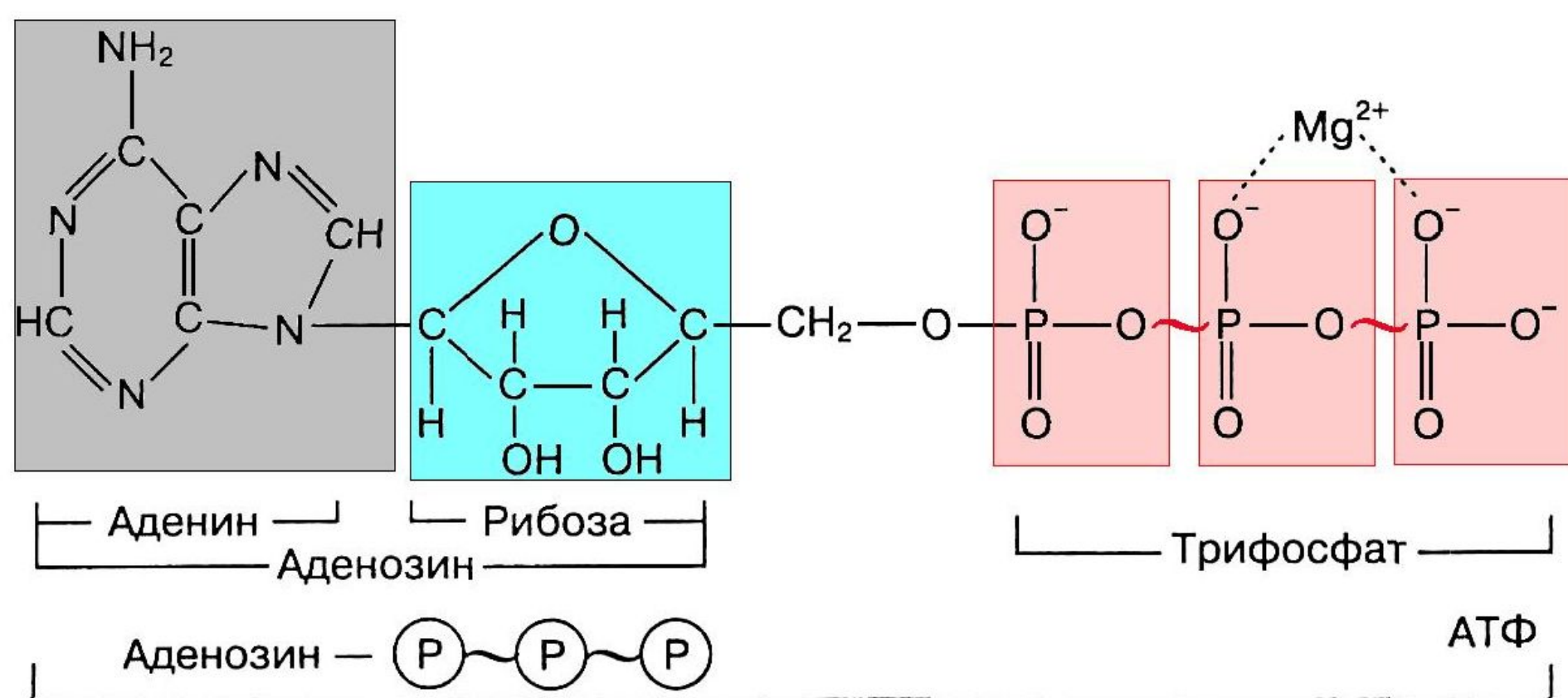
Макроэргическая связь = 8-10 ккал.

