

# Общие пути катаболизма Энергетический обмен



Доц. Благодаренко Е.А.

# Что такое энергия?

- **Энергия – количественная мера движения материи.**
- Это скалярная величина, являющаяся характеристикой материального явления, такой же как температура или масса
- В связи с существованием разных форм движения материи, мы говорим о разных формах энергии. На самом деле речь идет о количестве движения, переходящего из одной формы в другую
- Энергия химической связи – это энергия движения электронов, которые формируют соответствующую химическую связь.
- Теплота – энергия неорганизованного движения частиц системы
- Работа – энергия организованного движения частиц

**Обмен веществ** или **метаболизм** - это совокупность протекающих в организме химических превращений, обеспечивающих их рост, развитие, адаптацию к изменениям окружающей среды и воспроизведение.

### **Функции метаболизма:**

- снабжение клеток химической энергией;
- превращение молекул пищи в строительные блоки;
- сборка из этих блоков компонентов клетки (белки, липиды, нуклеиновые кислоты);
- синтез и разрушение специализированных биологических молекул (гем, холин).



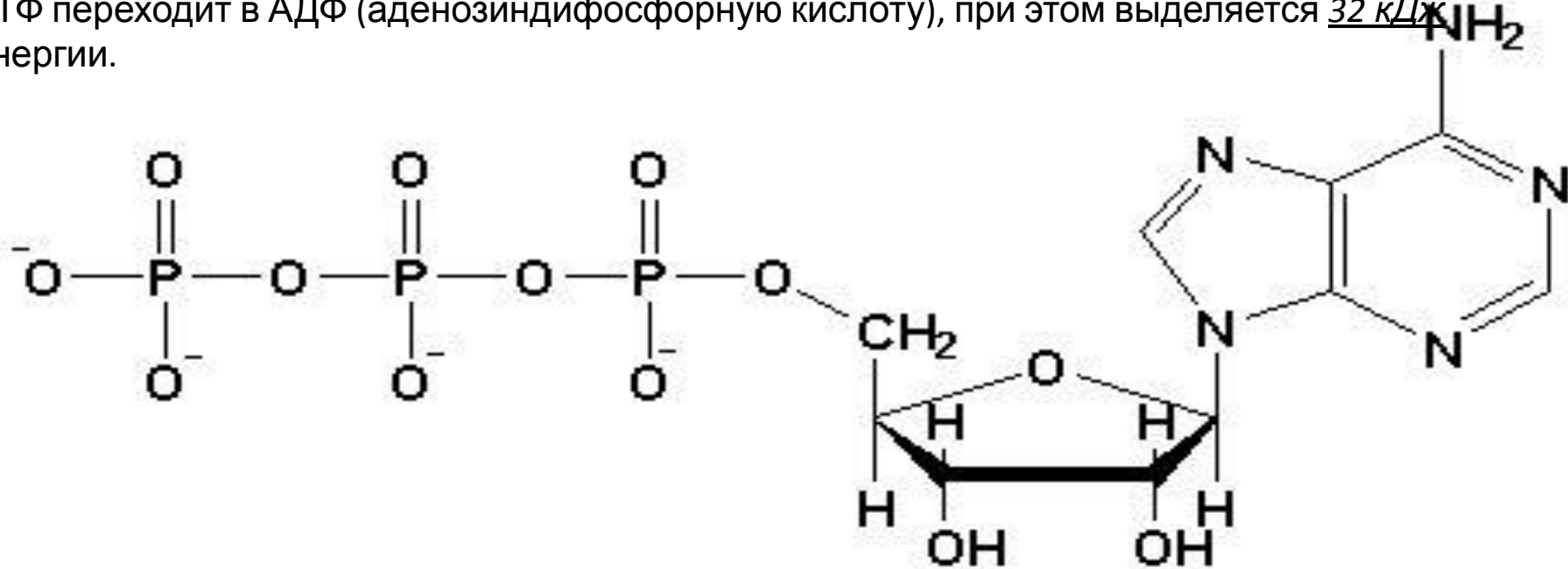
## ~~АТФ И АДЕНИЛОВАЯ СИСТЕМА КЛЕТКИ~~

В энергетическом обеспечении клетки важнейшую роль играет адениловая система, которая включает АМФ, АДФ,  $\text{H}_4\text{P}_2\text{O}_7$  (пирофосфат),  $\text{H}_3\text{PO}_4$  (неорганический фосфат) и цАМФ (циклический АМФ).

АТФ (аденозинтрифосфорная кислота) относится к группе высокоэнергетических фосфатов, содержит две фосфоангидридные связи.

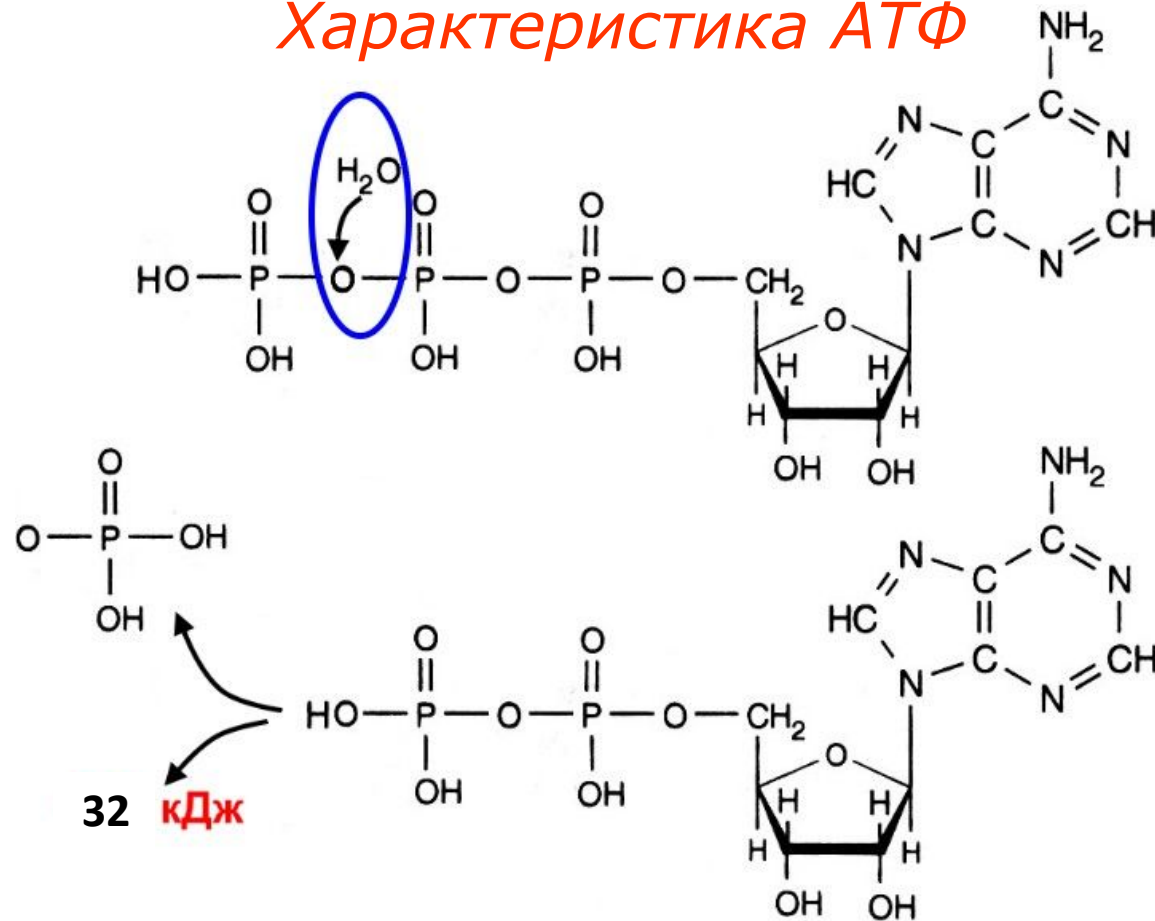
АТФ относится к макроэргическим веществам — веществам, содержащим в своих связях большое количество энергии.

АТФ — нестабильная молекула: при гидролизе конечного остатка фосфорной кислоты АТФ переходит в АДФ (аденозиндифосфорную кислоту), при этом выделяется 32 кДж энергии.



