

ОСНОВЫ БИОЭНЕРГЕТИКИ

Доц. Петушок Н.Э.

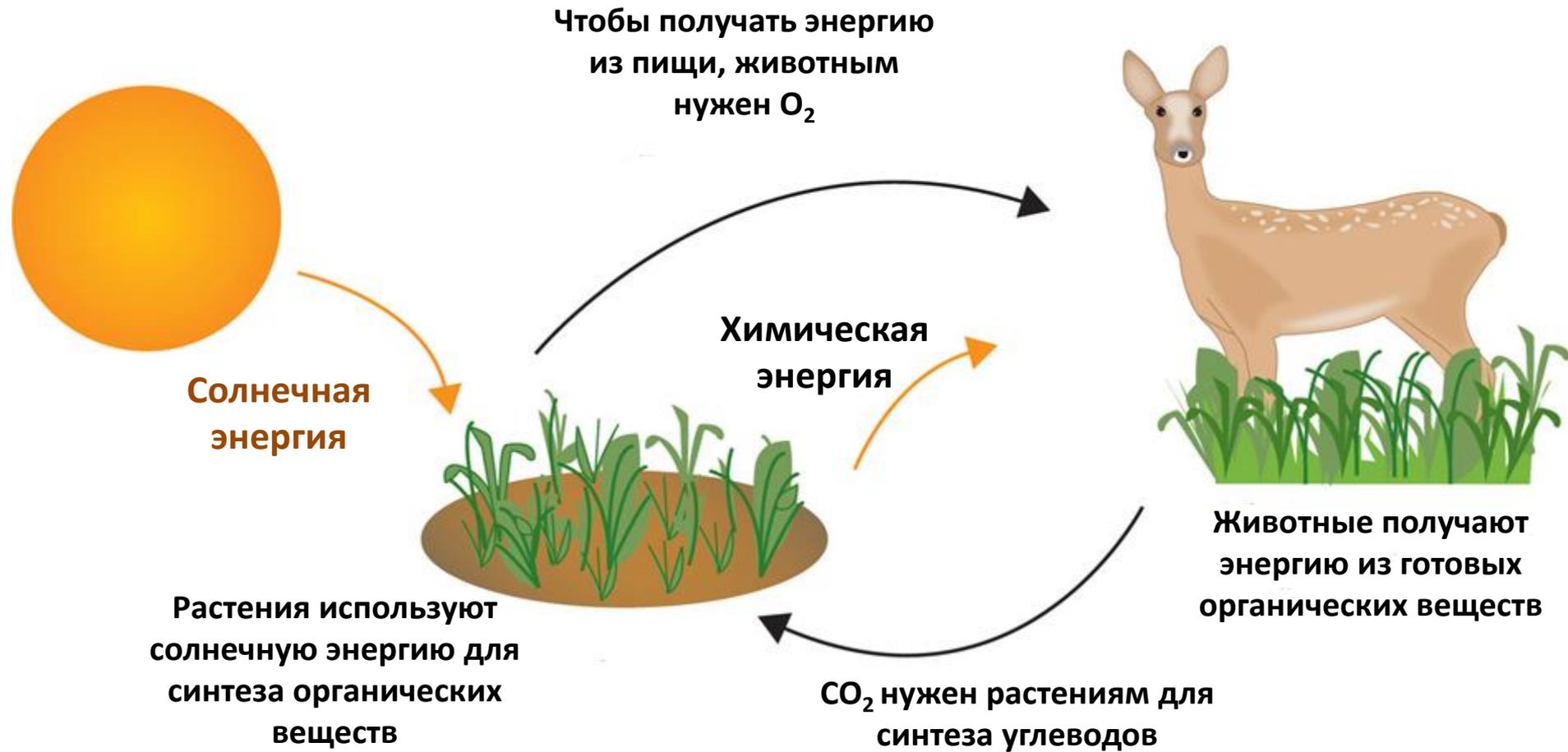
Чтобы оставаться в живых, расти и воспроизводиться живые клетки и организмы должны выполнять работу

Энергия им нужна для:

- синтеза клеточных компонентов**
- генерации концентрационных и электрических градиентов**
- движения**
- продукции тепла**
- и многих других процессов**

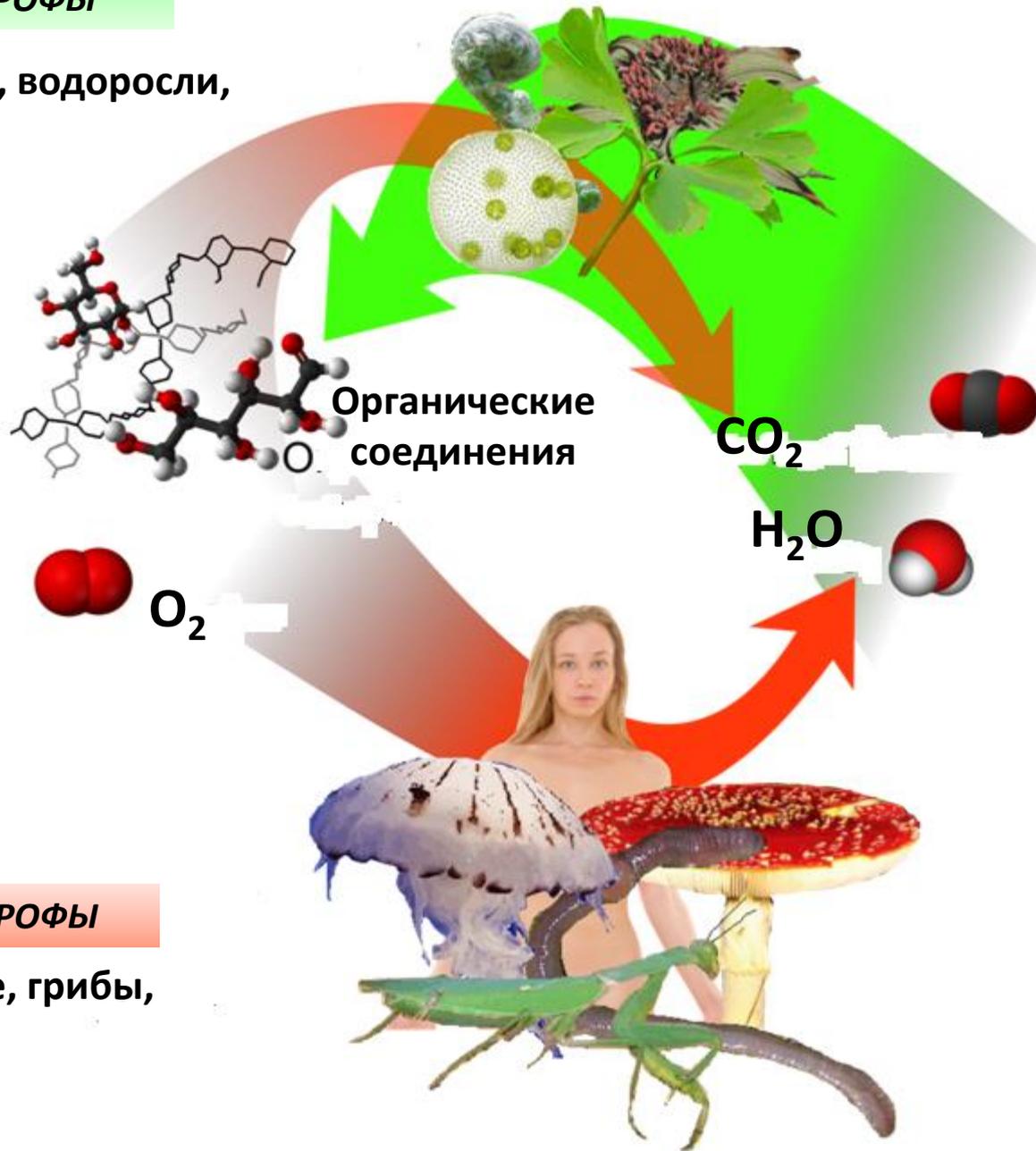
**Биоэнергетика занимается
количественным исследованием
преобразований энергии в живых
системах, а также химическими
процессами, лежащими в основе
этих преобразований**

Потоки веществ и энергии в биосфере



АВТОТРОФЫ

растения, водоросли,
бактерии



ГЕТЕРОТРОФЫ

животные, грибы,
бактерии

**Живые клетки- это открытые системы,
обменивающиеся со своим окружением как
веществами, так и энергией**



Изменения энергии, происходящие в химической реакции, описываются следующими термодинамическими величинами

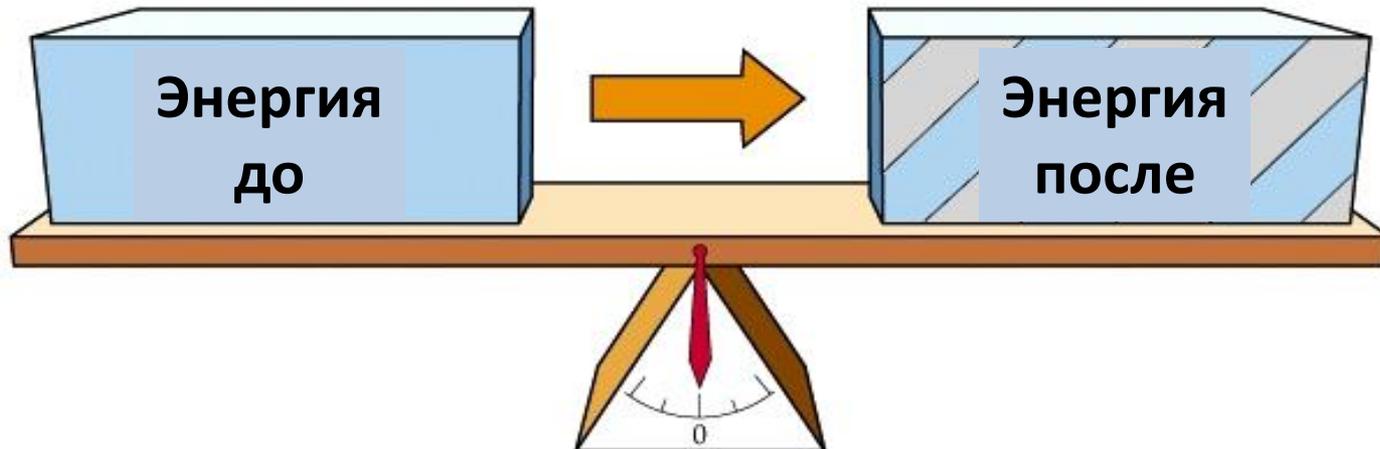
- **Свободная энергия Гиббса (G)** – та часть энергии, которая может производить работу при постоянной температуре и давлении
- **Энтальпия (H)** – внутренняя энергия или теплота, содержащаяся в системе .
- **Энтропия (S)** – мера неупорядоченности системы

Часть энергии, которая не может быть преобразована в работу, называется **связанной энергией($T\Delta S$)**

Преобразования энергии в биологических системах подчиняются законам термодинамики

Первый закон термодинамики – это закон сохранения энергии

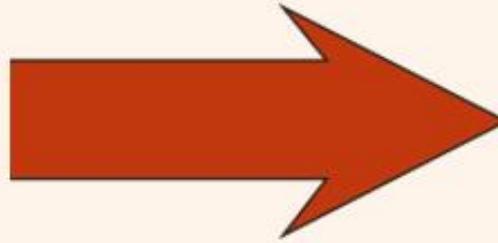
при любом физическом или химическом изменении, общее количество энергии во вселенной остается постоянным. Энергия может переходить из одной формы в другую или может перераспределяться, но не может исчезнуть



