

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ОБМЕН

http://biochem.vsmu.edu.ua/biochem_common_u/severin_biologic_heskaya_khimiya.pdf

(Биохимия. РАЗДЕЛ 6. Энергетический обмен-Л.В. Авдеева, Н.А. Павлова, Г.В. Рубцова)

ЗАКОНЫ БИОЭНЕРГЕТИКИ В.П.Скулачев

http://www.pereplet.ru/nauka/Soros/pdf/9701_009.pdf

**МОЛЕКУЛЯРНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ЭНЕРГИИ
В ЖИВОЙ КЛЕТКЕ**

А.Н.Тихонов

http://www.pereplet.ru/nauka/Soros/pdf/9707_010.pdf

КЛЕТОЧНОЕ ДЫХАНИЕ

(входит в группу процессов КАТАБОЛИЗМА)- это

ОКИСЛЕНИЕ СУБСТРАТА ДО CO_2 И H_2O

**Клеточное дыхание =
Энергетический обмен**

1929 г. – ФИСКЕ, СУББАРΟΥ-впервые выделена молекула **АТФ**

1931 г. – Энгельгардт В.А. – источником энергии для работы мышц является **АТФ**

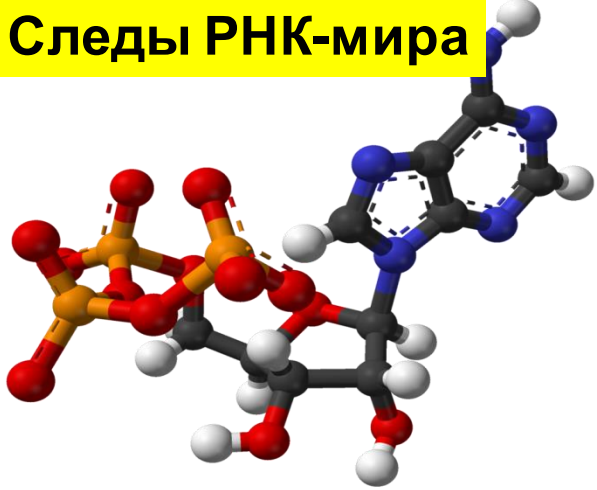
1941 г. – Ф.Липман - Закон биоэнергетики- *живая клетка сначала преобразует внешнюю энергию в АТФ, а затем использует ее для совершения работы*

ЗАКОНЫ БИОЭНЕРГЕТИКИ

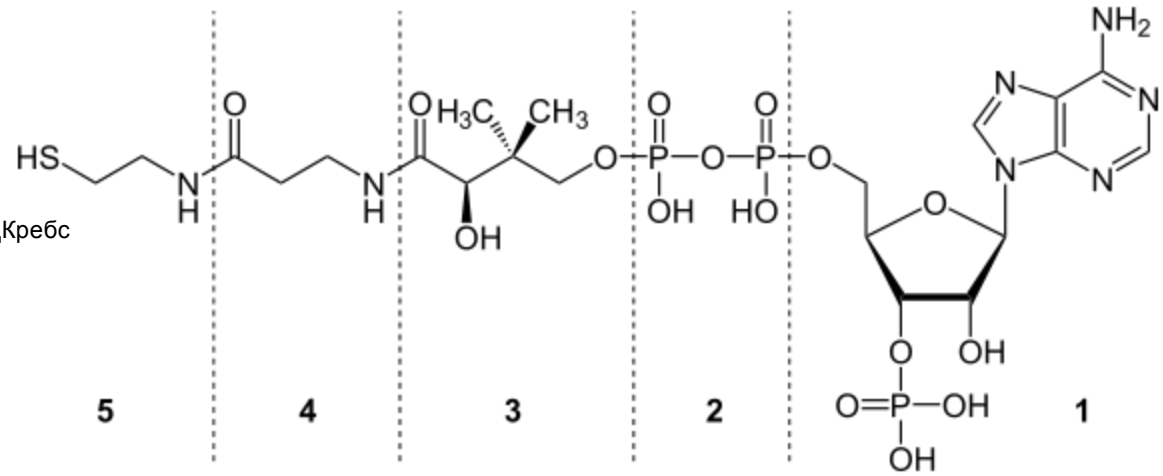
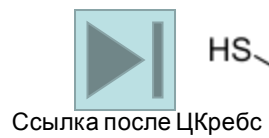
1. **живая клетка избегает прямого использования энергии внешних ресурсов, а преобразует ее в *конвертируемую форму***
2. **любая клетка использует минимум ДВЕ формы конвертируемой энергии – *водорастворимой (АТФ) и связанной (протонный градиент/Na⁺ градиент)***
3. **эти формы конвертируемой энергии могут *переходить* одна в другую**

Кофактор трансфераз

Кофермент ацелирования- переноса ацильной группы при окислении пирувата в цикле лимонной кислоты, синтезе и окислении жирных кислот



Кофермент А – модифицированный рибонуклеотид.

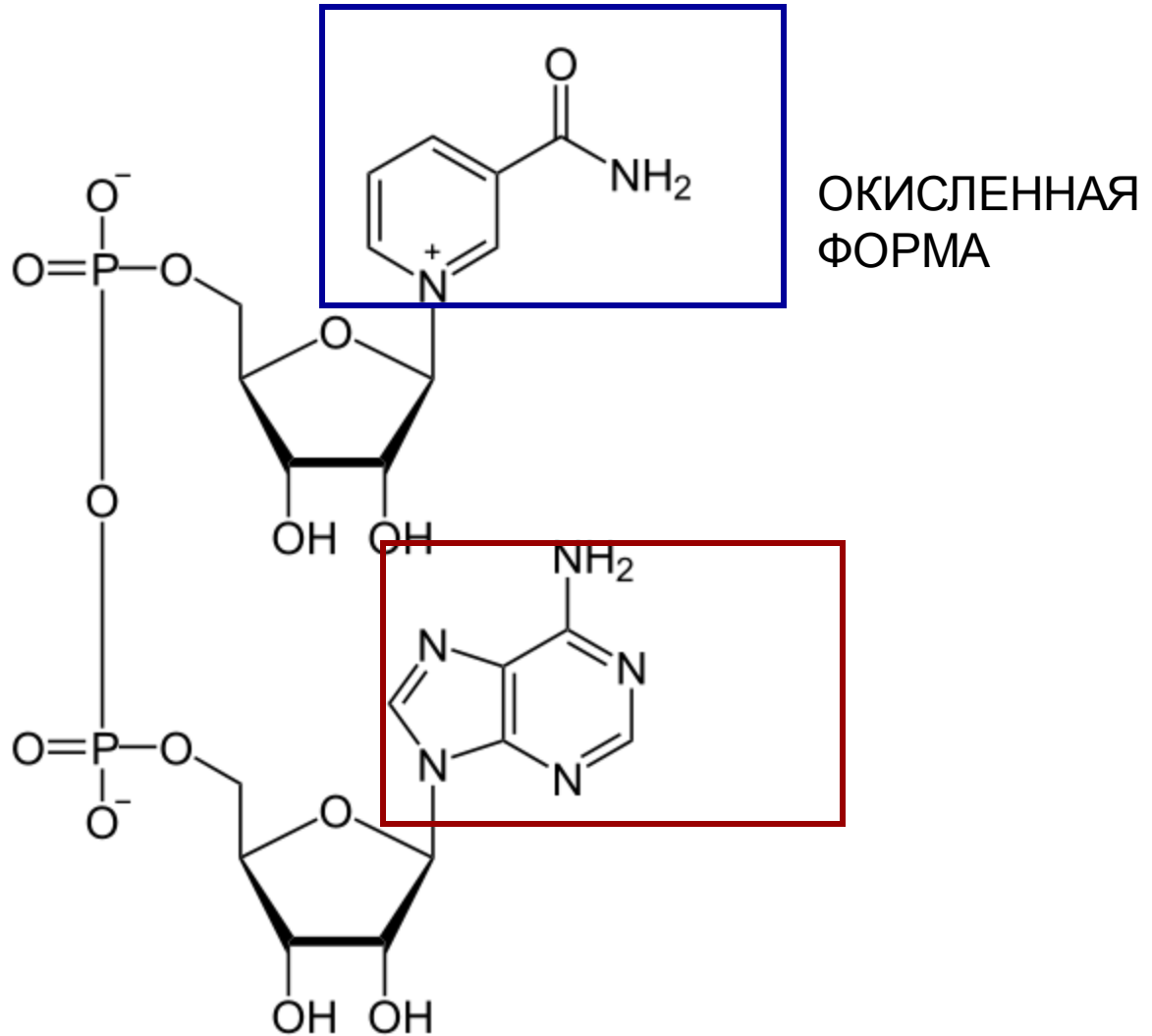


Производное β-аланин пантоевая пирофосфат цистеина кислота

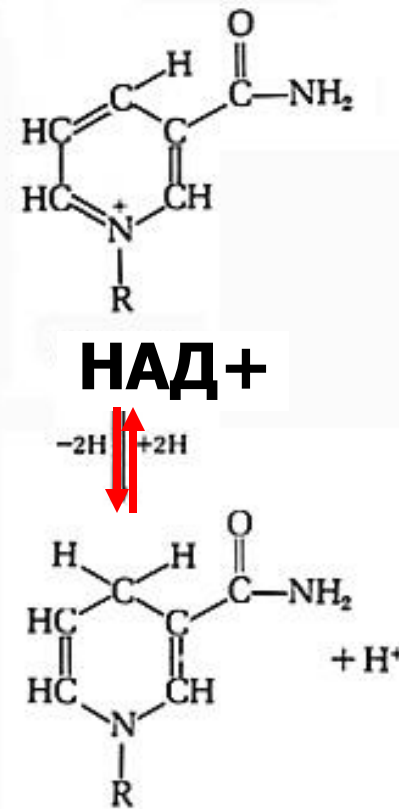
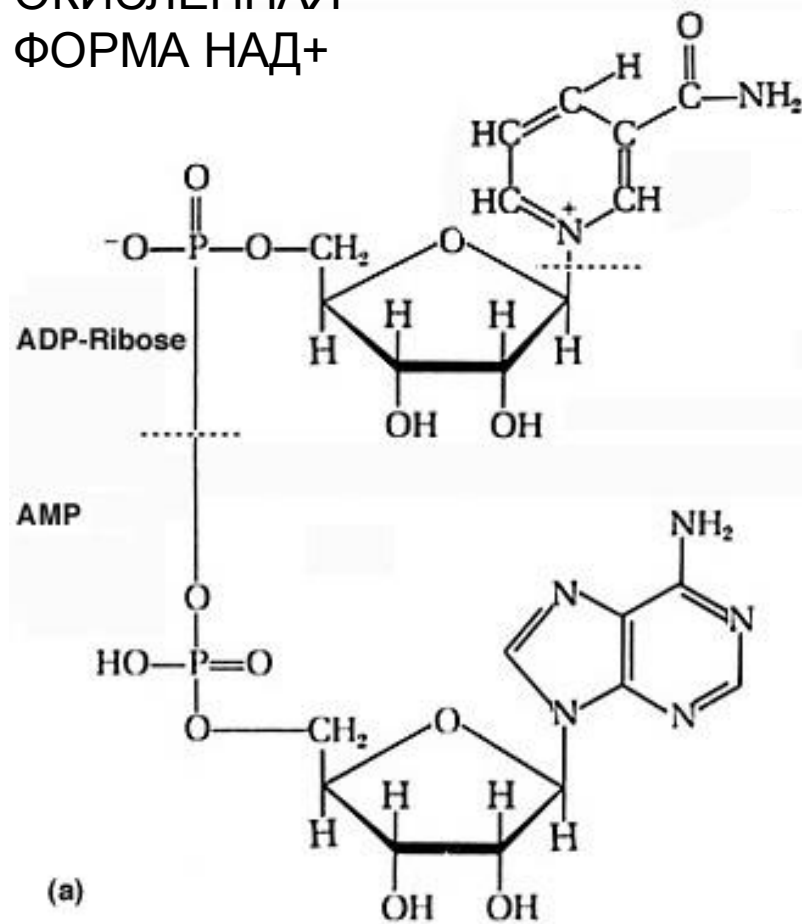
Кофактор оксидоредуктаз

