

# ВВЕДЕНИЕ В ОБ. ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ОБМЕН

## План

1. Понятие о метаболизме, его функциях и метаболических путях.
2. Общие и специфические пути катаболизма. Катаболическая воронка.
3. АТФ как универсальный аккумулятор и источник энергии.
4. Пути получения энергии в клетке.
5. Способы синтеза АТФ.
6. Классификация макроэргических соединений.
7. Окислительное декарбоксилирование пирувата.
8. Цикл трикарбоновых кислот.
9. Развитие учения о биологическом окислении. Современные теории биологического окисления.
0. Субстраты тканевого дыхания. Ферменты, коферменты (НАД<sup>+</sup>, НАДФ<sup>+</sup>, ФАД, убихинон, цитохромоксидаза). Химическое строение коферментов. Локализация дыхательных ферментов в клетке.
1. Биологическое окисление. Субстратное фосфорилирование. Понятие о субстратном фосфорилировании, его механизм, роль в биоэнергетике аэробных и анаэробных тканей.
2. Механизм образования АТФ. Окислительное фосфорилирование. Отличие от субстратного фосфорилирования.

ПИЩЕВЫЕ ВЕЩЕСТВА  
(углеводы, жиры, белки)

ПИЩЕВАРЕНИЕ

Глюкоза  
Глисерол  
Аминокислоты  
Жирные кислоты

КАТАБОЛИЗМ

$\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$   
Мочевина

$\text{АДФ} + \text{H}_3\text{PO}_4$

**АТФ**

АНАБОЛИЗМ

Гликоген  
Жиры  
Белки  
ДНК, РНК

*Функции метаболизма:*

**Энергетическая** – снабжение клетки химической энергией,

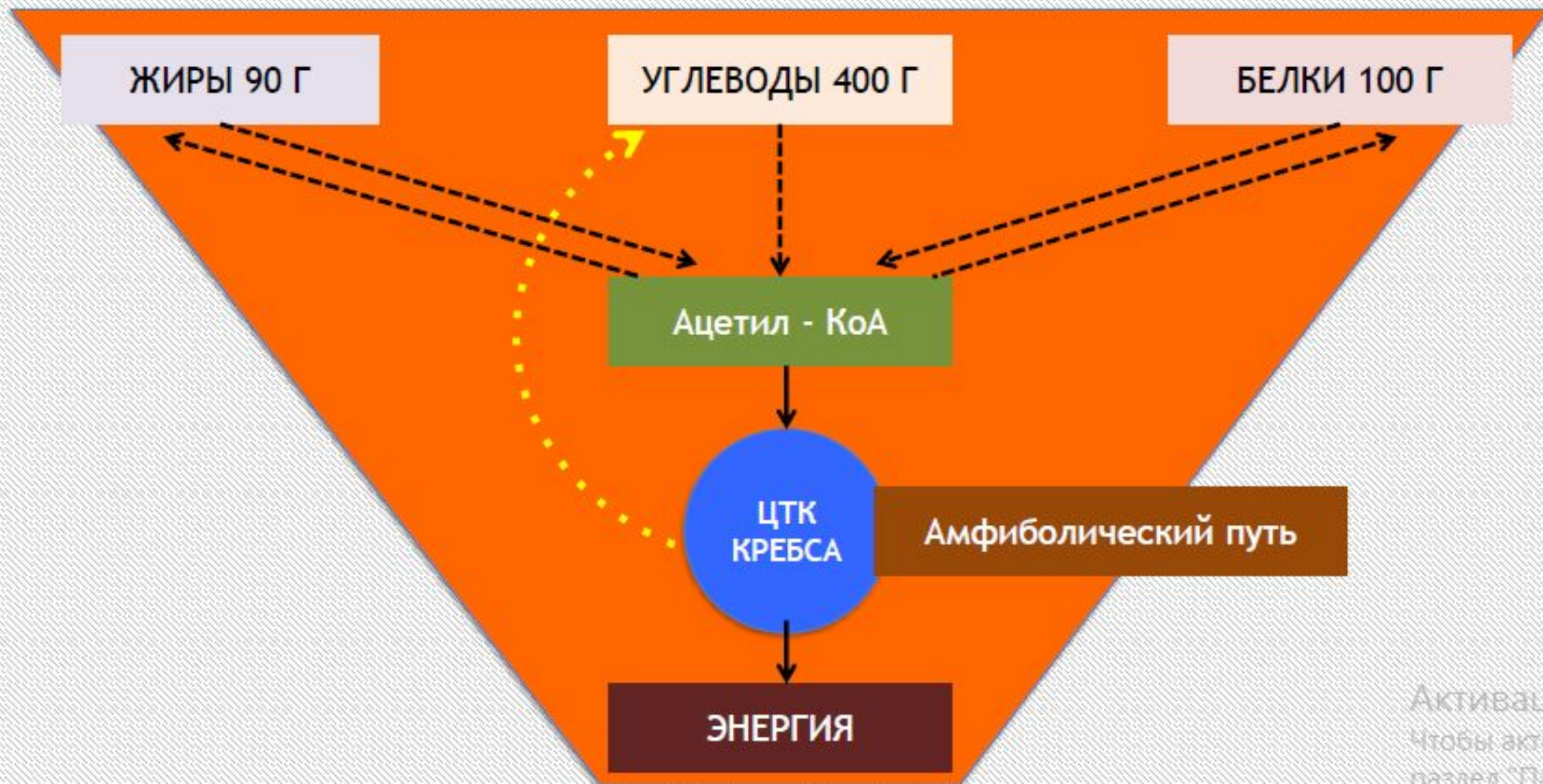
**Пластическая** – синтез макромолекул как строительных блоков,

**Специфическая** – синтез и распад биомолекул, необходимых для выполнения специфических клеточных функций.



2.

Метаболизм состоит из катаболизма ↓ и анаболизма ↑. Важной особенностью катаболизма является «метаболическая воронка».



Активаци  
Чтобы актив  
раздел "Пар



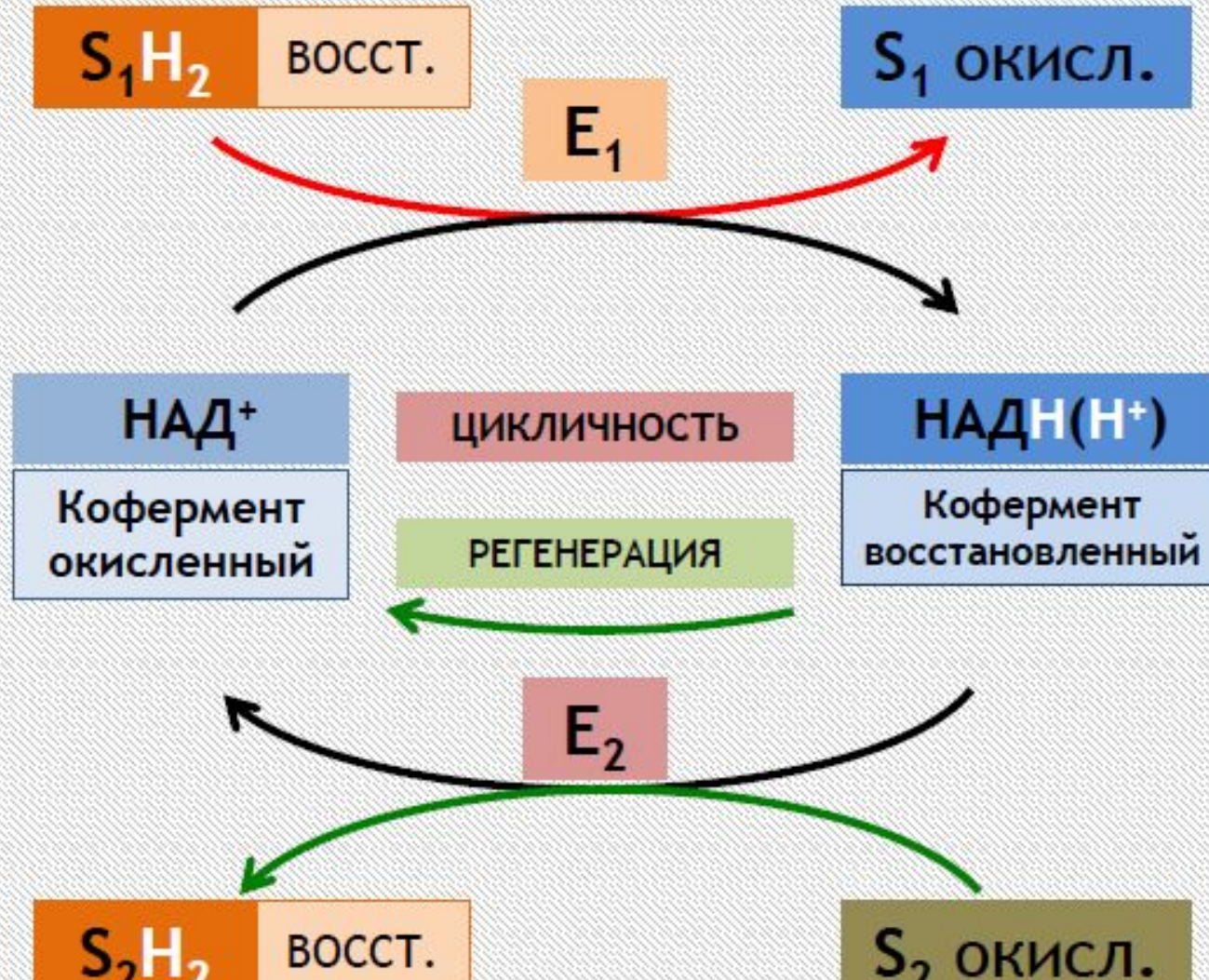
# СХЕМА ОБМЕНА ВЕЩЕСТВ И ЭНЕРГИИ (МЕТАБОЛИЗМ)





# КОФЕРМЕНТЫ (ЦИКЛИЧНОСТЬ ПРОЦЕССОВ)

Кофермент часто обеспечивает цикличность процессов и нужен в очень малых количествах.

