

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ОБМЕН

Лекция 2

Энергетический обмен

ПЛАН ЛЕКЦИИ

- 1. Тканевое дыхание. Регуляция, дыхательный контроль.**
- 2. Окислительное фосфорилирование**
- 3. Хемииосмотическая теория сопряжения**

4-й ЭТАП КАТАБОЛИЗМА – ТКАНЕВОЕ ДЫХАНИЕ

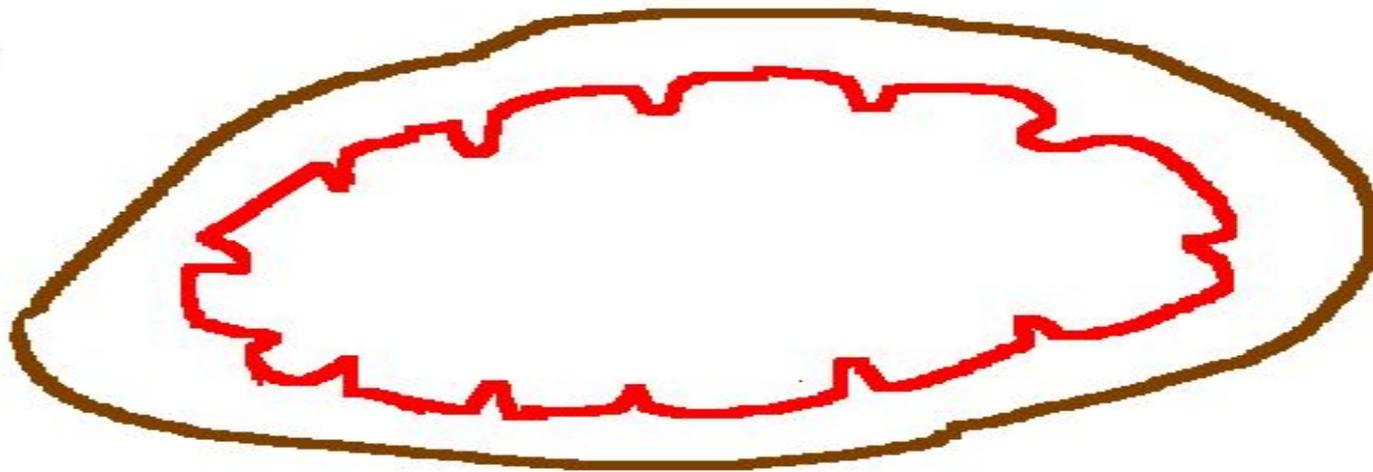
- **Цепь переноса (транспорта) электронов – ДЫХАТЕЛЬНАЯ ЦЕПЬ**
- **ТКАНЕВОЕ ДЫХАНИЕ – перенос электронов от донора (НАДН) к терминальному акцептору – кислороду**
- **Дыхательная цепь локализована во внутренней мембране митохондрий**

ТКАНЕВОЕ ДЫХАНИЕ

**ДЫХАТЕЛЬНАЯ ЦЕПЬ -
мультиферментная система,
транспортирующая протоны и
электроны на кислород с
образованием воды.**

**Все ферменты митохондриального
окисления встроены во внутреннюю
мембрану митохондрий.**

МИТОХОНДРИЯ



Тканевое дыхание

Только первый переносчик протонов и электронов – НАД -зависимая дегидрогеназа расположена в матриксе митохондрии.

Этот фермент отнимает водород от субстрата и передает его следующему переносчику.