(~)

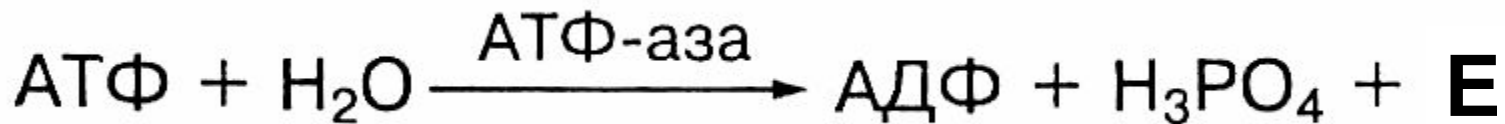
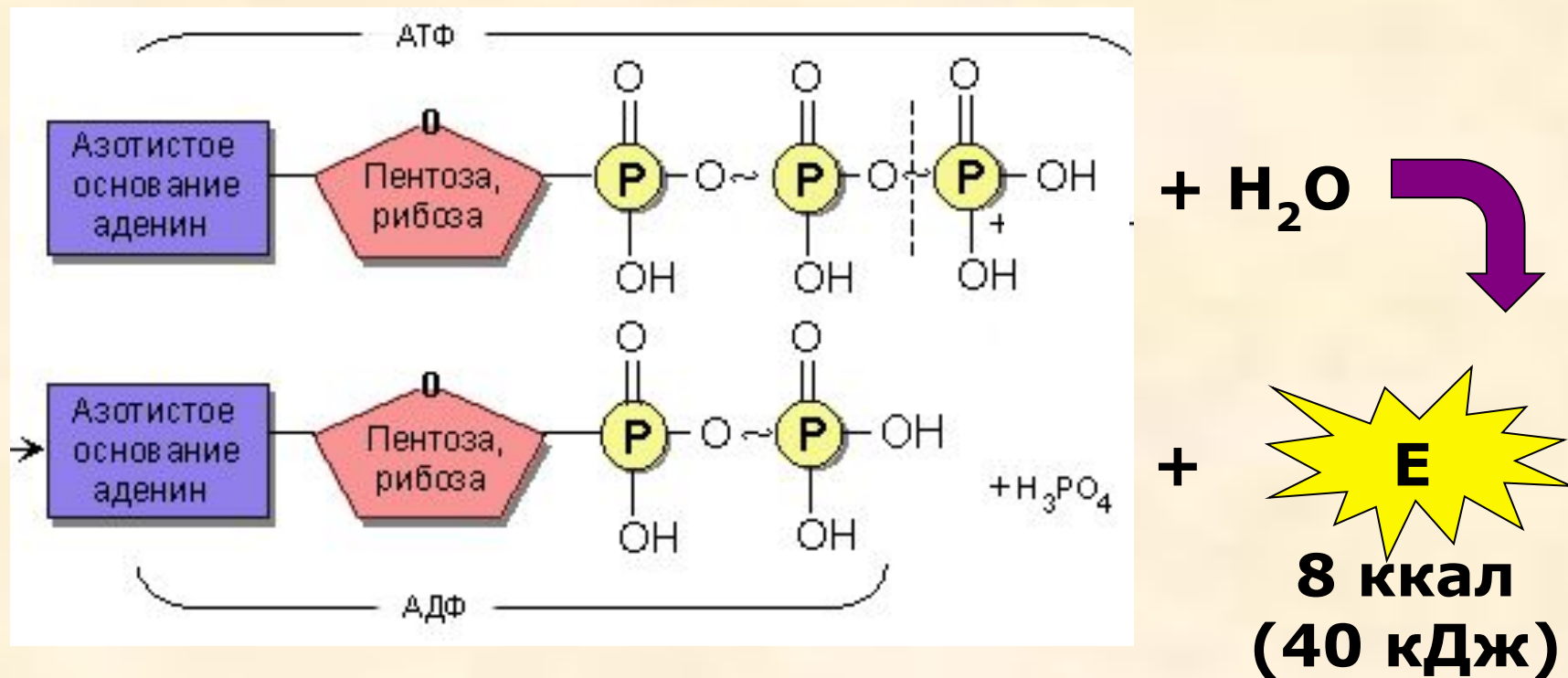
макроэргические соединения

1. Креатинфосфат – Кр-Ф (12 ккал)

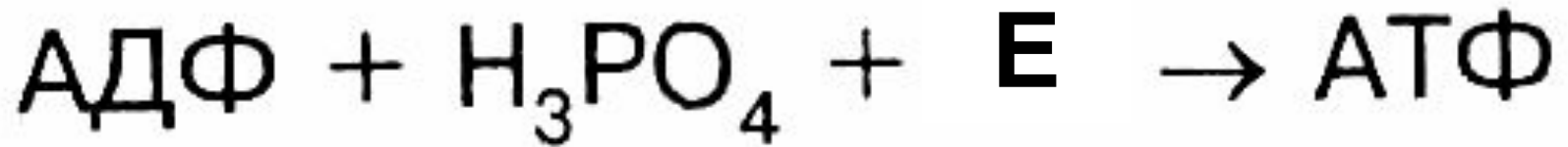
2. Аденозинтрифосфорная кислота – АТФ (7-8 ккал)