**Аденозин трифосфат (АТФ)**

## Характеристика АТФ



АТФ — универсальный переносчик и основной аккумулятор энергии в живых клетках. АТФ содержится во всех клетках растений и животных. Количество АТФ в среднем составляет 0,04% (на сырую массу клетки)

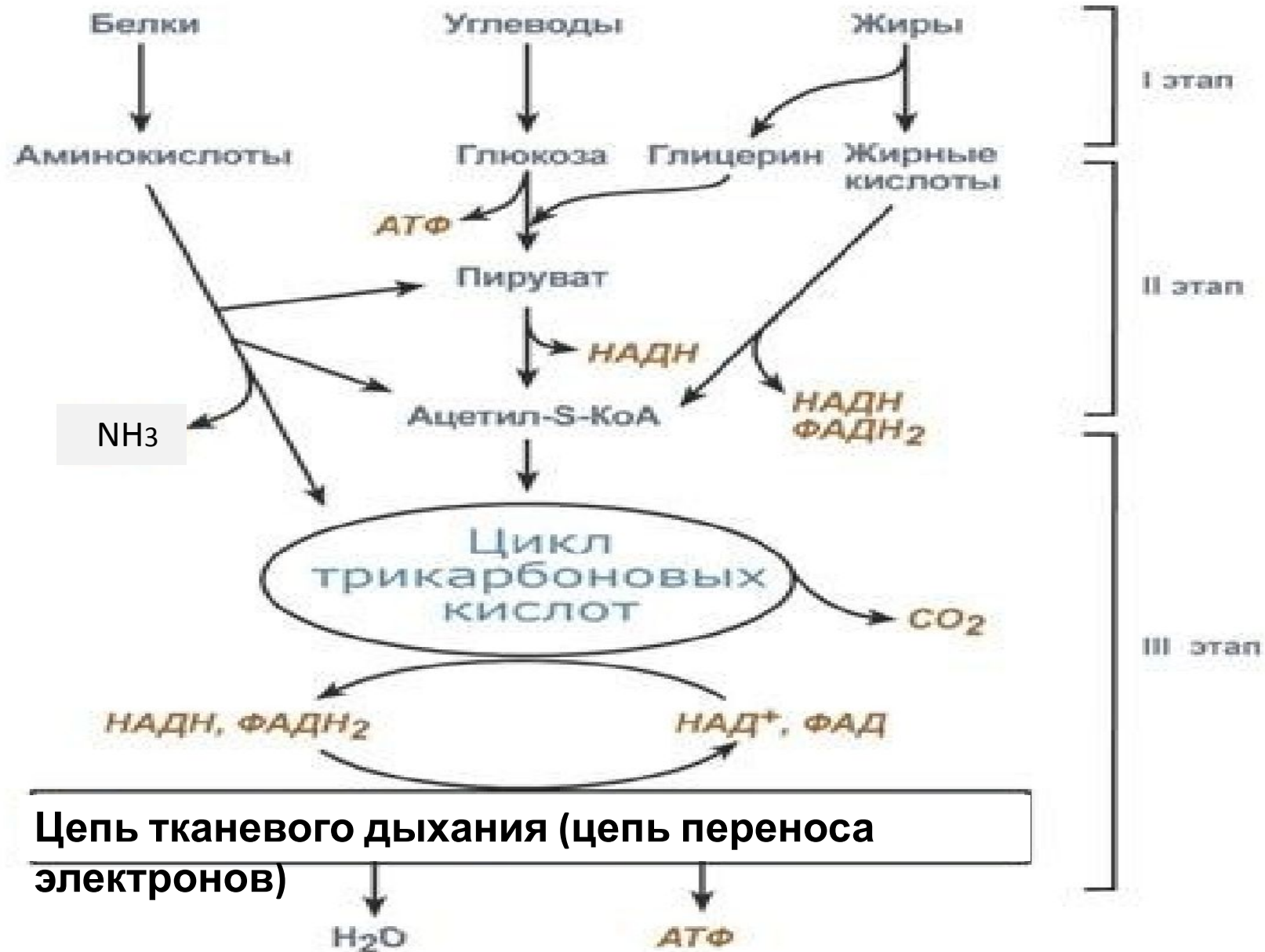
В клетке молекула АТФ расходуется в течение одной минуты после ее образования. У человека количество АТФ, равное массе тела, образуется и разрушается каждые 24 часа.

**Макроэргические соединения** – вещества, имеющие ковалентную связь, при расщеплении которой выделяется более 21 кДж/моль энергии. В основном это соединения, содержащие фосфаты, но есть так же тиольные эфиры

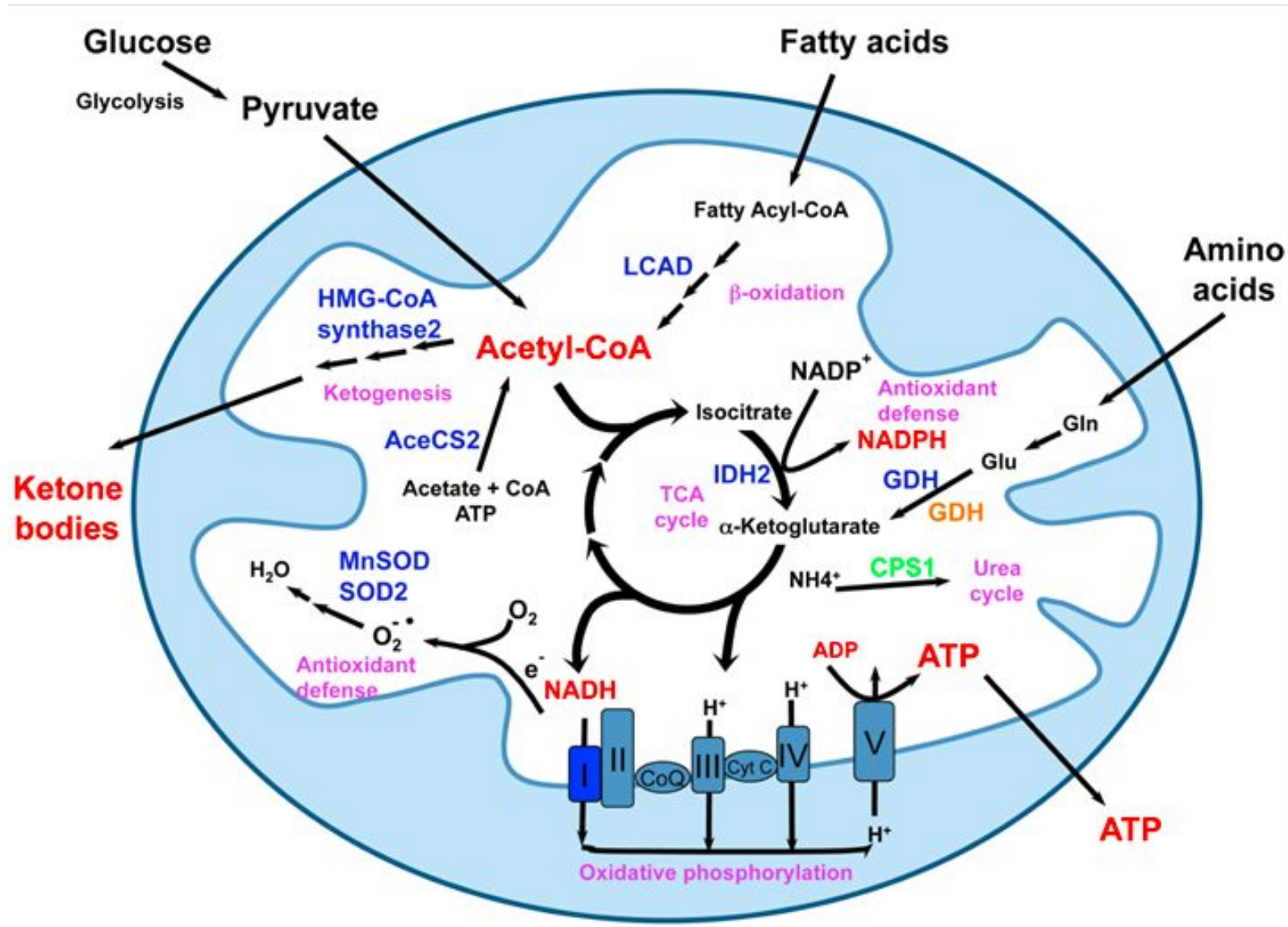
**Таблица 6-2. Свободная энергия гидролиза некоторых органических фосфатов**

| Соединение              | Продукты реакции             | - $\Delta G^{\theta'}$ , ккал/моль | - $\Delta G^{\theta'}$ , кДж/моль |
|-------------------------|------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|
| Фосфоенолпируват        | Пируват + $H_3PO_4$          | 14,8                               | 61,86                             |
| 1,3-Бисфосфоглицерат    | 3-фосфоглицерат + $H_3PO_4$  | 13,0                               | 54,34                             |
| Карбамоилфосфат         | Карбамат + $H_3PO_4$         | 12,0                               | 51,83                             |
| Креатинфосфат           | Креатин + $H_3PO_4$          | 10,3                               | 43,05                             |
| Ацетилфосфат            | Уксусная кислота + $H_3PO_4$ | 10,3                               | 43,05                             |
| АТФ                     | АДФ + $H_3PO_4$              | 7,3                                | 30,51                             |
| АДФ                     | АМФ + $H_3PO_4$              | 6,6                                | 27,59                             |
| Дифосфат( $H_4P_2O_7$ ) | 2 $H_3PO_4$                  | 6,6                                | 27,59                             |
| Глюкозо-1-фосфат        | Глюкоза + $H_3PO_4$          | 5,0                                | 20,90                             |
| Фруктозо-6-фосфат       | Фруктоза + $H_3PO_4$         | 3,8                                | 15,88                             |
| Глюкозо-6-фосфат        | Глюкоза + $H_3PO_4$          | 3,3                                | 13,79                             |
| Глицеролфосфат          | Глицерин + $H_3PO_4$         | 2,2                                | 8,36                              |