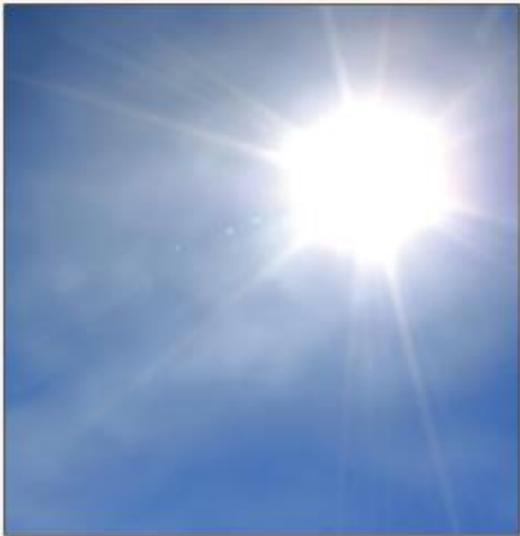
Переходы энергии



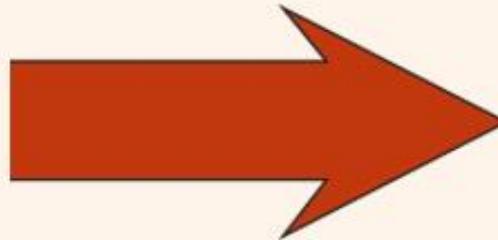
Химическая энергия



Кинетическая энергия



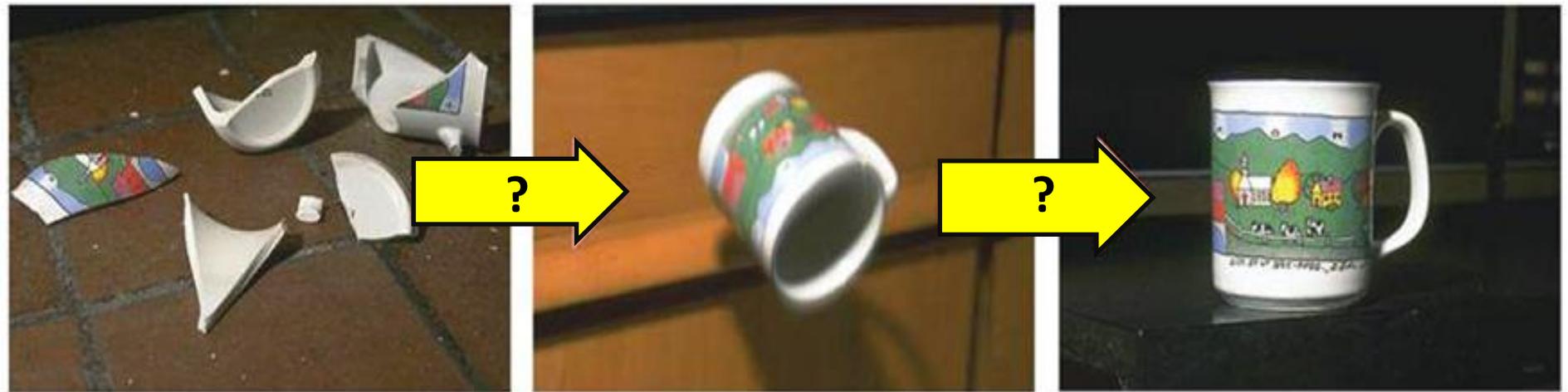
Энергия света



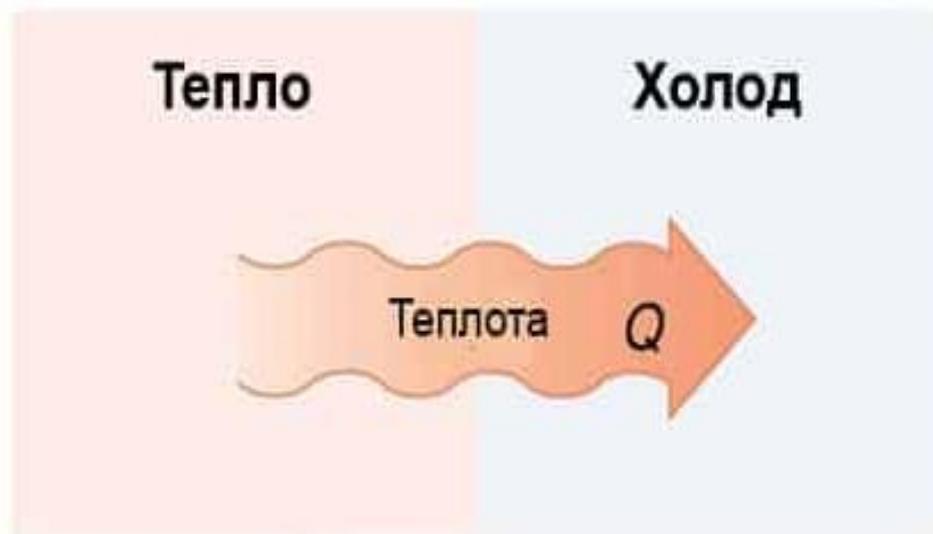
Химическая энергия

Второй закон термодинамики гласит, что все процессы во вселенной стремятся к увеличению беспорядка:

в результате естественных процессов энтропия вселенной возрастает



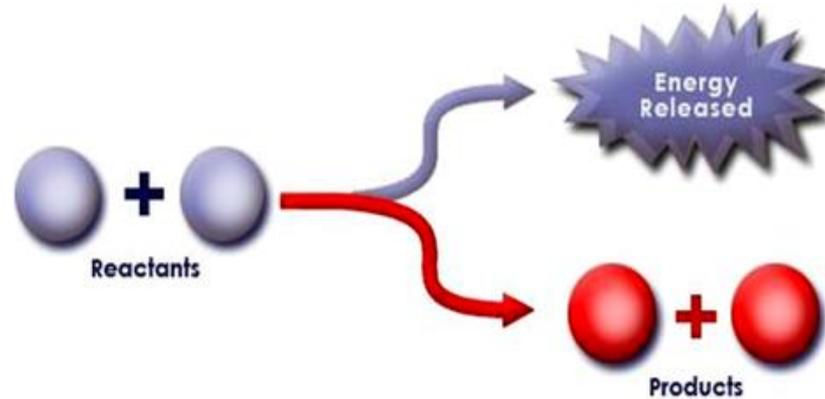
Второй закон термодинамики указывает направление возможных энергетических превращений



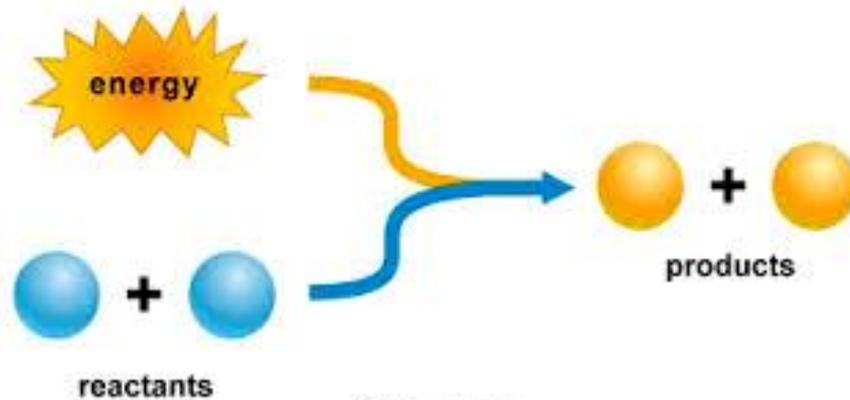
В условиях, существующих в биологических системах (постоянные температура и давление), изменения свободной энергии, энтальпии и энтропии количественно связаны друг с другом уравнением :

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S$$

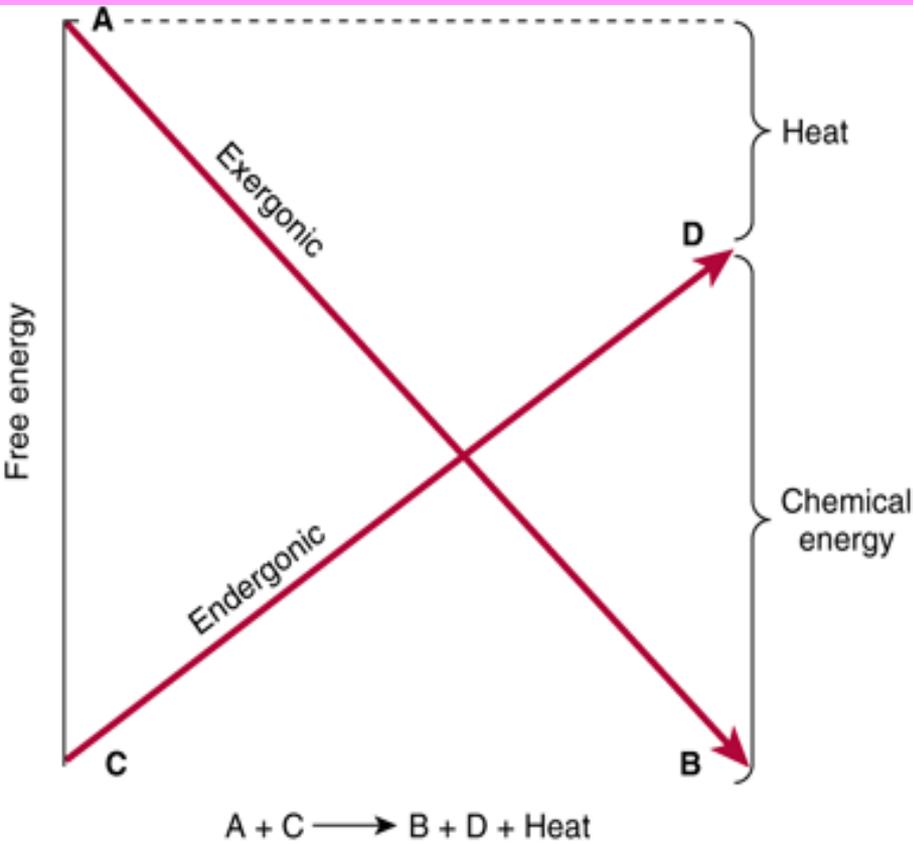
- Если ΔG отрицательна ($-\Delta G$), реакция будет протекать самопроизвольно с выделением энергии, и эта реакция называется **экзергонической реакцией**



- Если ΔG положительна ($+\Delta G$), реакция не будет протекать самопроизвольно и должна подпитываться энергией извне; такая реакция называется **эндергонической реакцией**



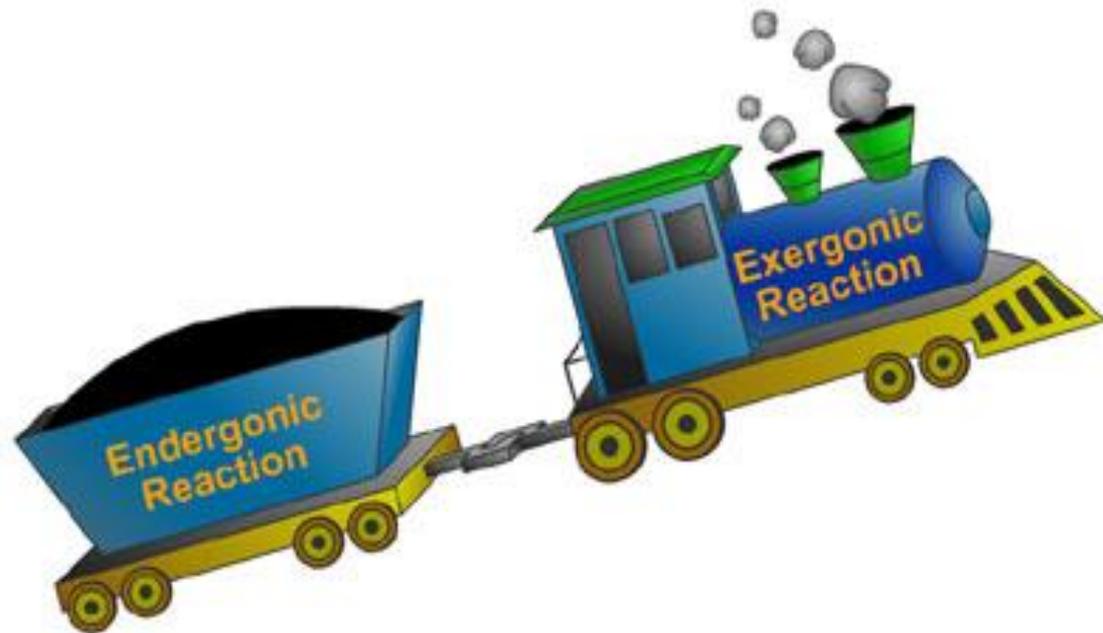
Сопряжение экзергонических и эндергонических реакций