Энергия выделяется при гидролизе АТФ по схеме:



Восстановление (ресинтез) АТФ происходит по схеме:



Присоединение фосфата –
фосфорилирование

Перенос его с одного вещества на другое
- **перифосфорилирование**

Биологическое окисление

```
graph TD; A[Биологическое окисление] --> B[Анаэробно]; A --> C[Аэробно];
```

Анаэробно

(без участия
кислорода)

акцептором H
являются другие
вещества
(органические
кислоты, сахара и
др.)

Аэробно

(с участием
кислорода)

акцептором H
является кислород

**Совокупность реакций передачи протонов
и электронов на кислород –
дыхательная цепь
(цепь биологического окисления).**

1 этап: передача атомов H

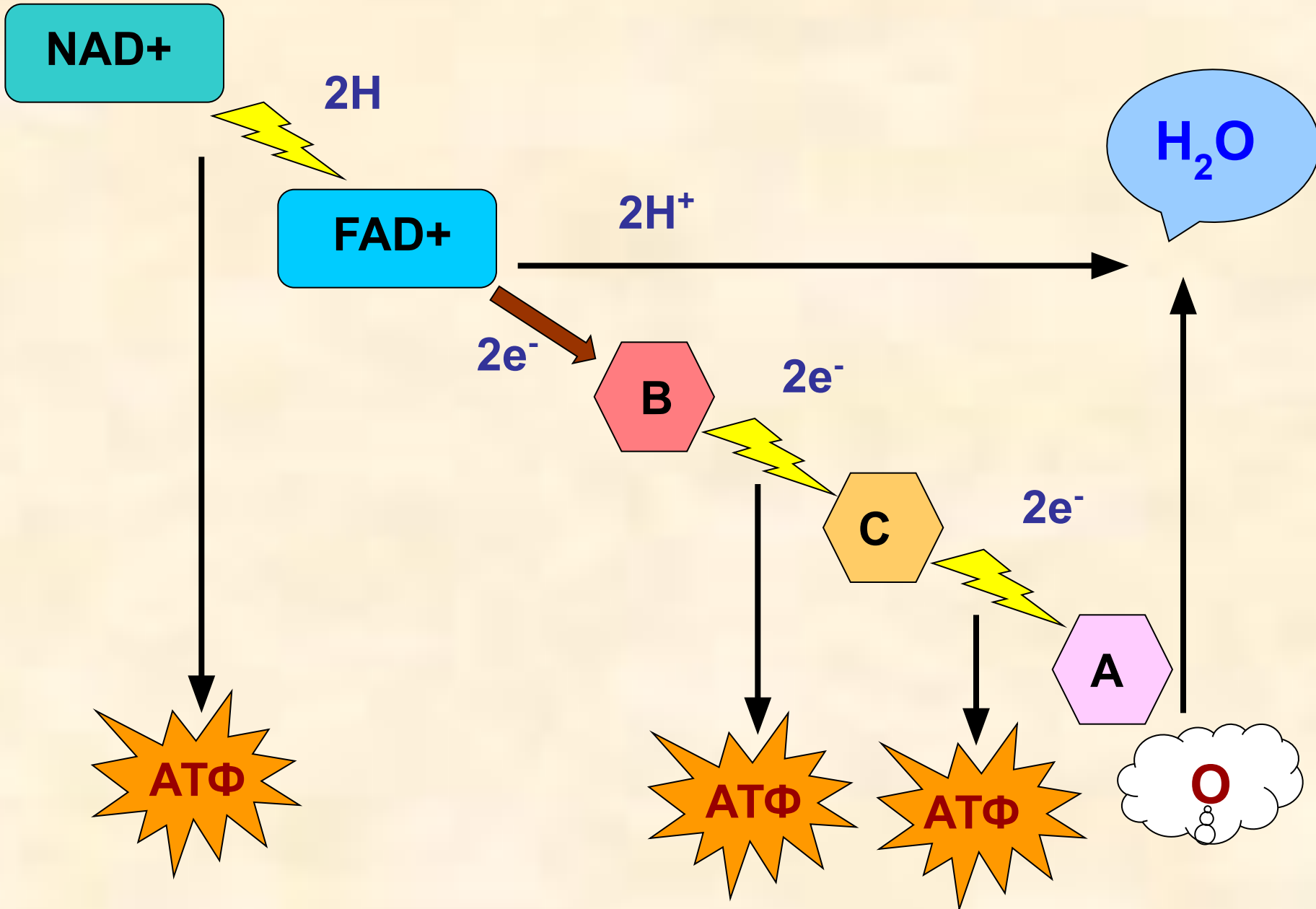
- 1. $S-H_2 + NAD^+ \rightarrow S + NAD-H_2$**
- 2. $NAD-H_2 + FAD^+ \rightarrow FAD-H_2 + NAD^+$ (синтез 1 АТФ)**