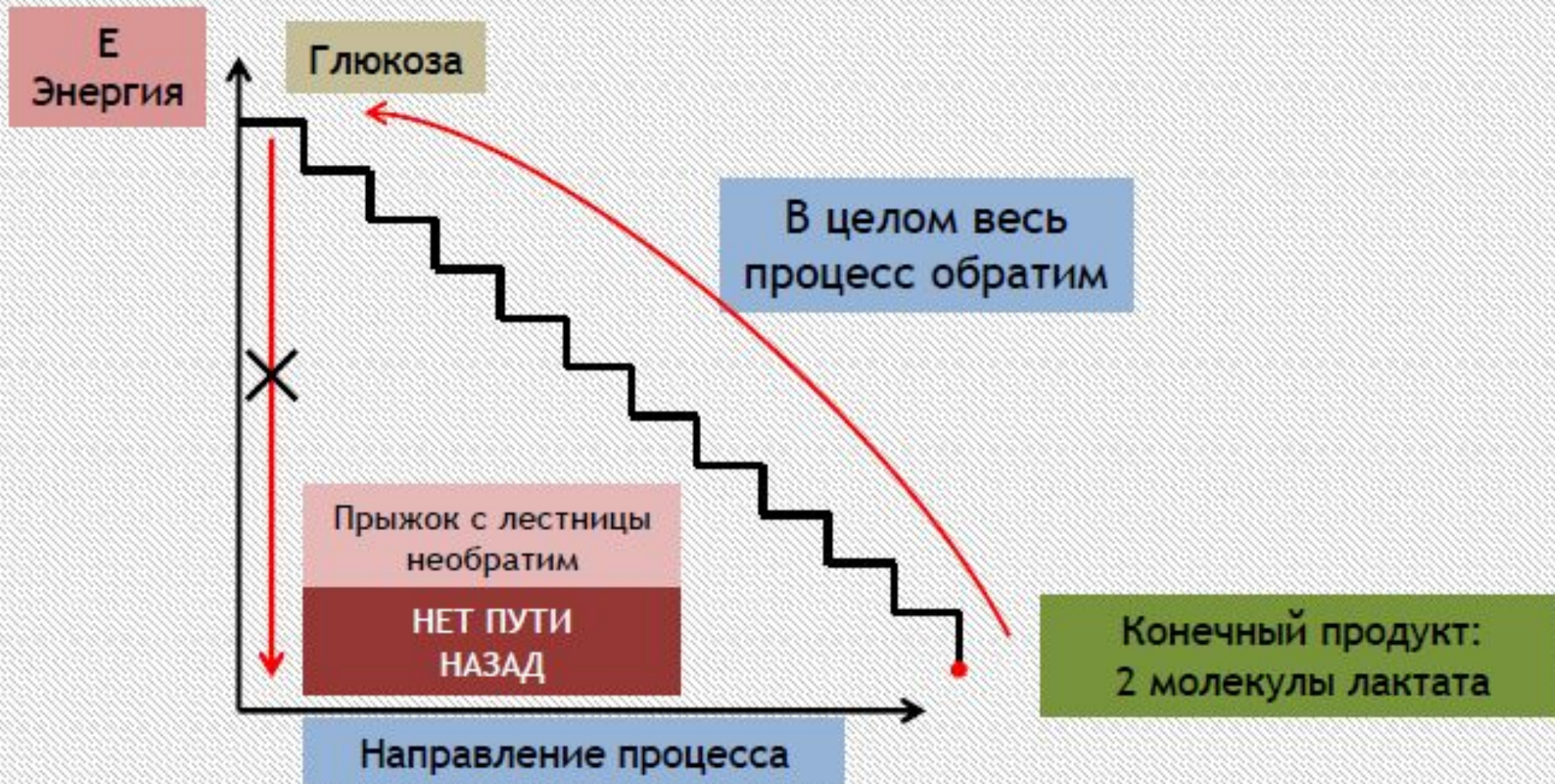


$E_1$  и  $E_2$  - разные ферменты, а кофермент общий: он регенерируется и практически одной его молекулы хватит, чтобы превратить много молекул  $S_1$  и  $S_2$ .

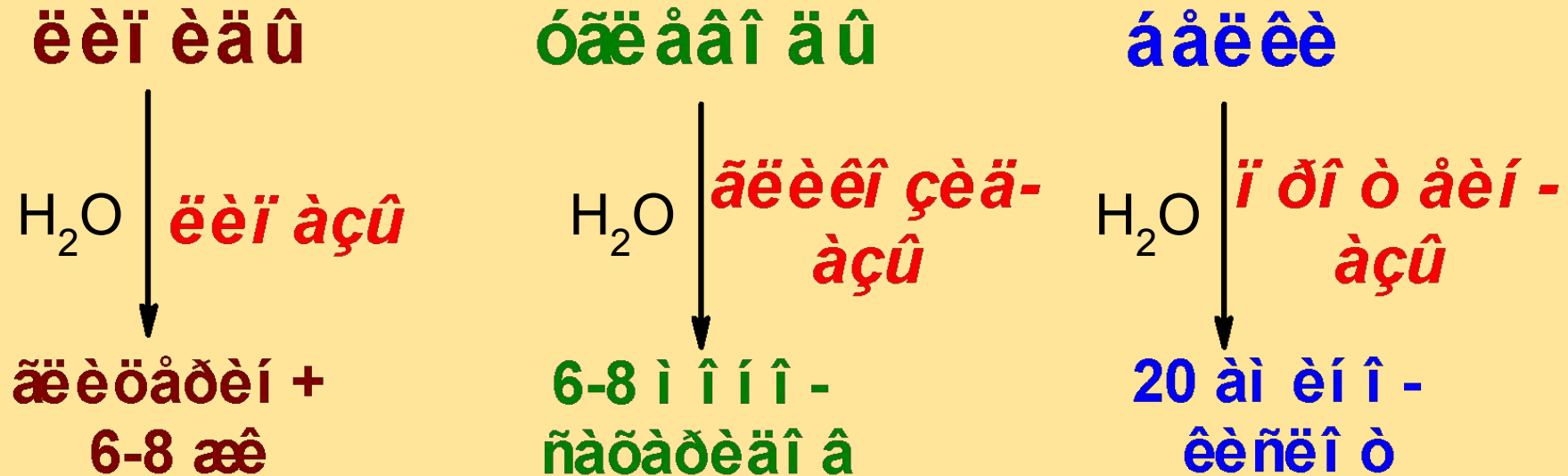


3.

Обмен протекает постепенно, образуя метаболические пути (точнее, сети), т. о. достигается обратимость процессов («метаболическая лестница» на примере гликолиза): 11 стадий (3 из них - необратимы).