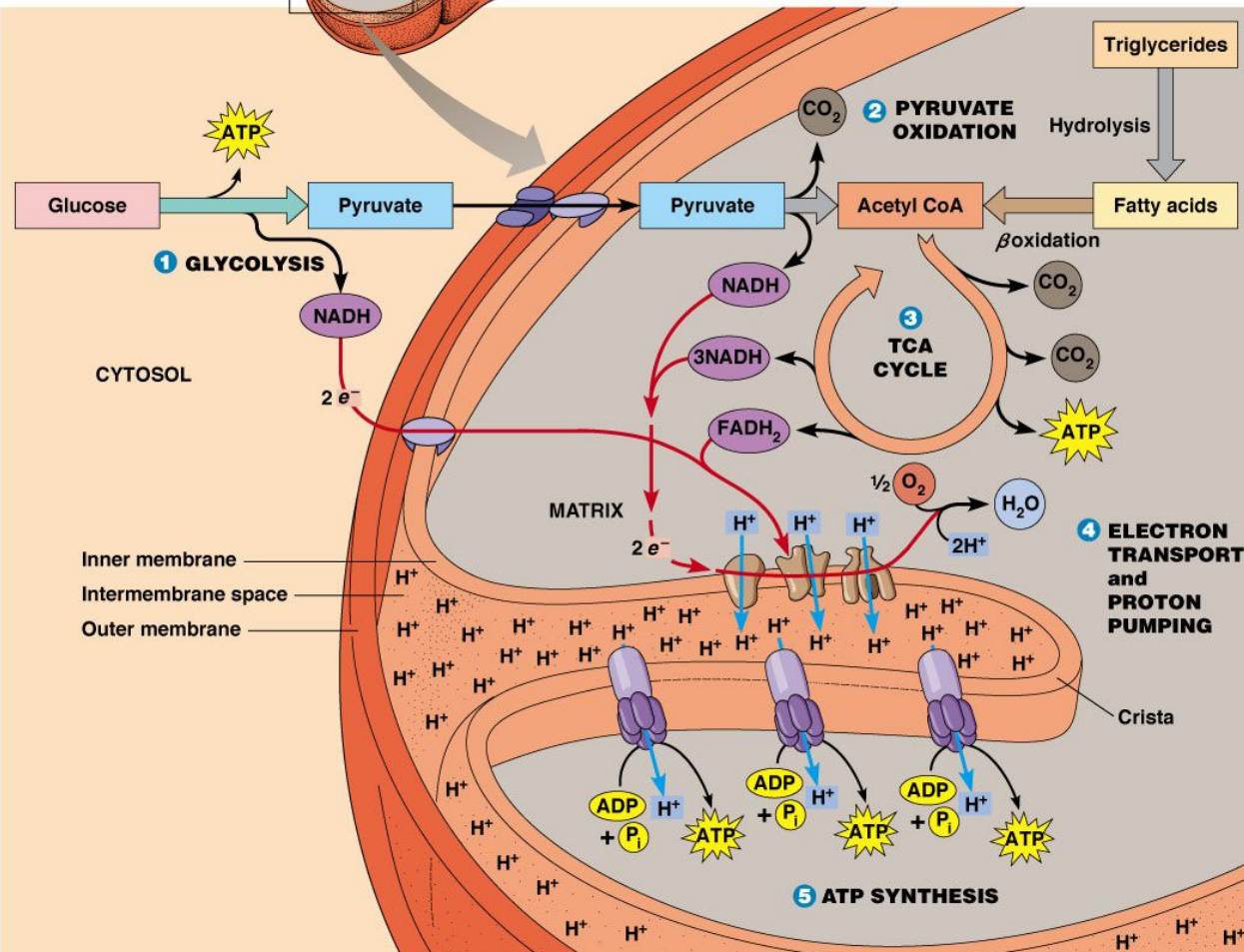
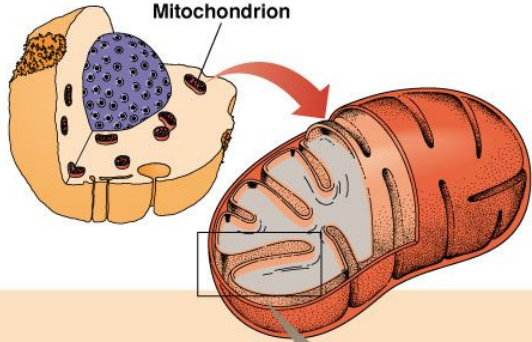
# Схема индивидуальных и общих путей катаболизма



# Общие пути катаболизма – в митохондриях



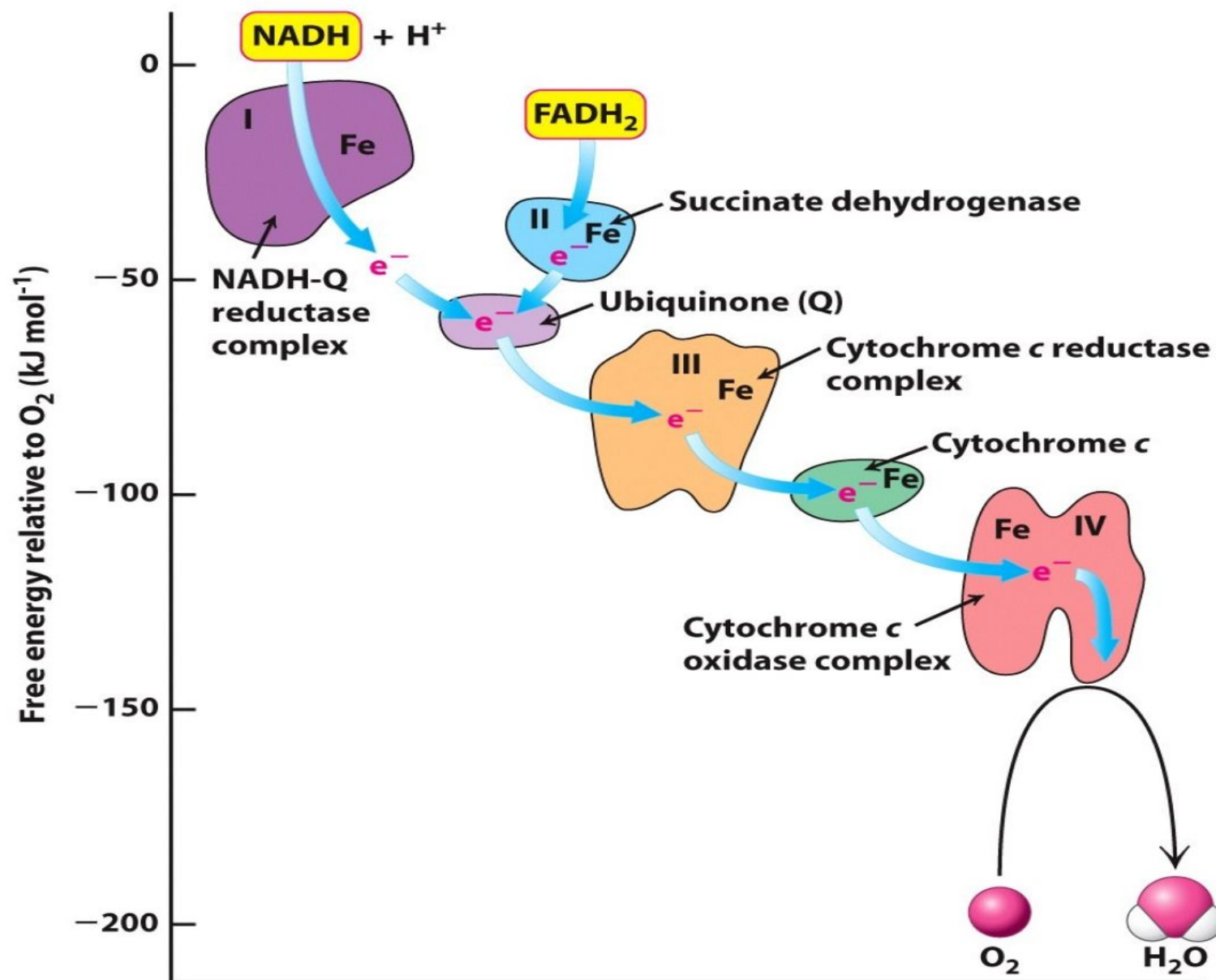
# Цепь тканевого дыхания (Цепь переноса



Процесс протекает во всех клетках, содержащих митохондрии, внутри митохондрий, комплексы ЦПЭ интегрированы во внутреннюю мембрану митохондрий.

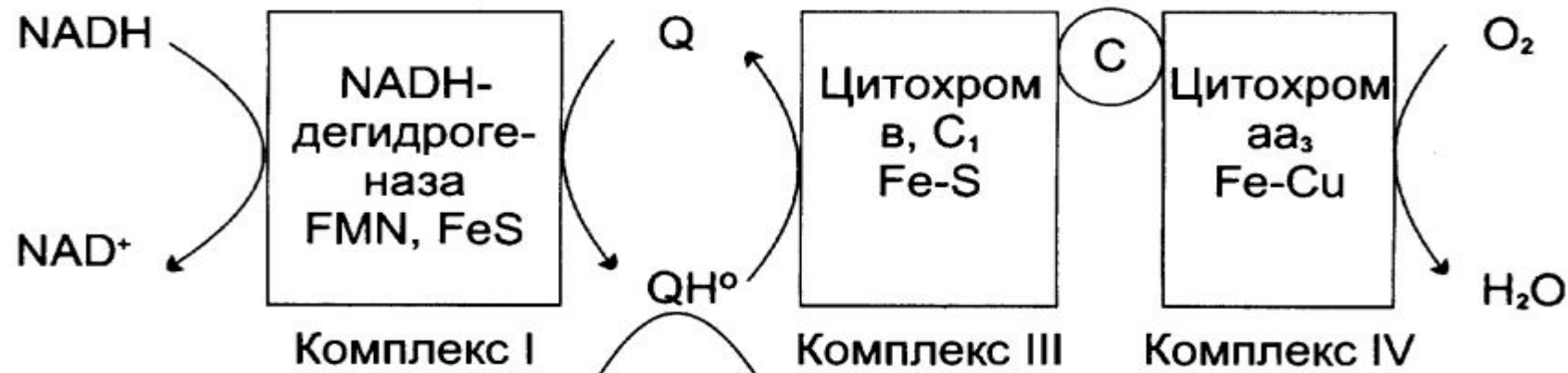
Это основной процесс, дающий энергию для синтеза АТФ