2 этап: передача электронов по цитохромам

- 1. $FAD-H_2 + \text{цхВ} \rightarrow FAD^+ + \text{цхВ-}2e^- + 2H^+$**
- 2. $\text{цхВ-}2e^- + \text{цхС} \rightarrow \text{цхВ} + \text{цхС-}2e^-$ (синтез 1 АТФ)**
- 3. $\text{цхС-}2e^- + \text{цхА} \rightarrow \text{цхС} + \text{цхА-}2e^-$ (синтез 1 АТФ)**
- 4. $\text{цхА-}2e^- + 1/2O_2 + 2H^+ \rightarrow \text{цхА} + H_2O$**

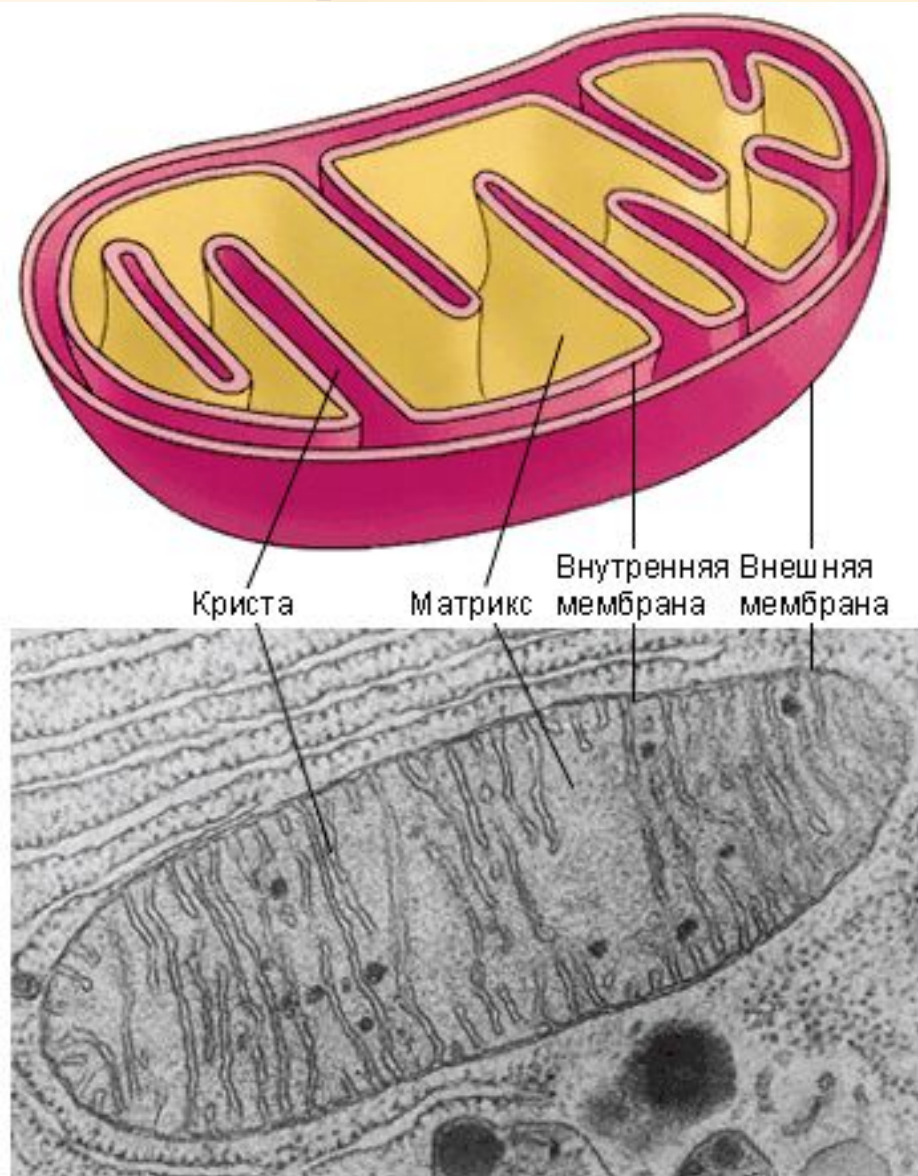
2H (субстрат)