Кофермент дегидрогеназ-

НАД никотинамиддениндинуклеотид



ОКИСЛЕННАЯ
ФОРМА НАД⁺

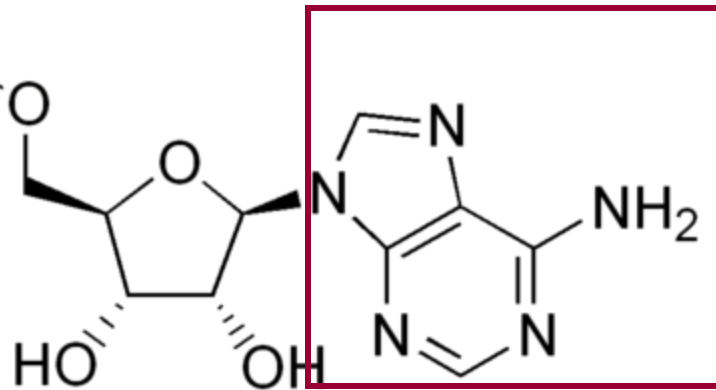
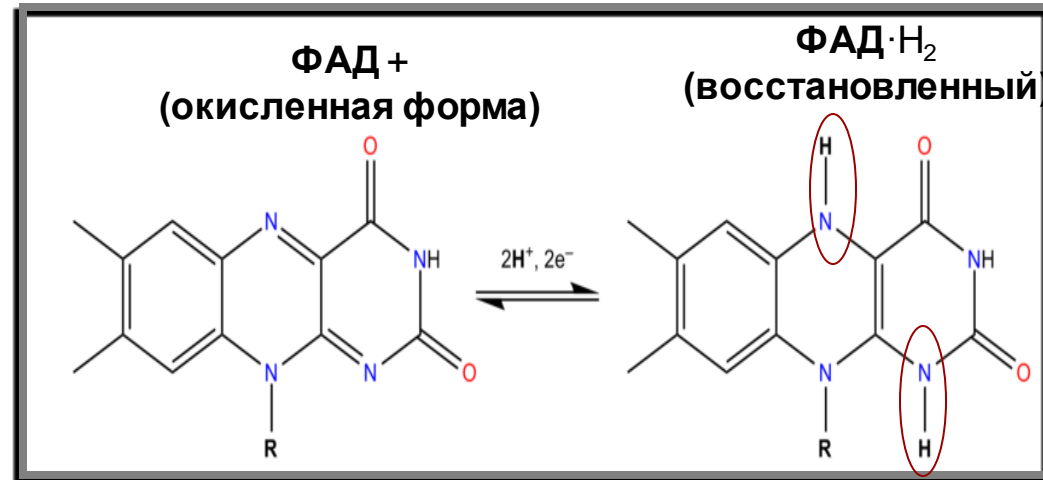
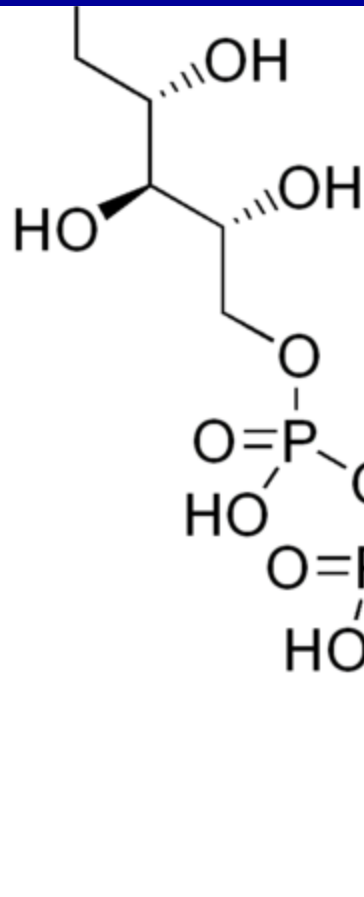
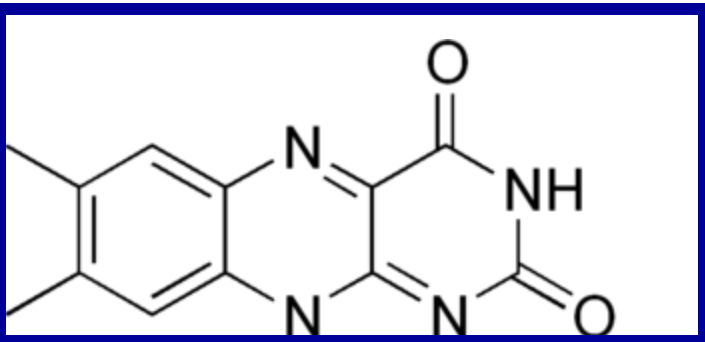


НАД ВОССТАНОВЛЕННЫЙ

Кофактор (простетическая группа)
флавопротеина (ОР-аза)–

ФАД

флавинадениндинуклеотид



Энергетический обмен

1. Гликолиз (путь Эмбдена-Мейергофа-Парнаса)

 (В цитоплазме: 2АТФ, 2 НАД·Н₂)

2. Цикл Кребса (цикл лимонной кислоты)

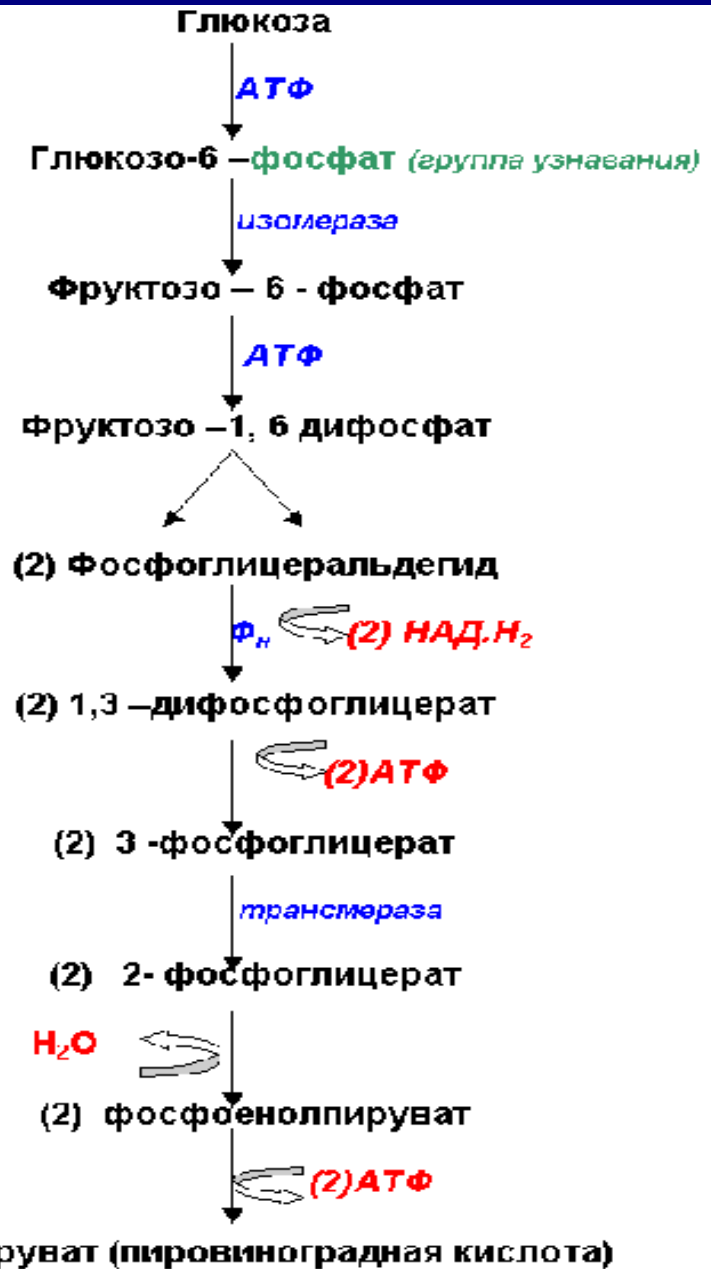
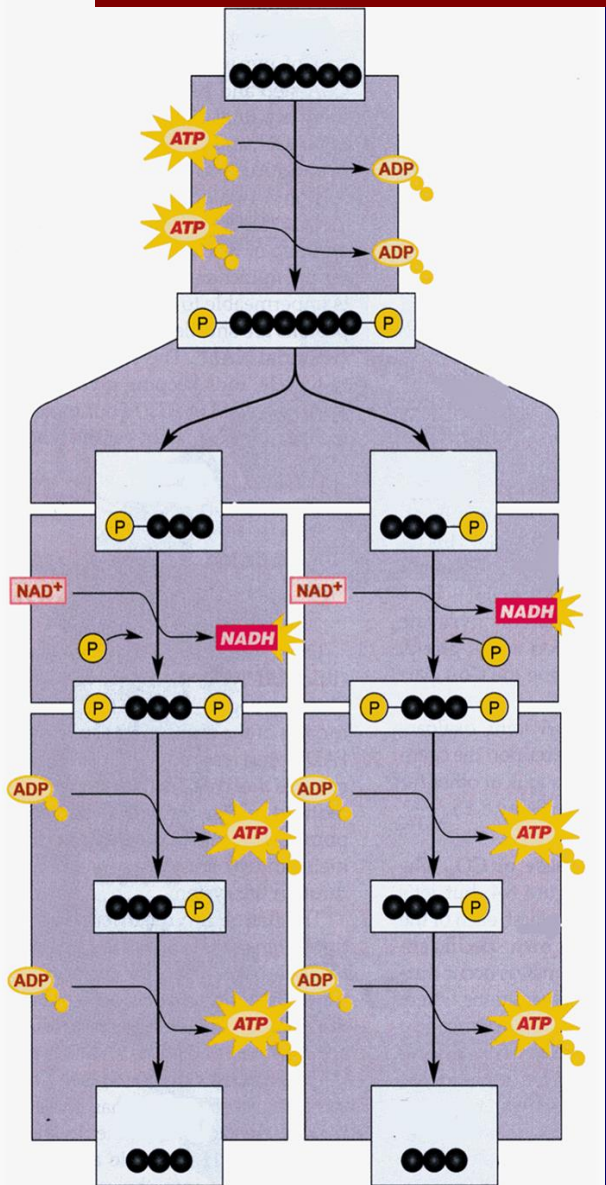
 (В матриксе митохондрий: 2ГТФ, 8 НАД·Н₂ и 2ФАД·Н₂)

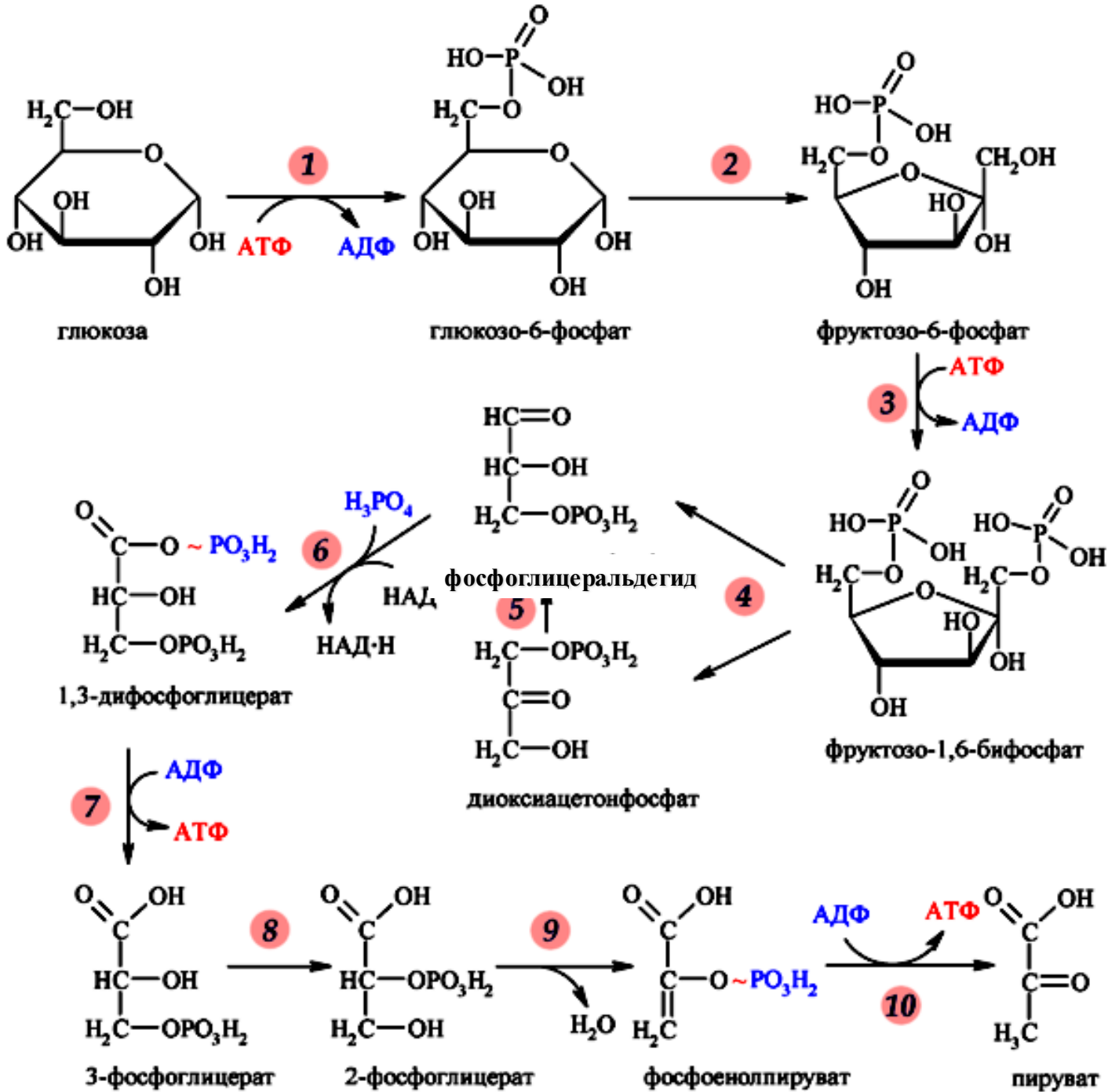
3. Окислительное фосфорилирование (дыхательная цепь)