# Цепь переноса электронов (ЦПЭ)



**Движение электронов происходит в соответствии  
с редокс-потенциалом (окислительно-  
восстановительным)  
от меньшего к большему**

| Redox reaction (half-reaction)                                                                                              | $E'^{\circ}$ (V) |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|
| $2\text{H}^{+} + 2\text{e}^{-} \longrightarrow \text{H}_2$                                                                  | -0.414           |
| $\text{NAD}^{+} + \text{H}^{+} + 2\text{e}^{-} \longrightarrow \text{NADH}$                                                 | -0.320           |
| $\text{NADP}^{+} + \text{H}^{+} + 2\text{e}^{-} \longrightarrow \text{NADPH}$                                               | -0.324           |
| $\text{NADH dehydrogenase (FMN)} + 2\text{H}^{+} + 2\text{e}^{-} \longrightarrow \text{NADH dehydrogenase (FMNH}_2\text{)}$ | -0.30            |
| $\text{Ubiquinone} + 2\text{H}^{+} + 2\text{e}^{-} \longrightarrow \text{ubiquinol}$                                        | 0.045            |
| $\text{Cytochrome } b (\text{Fe}^{3+}) + \text{e}^{-} \longrightarrow \text{cytochrome } b (\text{Fe}^{2+})$                | 0.077            |
| $\text{Cytochrome } c_1 (\text{Fe}^{3+}) + \text{e}^{-} \longrightarrow \text{cytochrome } c_1 (\text{Fe}^{2+})$            | 0.22             |
| $\text{Cytochrome } c (\text{Fe}^{3+}) + \text{e}^{-} \longrightarrow \text{cytochrome } c (\text{Fe}^{2+})$                | 0.254            |
| $\text{Cytochrome } a (\text{Fe}^{3+}) + \text{e}^{-} \longrightarrow \text{cytochrome } a (\text{Fe}^{2+})$                | 0.29             |
| $\text{Cytochrome } a_3 (\text{Fe}^{3+}) + \text{e}^{-} \longrightarrow \text{cytochrome } a_3 (\text{Fe}^{2+})$            | 0.55             |
| $\frac{1}{2}\text{O}_2 + 2\text{H}^{+} + 2\text{e}^{-} \longrightarrow \text{H}_2\text{O}$                                  | 0.816            |



Направление движения электронов в ЦПО

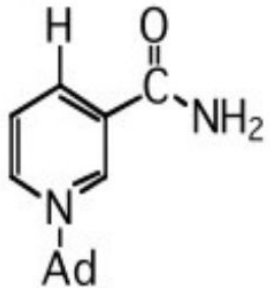
# Для НАД-зависимых S

Положительный  
заряд на азоте



Никотинамид

N-гликозидная  
связь



НАД окисленная  
форма



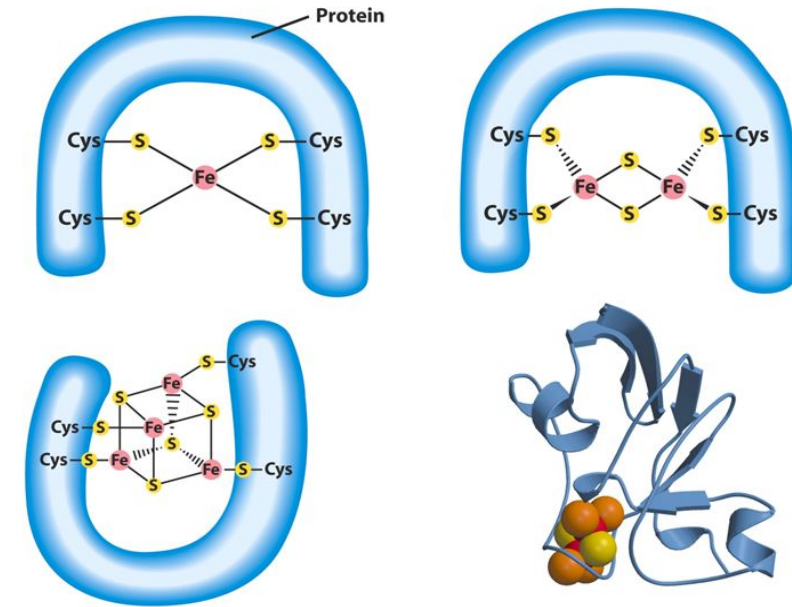
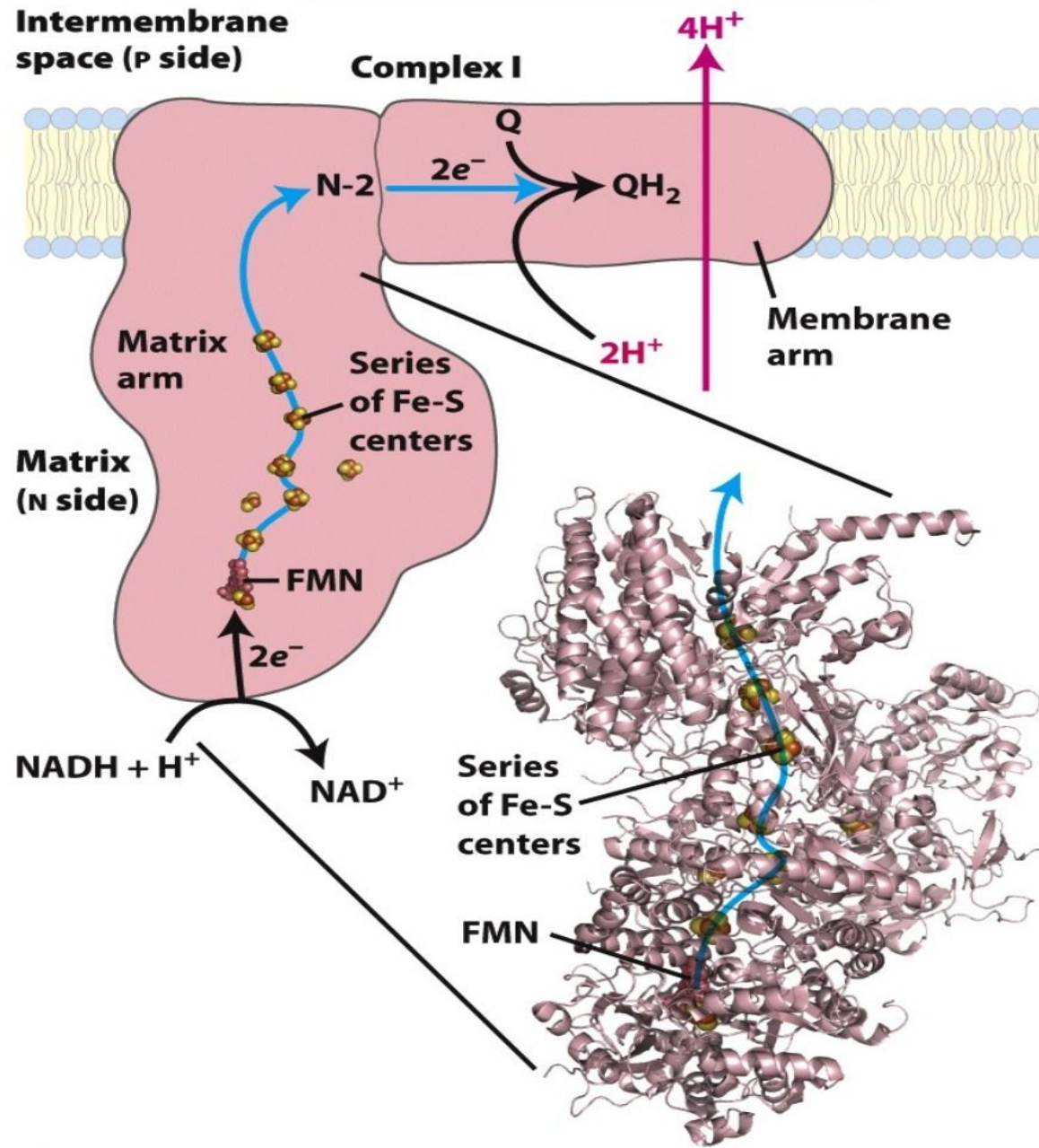
НАДН восстановленная  
форма

Переносчик H<sup>+</sup> 2e<sup>-</sup>  
от НАД-зависимых S

на первый дыхательный  
комплекс (ФМН FeS)