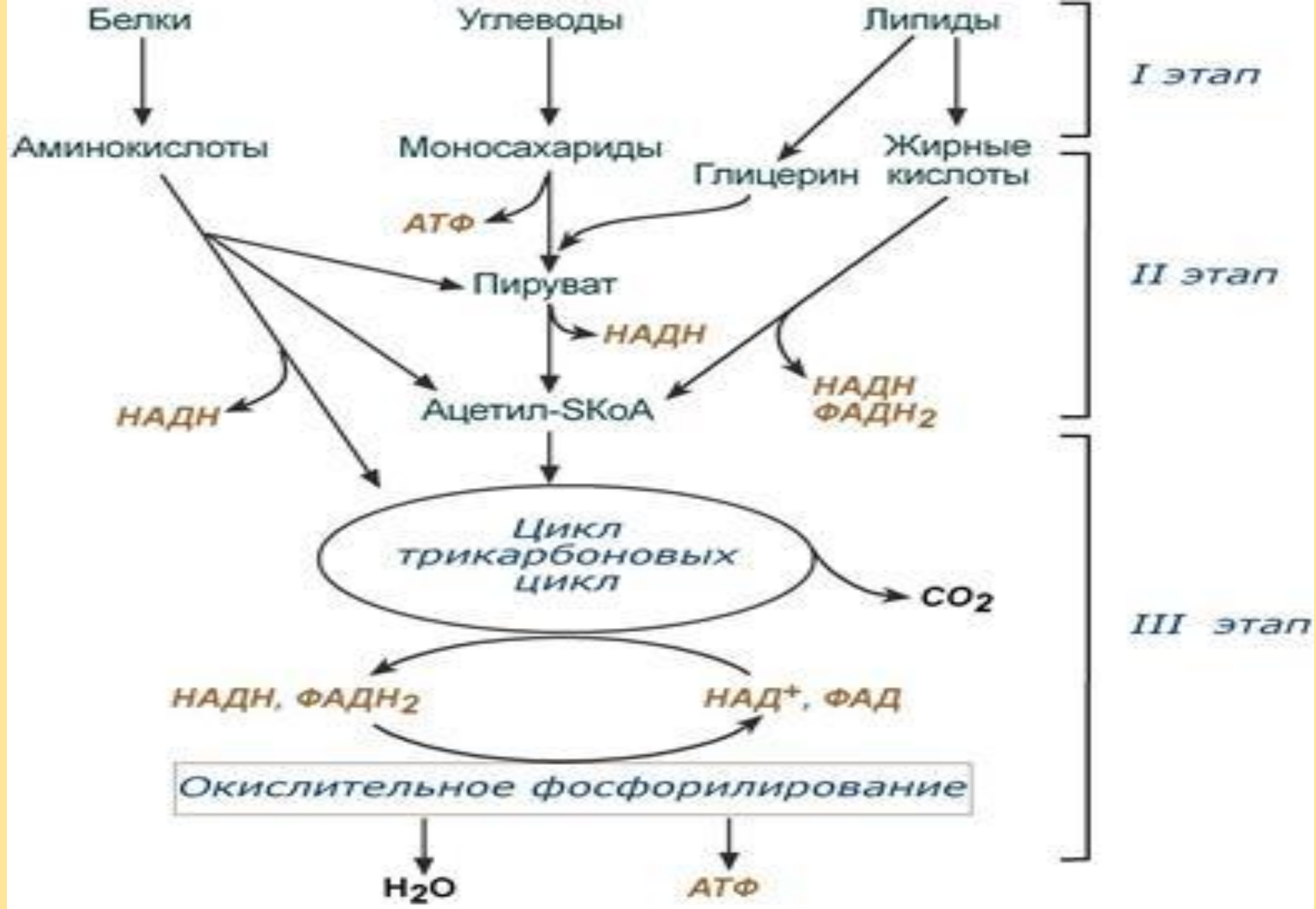


# Первый этап обмена веществ (переваривание)



1. Теряется видовая и тканевая специфичность
2. Пищевые вещества подготавливаются к всасыванию
3. Сохраняется энергия







За сутки в организме человека синтезируется 50 - 70 кг АТФ (!). Но запасов нет: энергия постоянно расходуется:





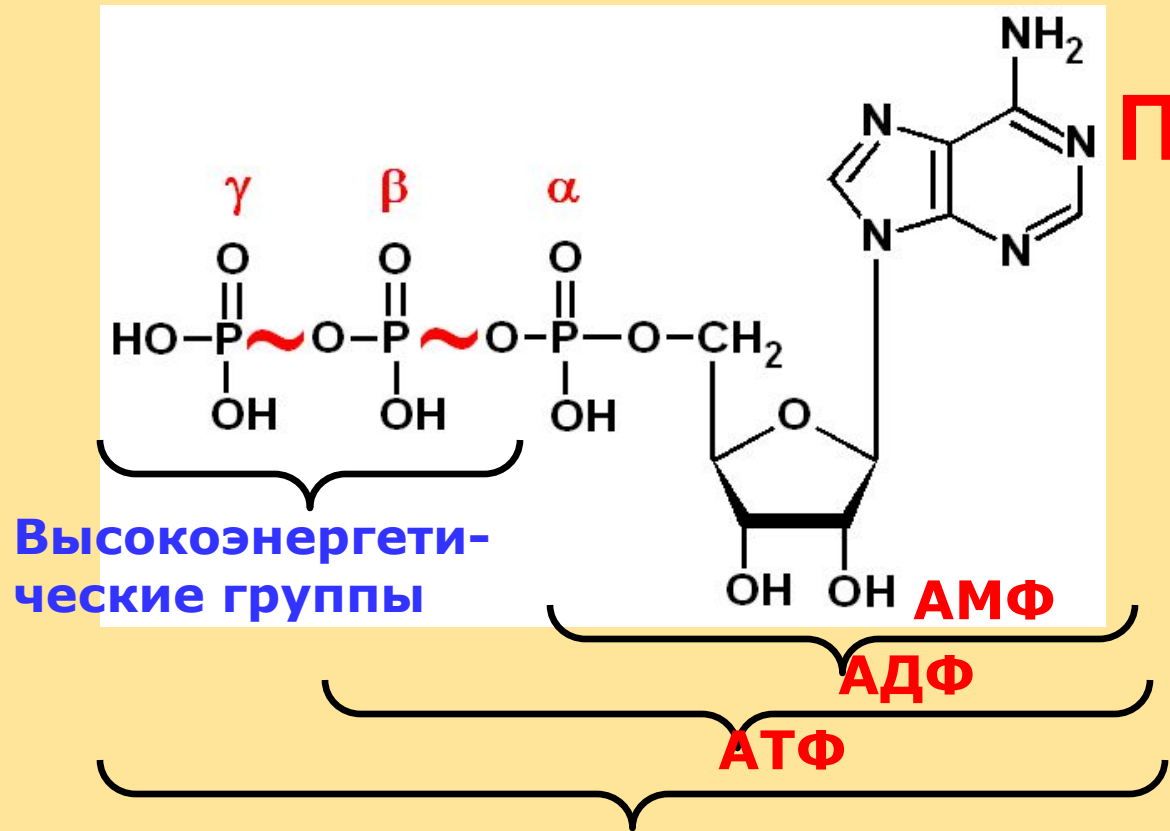
## **Пути получения энергии в клетке**

1. **Гликолиз** (2 этап) – окисление молекулы глюкозы до 2 молекул ПВК, при этом образуется по 2 молекулы АТФ и НАДН. Далее ПВК в аэробных условиях превращается в ацетил-SКоА, в анаэробных условиях – в молочную кислоту.

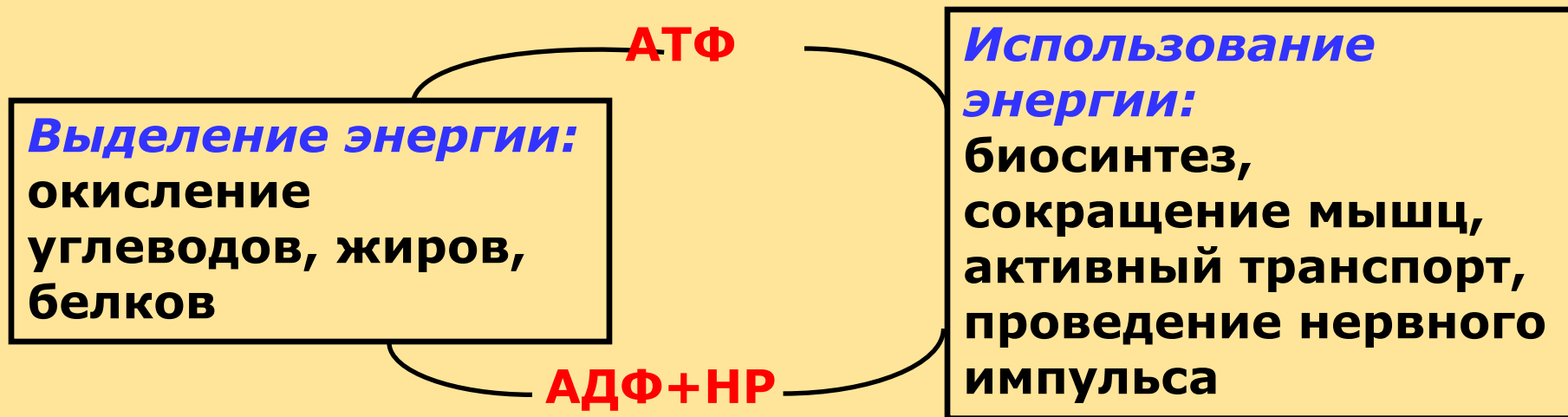
2.  **$\beta$ -Окисление жирных кислот** (2 этап) – окисление жирных кислот до ацетил-SКоА, здесь образуются НАДН и ФАДН<sub>2</sub>. Молекулы АТФ "в чистом виде" не появляются.

3. **Цикл трикарбоновых кислот** (ЦТК, 3 этап) – окисление ацетильной группы (в составе ацетил-SКоА) до углекислого газа. Реакции полного цикла сопровождаются образованием 1 молекулы ГТФ (гуанозинтрифосфат, что эквивалентно одной АТФ), 3 молекул НАДН и 1 молекулы ФАДН<sub>2</sub>.