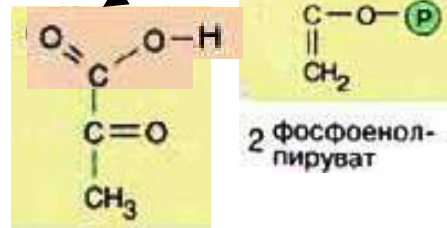
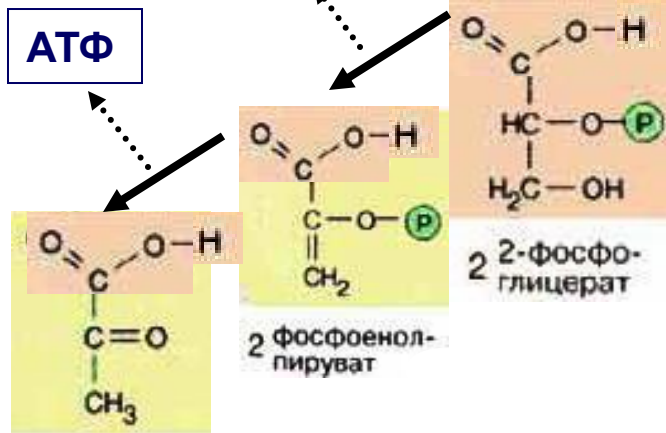
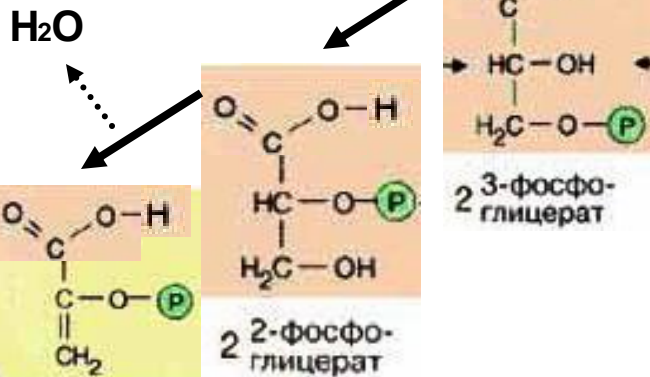
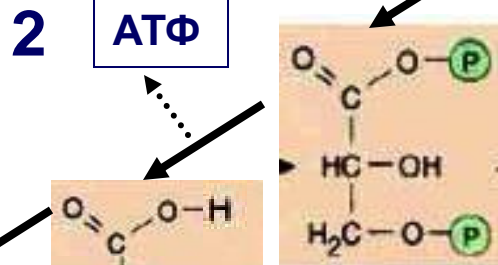
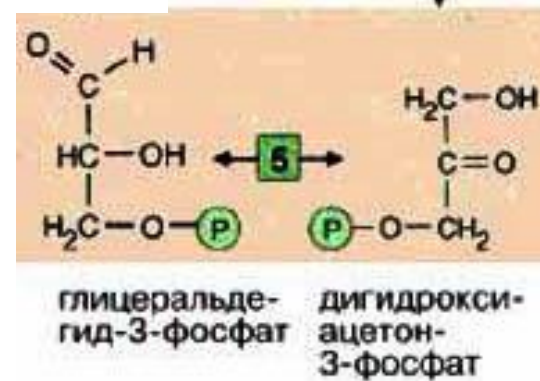
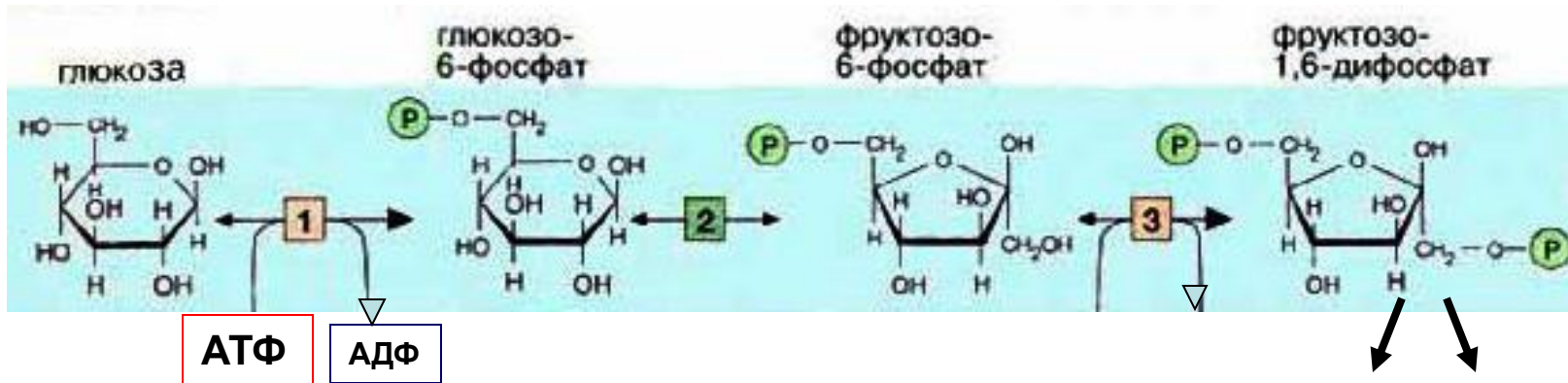
 (На мембране крист митохондрий: 34 АТФ)

Гликолиз

(В цитоплазме: 2АТФ, 2 НАД·Н₂)

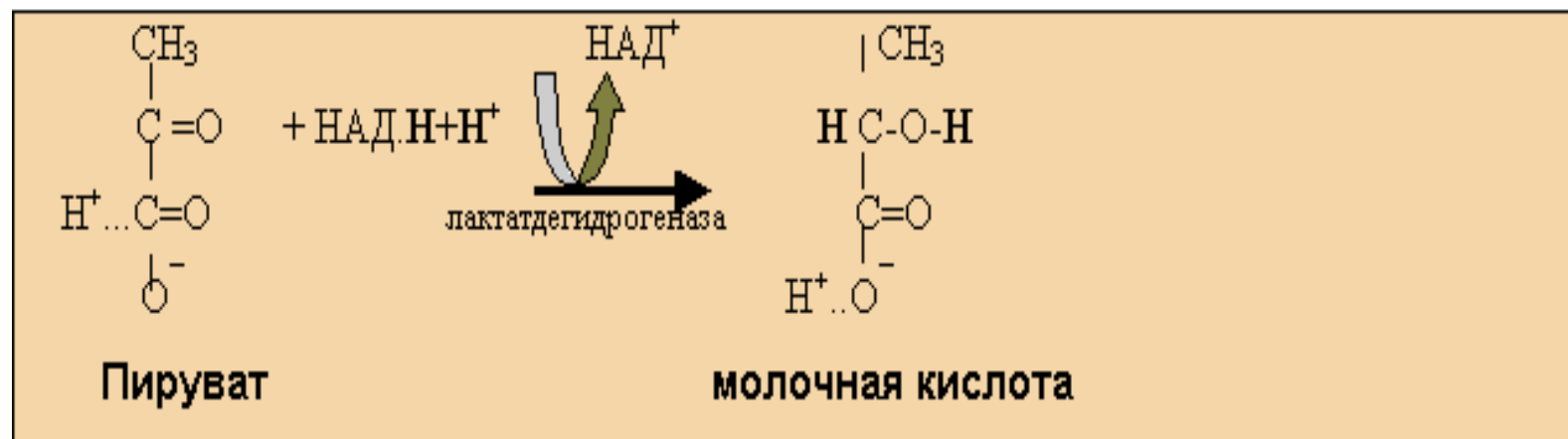
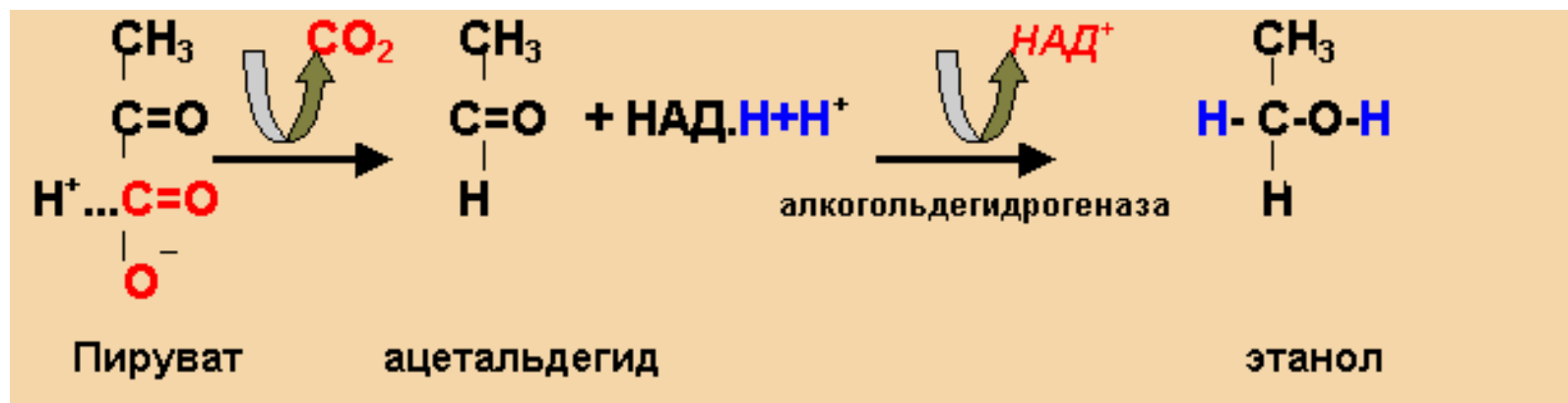




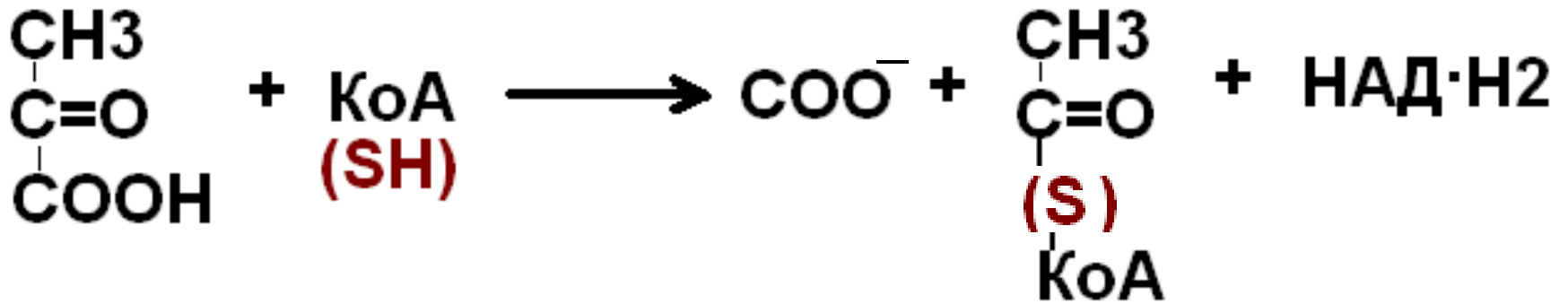


2 пируват

Брожение



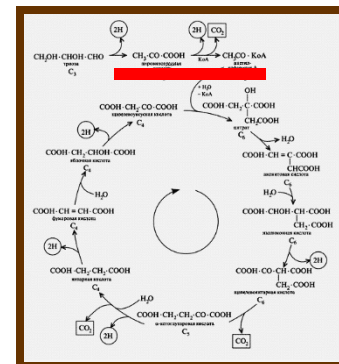
Подготовительный этап



пируват

Кофермент А
с SH-
группой

ацетил-КоА



Энергетический обмен

1. Гликолиз (путь Эмбдена-Мейергофа)

(В цитоплазме: 2АТФ, 2 НАД Н₂)

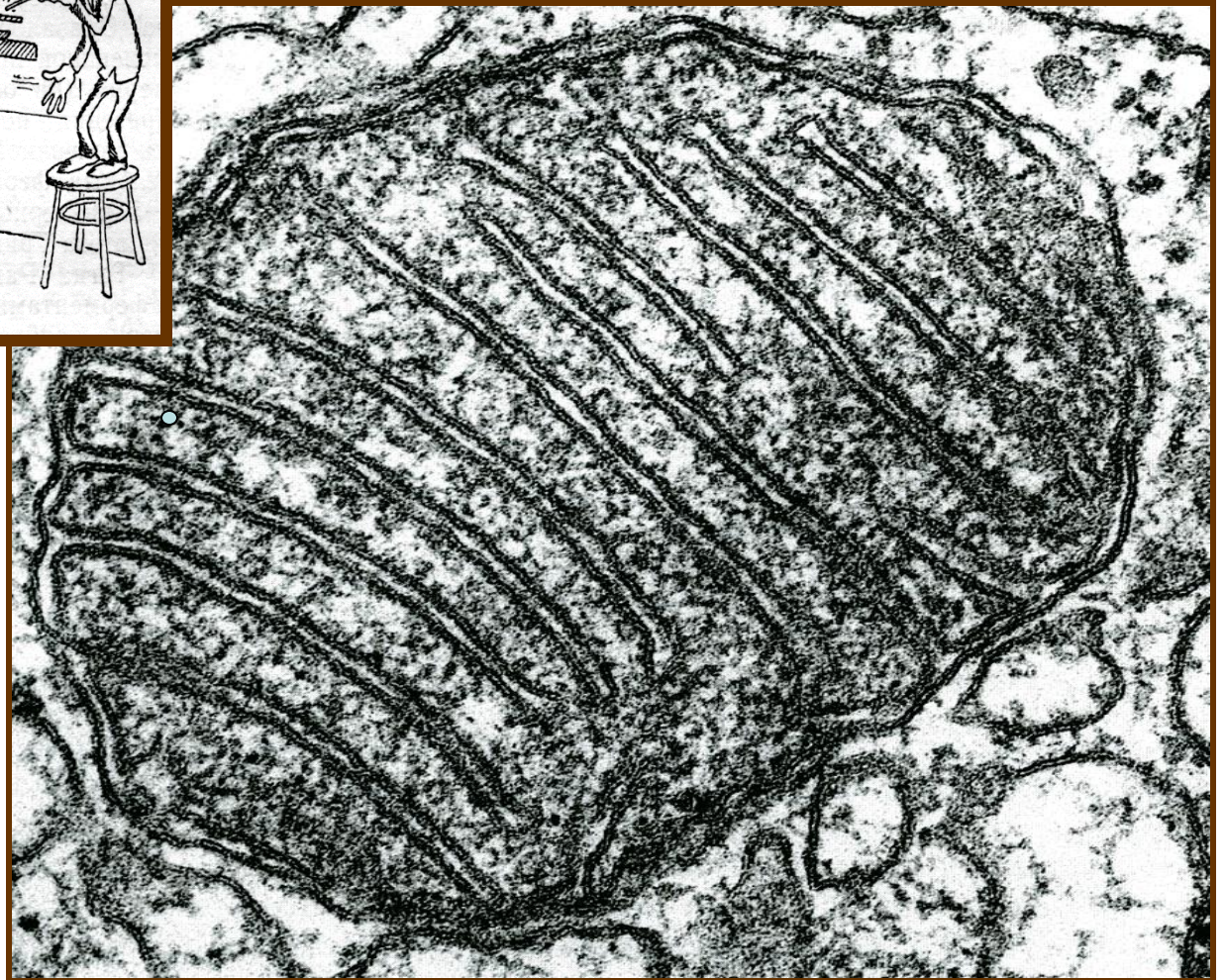
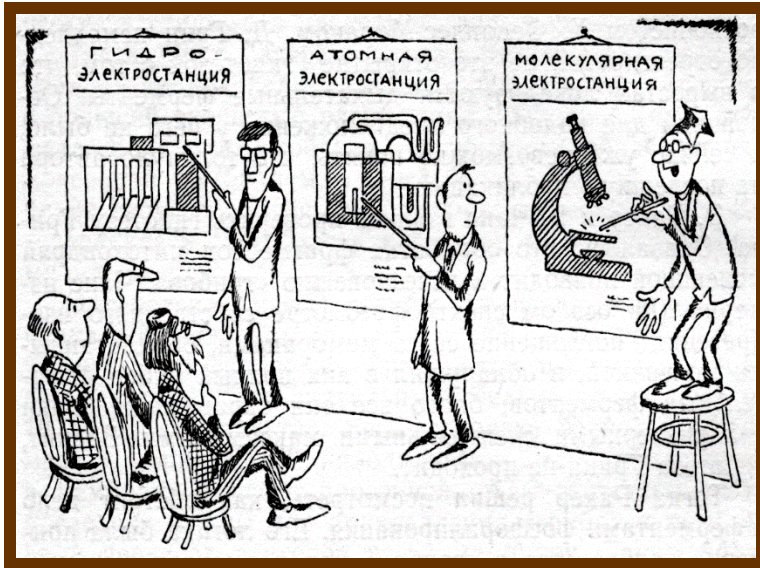
2. Цикл Кребса (цикл лимонной кислоты)