Дыхательная цепь (схема)



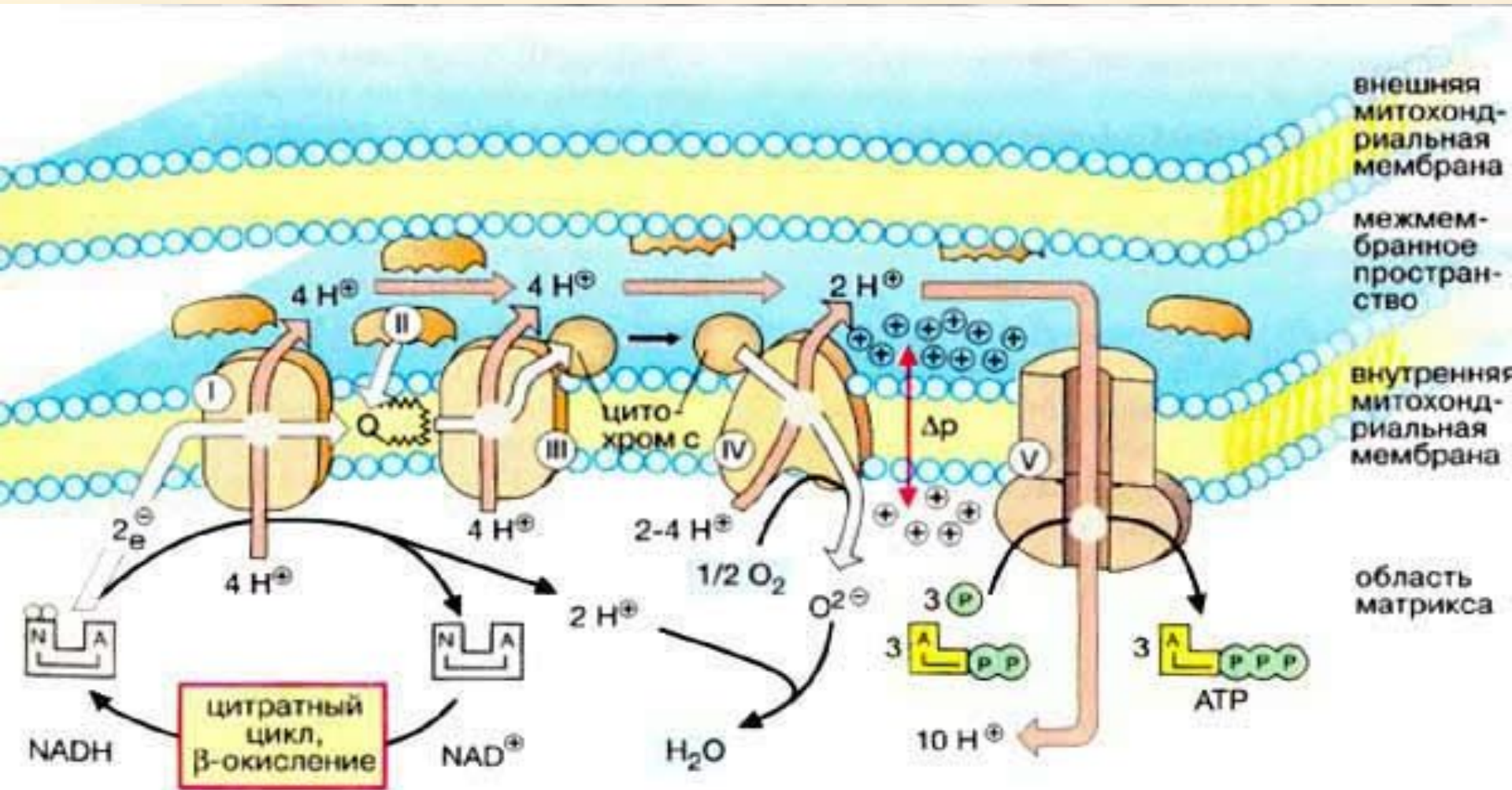
Митохондрии –

«энергетические станции» клетки



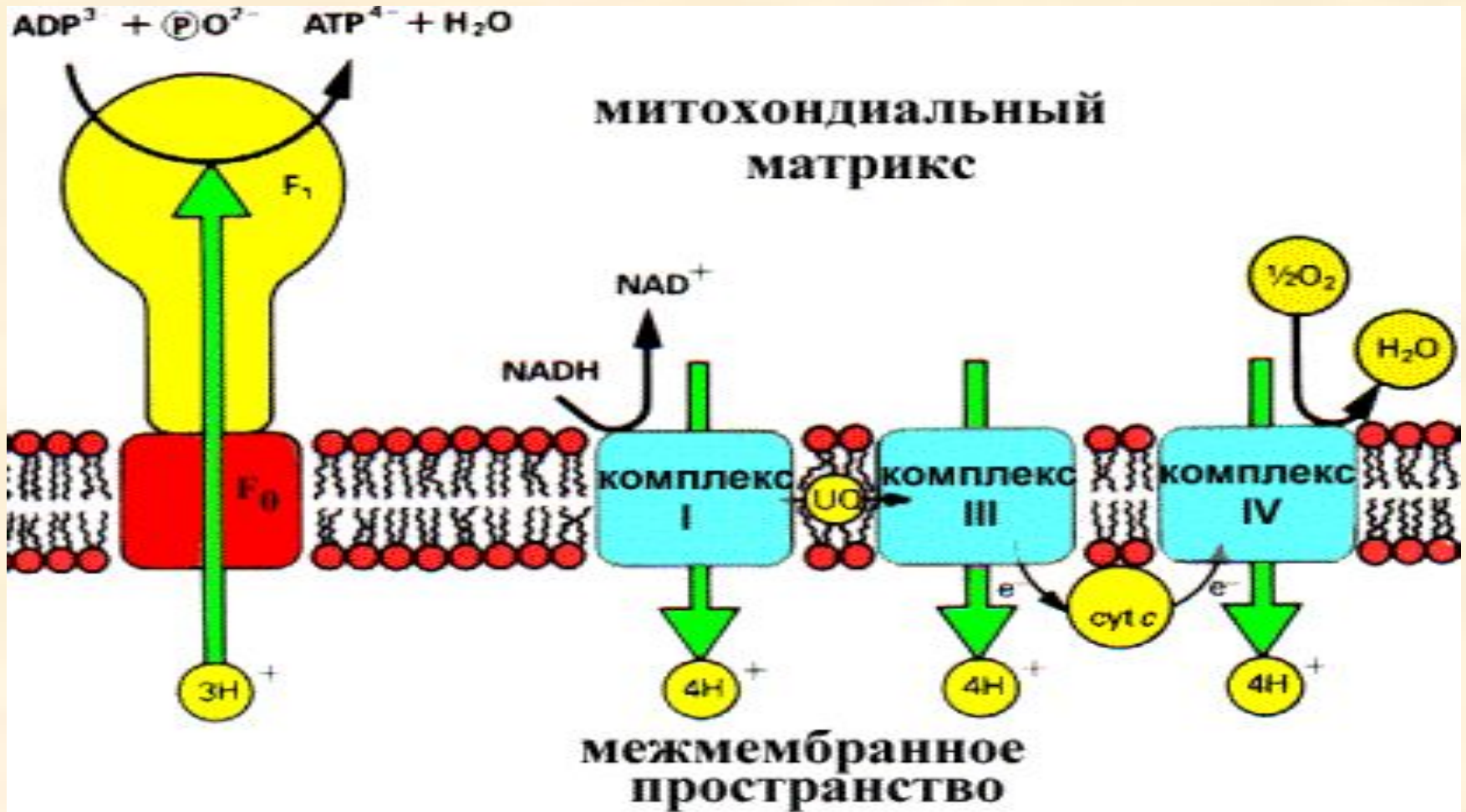
- Дыхательная цепь находится во внутренней мембране.
- **Основная функция – синтез АТФ за счет дыхательной цепи.**
- Могут перемещаться в области клетки с наибольшей потребностью в энергии.