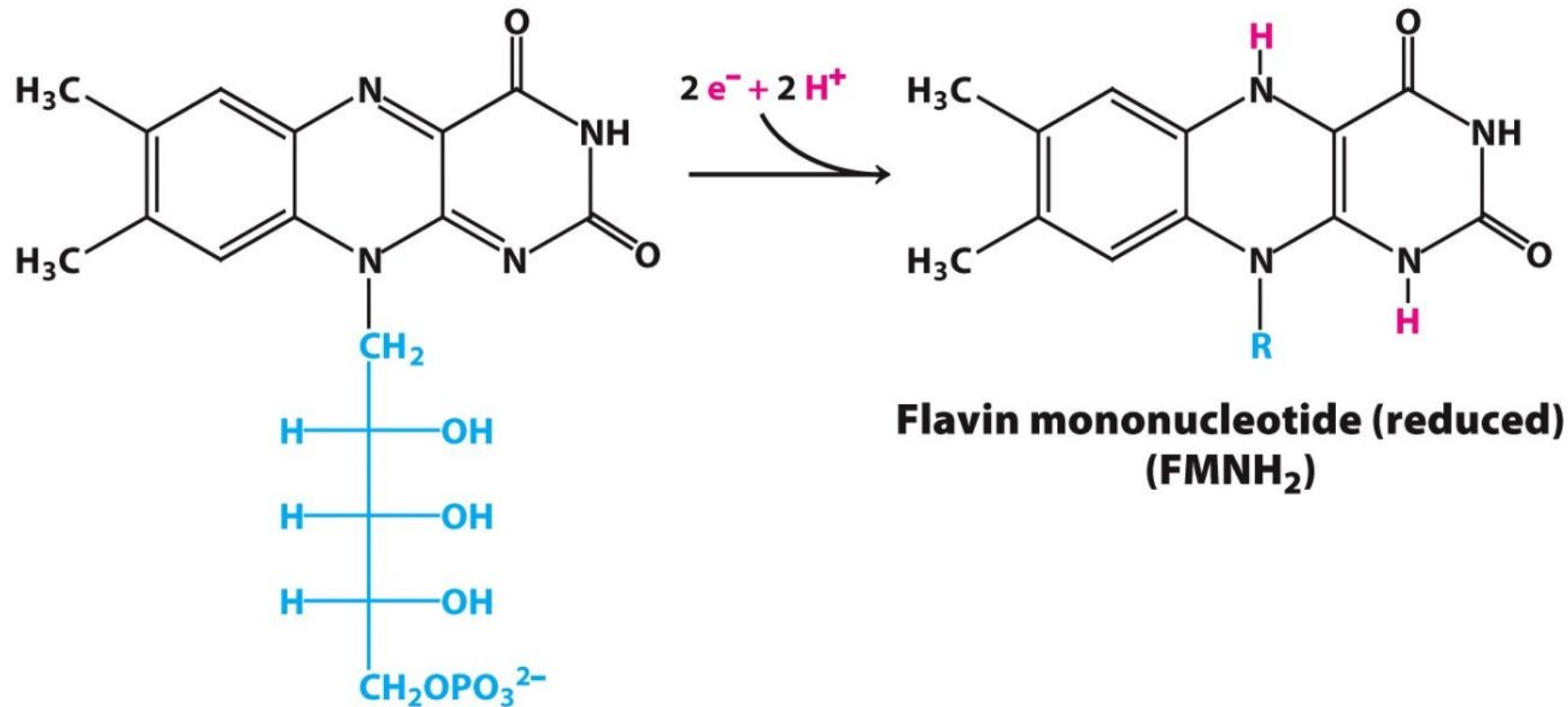
# Комплекс I

## Железо-серные белки

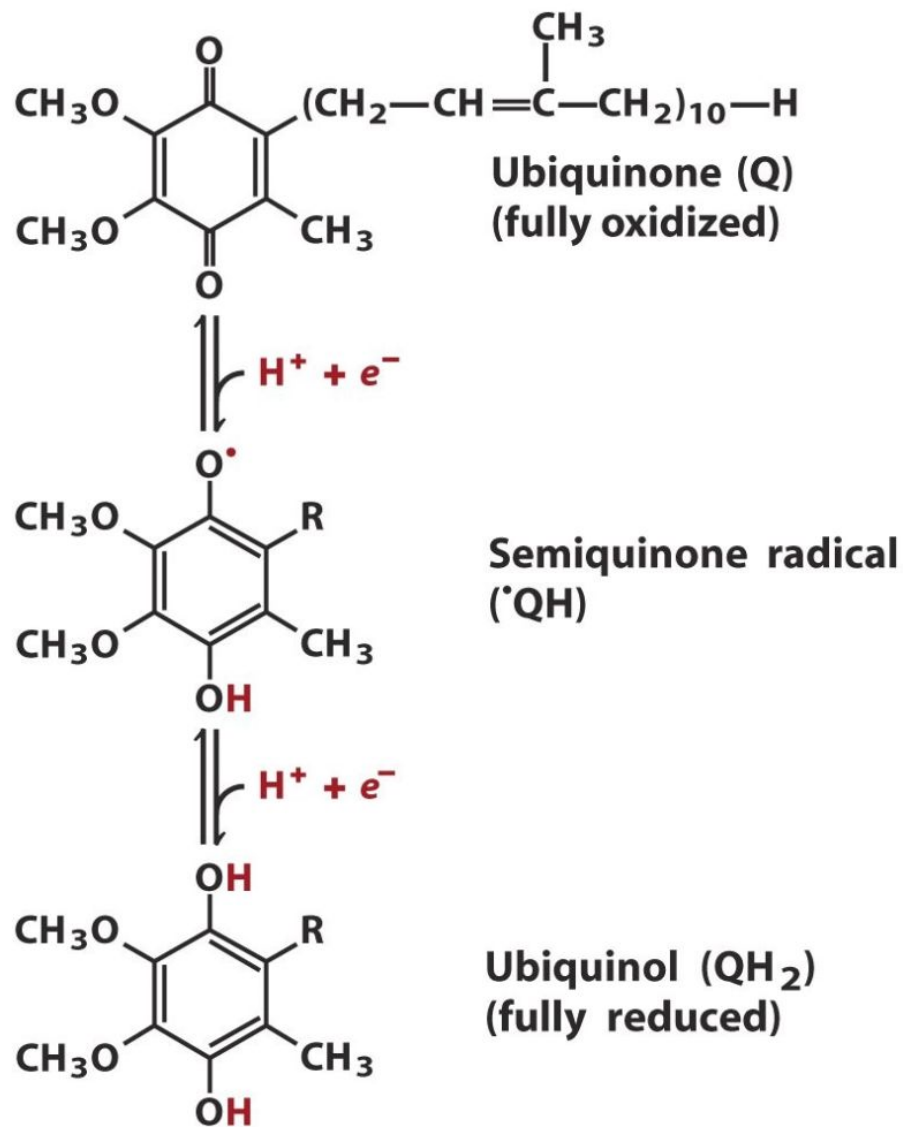


Благодаря железо-серным комплексам в структуре 1-го комплекса происходит перенос электронов. Ионы водорода при этом притягиваются, но не связываются с этим комплексом. Поэтому проходят дальше, в результате чего перекачиваются из матрикса митохондрии в межмембранное пространство против градиента концентрации. Таким образом электрохимическая цепь совершает

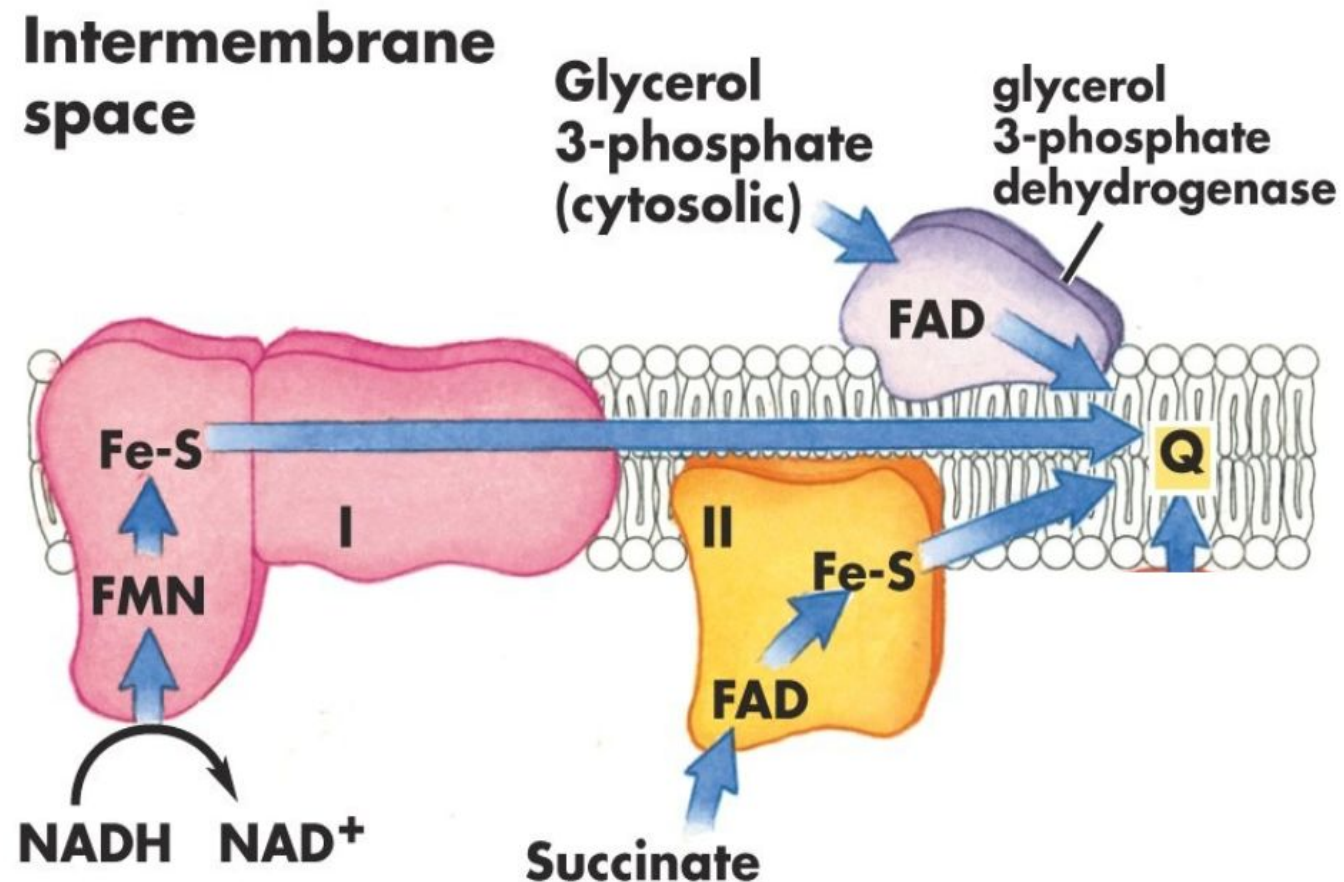
# FMN – флавинмононуклеотид (ФМН)