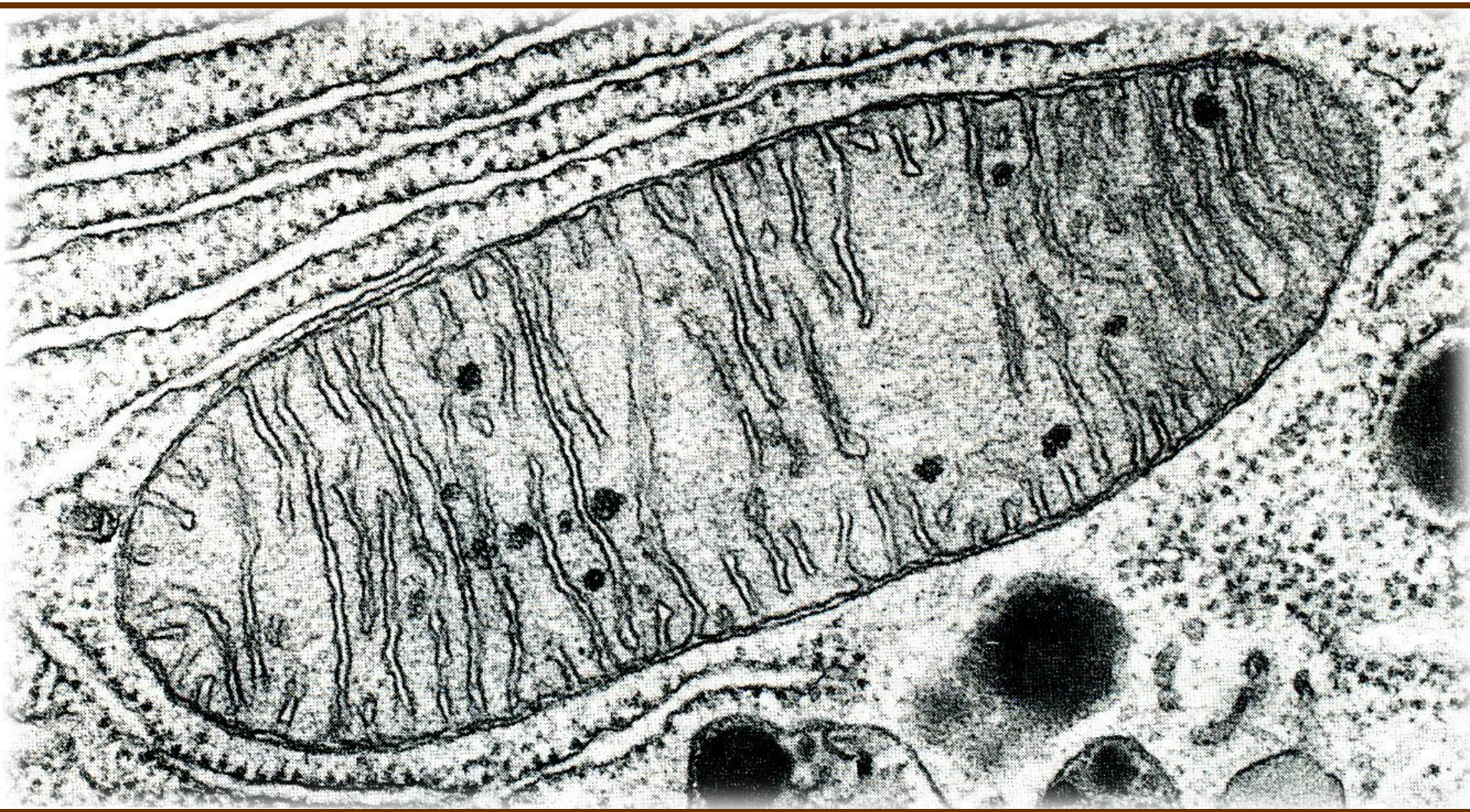
(В матриксе митохондрий: 2ГТФ, 8 НАД .Н₂ и 2ФАД .Н₂)

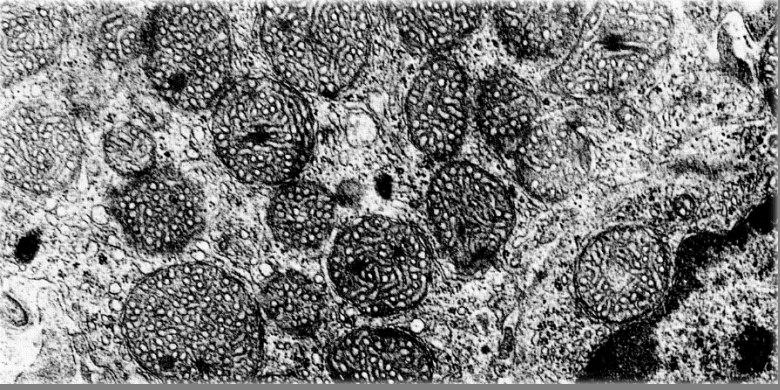
3. Окислительное фосфорилирование (дыхательная цепь)

(На мембране крист митохондрий: 34 АТФ)

МИТОХОНДРИИ – энергетические станции клетки

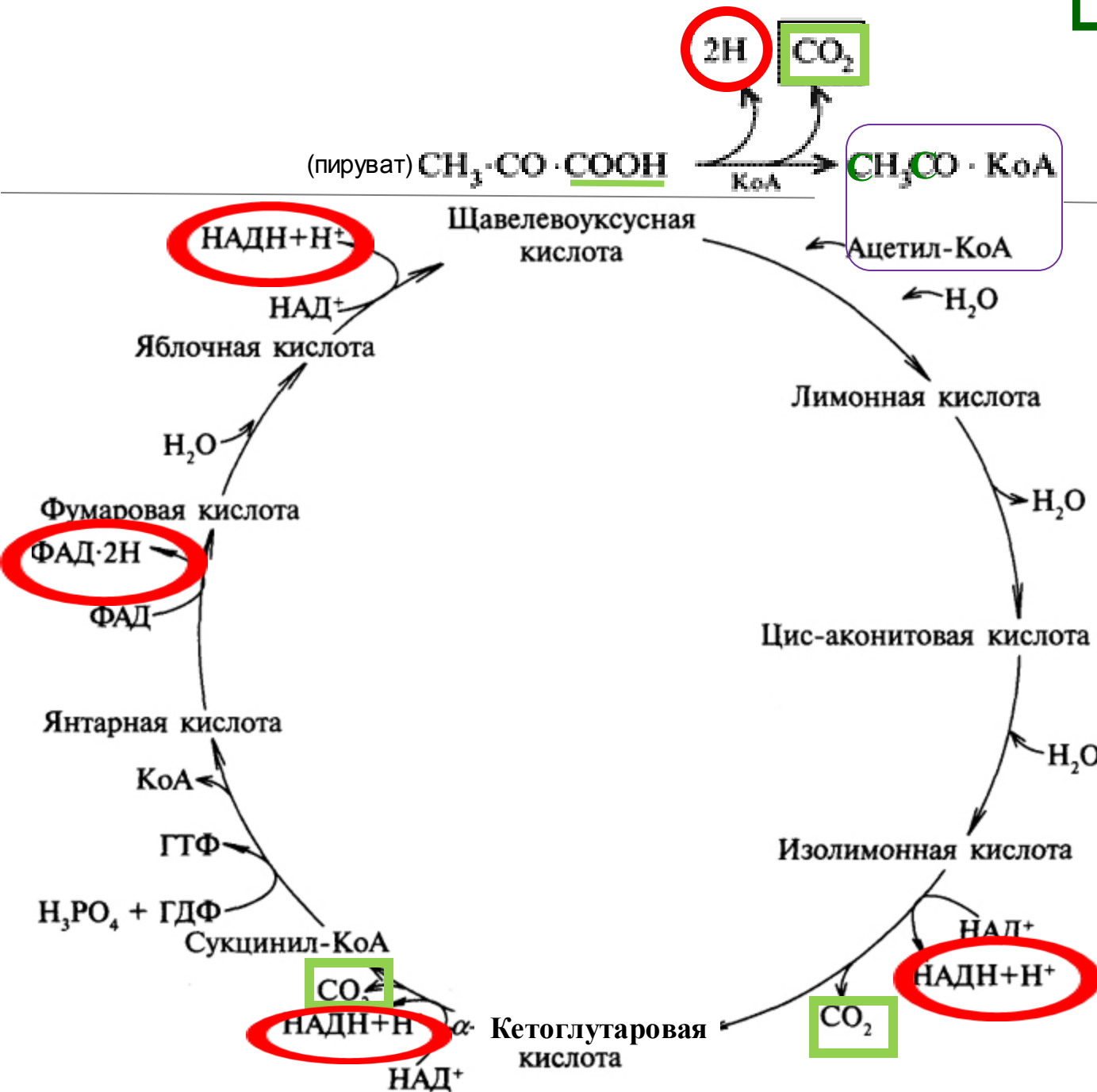
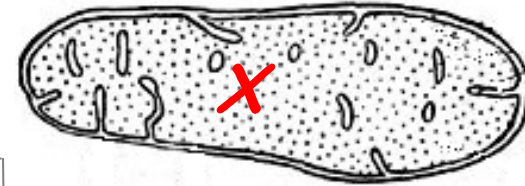









Трехмерная реконструкция 1 гигантской митохондрии дрожжевой клетки по серии срезов

Цикл Кребса



- Для разложения 1 молекулы глюкозы требуется два оборота цикла
- Общий итог - 2ГТФ и 10 пар ат.Н

ОСНОВНЫЕ РЕАКЦИИ КАТАБОЛИЗМА МОНОМЕРОВ:

- 1) для **моносахаридов** – **ГЛИКОЛИЗ**, конечный метаболит которого - **пировиноградная кислота**, которая после декарбоксилирования и превращается **в ацетил-КоА**, вступает в цикл Кребса;
- 2) для **глицерина** – превращение через фосфоглицеральдегид в **пируват**, далее **-в ацетил-КоА**; 
- 3) для **жирных кислот** – **β -ОКИСЛЕНИЕ**,  конечным продуктом которого является **ацетил-КоА**;
- 4) для **аминокислот и нуклеотидов** – дезаминирование и расщепление безазотистых молекул до **ди- и трехуглеродных карбоновых кислот** и их производных. Большинство этих метаболитов превращается в **ацетил-КоА** 

АЦЕТИЛ-КоА является **центральной молекулой** в метаболизме **основных органических веществ** клетки