4. **Окислительное фосфорилирование** (3 этап) – окисляются НАДН и ФАДН<sub>2</sub>, полученные в реакциях катаболизма глюкозы, АК и ЖК. При этом ферменты дыхательной цепи на внутренней мембране митохондрий обеспечивают образование большей части клеточного АТФ.

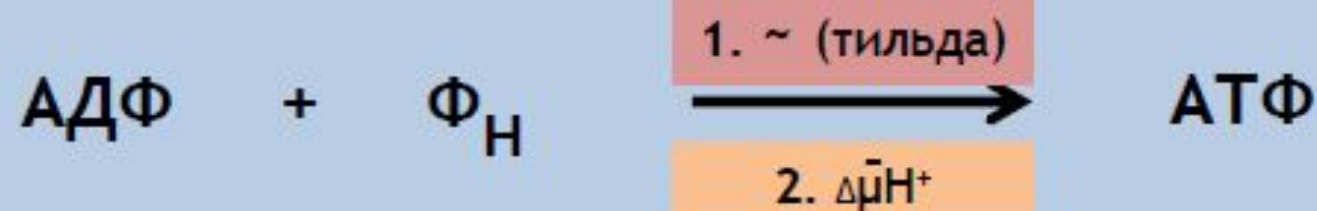


## Превращения полезной энергии





## ЕСТЬ 2 СПОСОБА СИНТЕЗА АТФ:



Фосфорилирование

1.

$-\text{O}_2$

Наиболее древний

**Субстратное фосфорилирование** за счет гидролиза макроэнергетических связей ( ~ тильда) богатых энергией субстратов.

2.

$+\text{O}_2$

Более эффективный способ

**Окислительное фосфорилирование** за счет разности электрохимических потенциалов  $\Delta\mu\text{H}^+$  («дельта мю аш»).

# Макроэнергетическая связь

- Богатая энергией связь ( $> 5$  ккал или  $21$  кДж/моль);
- Энергия макроэнергетической связи превращается в работу, минуя стадию тепла.



# 1. СУБСТРАТНОЕ ФОСФОРИЛИРОВАНИЕ

АТФ - РАЗМЕННАЯ ВАЛЮТА, ОБЕСПЕЧЕННАЯ «ЗОЛОТЫМ ЗАПАСОМ»  
МАКРОЭРГИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ (помимо ГТФ, ТТФ, ЦТФ, УТФ):

1.

Фосфоенолпируват (ФЕП) ~

2.

1,3 - бисфосфоглицерат ~

3.

Ацетил ~ КоА (эгоист, использует ~ для себя)

4.

Сукцинил ~ КоА (обр. ГТФ → АТФ)

5.

Креатинфосфат ~ (в мышцах, особенно в сердце)

6.

Пирофосфат ( $\tilde{\text{P}}_{\text{H}}$ )  
(у некоторых микроорганизмов - единственный источник энергии)

# Строение МИТОХОНДРИИ



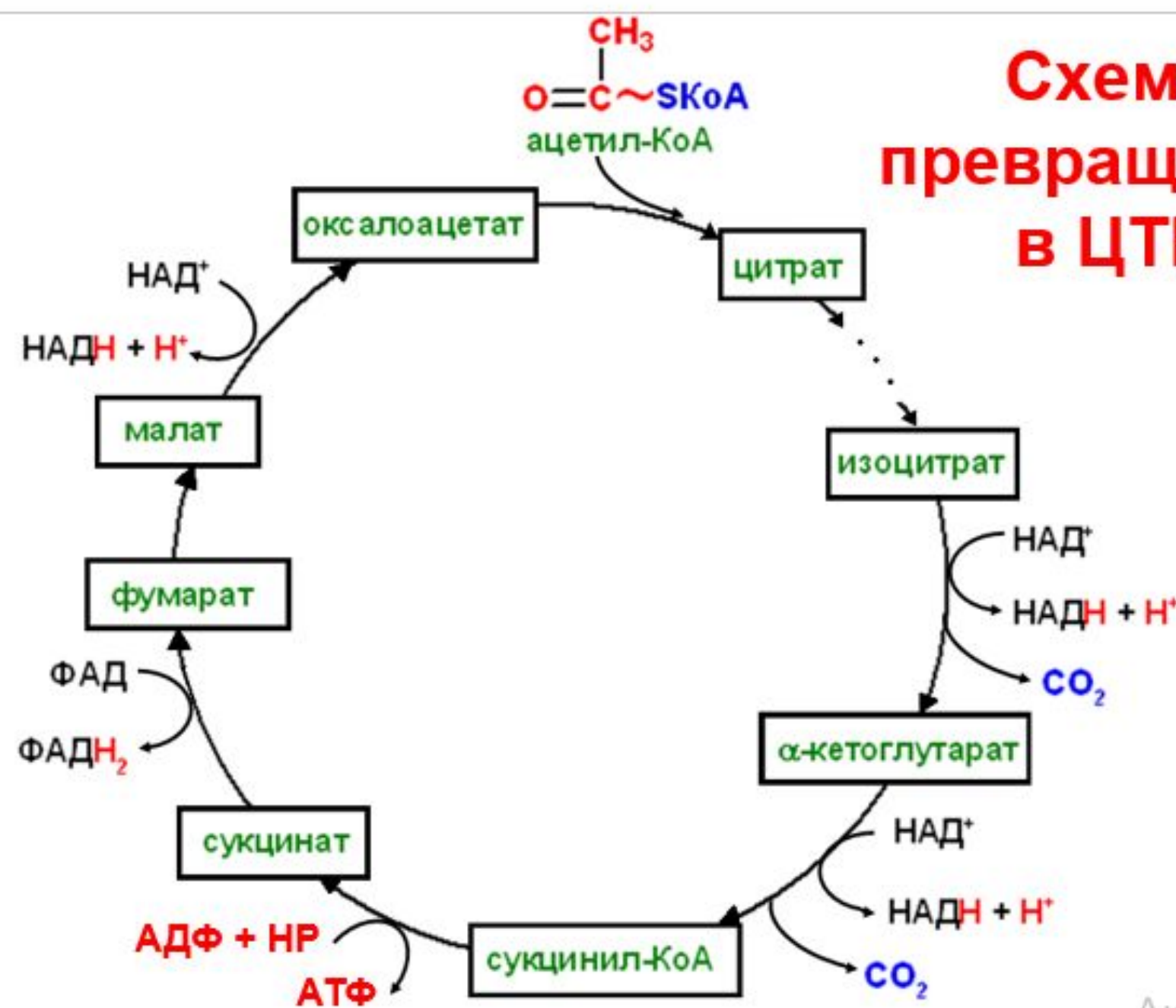


# Окислительное декарбоксилирование пирувата



Превращение состоит из **5** последовательных реакций, осуществляется **мультиферментным комплексом**, прикрепленным к внутренней митохондриальной мембране со стороны матрикса. Комплекс насчитывает **3 фермента** и **5 коферментов**.

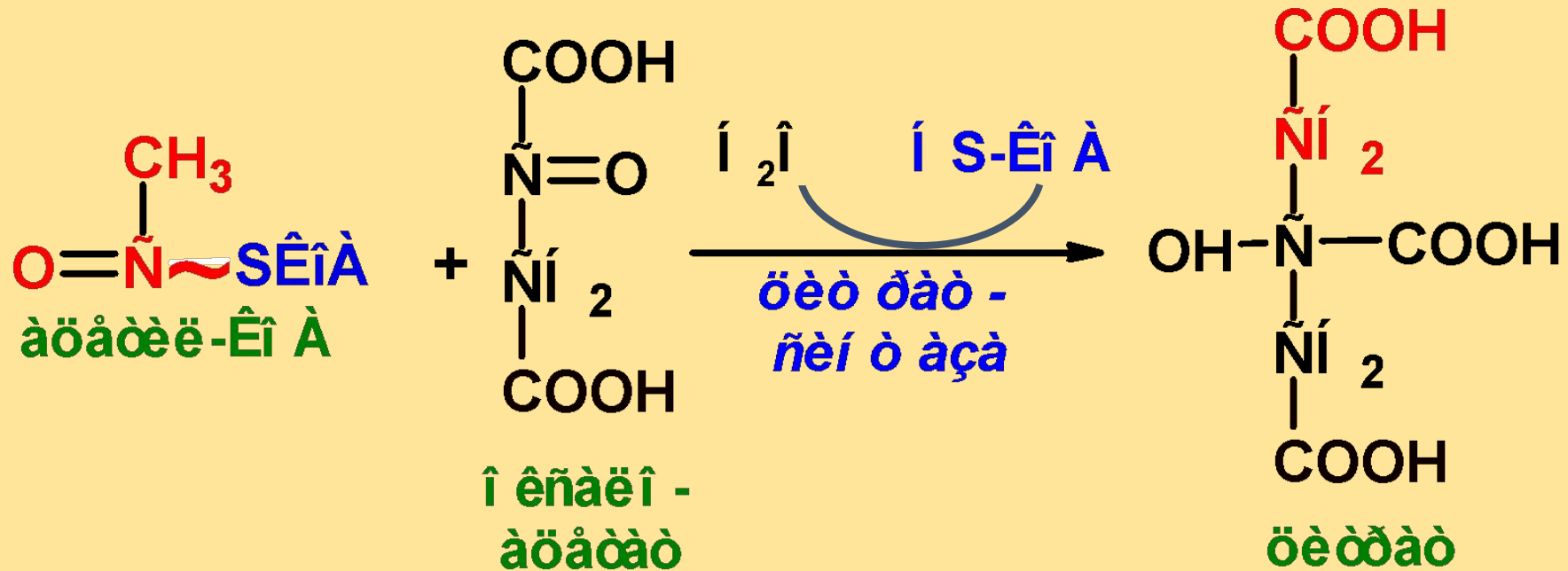
# Схема превращений в ЦТК



*Цикл трикарбоновых кислот* протекает в **матриксе митохондрий** и представляет собой **окисление** молекулы **ацетил-SКоА** в 8 последовательных реакциях.