# Коэнзим Q (убихинон)

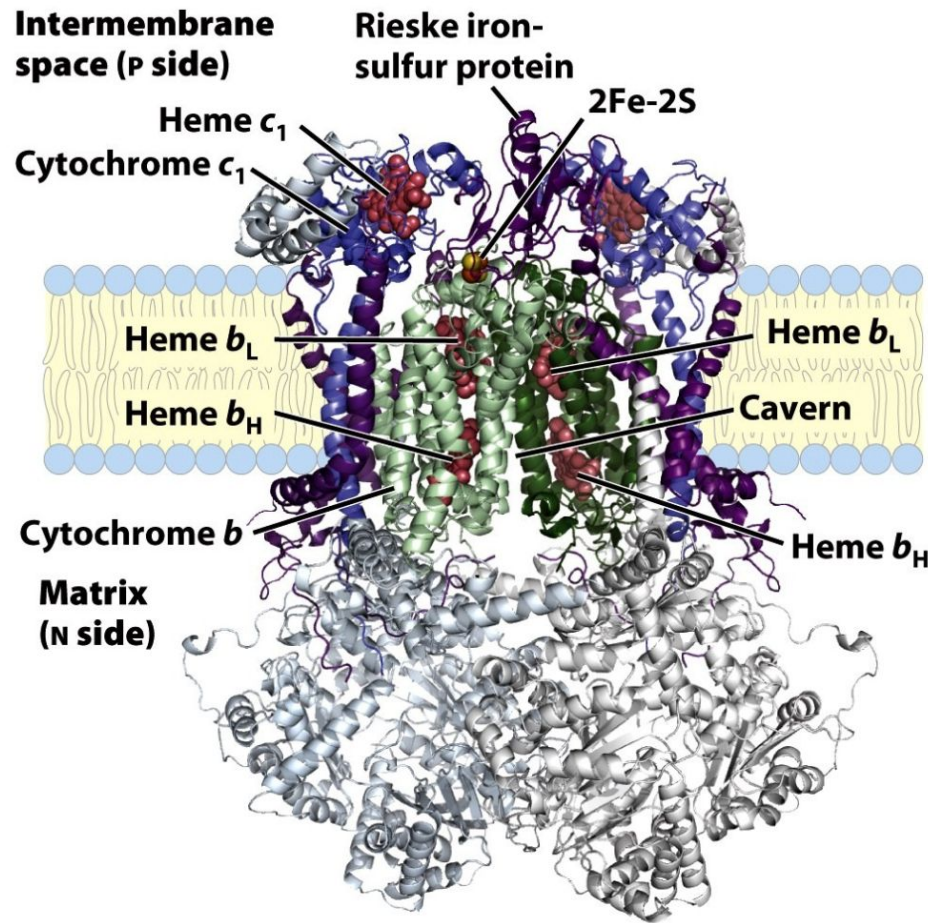


## Укороченная дыхательная цепь

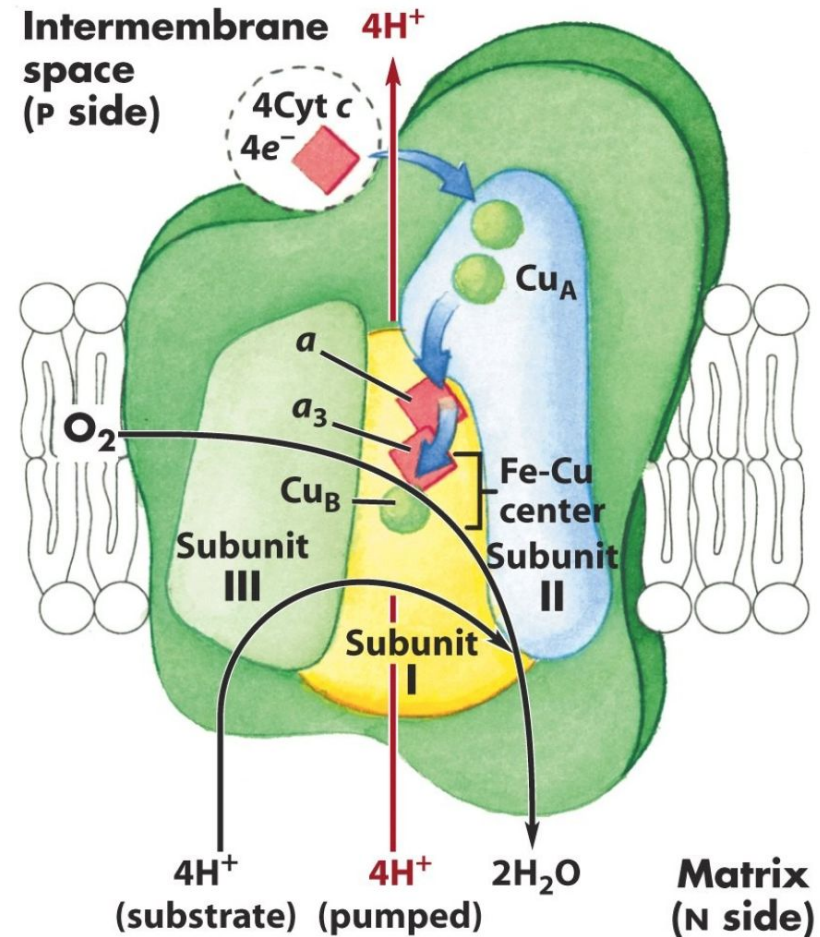


Начинается со 2-го комплекса, являющегося ФАД –зависимой сукцинатдегидрогеназой. Минуя 1-й комплекс происходит передача электронов на Убихинон. 2-й комплекс не способен перекачивать ионы водорода из матрикса в межмембранное пространство. Поэтому дыхательная цепь, начинающаяся с ФАД дает меньше энергии для синтеза АТФ (всего 2 АТФ)

## Комплекс III



## Комплекс IV

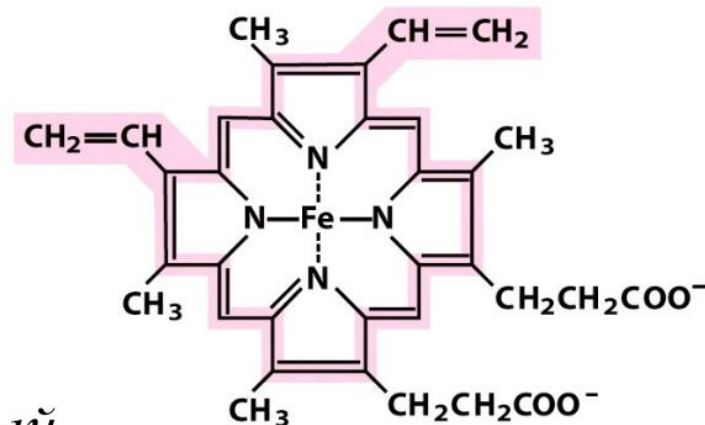


Цепь цитохромов переносит только электроны (происходит цепочка окислительно-восстановительных реакций). Выделяемая при этом энергия совершает работу по перекачиванию ионов водорода в межмембранное пространство через 3-й и 4-й комплекс. Конечным акцептором электронов в 4-м комплексе является кислород, который реагируя с ионами водорода образует ВОДУ

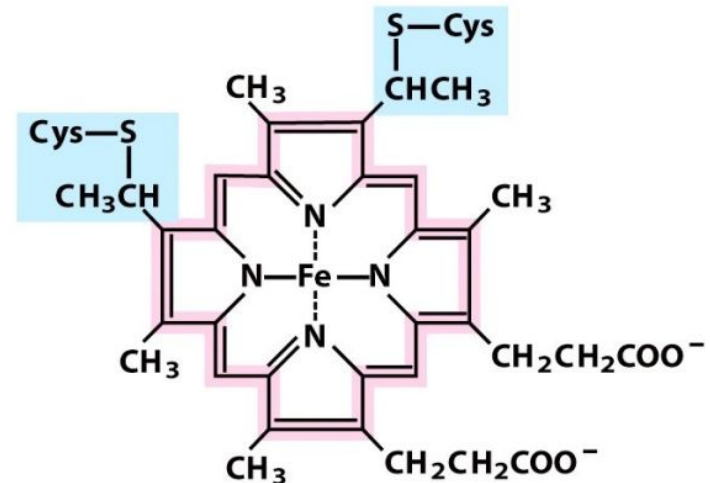
# Цитохромы (цит)

Гем-  
содержащие  
протеины

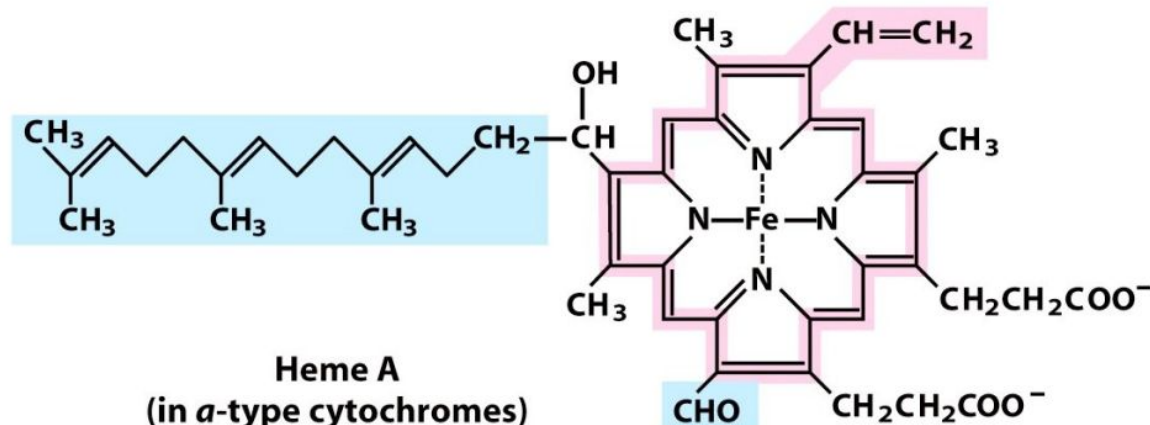
*Цит с растворимый  
периф.протеин*



Iron protoporphyrin IX  
(in *b*-type cytochromes)