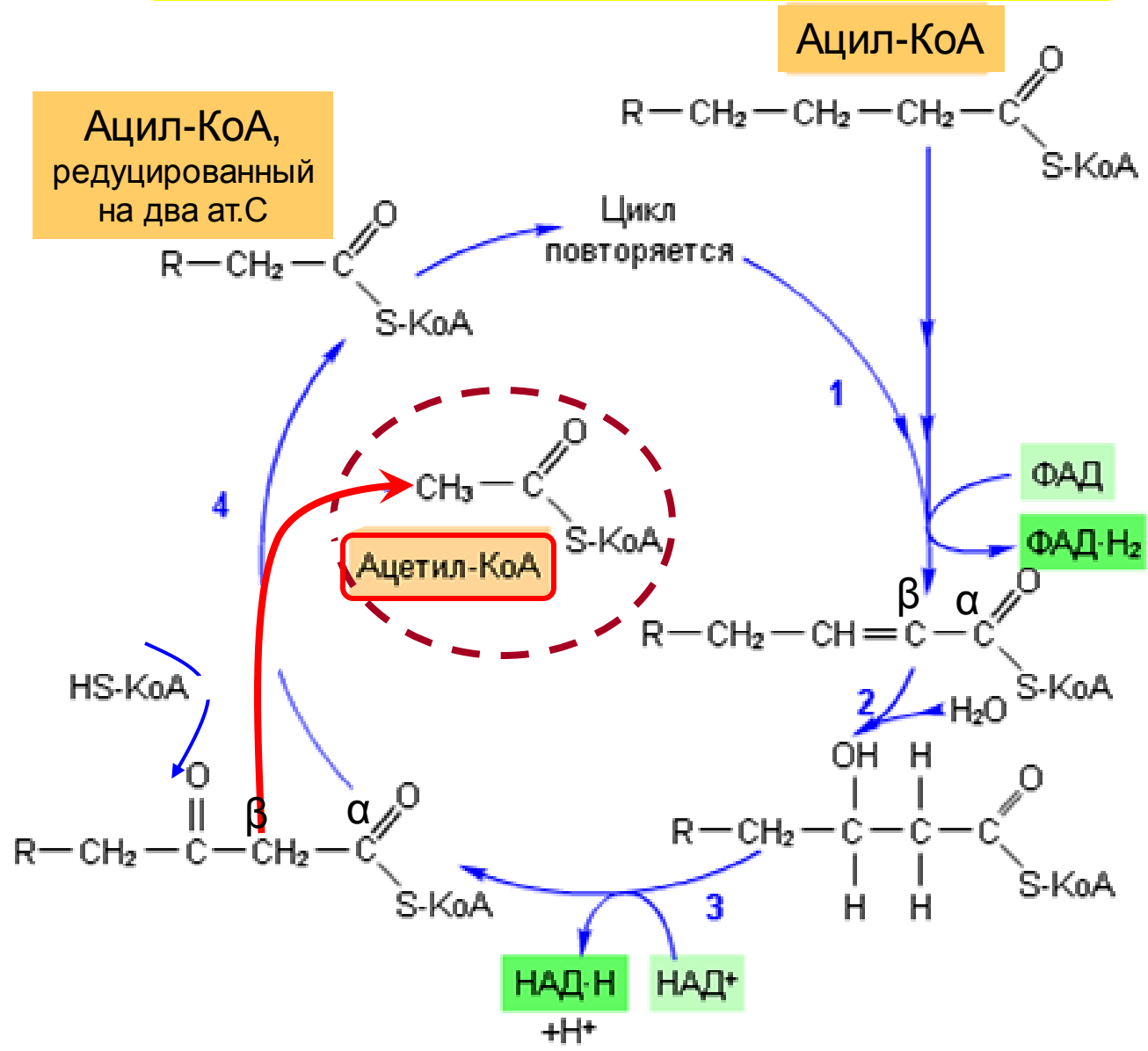
А цикл Кребса объединяет **пути катаболизма углеводов, белков и липидов**, т.к. в нем окисляются молекулы **ацетил-КоА**, образующиеся при расщеплении этих веществ

Значение цикла Кребса (цикла трехкарбоновых кислот)

(помимо интегративной роли) :

- Кумуляция энергии в виде 1ГТФ и потенциальной энергии в виде ат.Н при НАД и ФАД для дыхательной цепи
- Субстраты цК используются для реакций синтеза
 - (*)из оксалоацетата синтезируется аспарагиновая кислота, фосфоэнолпируват;*
 - (*) из α - кетоглутаровой кислоты – глутаминовая кислота*





β-окисление жирных кислот



Энергетический обмен

1. Гликолиз (путь Эмбдена-Мейергофа)

(В цитоплазме: 2АТФ, 2 НАД Н₂)

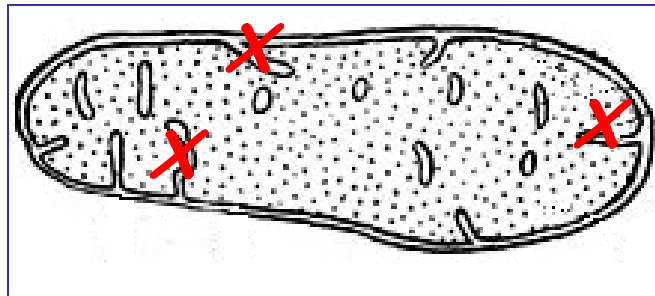
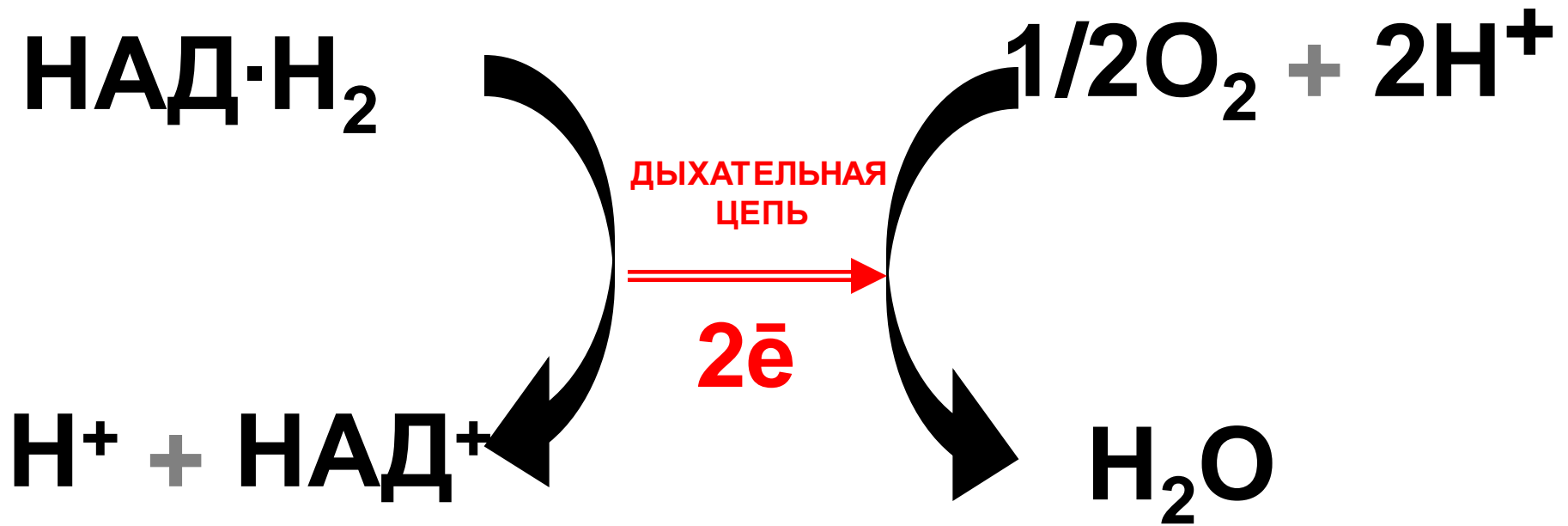
2. Цикл Кребса (цикл лимонной кислоты)

(В матриксе митохондрий: 2ГТФ, 8 НАД .Н₂ и 2ФАД .Н₂)

3. Окислительное фосфорилирование (дыхательная цепь)

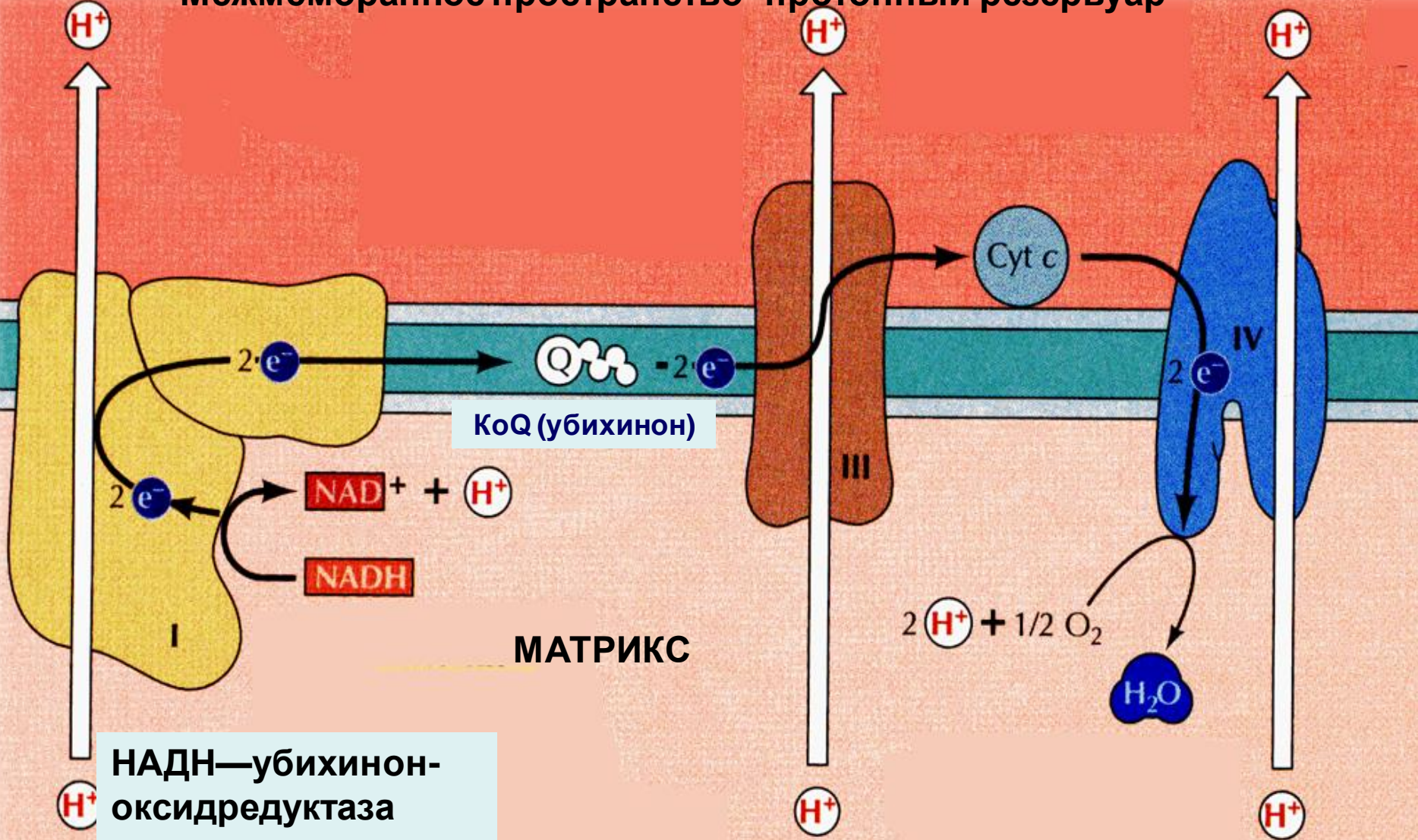
(На мембране крист митохондрий: 34 АТФ)

Окислительное фосфорилирование (дыхательная цепь)



Компоненты дыхательной цепи

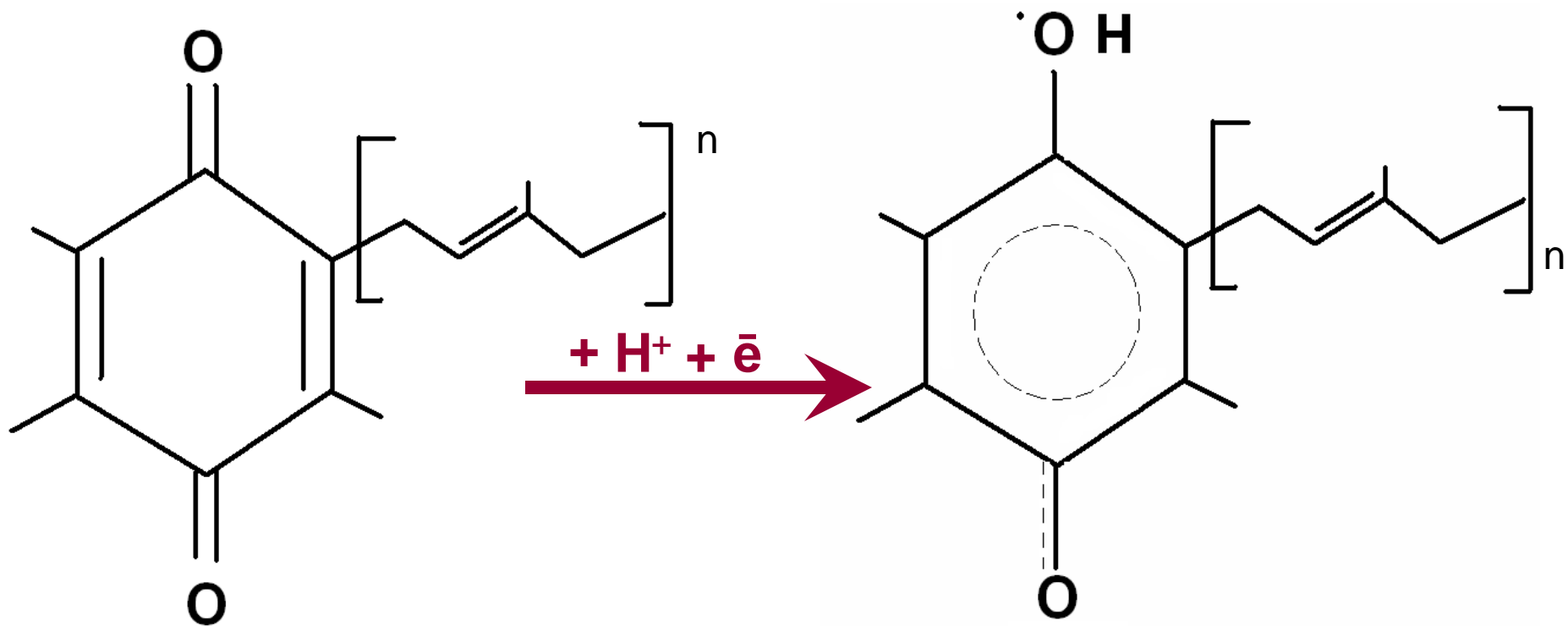
Межмембранное пространство- протонный резервуар