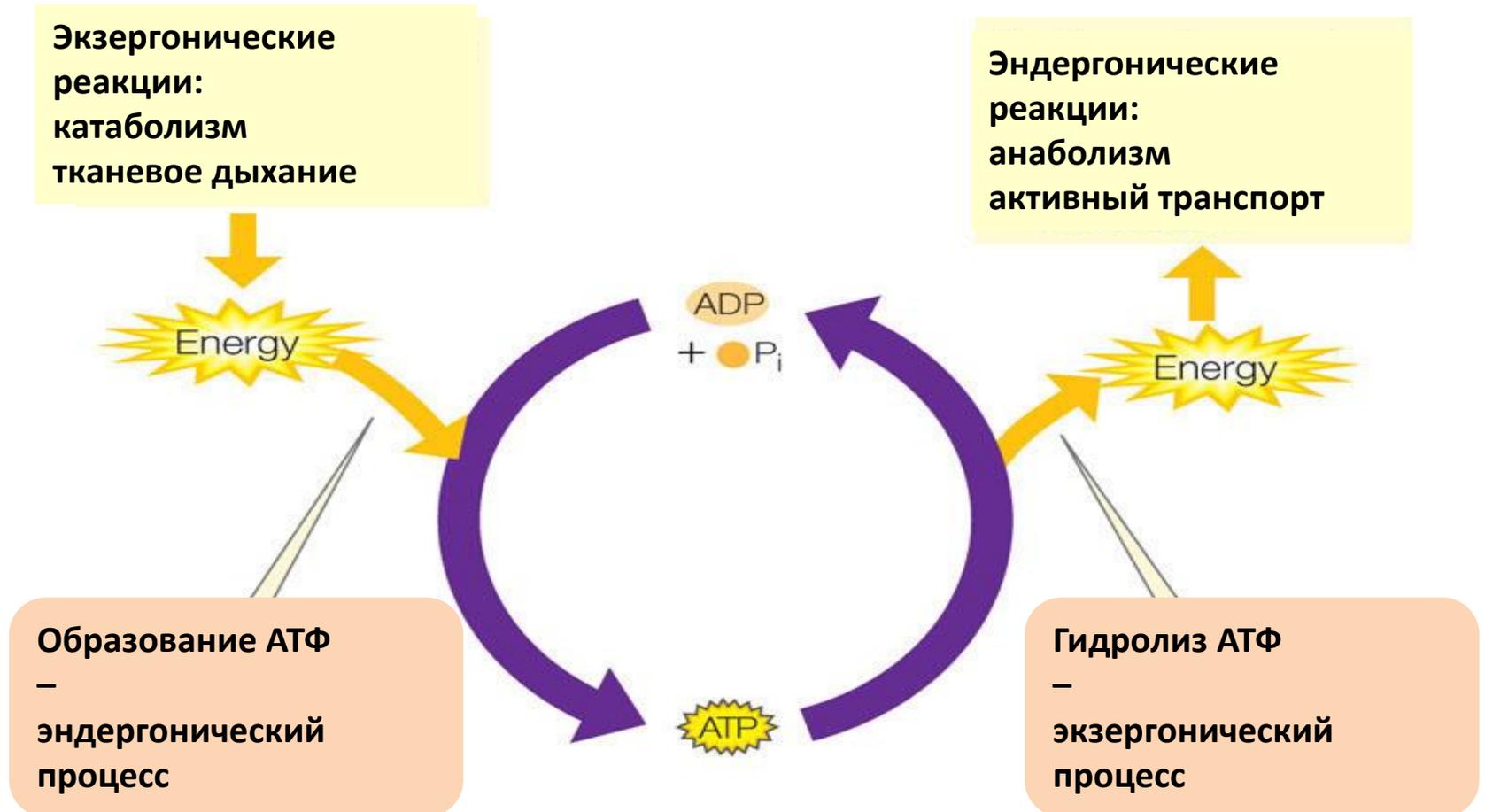
В биологических системах эндергонические реакции могут протекать лишь за счет энергии экзергонических

Source: Murray RK, Bender DA, Botham KM, Kennelly PJ, Rodwell J
Illustrated Biochemistry, 29th Edition: www.accessmedicine.com

Copyright © The McGraw-Hill Companies, Inc. All rights reserved.



**Живые системы часть энергии сохраняют в химической форме
(разность электрохимических потенциалов, макроэргические соединения)**



Макроэрги клетки

Макроэргические соединения содержат химическую связь, богатую энергией (макроэргическую связь)

Макроэргическая связь – это связь, гидролиз которой сопровождается высвобождением свободной энергии ($-\Delta G$) более 5 ккал / моль (21 кДж / моль)

*Макроэргическая связь обозначается знаком
“ ~ ” (тильда)*

Есть два типа макроэргических соединений:

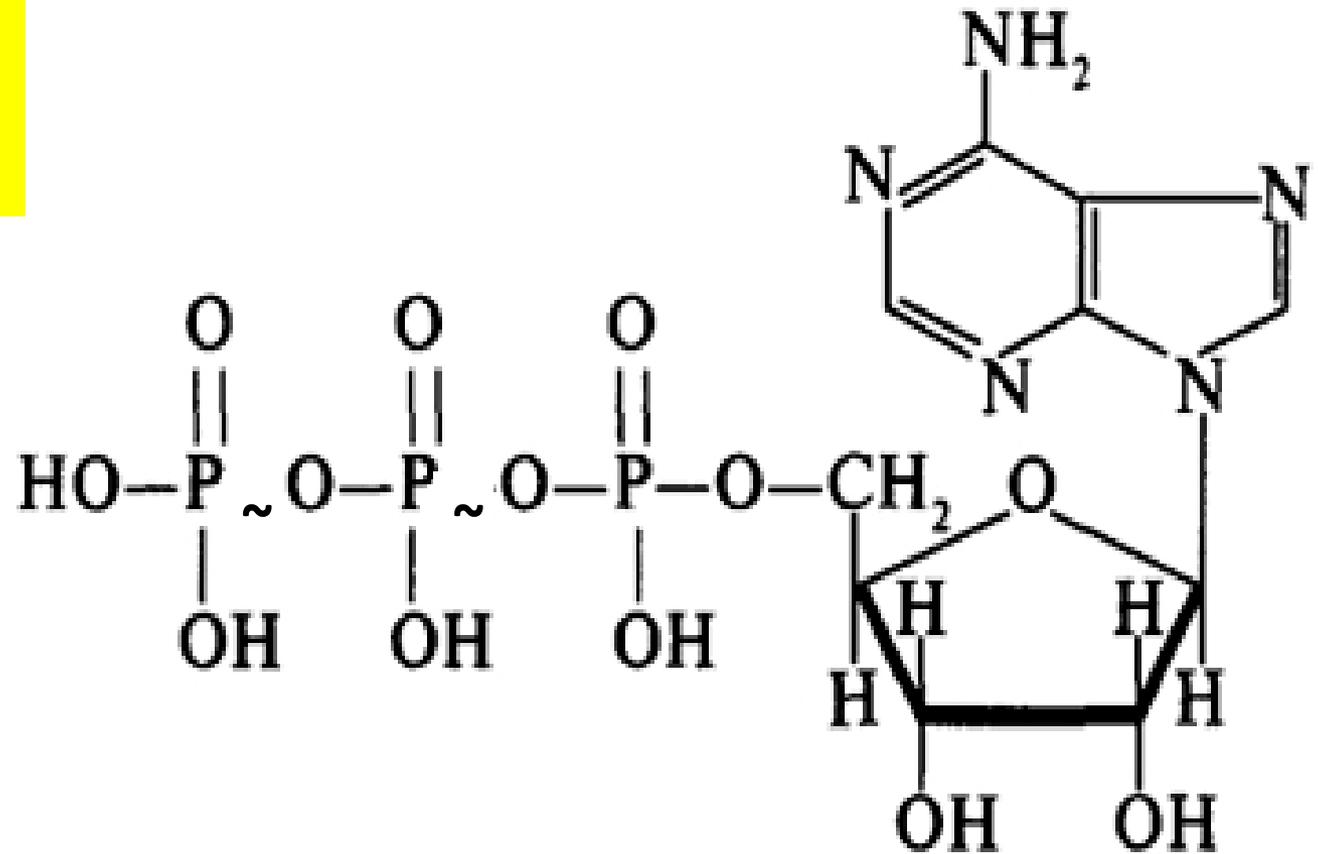
- **Фосфатсодержащие макроэргические соединения**
креатинфосфат, 1,3-бисфосфоглицерат,
фосфоенолпируват, карбамоилфосфат, АТФ и
другие нуклеозидтрифосфаты
- **Серосодержащие макроэргические соединения(тиоэфиры):** ацетил-КоА, ацил-КоА,
сукцинил-КоА

АТФ

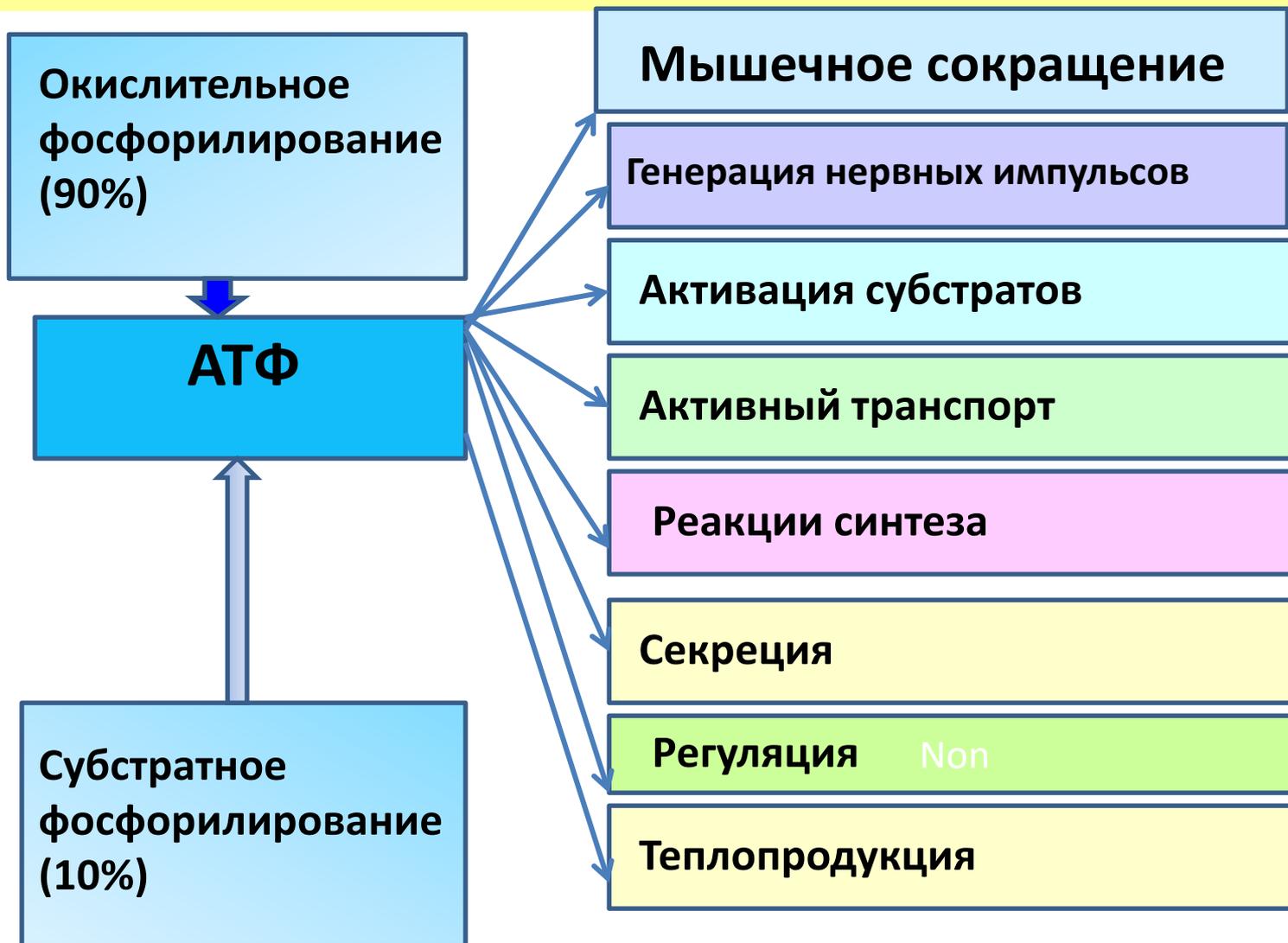
АТФ - универсальная энергетическая валюта, потому что только это соединение может немедленно отдать свою энергию, содержащуюся в макроэргической связи, для выполнения любого типа работы в живой клетке



ΑΤΦ



Пути синтеза и использования АТФ



Биологическое окисление

это клеточный процесс, в котором органические вещества в ходе окислительно-восстановительных реакций выделяют энергию (АТФ), CO_2 и H_2O