Heme C  
(in *c*-type cytochromes)

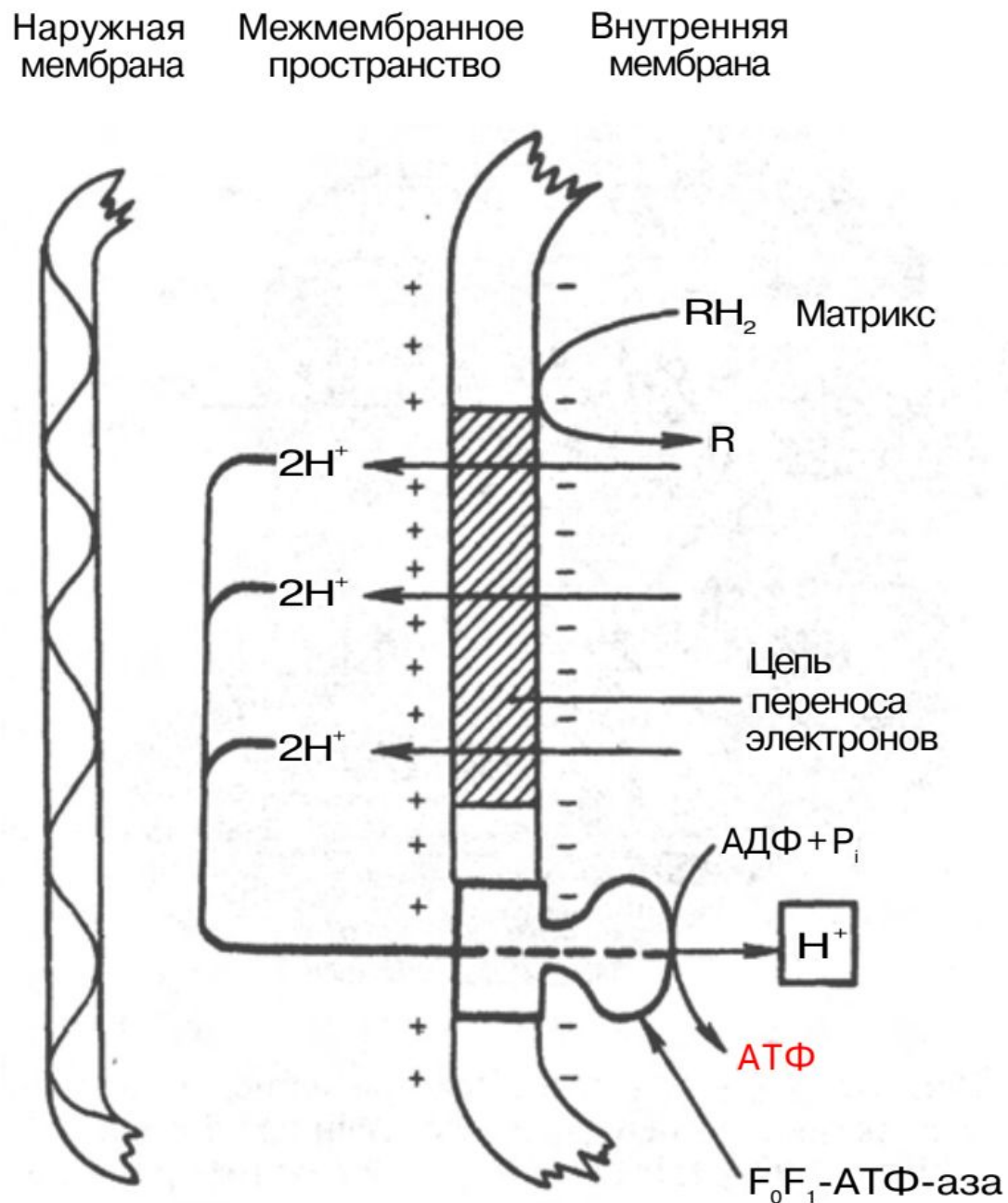


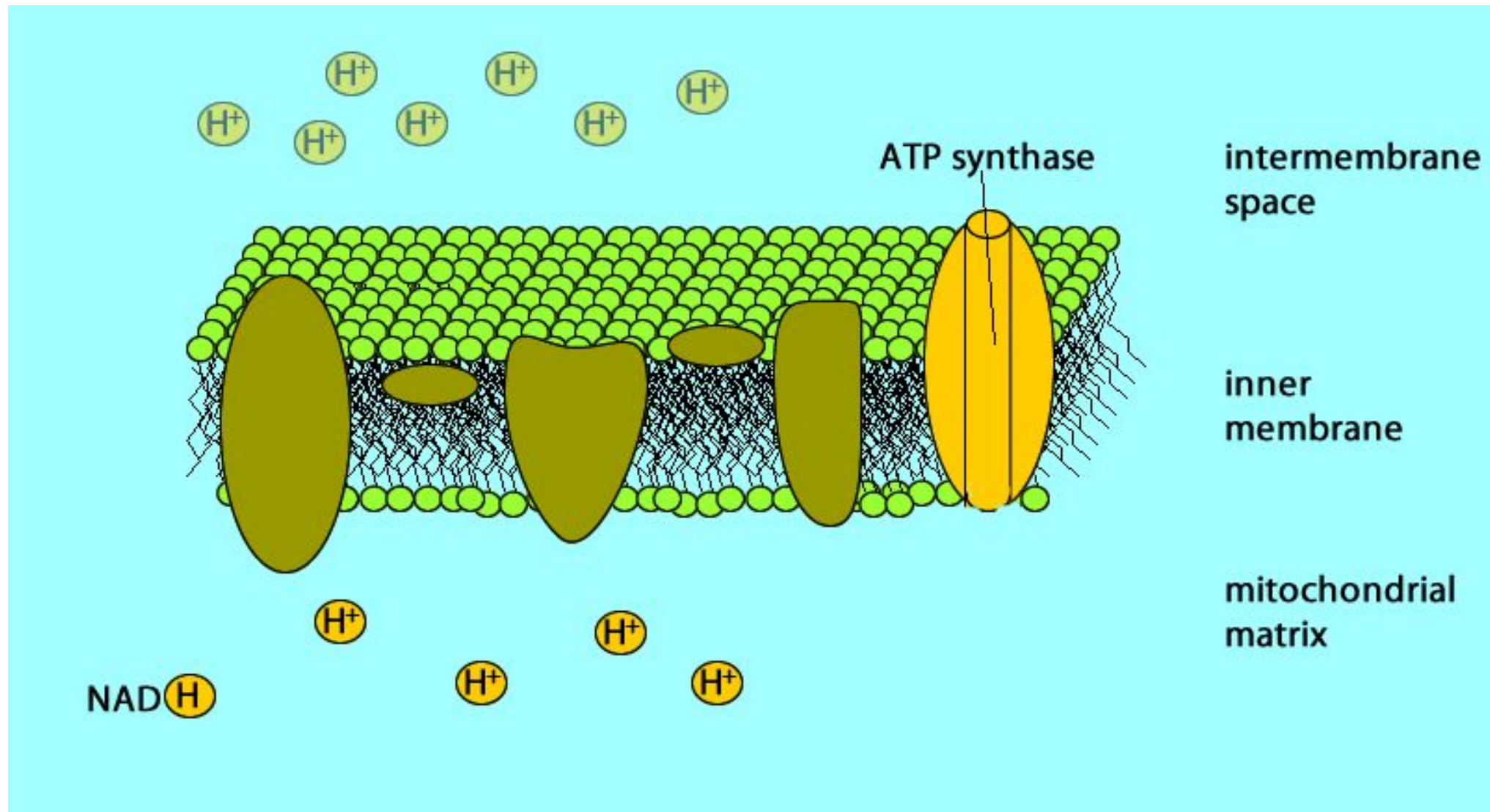
Heme A  
(in *a*-type cytochromes)

## Хемиосмотическая теория

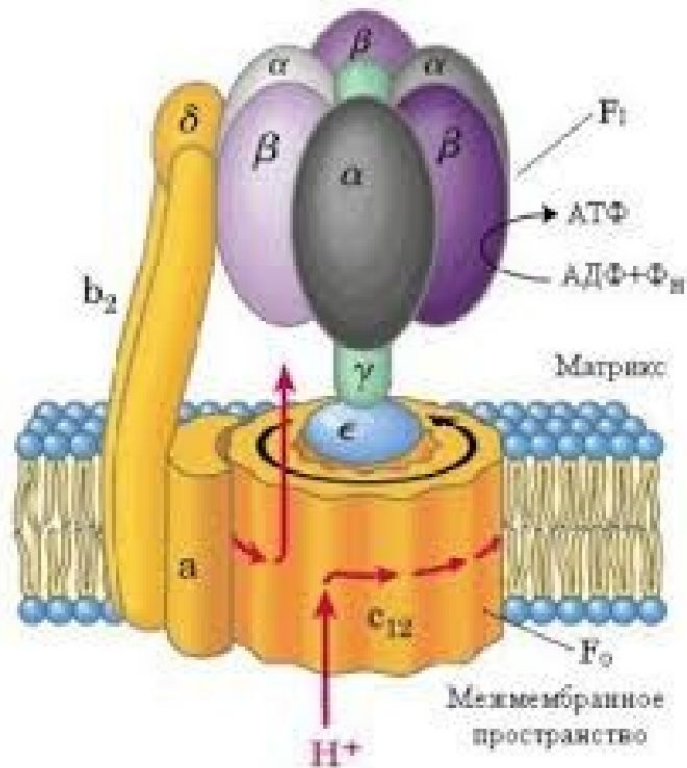
ЦПЭ выделяемую энергию использует для перекачивания ионов водорода из матрикса митохондрии в межмембранное пространство.