НАДН—убихинон-
оксидредуктаза

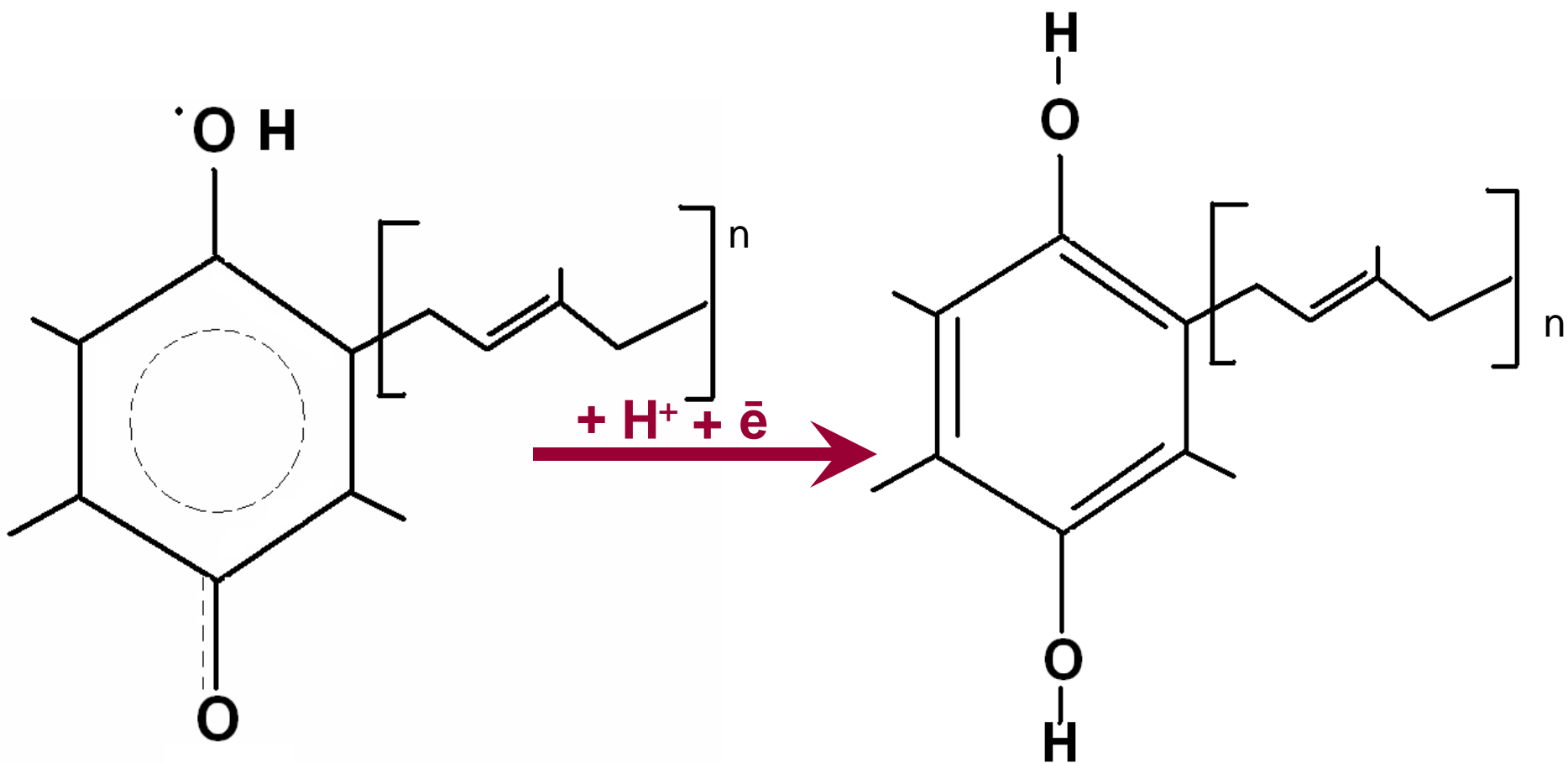
Комплекс III (bc1)
ЦИТОХРОМ-с-

ЦИТОХРОМ-с-
оксидаза



Убихинон (Q)
(окисленная форма)

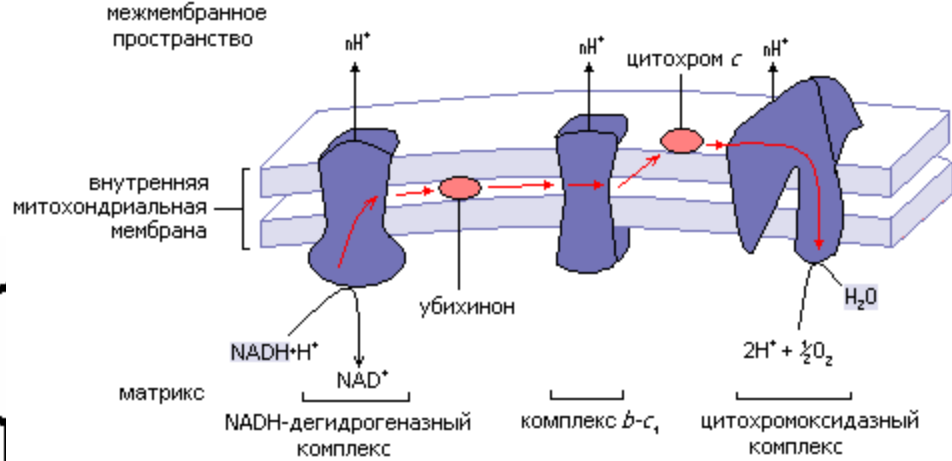
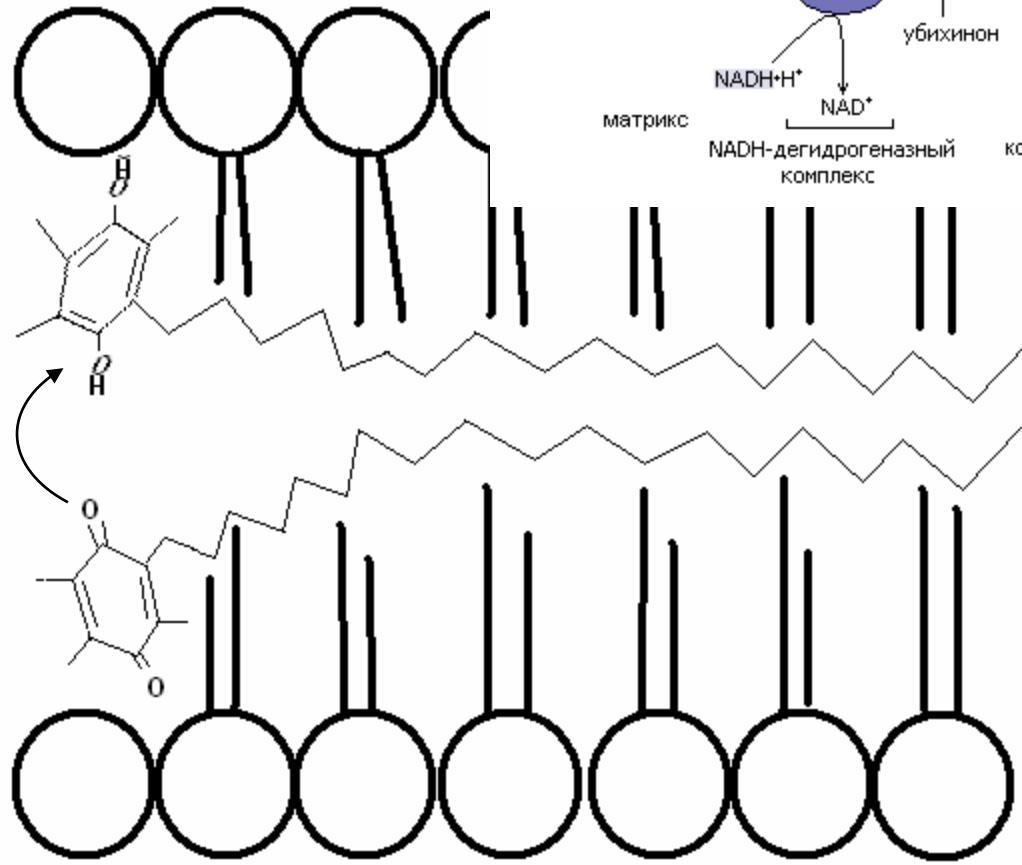
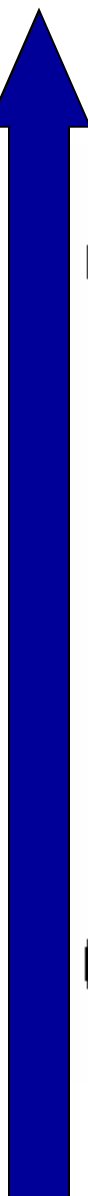
Убисемихинон ($\dot{\text{O}}\text{H}$)
(полувосстановленная форма)



Убисемихинон (O^{\cdot}H)

Убихинол (QH_2)

Межмембранное пространство



МАТРИКС

Межмембранное пространство

ВНУТРЕННЯЯ
МЕМБРАНА
МХ

Матрикс

НАДН дегидрогеназа

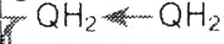
Комплекс I

окиcляет НАД-Н:



убихинол

Н^+



Н^+

Комплекс III
(Цитохром *bc1*)
переносит электроны
с убихинола на
цитохром *c*

Н^+

⊕

H^+

H^+

⊖

Н^+

Цитохром *c*

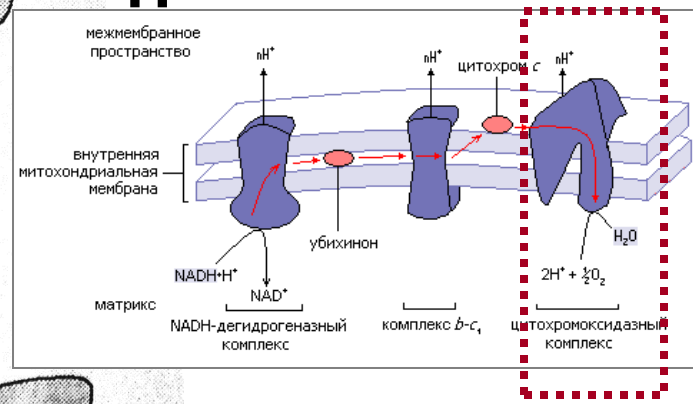
e^-

Цитохрома IV

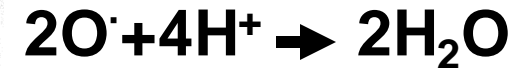
e^-

Цитохрома a_3

O_2



Комплекс IV (Цитохром с оксидаза)
катализирует перенос
электронов с
цитохрома на O_2