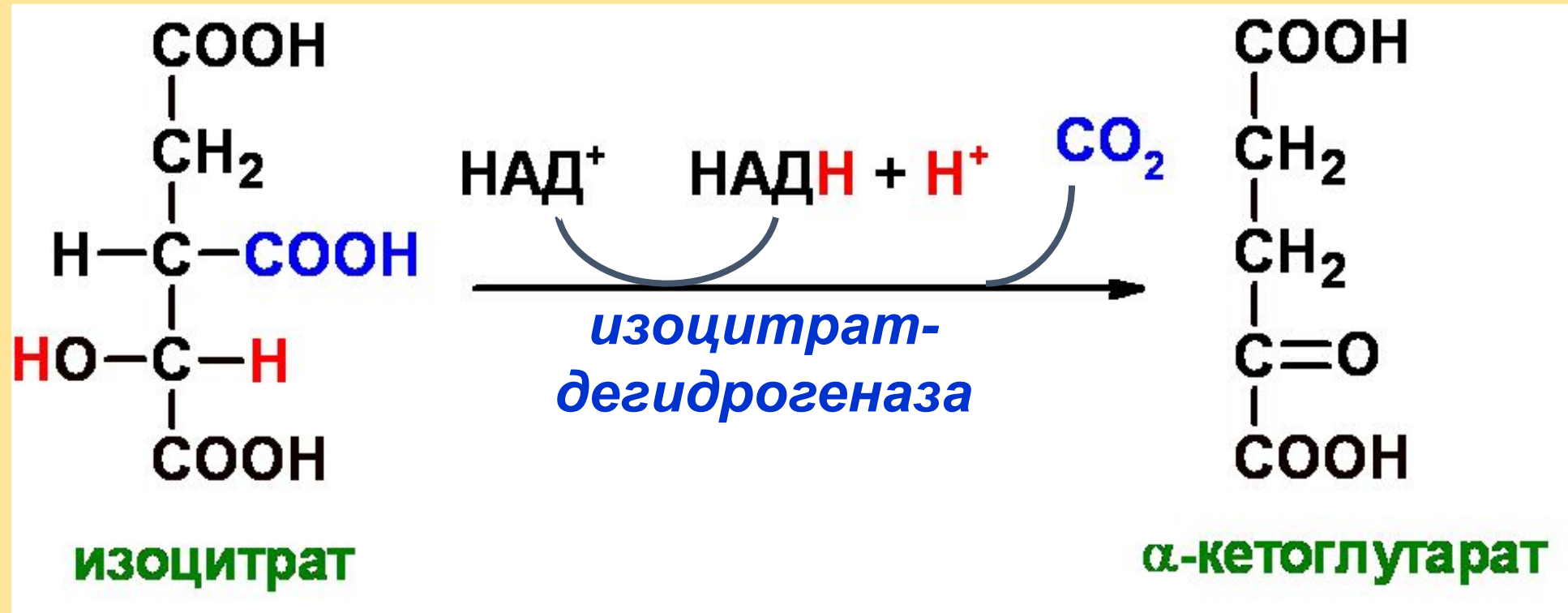
# 1 реакция



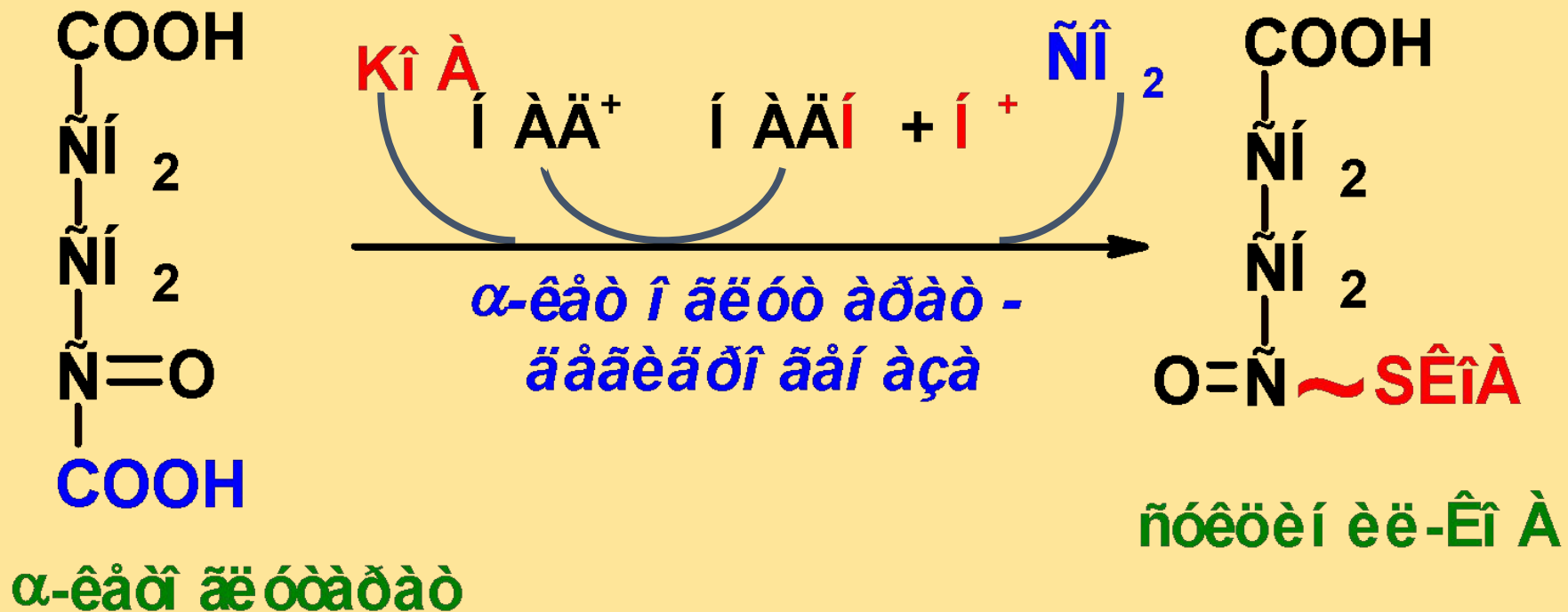




# 3 реакция



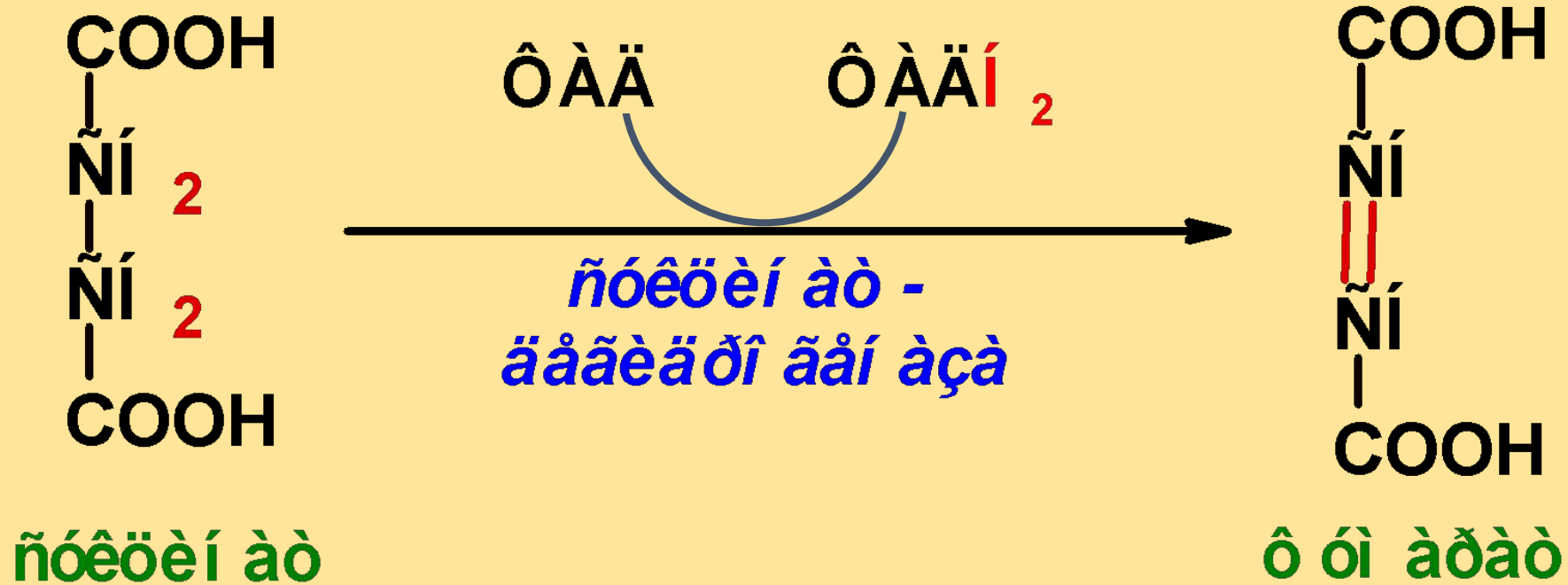
# 4 реакция





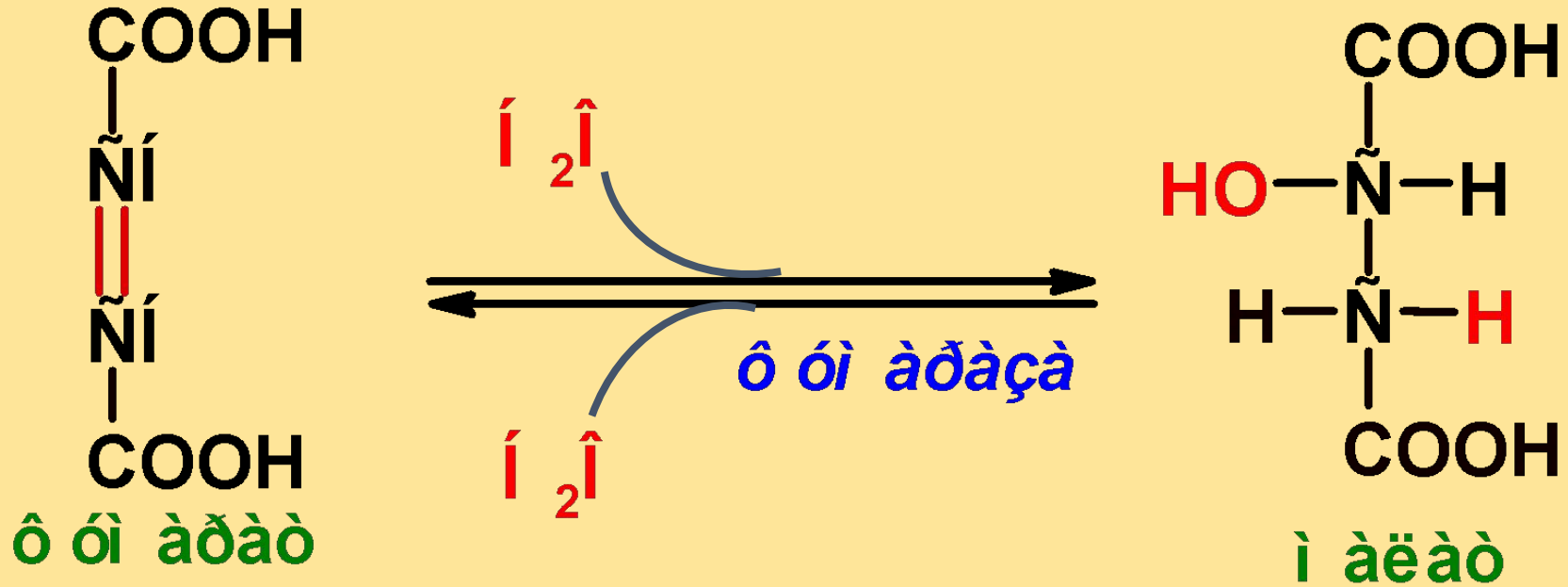


# 6 реакция

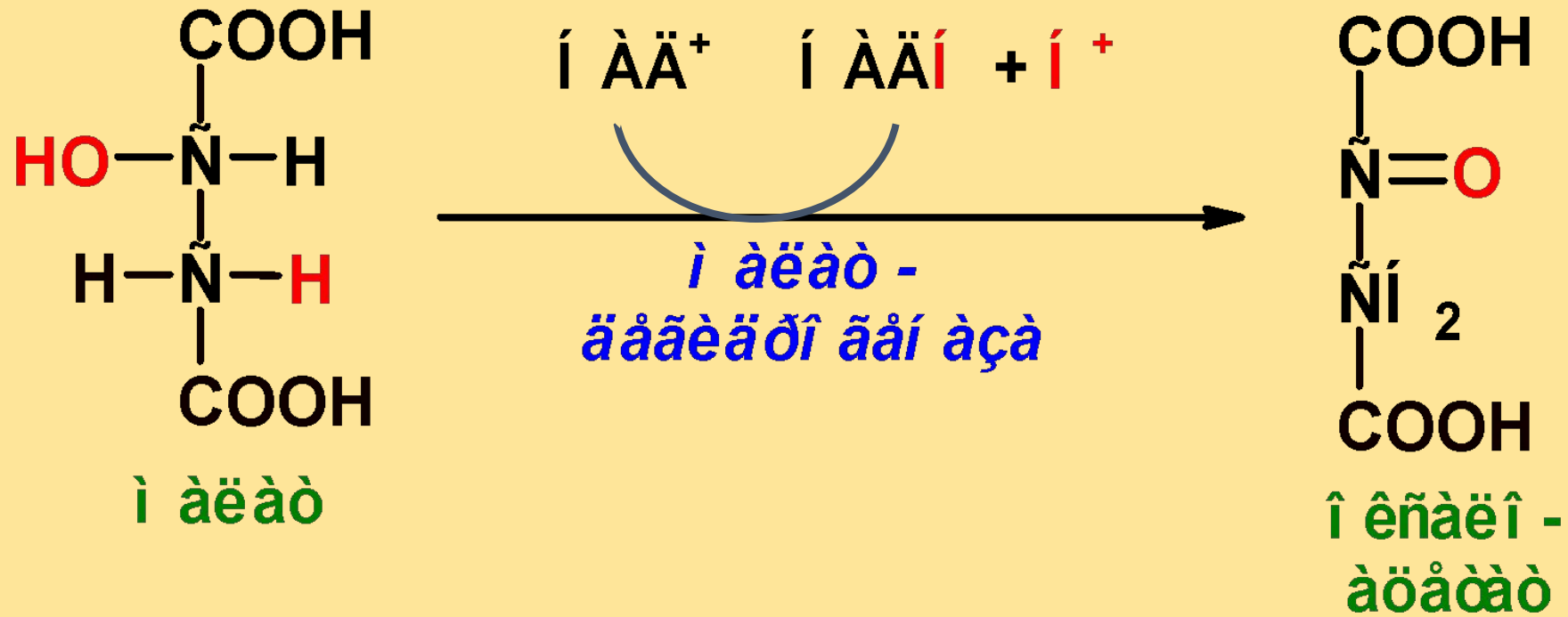




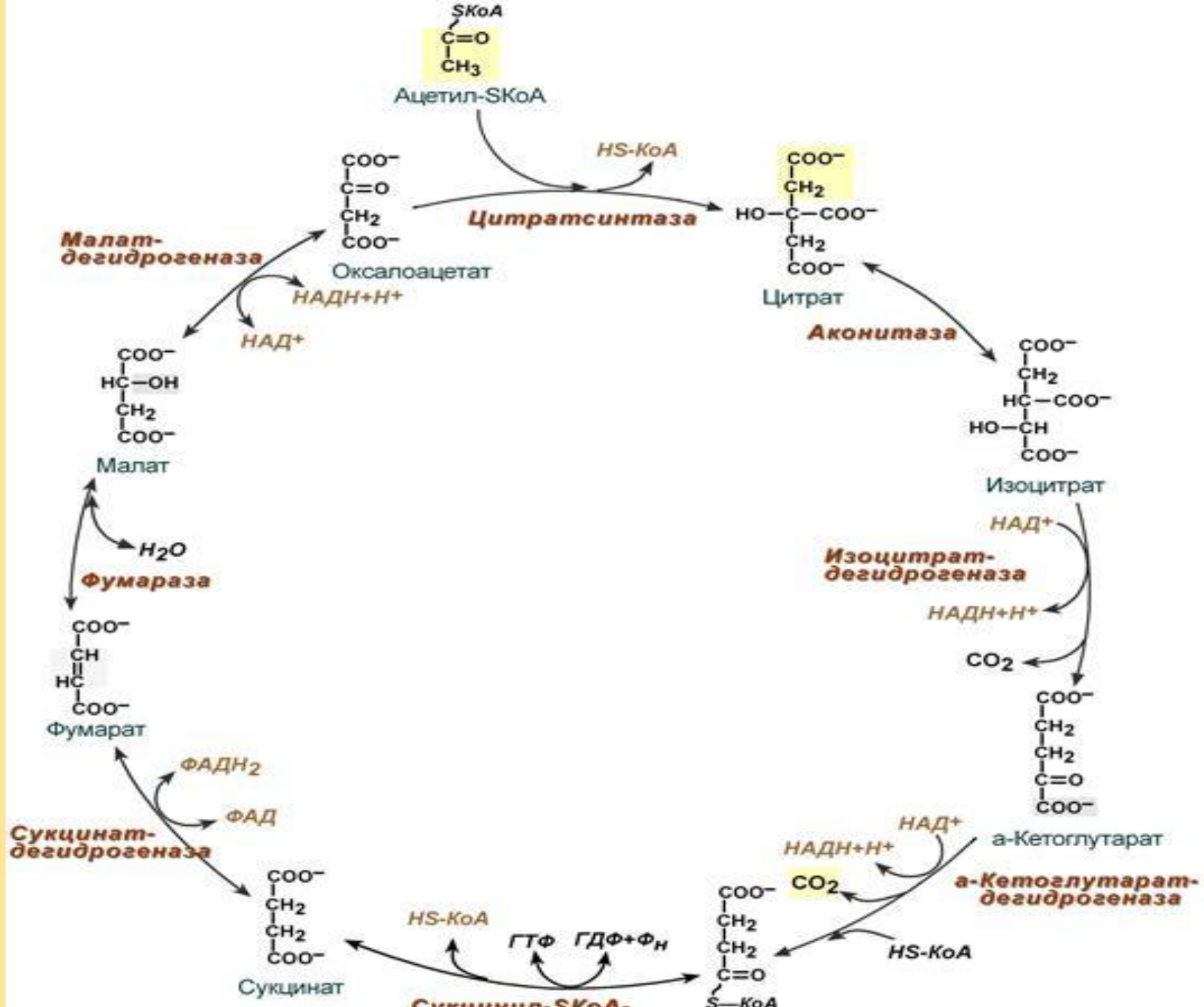