По Я. Кольман, К.-Г. Рём. Наглядная биохимия. 2002. http://biochemistry.vov.ru/nagl_bio/142.htm

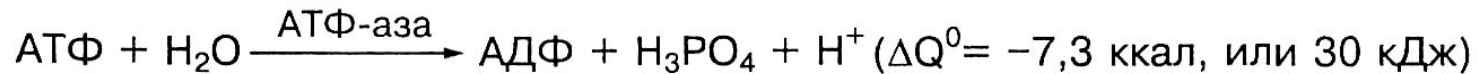


Б. Организация дыхательной цепи

Сопряжение транспорта электронов в дыхательной цепи с фосфорилированием АДФ, посредством градиента протонов

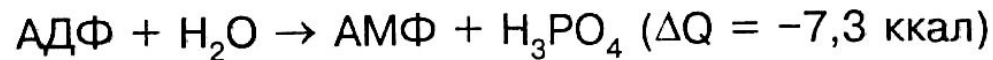


Гидролиз АТФ. Свою энергетическую функцию АТФ реализует в процессе распада молекулы с участием H_2O (гидролиза). Обычно от АТФ отщепляется последний фосфатный остаток с образованием АДФ и ортофосфорной кислоты, которая может записываться также как P_i . При этом в стандартных условиях высвобождается около $30 \text{ кДж} \cdot \text{моль}^{-1}$ энергии и увеличивается содержание протонов водорода (H^+) в среде:



Катализируют эту реакцию специфические ферменты — АТФ-азы (аденозинтрифосфатазы).

АДФ — также высокоэнергетическое соединение и может служить источником энергии. При ее гидролизе образуется АМФ, ортофосфат и высвобождается около 30 кДж энергии:

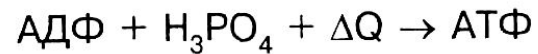


Из АДФ под влиянием фермента миокиназы (аденилаткиназы) может образовываться АТФ. При этом из двух молекул АДФ образуются АТФ и АМФ:



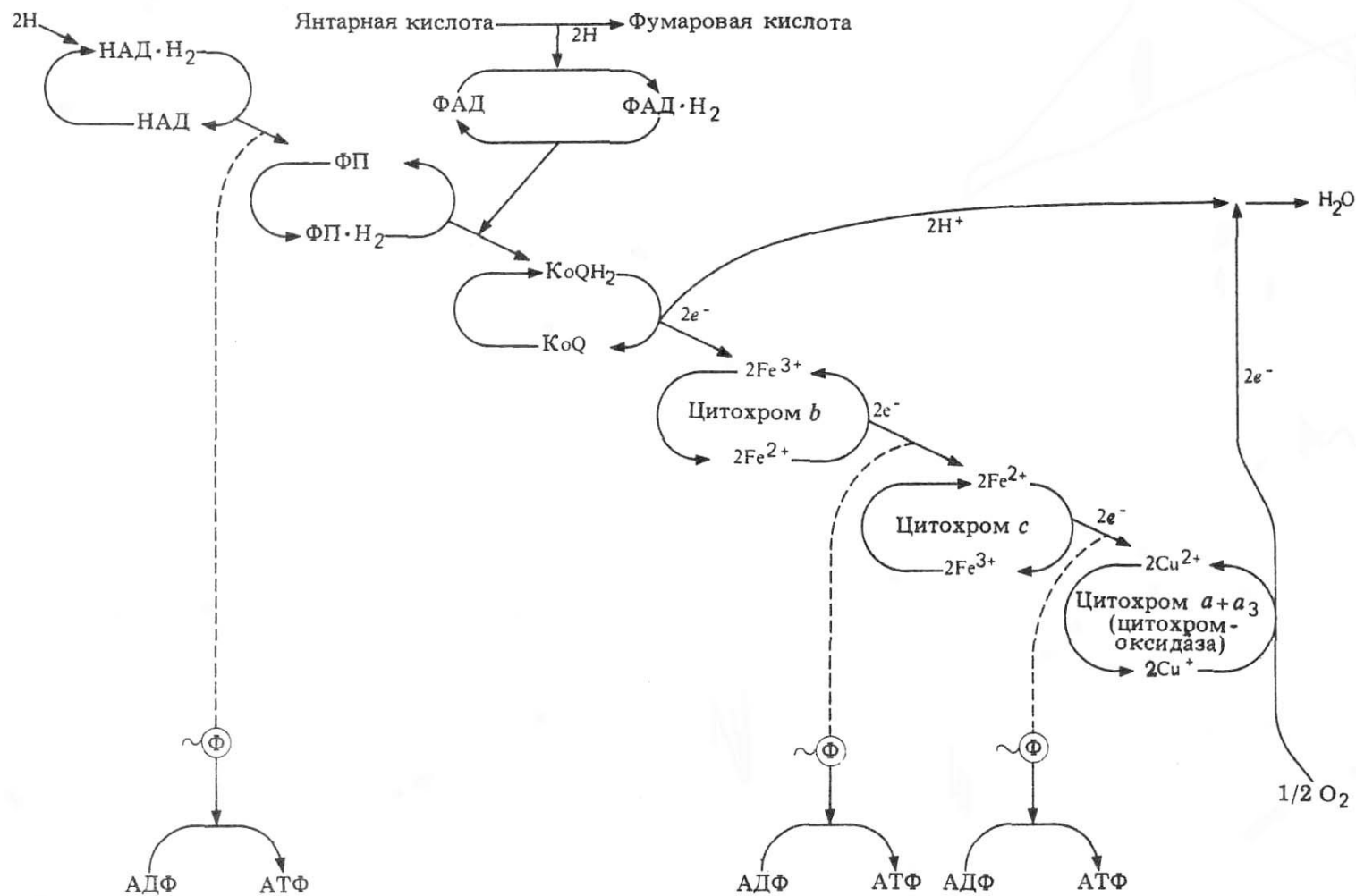
Молекула АМФ не содержит макроэргических связей. Она в редких случаях используется для восстановления АТФ, однако играет важную роль в регуляции обмена веществ, и в первую очередь обмена АТФ.

АТФ — аккумулятор и носитель свободной энергии. Молекула АТФ образуется за счет свободной энергии, выделяющейся в реакциях катаболизма, согласно следующей схеме:



Поэтому АТФ является аккумулятором (формой запасания) свободной энергии, которая в неживой природе рассеивается в виде тепла. Однако в клетках организма АТФ быстро используется, так как легко отдает свой высокоэнергетический фосфат другим веществам, т. е. выступает в качестве донора фосфатных групп. Практически все реакции энергетического обмена в клетках организма протекают посредством образования и распада молекул АТФ.

Молекулы АТФ благодаря тепловому движению способны перемещаться в клетках на небольшие расстояния (до 10 мкм). Для передачи энергии между клеточными отделами (компартаментами) используется особый транспортный механизм с участием креатинфосфата и ферментов креатинфосфокиназ. Следовательно, в клетках живого организма АТФ является не только источником химической энергии во многих метаболических реакциях, но и аккумулятором, донором и специальным носителем энергии.



Развернутая схема дыхательной цепи. Каждый цитохром способен передавать только один электрон. Предполагается, что на каждом дыхательном пути действуют два ряда цитохромов. Здесь показан только один, но цифры удвоены, чтобы количества образующихся конечных продуктов соответствовали действительности. В энергетическом смысле электроны перемещаются «вниз».