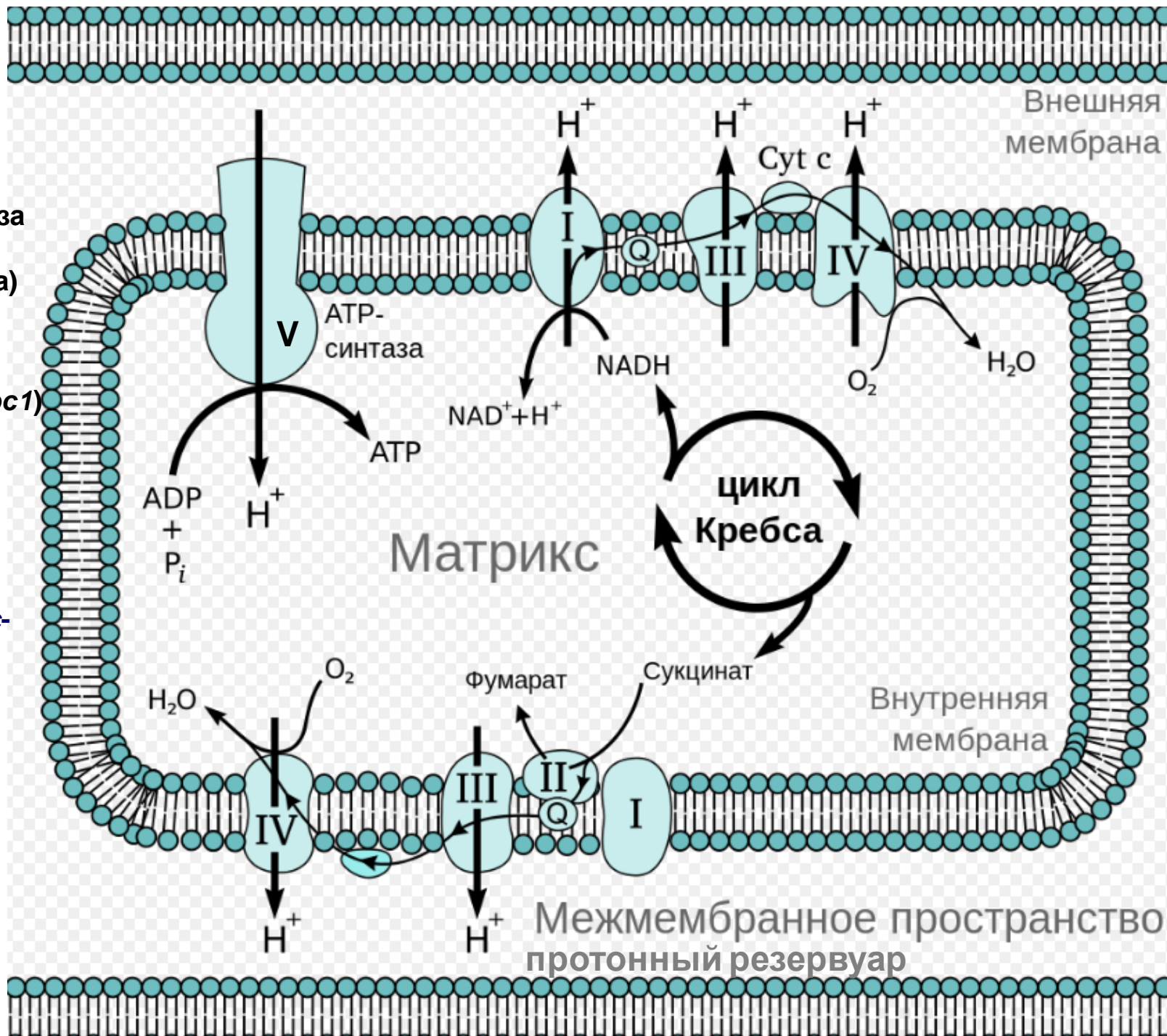


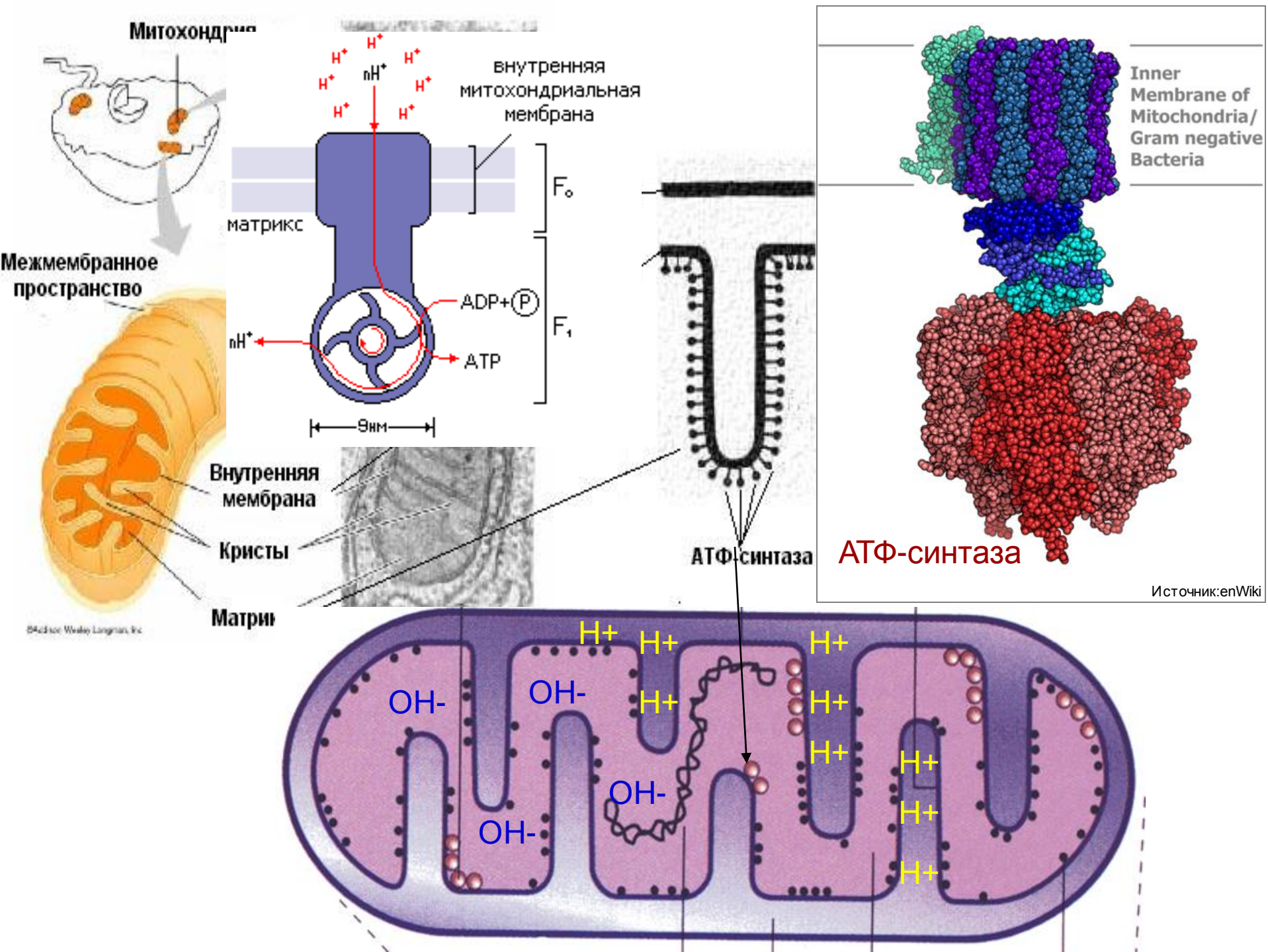
Комплекс I
НАДН—
убихинон-
оксидоредуктаза
(НАДН-
дегидрогеназа)