Тканевое дыхание

- **Направленность потока электронов определяется величиной РЕДОКС-ПОТЕНЦИАЛА (ОКИСЛИТЕЛЬНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНОГО ПОТЕНЦИАЛА, сокращенно - ОВП) каждого звена дыхательной цепи**

ОВП

- **Вещества с положительным ОВП окисляют водород (отнимают от него электроны), вещества с отрицательным ОВП окисляются водородом.**
- **Самый низкий ОВП имеет начальное звено цепи, самый высокий - у кислорода, расположенного в конце цепочки переносчиков**
- **Перенос электронов и протонов осуществляется с участием промежуточных переносчиков**

Дыхательная цепь (ЦПЭ)

СИСТЕМА ОВП

- **НАД/НАДН -0.32 в**
- **ФМН/ФМН -0.12 в**
- **ФАД/ФАДН -0.05 в**
- **КоQ/КоQH 0.0 в**
- **Цитохром b +0.07 в**
- **Цитохром с1 +0.22 в**
- **Цитохром с +0.26 в**
- **Цитохром а +0.29 в**
- **Цитохром а3 +0.55 в**
- **$\frac{1}{2} \text{O}_2/\text{H}_2\text{O}$ + 0.82 в**

Дыхательная цепь (ЦПЭ)

- **Совокупность последовательных окислительно-восстановительных реакций называется цепью переноса (транспорта) электронов, или дыхательной цепью**

Промежуточные переносчики

коферменты: NAD⁺, FAD и FMN,

кофермент Q (КоQ),

цитохромы (b, C1, C, A, A3)

**белки, содержащие негеминовое
железо.**

КОМПЛЕКСЫ ДЫХАТЕЛЬНОЙ ЦЕПИ

I комплекс – НАДН₂: КоQ-оксидоредуктаза

- перенос электронов от НАДН₂ к КоQ

II комплекс – Сукцинат: КоQ-оксидоредуктаза

- перенос электронов от сукцината к КоQ

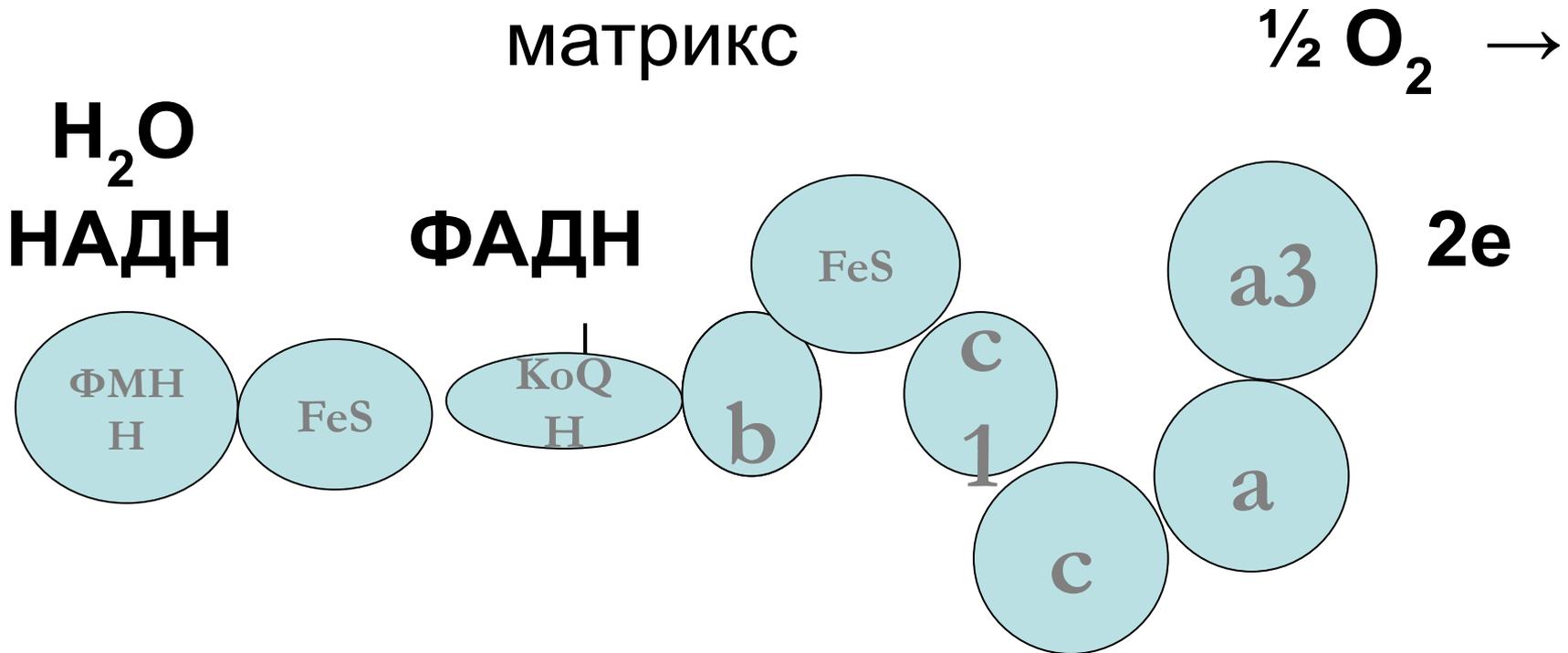
III комплекс – КоQH₂: цитохром c-оксидоредуктаза