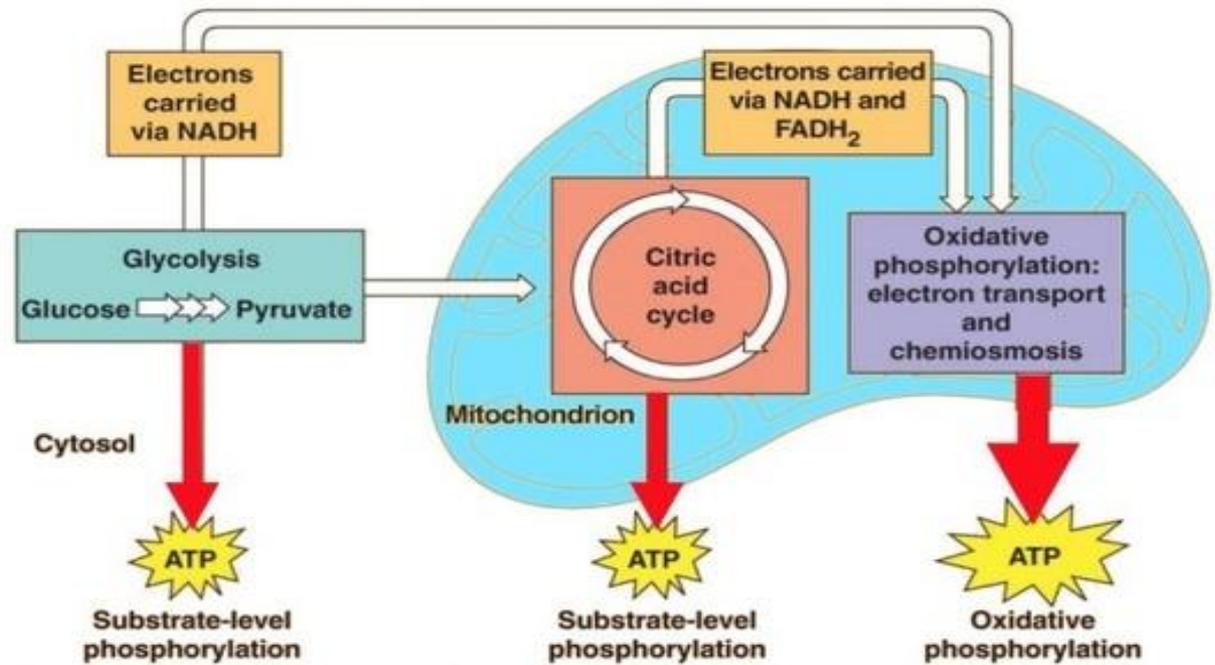
Окисление субстратов возможно путем

- присоединения кислорода
- отщепления электронов / протонов

Эти процессы происходят с участием ферментов

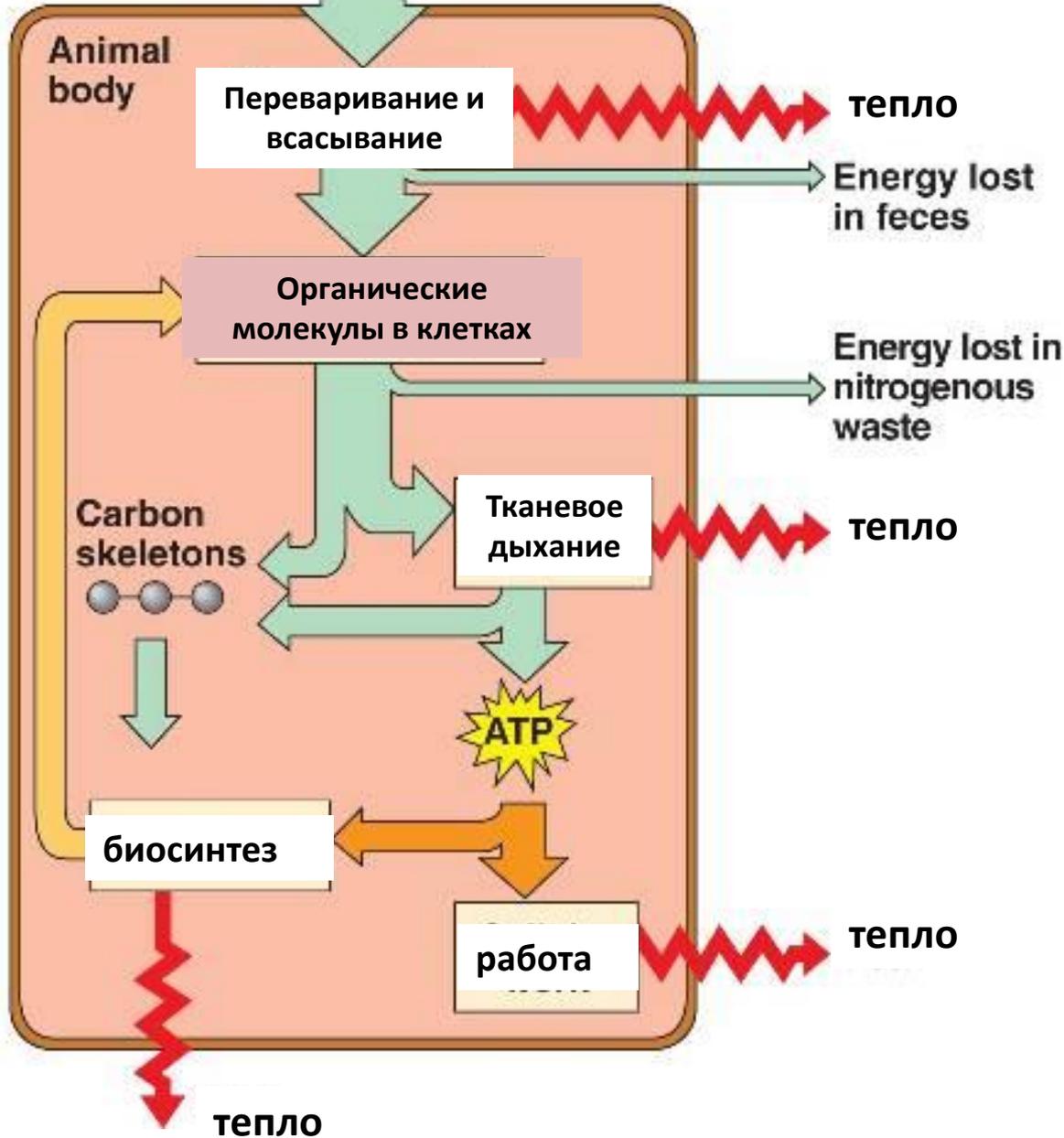
Тканевое дыхание

- представляет собой ряд реакций, которые происходят в клетках для преобразования химической энергии питательных веществ в АТФ с высвобождением конечных продуктов метаболизма
- **конечным акцептором электронов в процессах тканевого дыхания является кислород**
- **заключительный этап происходит в митохондриях**



External environment

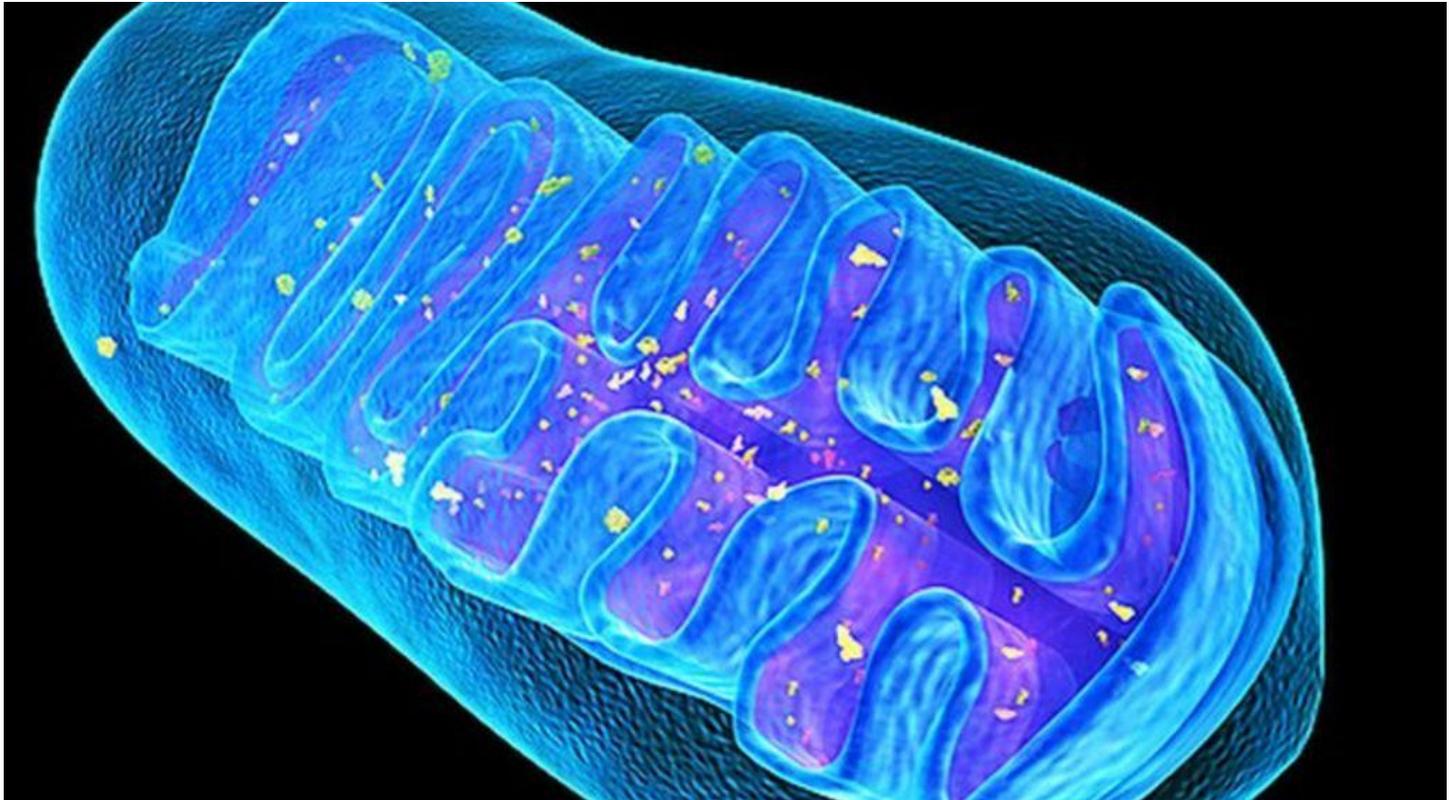
Органические молекулы пищи



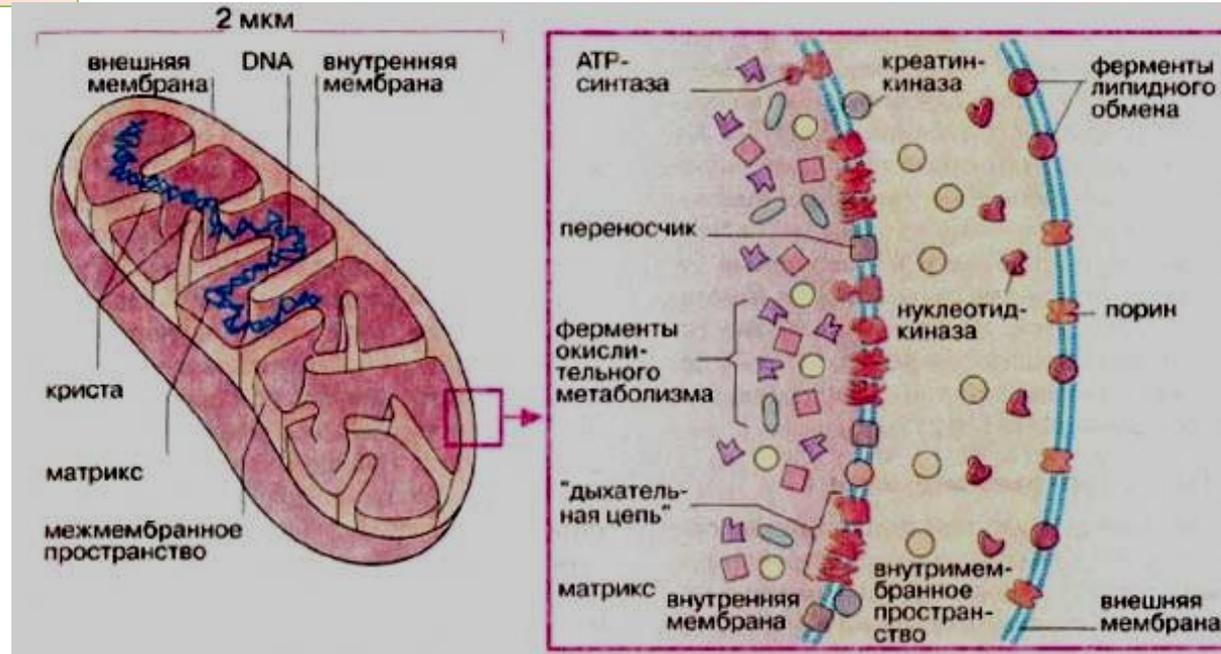
Около **40%**
энергии пищи
запасается в виде
АТФ, оставшиеся
60% выделяются
в виде тепла

Митохондрия

Основная функция - окисление метаболического топлива и сохранение свободной энергии за счет синтеза АТФ



Митохондрия (структура)



Внутренняя мембрана непроницаема для большинства малых молекул и ионов, в том числе H^+