# 7 реакция



# 8 реакция







# Функции ЦТК

## 1. Энергетическая

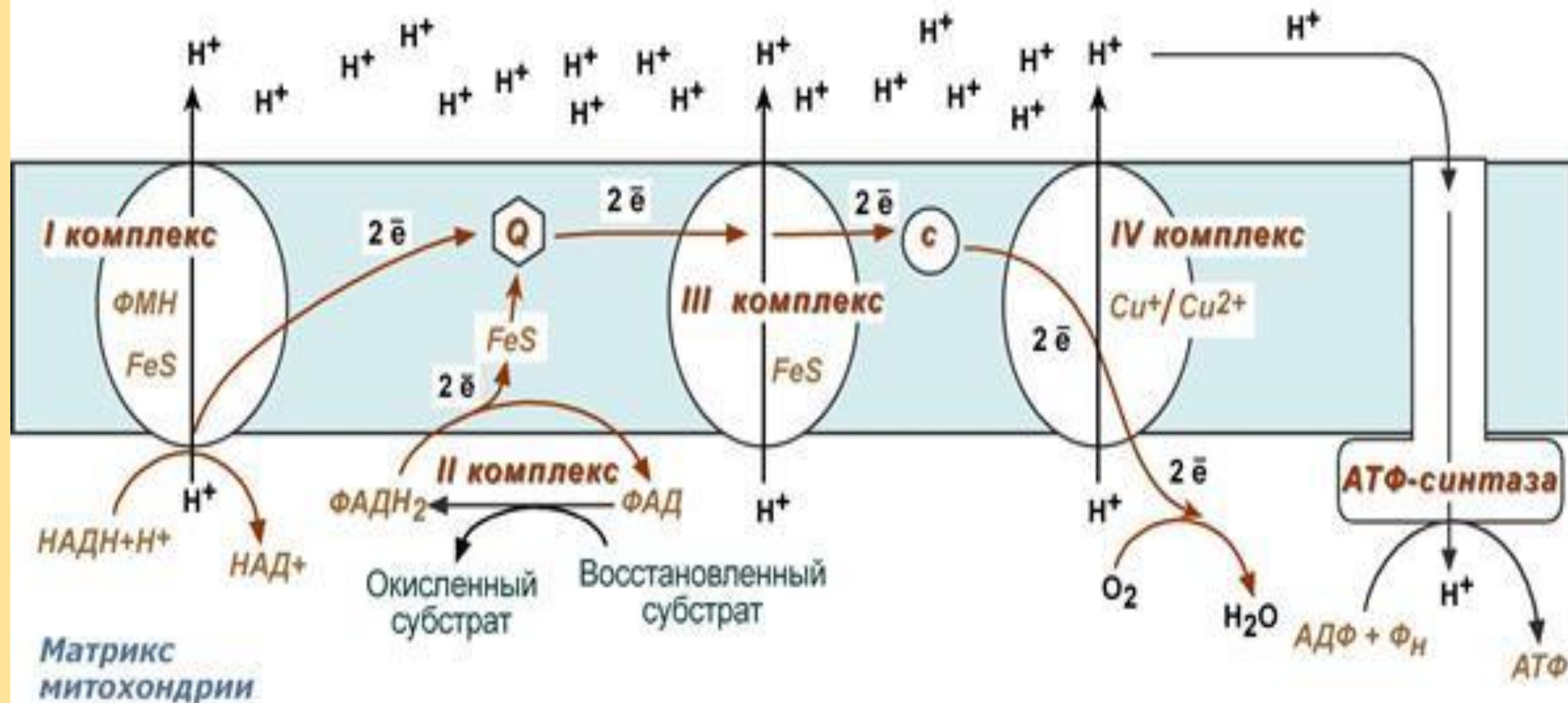
- ✓ генерация  $H^+$  для работы дыхательной цепи, а именно 3 НАДН и 1 ФАДН<sub>2</sub>,
- ✓ синтез одной молекулы ГТФ (эквивалентна АТФ).

## 2. Анаболическая. В ЦТК образуются

- предшественник гема – **сукцинил-SКоА**,
- кетокислоты, способные превращаться в АК –  **$\alpha$ -кетоглутарат** для глутаминовой к-ты, **оксалоацетат** для аспарагиновой,
- **лимонная кислота**, используемая для синтеза жирных кислот,
- **оксалоацетат**, используемый для синтеза глюкозы.