Создается трансмембранный потенциал, который может разрядиться только через специальный канал АТФ-синтазы. Движение ионов водорода через этот канал дает энергию для синтеза АТФ.



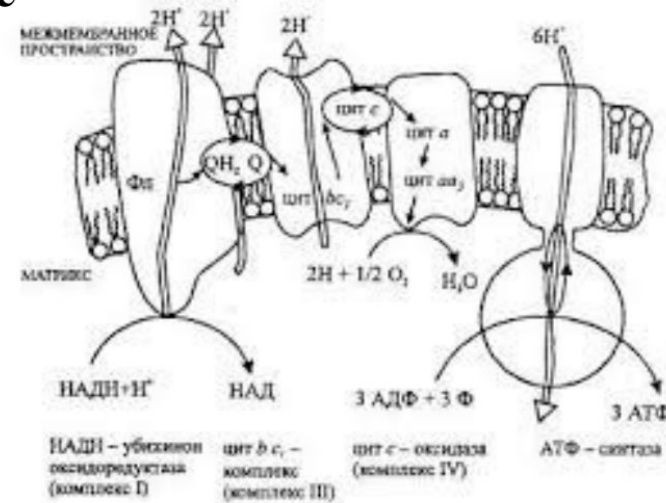


# АТФ-синтаза



$F_0$  - трансмембранный домен (фактор сопряжения)

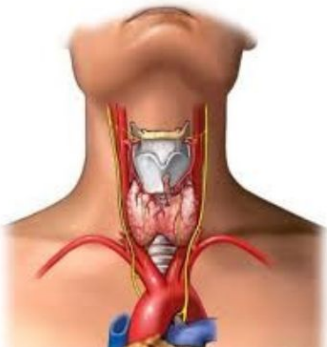
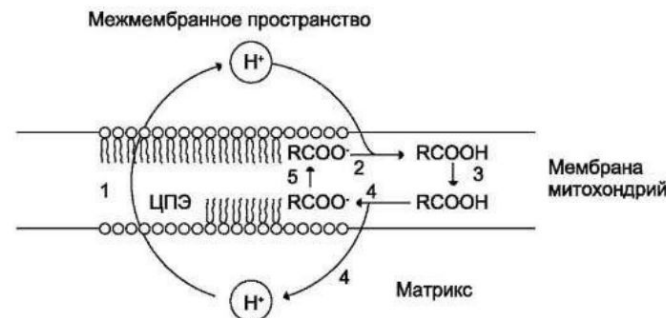
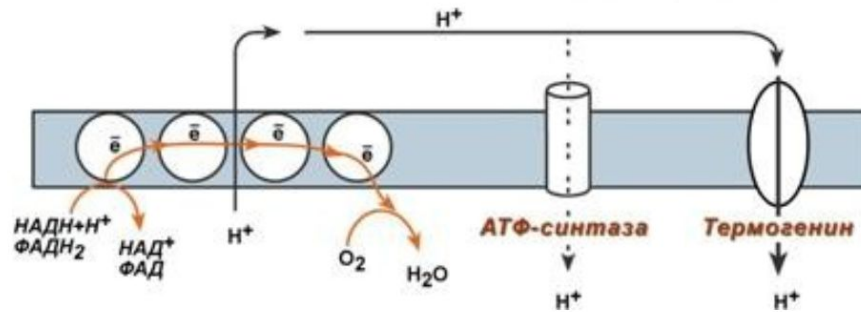
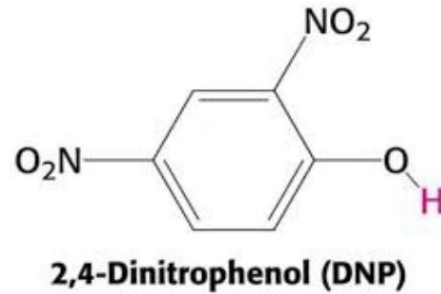
$F_1$  - находится вне мембраны, в матриксе



Энергию для синтеза АТФ-синтаза получает от протонов, проходящих по электрохимическому градиенту, из межмембранного пространства в матрикс митохондрий.

Антибиотик **ОЛИГОМИЦИН** по давляет активность  $F_0$ -компонента АТФ-синтазы митохондрий

# Разобщители

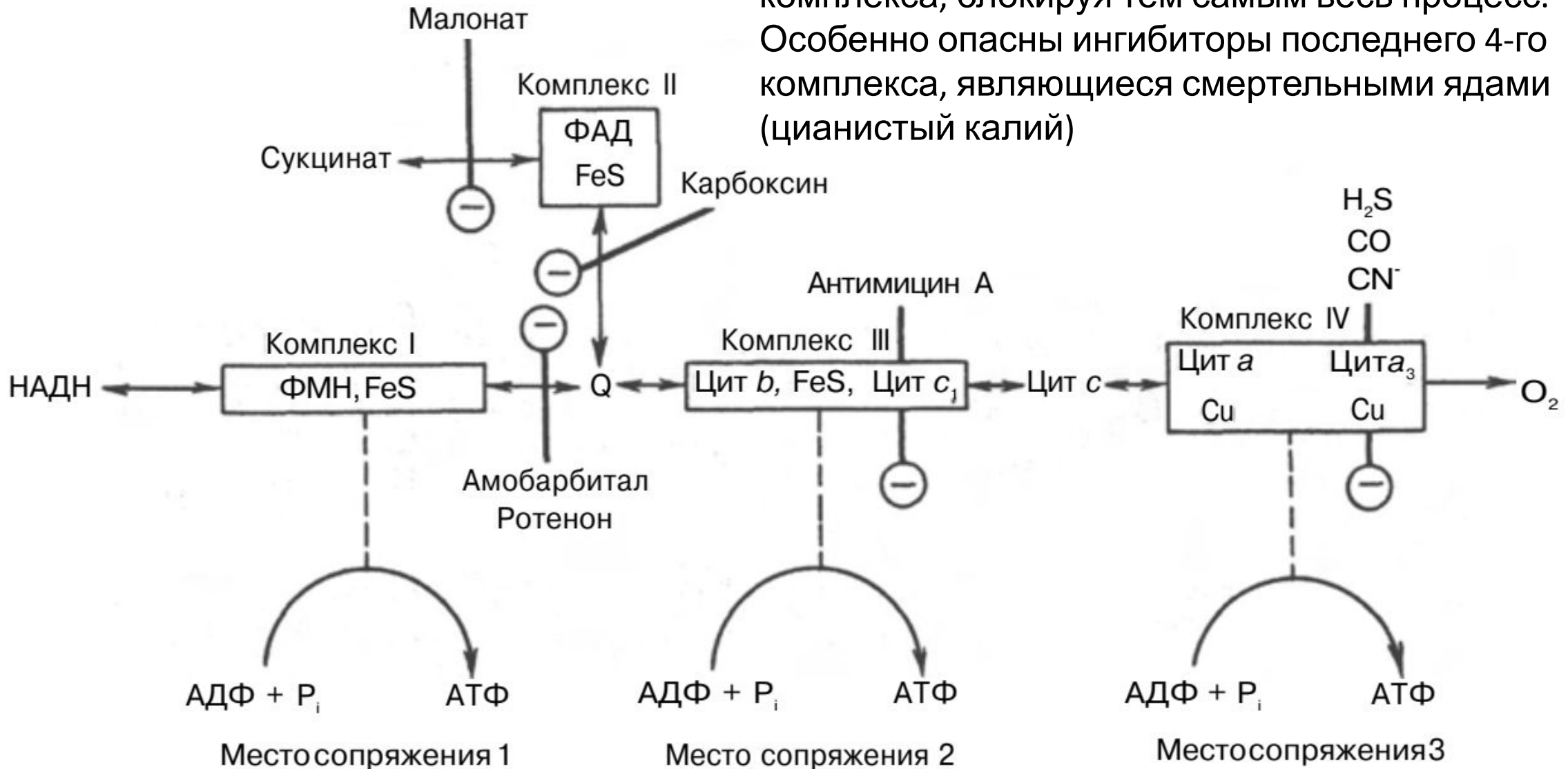


Разобщители – вещества, способствующие обратному проникновению ионов водорода из межмембранного пространства в матрикс митохондрии, минуя АТФ-синтазу. В результате полезная химическая работа не совершается – АТФ не синтезируется, а энергия рассеивается в виде тепла.

Физиологические вещества разобщители – белок термогенин и гормон тироксин.

# Ингибиторы цепи тканевого дыхания

Ингибиторы ЦТД подавляют работу того или иного комплекса, блокируя тем самым весь процесс. Особенно опасны ингибиторы последнего 4-го комплекса, являющиеся смертельными ядами (цианистый калий)



# Благодарю за внимание!