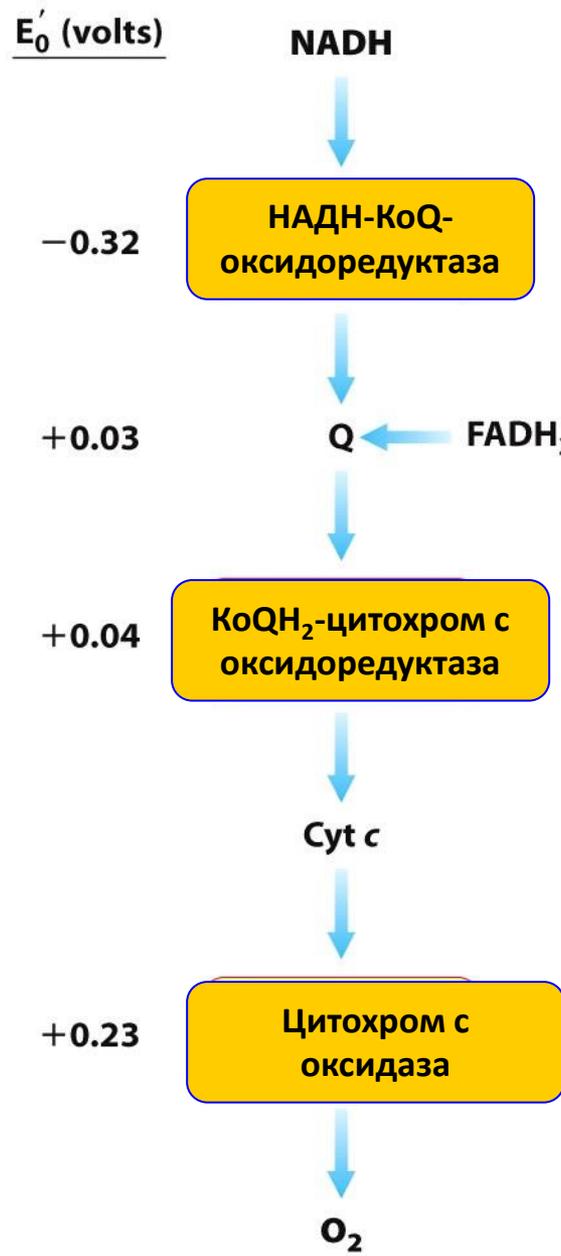
Содержит:

- переносчики электронов (комплексы I-IV)
- АДФ-АТФ транслоказу
- АТФ-синтазу (F_0F_1)
- другие мембранные транспортеры

Матрикс содержит:

- пируватдегидрогеназный комплекс
- ферменты ЦТК
- ферменты β -окисления жирных кислот
- ДНК, рибосомы

Цепь переноса электронов (ЦПЭ)

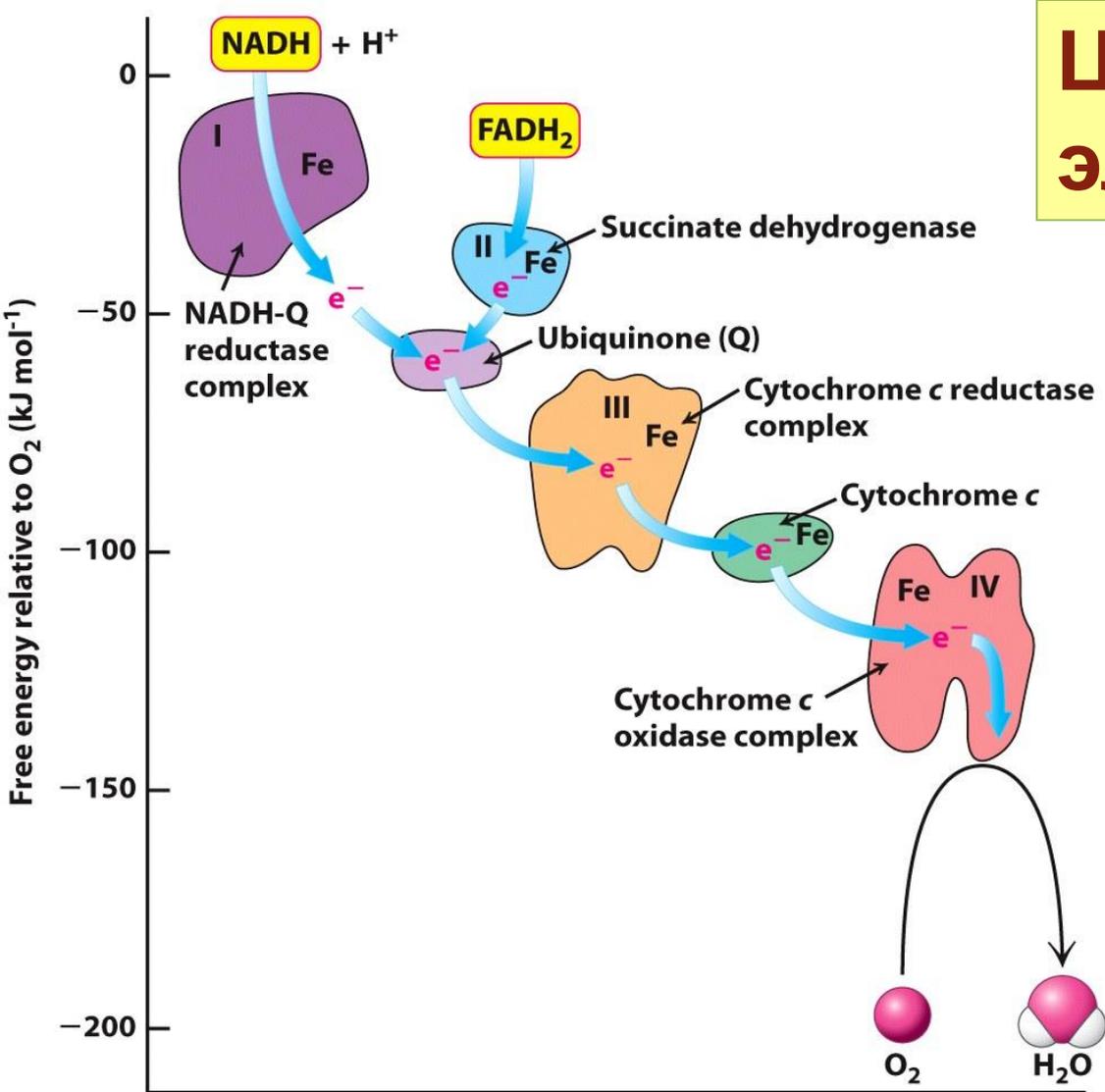


ЦПЭ состоит из нескольких комплексов, следующих друг за другом в определенной последовательности

✦ Электроны двигаются от переносчиков с низким восстановительным потенциалом к переносчикам с высоким

Figure 20.10
Biochemistry: A Short Course, Second Edition
© 2013 W. H. Freeman and Company

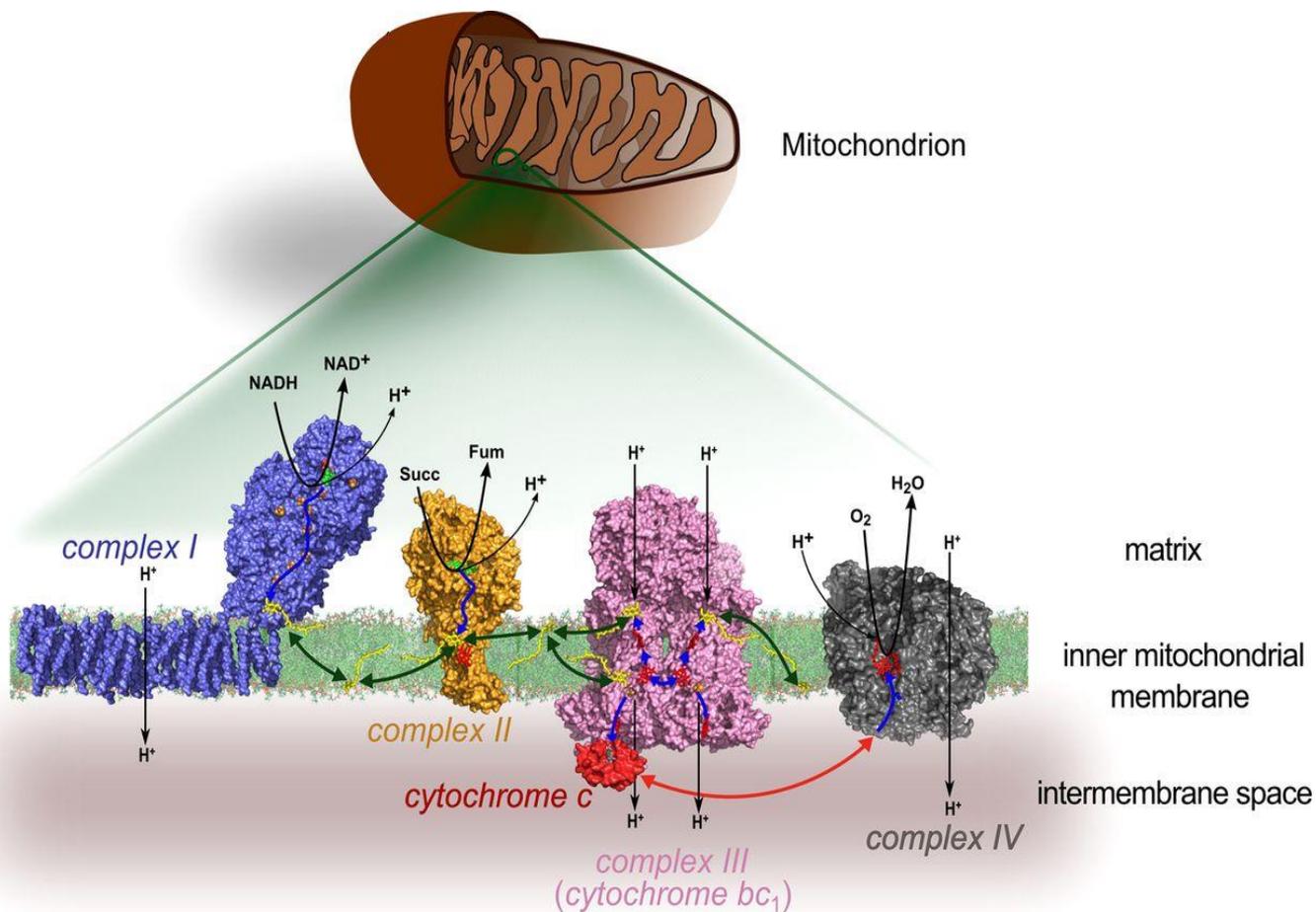
Цепь переноса электронов (ЦПЭ)



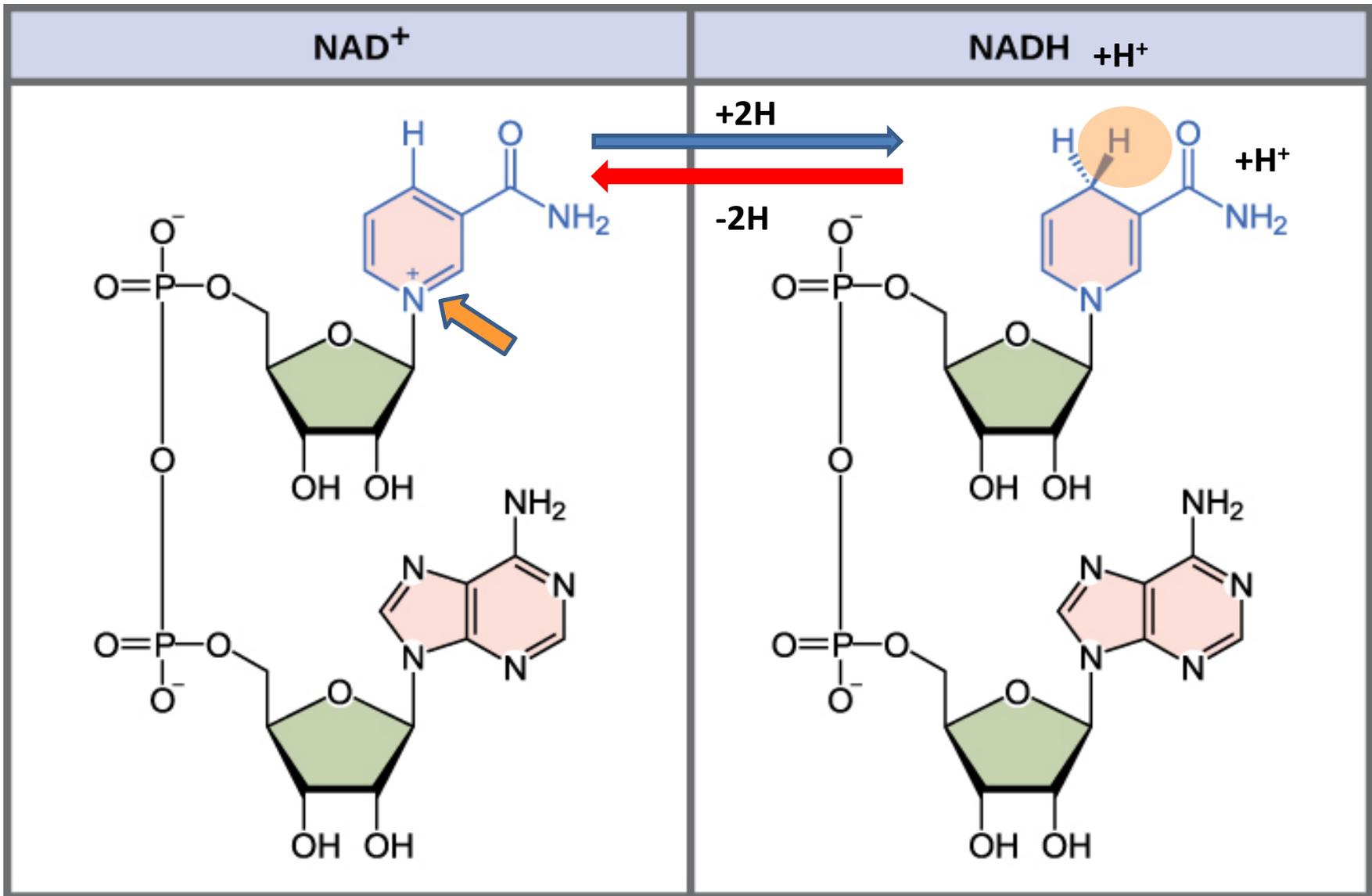
Компоненты ЦПЭ переносят протоны и электроны (или только электроны) от восстановленных субстратов (SH_2) или от восстановленных коферментов (таких как НАДН или ФАДН₂) к кислороду (O_2) с образованием воды в результате