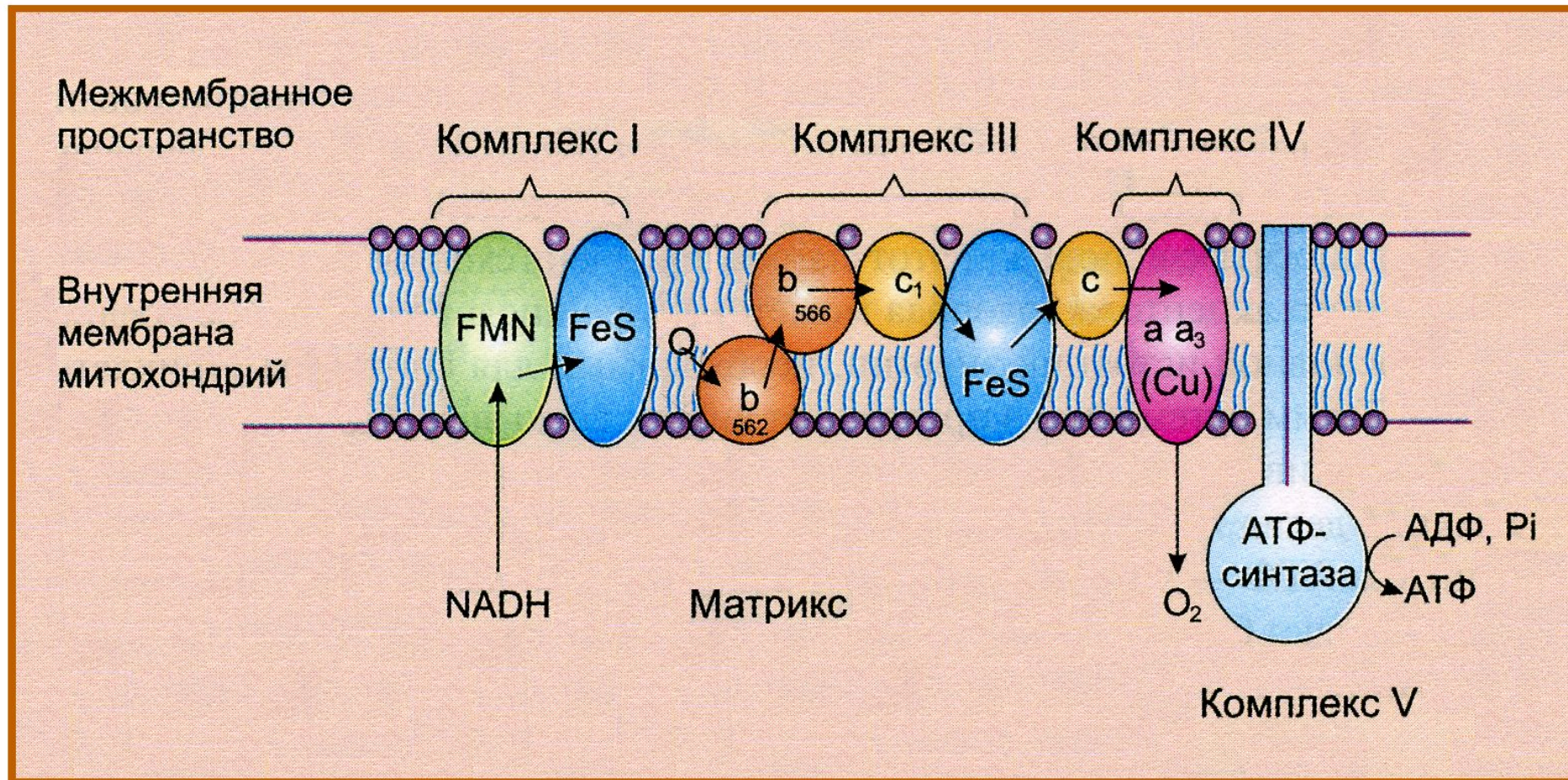


Межмембранное пространство

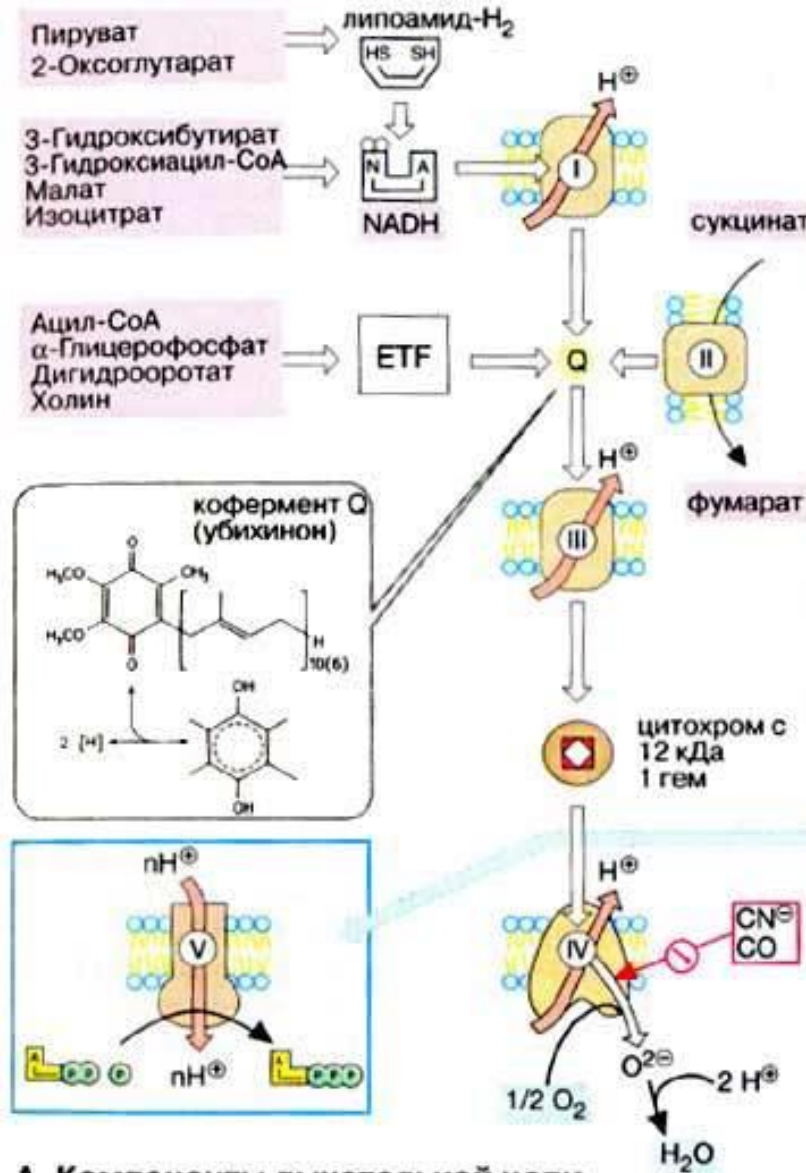




# Строение дыхательной цепи

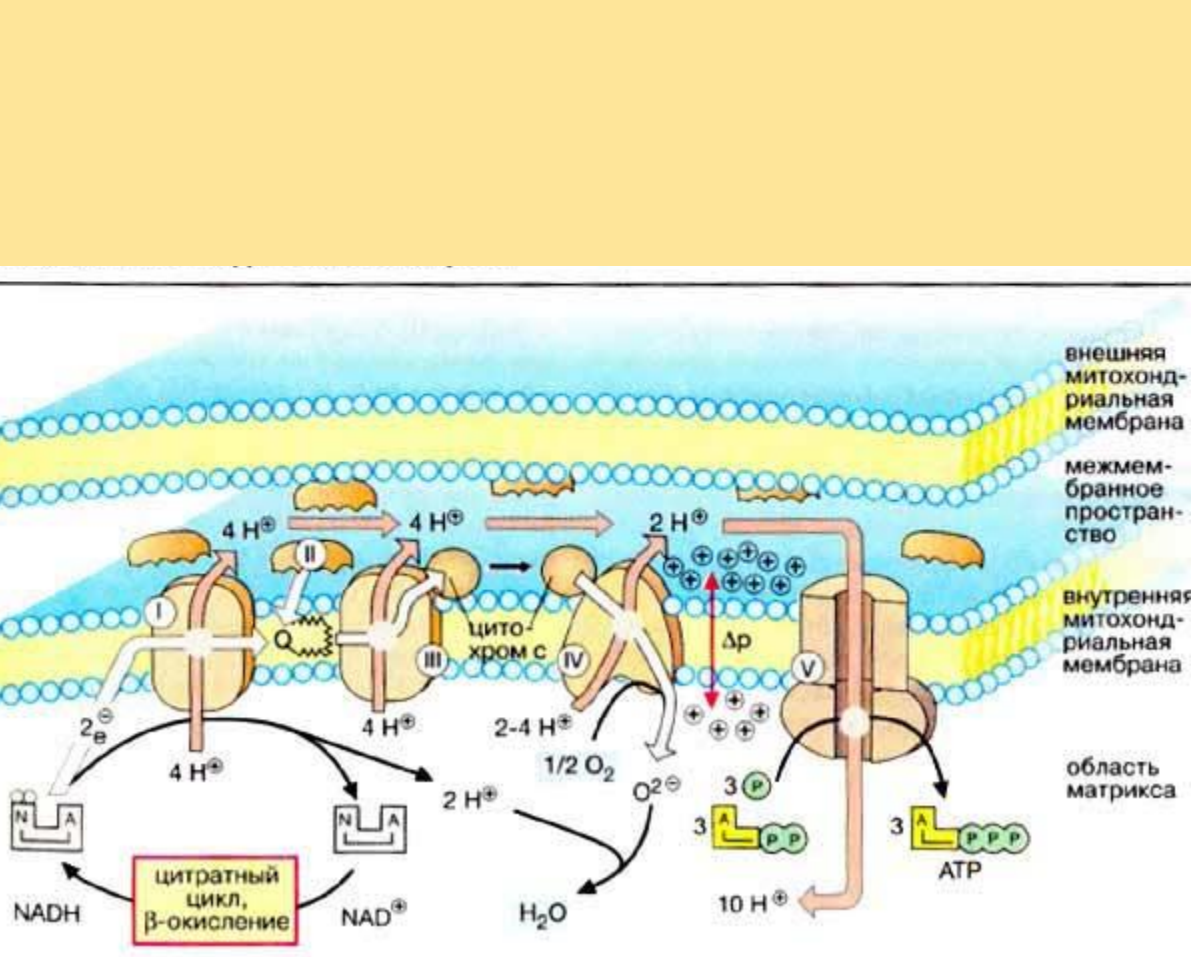






$E^{\circ}$ , В	Комплекс I
-0,3	NADH- дегидрогеназа (убихинон) 1.6.5.3 700-800 кДа, 25-30 субъединиц, 1 FMN, 2 $Fe_2S_2$ , 4 - 5 $Fe_4S_4$
+0,1	Комплекс II сукцинатдегидрогеназа 1.3.5.1 125 кДа, 4-6 субъединиц, 1 FAD, 1 $Fe_2S_2$ , 1 $Fe_4S_4$ , 1 $Fe_3S_4$ 2 убихинона, 1 гем b
+0,3	Комплекс III убихинол-цитохром с-редуктаза 1.10.2.2 ~400 кДа, 11 субъединиц 2 $Fe_2S_2$ , 2 гема b, 1 гем $c_1$
+0,8	Комплекс IV цитохром с-оксидаза 1.9.3.1 ~200 кДа, 8-13 субъединиц, 2 Cu, 1 Zn, 1 гем a, 1 гем $a_3$
	Комплекс V $H^+$ -транспортирующая АТФ-синтаза 3.6.1.34 > 400 кДа, 8-14 субъединиц

⇨ поток электронов  
 ⇨ поток протонов



**А. Компоненты дыхательной цепи**

**Б. Организация дыхательной цепи**