Комплекс III (bc1)
ЦИТОХРОМ-с-
редуктаза

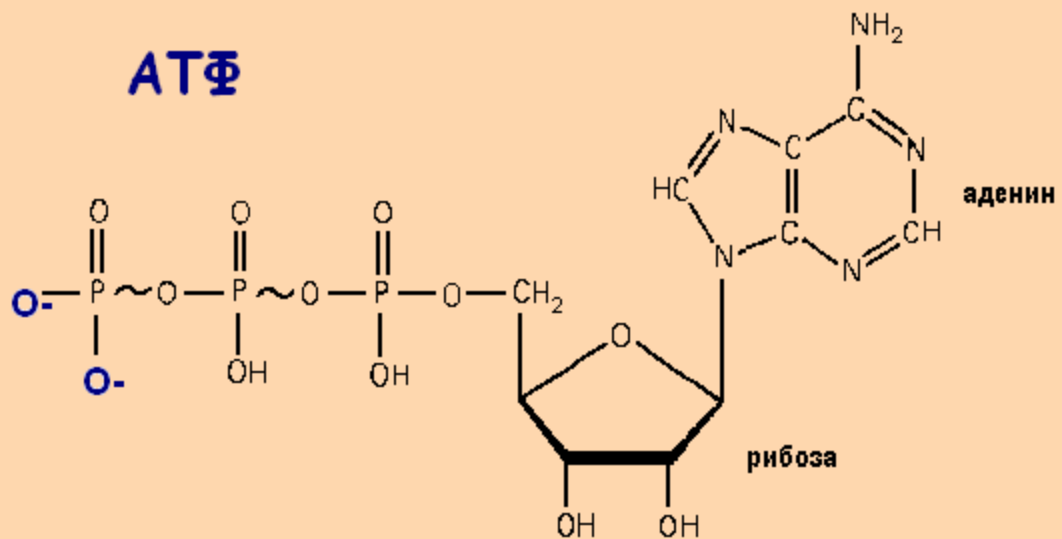
Комплекс IV
ЦИТОХРОМ-с-
оксидаза

Комплекс V
АТФ-синтаза

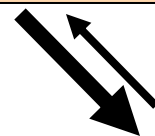




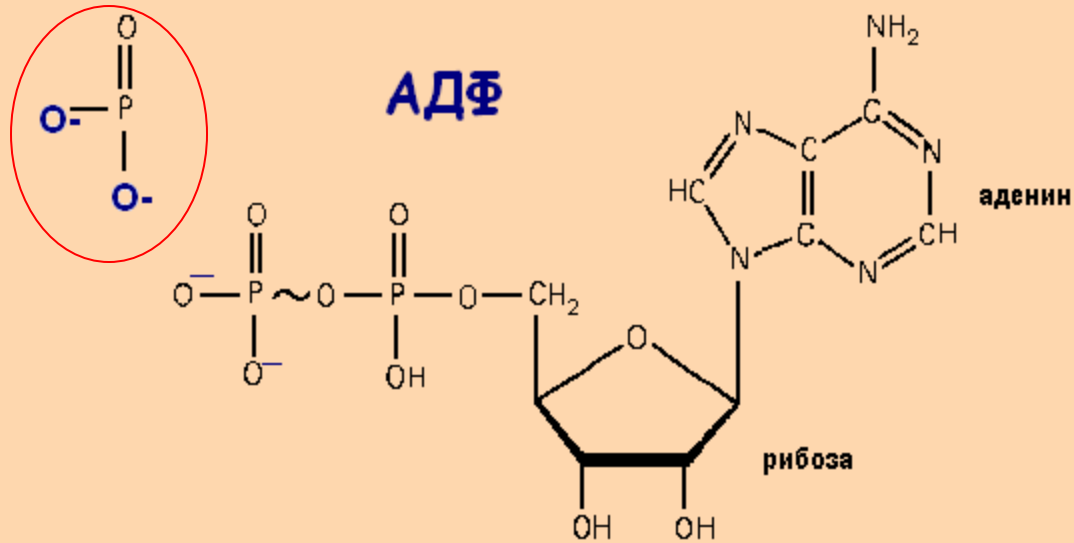
АТФ



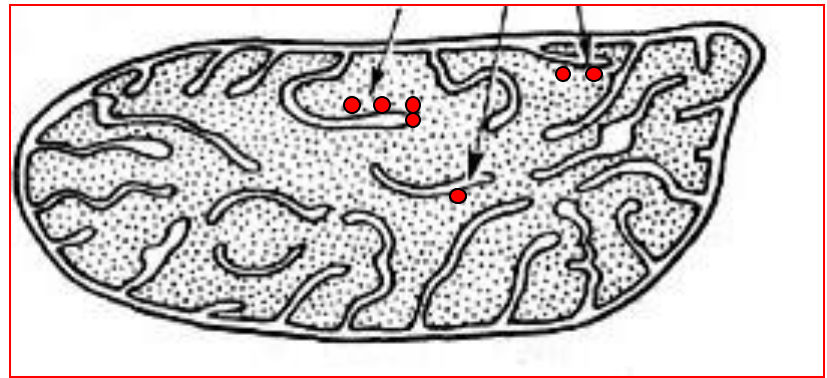
H₂O



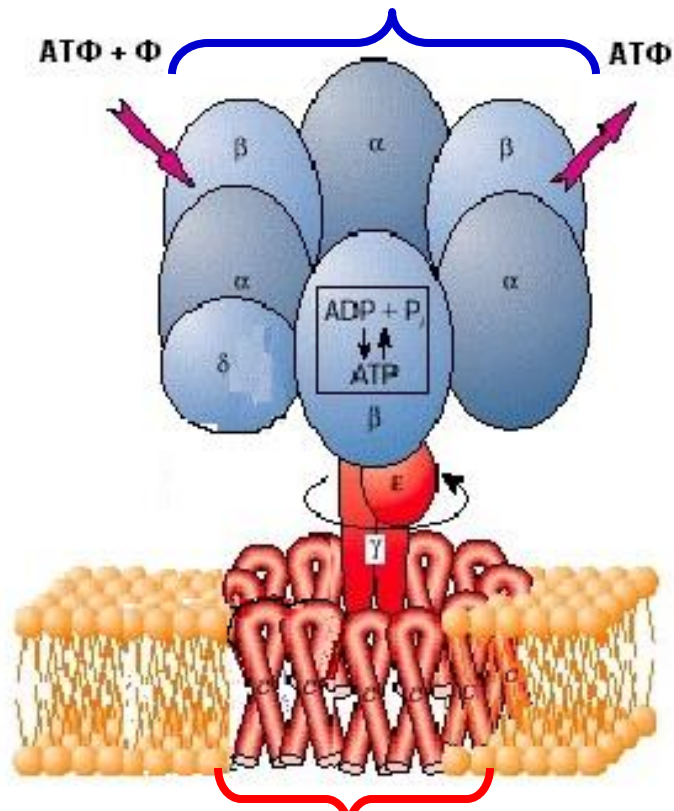
АДФ



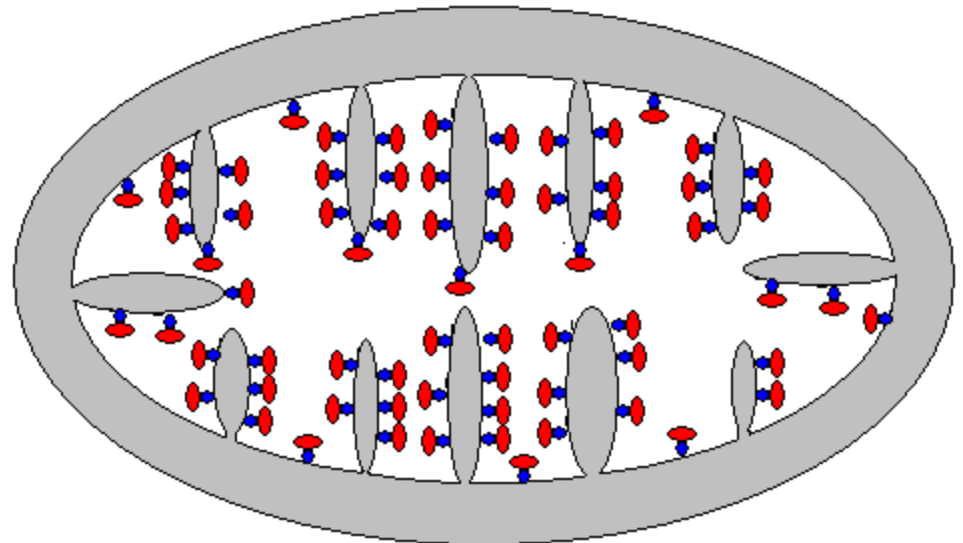
АТФ-синтетаза



Фактор сопряжения **F1** – гидрофилен

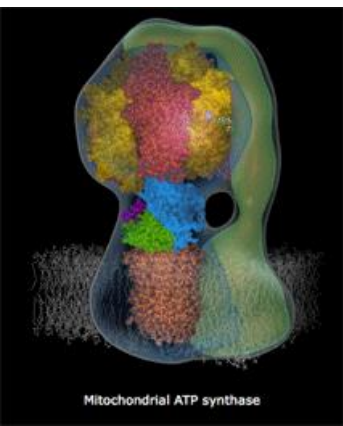
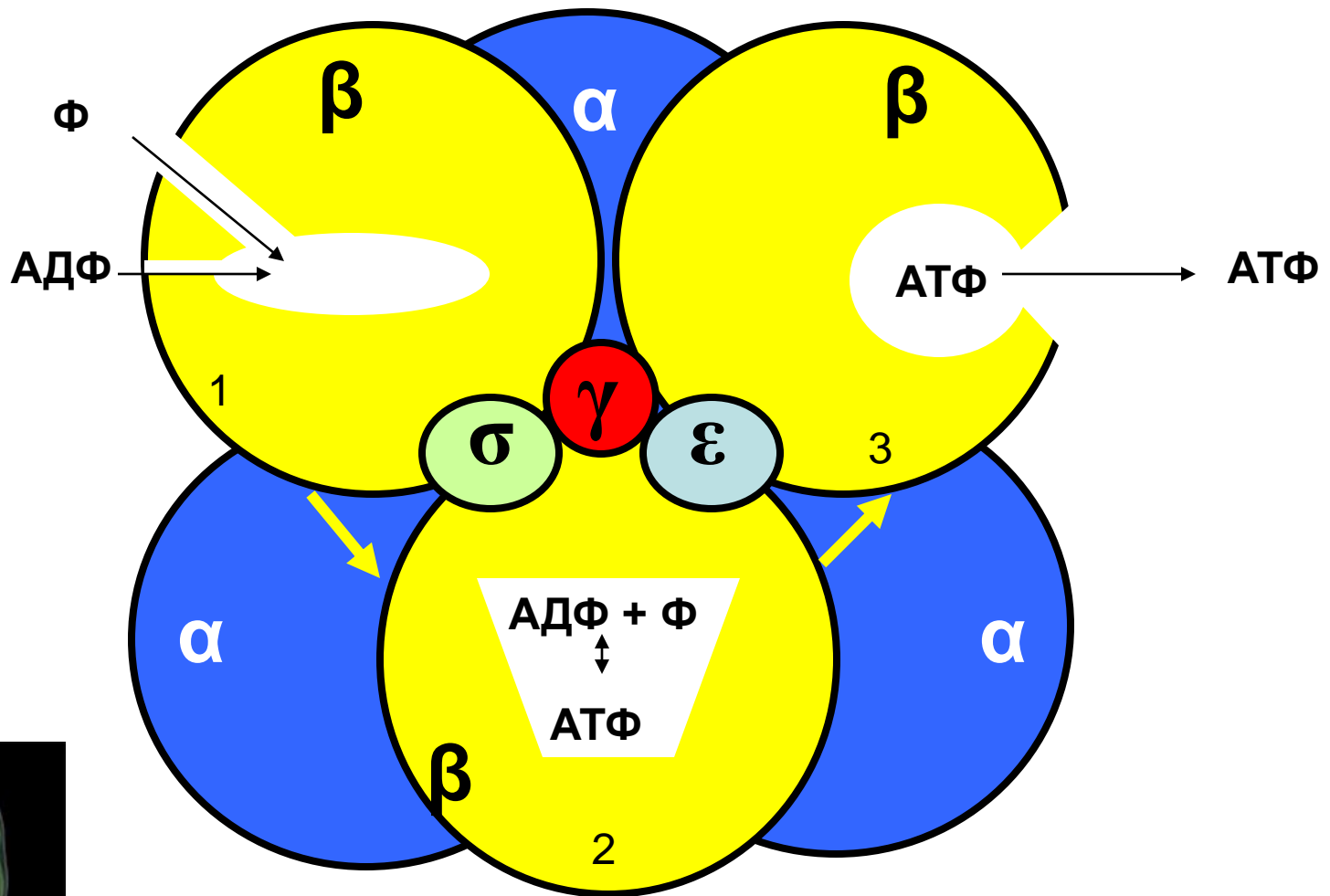


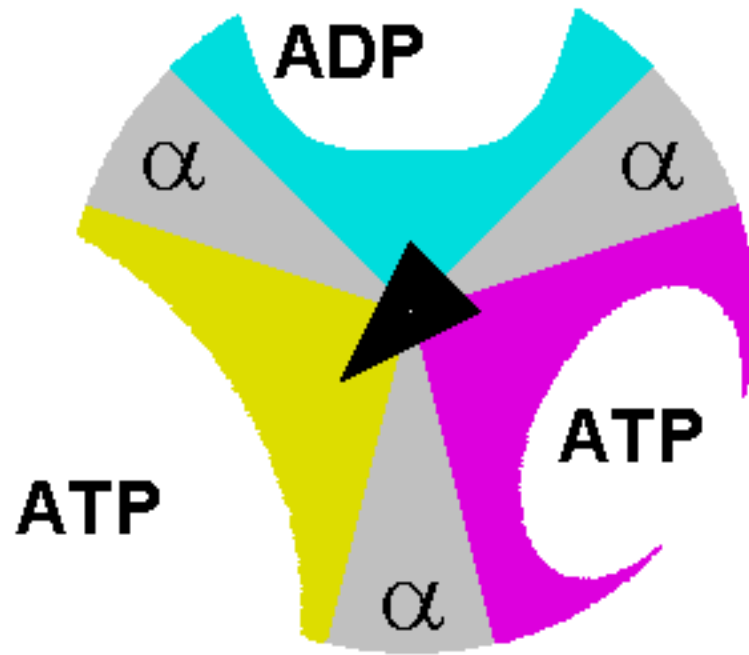
Ансамбль α и β субъединиц имеет размер 8 нм в высоту и 10 нм в диаметре



Фактор сопряжения **F0** – гидрофобен

Строение фактора сопряжения F1 (АТФ-аза и АТФ-синтетаза)





КОФАКТОРЫ



НЕОРГАНИЧЕСКОЙ ПРИРОДЫ

ОРГАНИЧЕСКОЙ ПРИРОДЫ

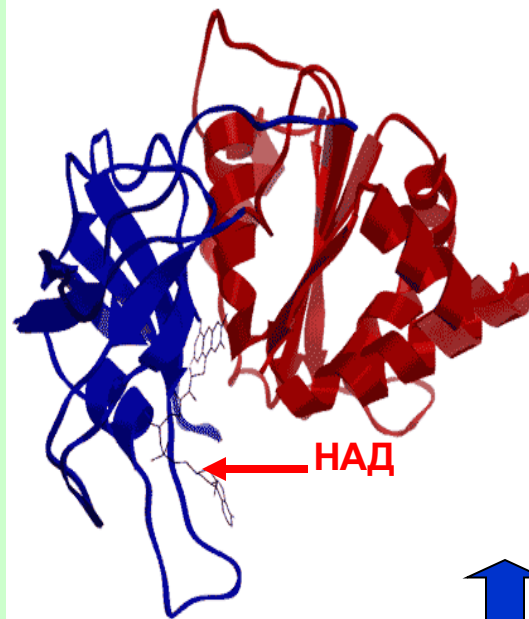
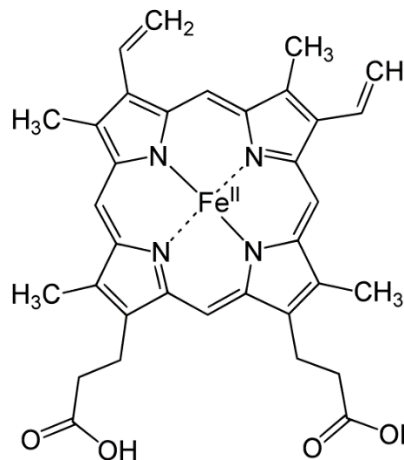
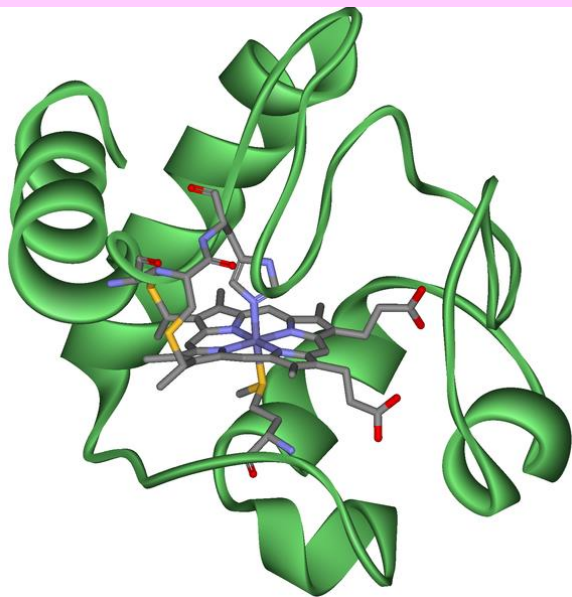
- ✓ ИОНЫ МЕТАЛЛОВ
- ✓ ЖЕЛЕЗО-СЕРНЫЕ КЛАСТЕРЫ

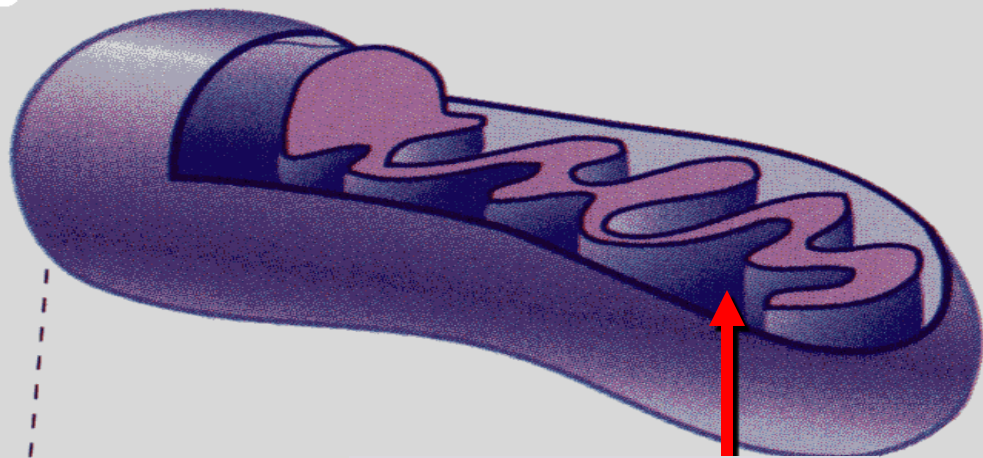
ПРОЧНО СВЯЗАННЫЕ

МОБИЛЬНЫЕ

• ПРОСТЕТИЧЕСКИЕ ГРУППЫ

• КОФЕРМЕНТЫ





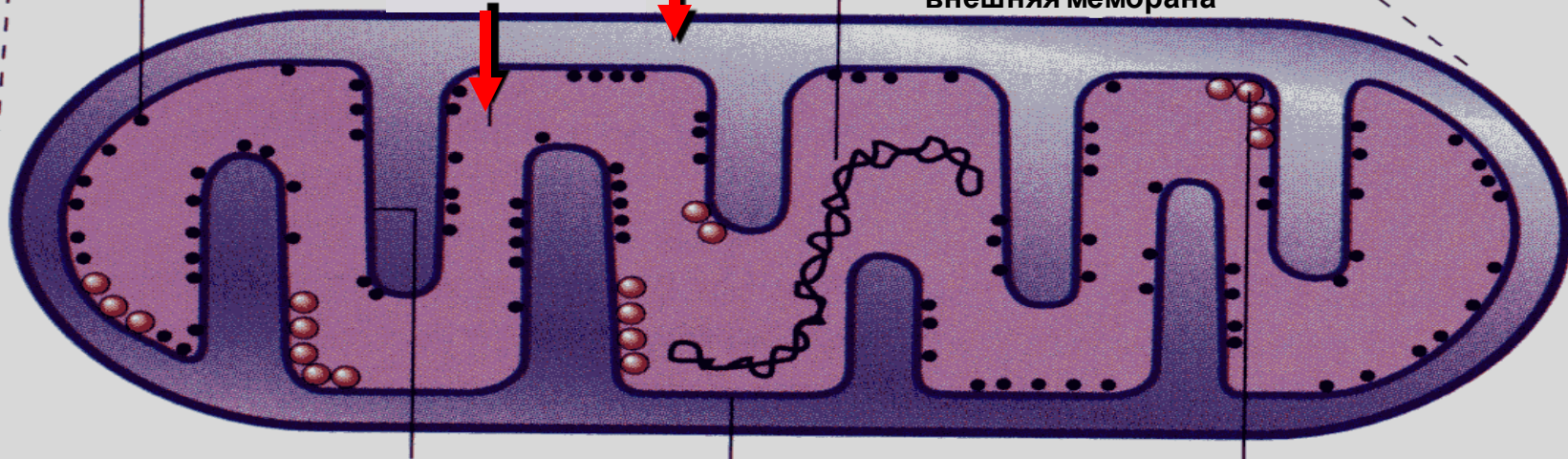
**МЕЖМЕМБРАНОЕ
ПРОСТРАНСТВО**

МАТРИКС

рибосомы

ДНК

внешняя мембрана



кристы

ВНУТРЕННЯЯ МЕМБРАНА

АТФ-синтетаза



ОСНОВНЫЕ РЕАКЦИИ КАТАБОЛИЗМА МОНОМЕРОВ:

- 1) **для моносахаридов – ГЛИКОЛИЗ**, конечный метаболит которого - пирувиноградная кислота, которая после декарбоксилирования и превращается в ацетил-КоА, вступает в цикл Кребса;
- 2) **для жирных кислот – β -ОКИСЛЕНИЕ**, конечным продуктом которого является ацетил-КоА;
- 3) **для глицерина** – превращение через глицеральдегид-3- фосфат в пируват, далее - в ацетил-КоА;
- 4) **для аминокислот и нуклеотидов** – дезаминирование и расщепление безазотистых молекул до ди- и трехуглеродных карбоновых кислот и их производных. Большинство этих метаболитов превращается в ацетил-КоА.

Таким образом,
ацетил-КоА является центральной молекулой в метаболизме
основных органических веществ клетки

Цикл Кребса объединяет пути катаболизма углеводов, белков и липидов, т.к. в нем окисляются молекулы ацетил-КоА, образующиеся при расщеплении этих веществ