Figure 20.6
Biochemistry: A Short Course, Second Edition
© 2013 W. H. Freeman and Company

Таким образом, ЦПЭ представляет собой последовательность окислительно-восстановительных реакций, в ходе которых выделяется свободная энергия. Часть этой энергии (около 50-75%) накапливается в макроэргических связях АТФ, а другая часть свободной энергии выделяется в виде тепла

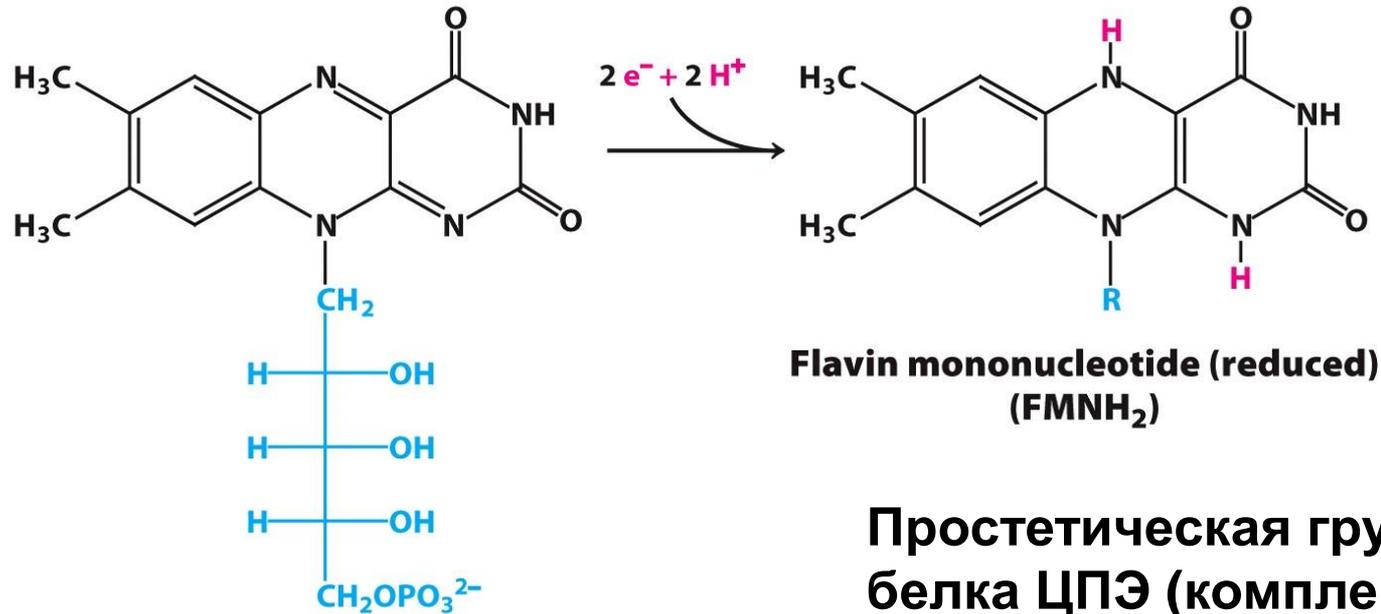


Переносчики ЦПЭ: НАД



НАД⁺ (никотинамиаленидинуклеотид)

Переносчики ЦПЭ: ФМН



Простетическая группа
белка ЦПЭ (комплекс I)

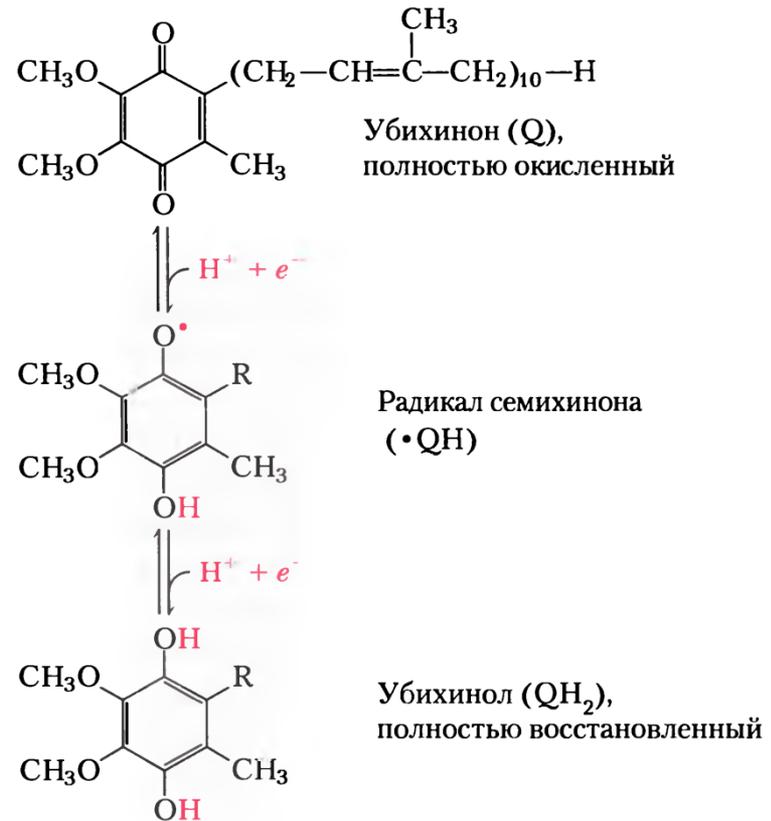
акцептор 1 или 2-х электронов

Figure 20.5
Biochemistry: A Short Course, Second Edition
© 2013 W. H. Freeman and Company

Переносчики ЦПЭ: кофермент Q

Мобильный переносчик
электронов внутри бислоя
мембраны

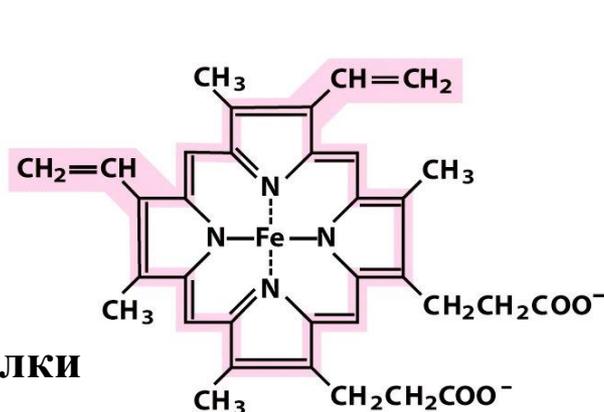
акцептор 1 или 2-х
электронов



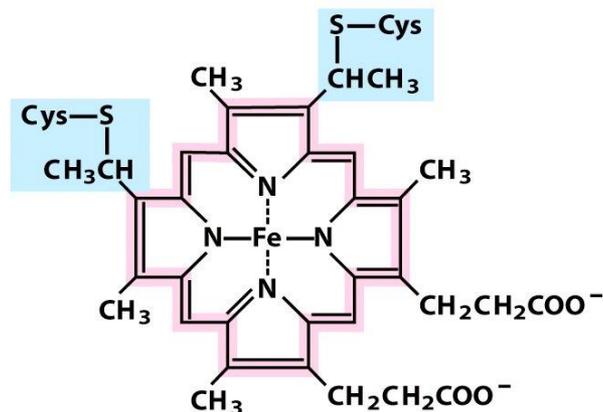
Переносчики ЦПЭ: цитохромы

Гемопротеины

В основном это интегральные белки

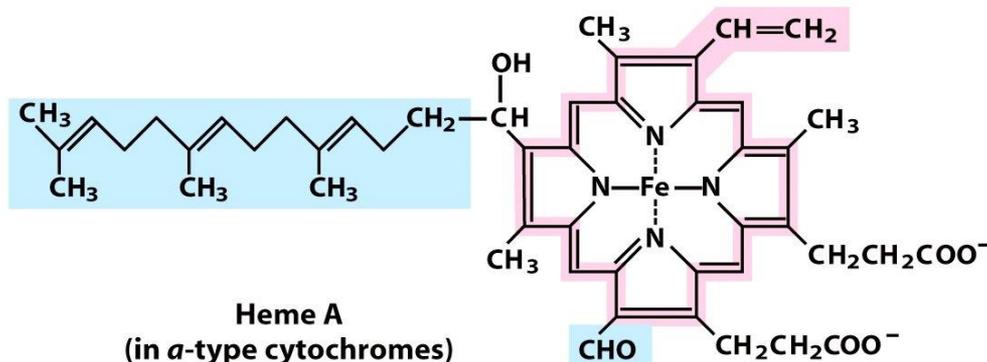


Iron protoporphyrin IX
(in *b*-type cytochromes)



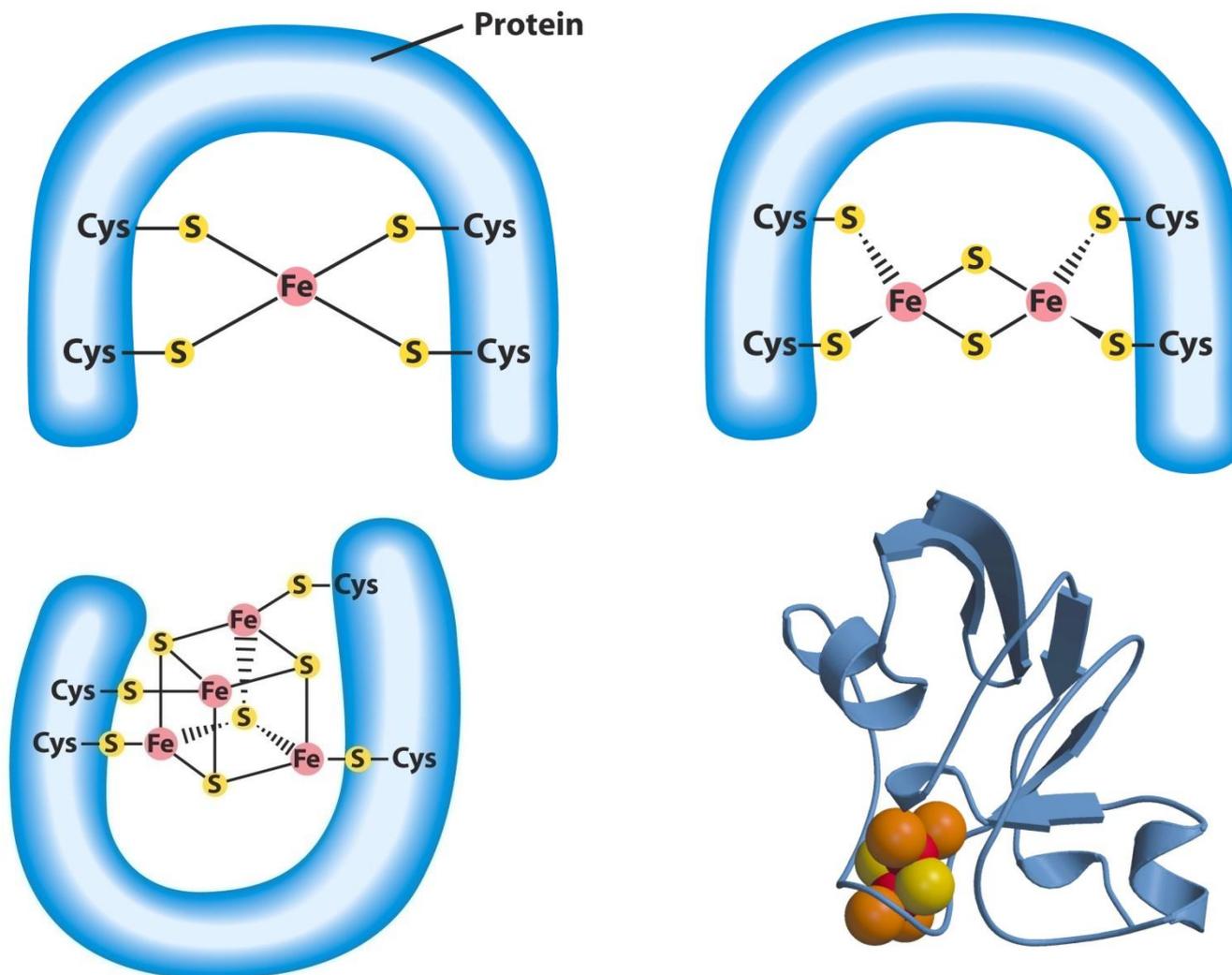
Heme C
(in *c*-type cytochromes)

Цитохром с - растворимый периферический белок.

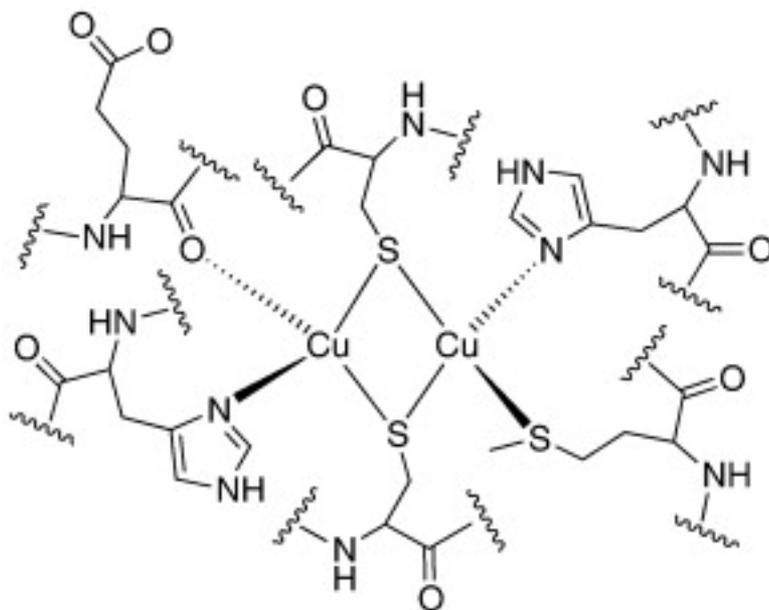


Heme A
(in *a*-type cytochromes)

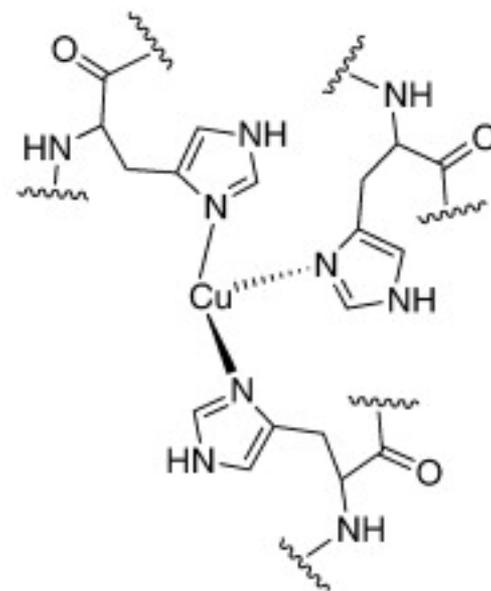
Переносчики ЦПЭ: железо-серные белки



Переносчики ЦПЭ: медные центры



✦ Cu_A центр

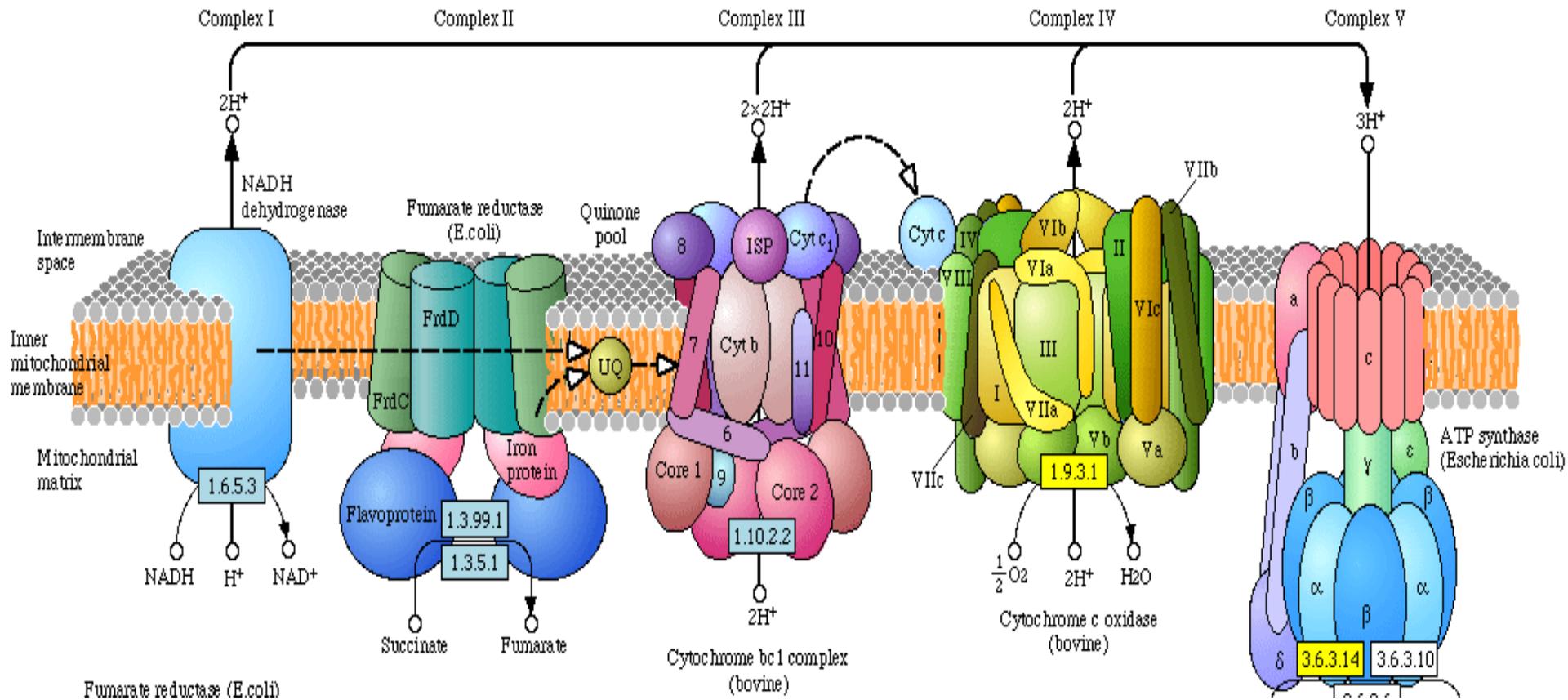


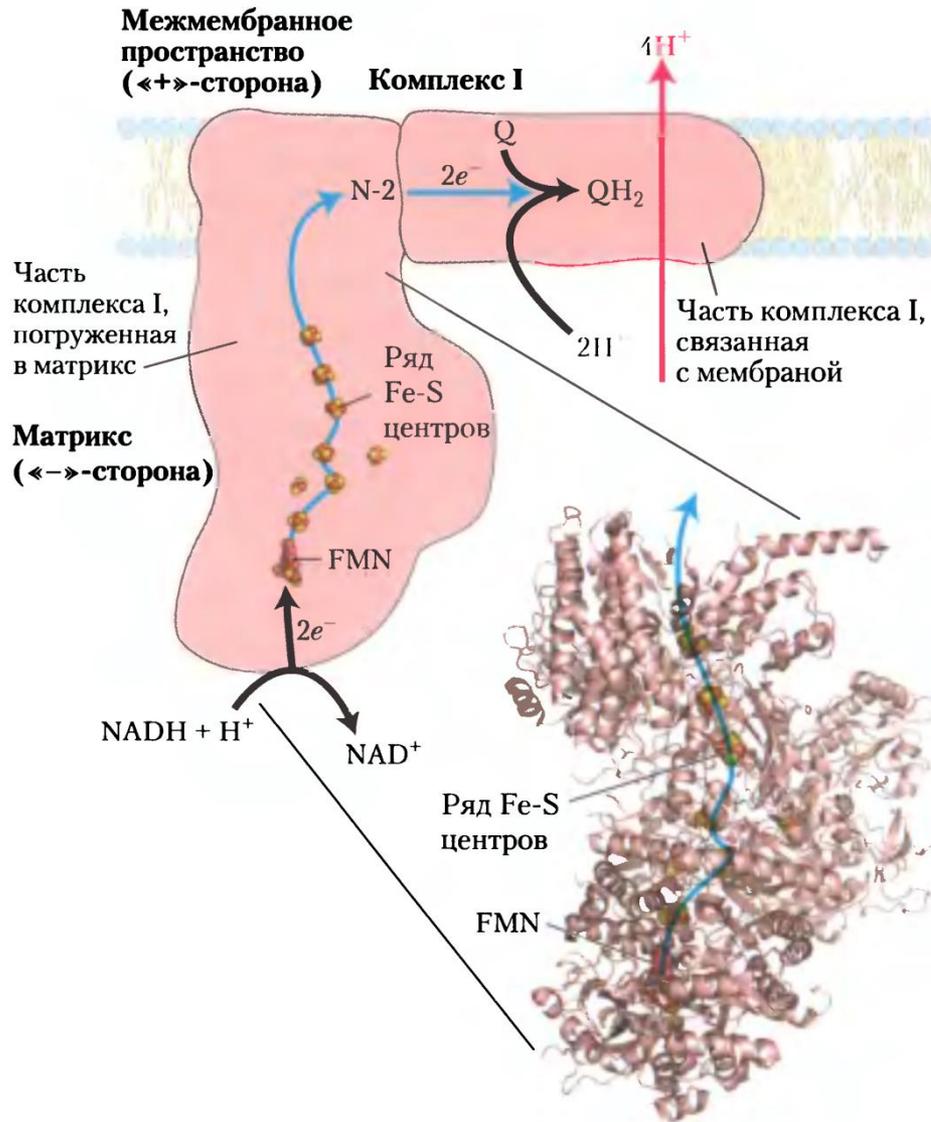
✦ Cu_B центр

Белки, участвующие в переносе электронов в ЦПЭ

Комплекс фермента с белком	Масса, кДа	Число субъединиц*	Простетические группы
NADH-дегидрогеназа (комплекс I)	850	43 (14)	FMN, FeS
Сукцинатдегидрогеназа (комплекс II)	140	4	FAD, FeS
Убихинон-цитохром c-оксиредуктаза (комплекс III)	250	11	гемы, FeS
Цитохром c**	13	1	гем
Цитохромоксидаза (комплекс IV)	160	13 (3-4)	гемы, Cu _A , Cu _B

Переносчики электронов в ЦПЭ образуют полиферментные комплексы





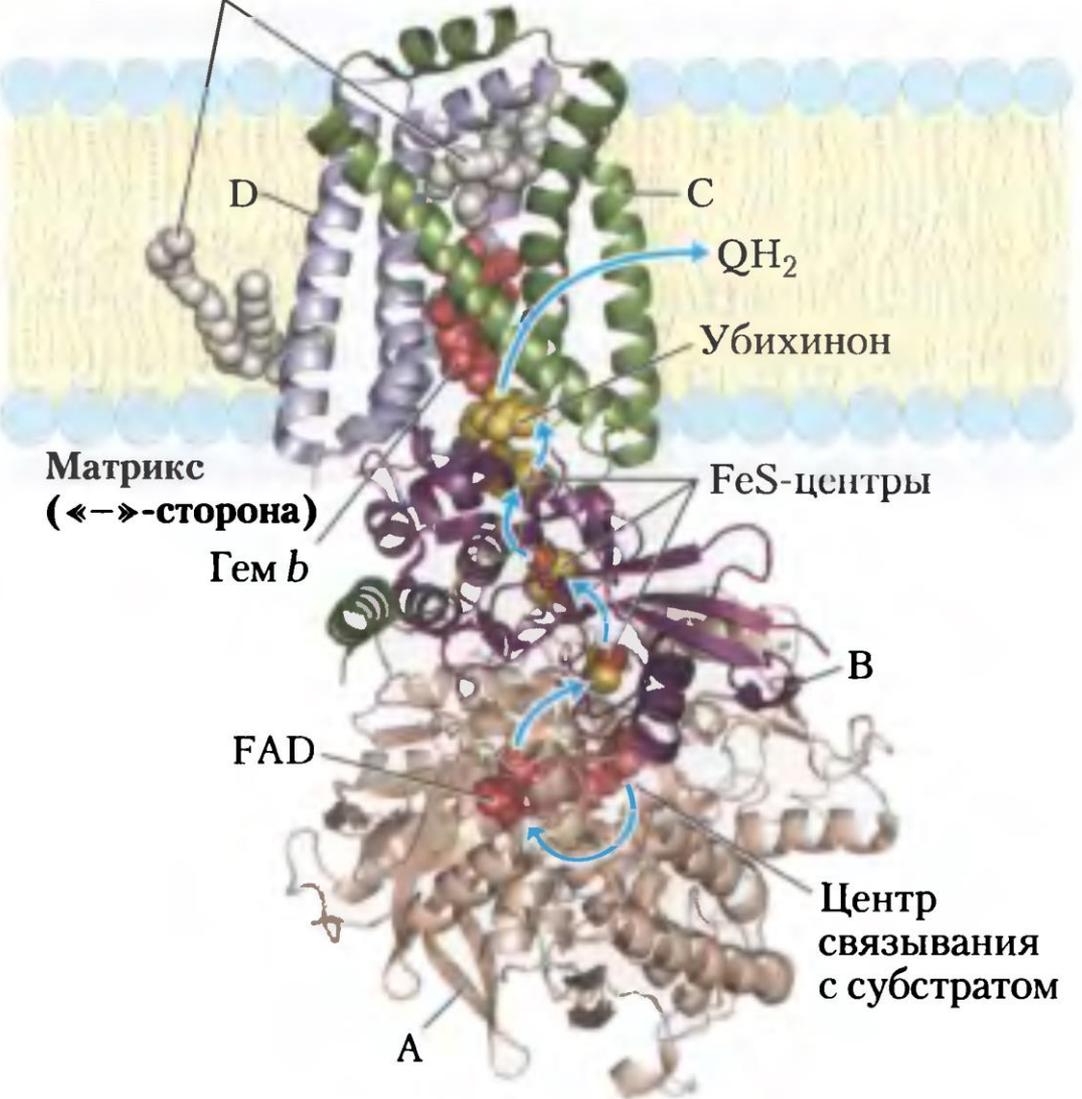
Комплекс I

НАДН-КоQ оксидоредуктаза

Комплекс II: сукцинат-КоQ оксидоредуктаза

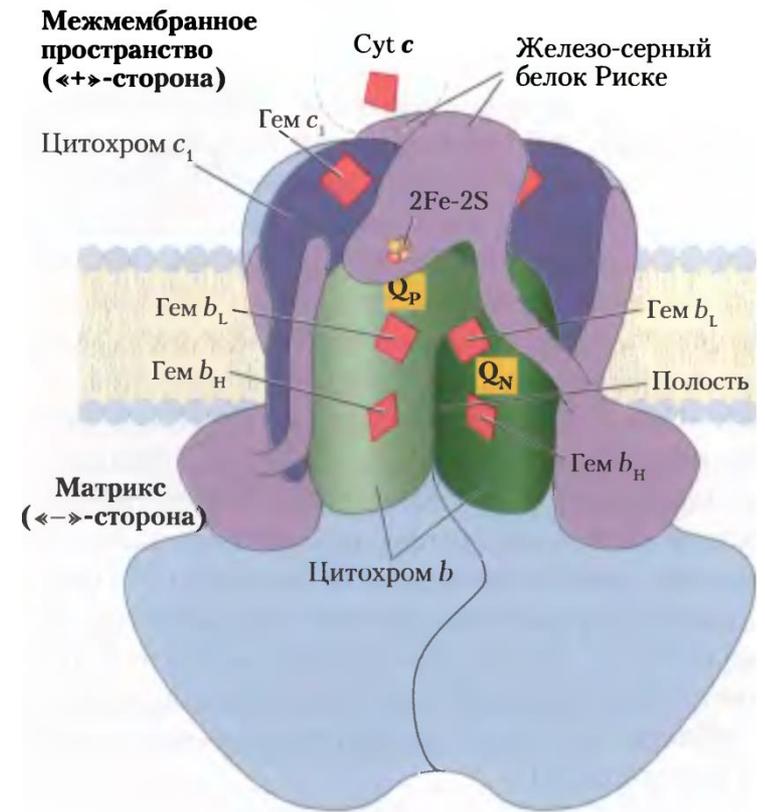
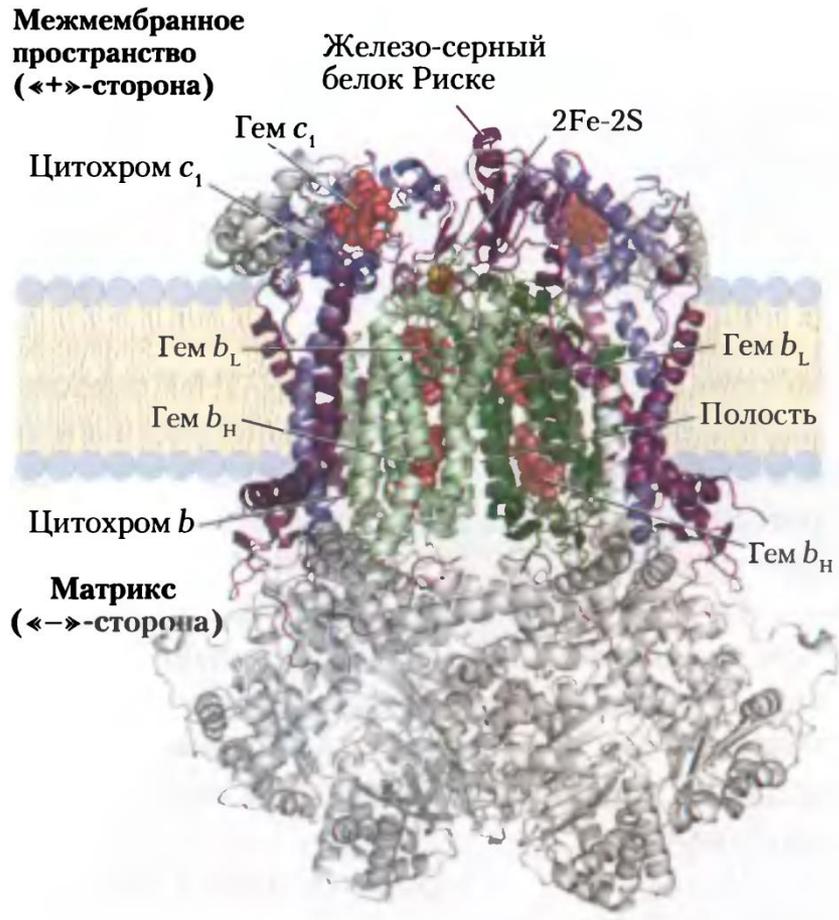
Межмембранное пространство («+»-сторона)

Фосфатидилэтаноламин

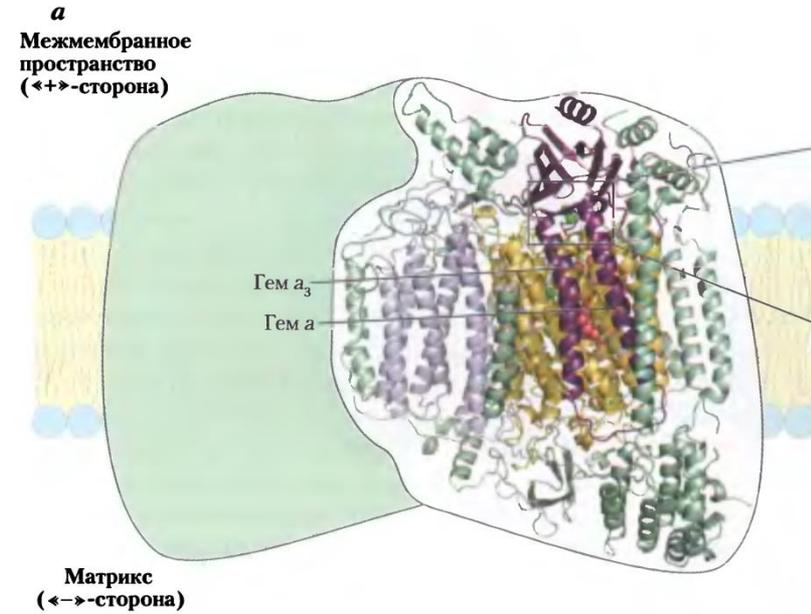
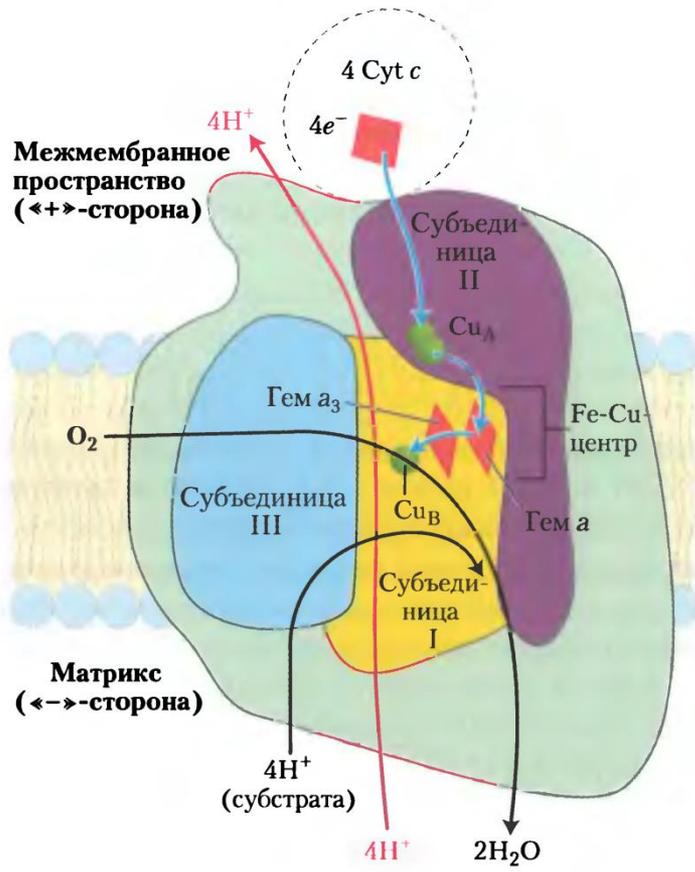


Комплекс II
(сукцинатдегидрогеназа)

Комплекс III: КоQН₂-цитохром с оксидоредуктаза



Комплекс IV: цитохромоксидаза



ЦПЭ

На каждую пару электронов:

NADH

В межмембранное пространство:

4 H⁺

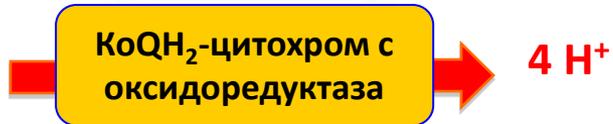


Q

FADH₂

Сукцинат дегидрогеназа

4 H⁺



Cyt c

2 H⁺



O₂

Некоторые переносчики способны перекачивать протоны через мембрану

Энергия, высвобождаемая при переносе электронов в дыхательной цепи, запасается в виде протонного градиента (электрохимического потенциала)

Протонный градиент используется АТФ-синтазой для синтеза АТФ

Особенности энергетического обмена в детском возрасте

См.

Лелевич, В. В. Обмен веществ в детском организме : учебное пособие для студентов учреждений высшего образования по специальности 1-79 01 02 "Педиатрия" / В. В. Лелевич, В. М. Шейбак, А. А. Масловская. – Гродно : ГрГМУ, 2019

С. 47-56

Гипоэнергетические состояния у детей

См.

Лелевич, В. В. Обмен веществ в детском организме : учебное пособие для студентов учреждений высшего образования по специальности 1-79 01 02 "Педиатрия" / В. В. Лелевич, В. М. Шейбак, А. А. Масловская. – Гродно : ГрГМУ, 2019

С. 56-57

Нарушения энергетического обмена: ГИПОКСИИ

Гипоксия - пониженное содержание кислорода в организме или отдельных органах и тканях

Гипоксии делятся на 2 группы:

- 1. Гипоксия вследствие снижения парциального давления кислорода во вдыхаемом воздухе (экзогенная).**
- 2. Гипоксия при патологических процессах, нарушающих снабжение тканей кислородом при нормальном его содержании в окружающей среде (5 типов).**

Типы гипоксий

- **Дыхательная (респираторная) — при нарушении транспорта кислорода из атмосферы в кровь**
- **Циркуляторная — при нарушениях кровообращения**
- **Гемическая (кровяная) — при снижении кислородной ёмкости крови**
- **Тканевая (гистотоксическая) — при нарушении использования кислорода тканями**
- **Смешанная**