- перенос электронов от КоQH₂ к цитохрому c

IV комплекс - цитохромоксидаза

- Перенос электронов от цитохрома c к кислороду

ДЫХАТЕЛЬНАЯ ЦЕПЬ



КОМПЛЕКС I

Комплекс содержит 26 белков и небелковые компоненты: (ФМН), 5 железо-серных центров: FeS1a, FeS1b FeS2, FeS3, FeS4.

Комплекс I

Митохондриальная
протонтранслоцирующая **NADH: КоQ-**
оксидоредуктаза

катализируют окисление NADH убихиноном

Реакция сопровождается трансмембранным переносом четырех протонов при окислении одной молекулы NADH (2 электрона) и генерацией на сопрягающей мембране митохондрий разности электрохимического потенциала ионов водорода ($\Delta\mu\text{H}^+$)

- Первая точка сопряжения

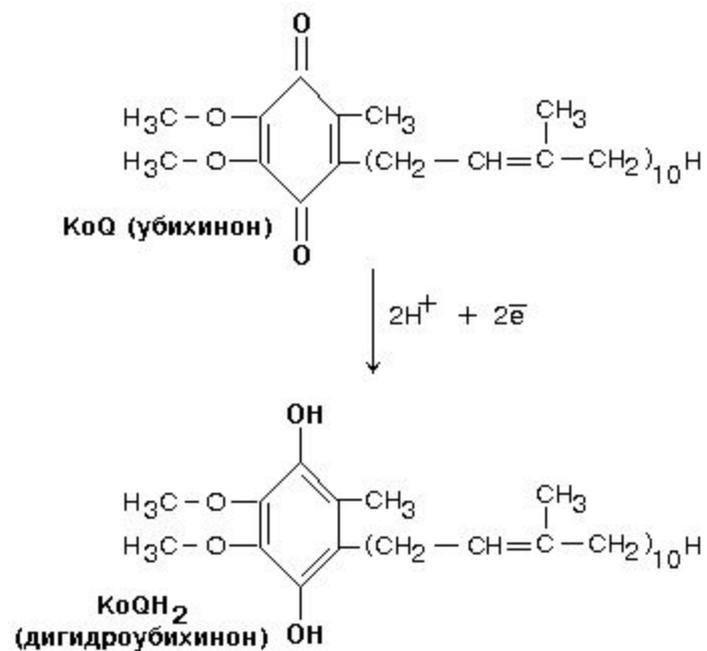
КОМПЛЕКС II

Сукцинат: КоQ-оксидоредуктаза

В составе комплекса – простетическая группа ФАД и FeSII

От ФАД.H₂ два атома водорода переносятся на КоQ.

Убихинон или КоQ



КОМПЛЕКС III

CoQH₂: цитохром с-оксидоредуктаза

1) Цитохромы b: b₅₆₆ (низкий ОВП) и b₅₆₂ с высоким ОВП.

2) FeSIII – железо-серные белки.

3) Цитохром C1.

Имеет в своем составе особый гем типа «с».

Комплекс III

**является протонным генератором,
целью его работы является создание
 $\Delta\mu\text{H}^+$**

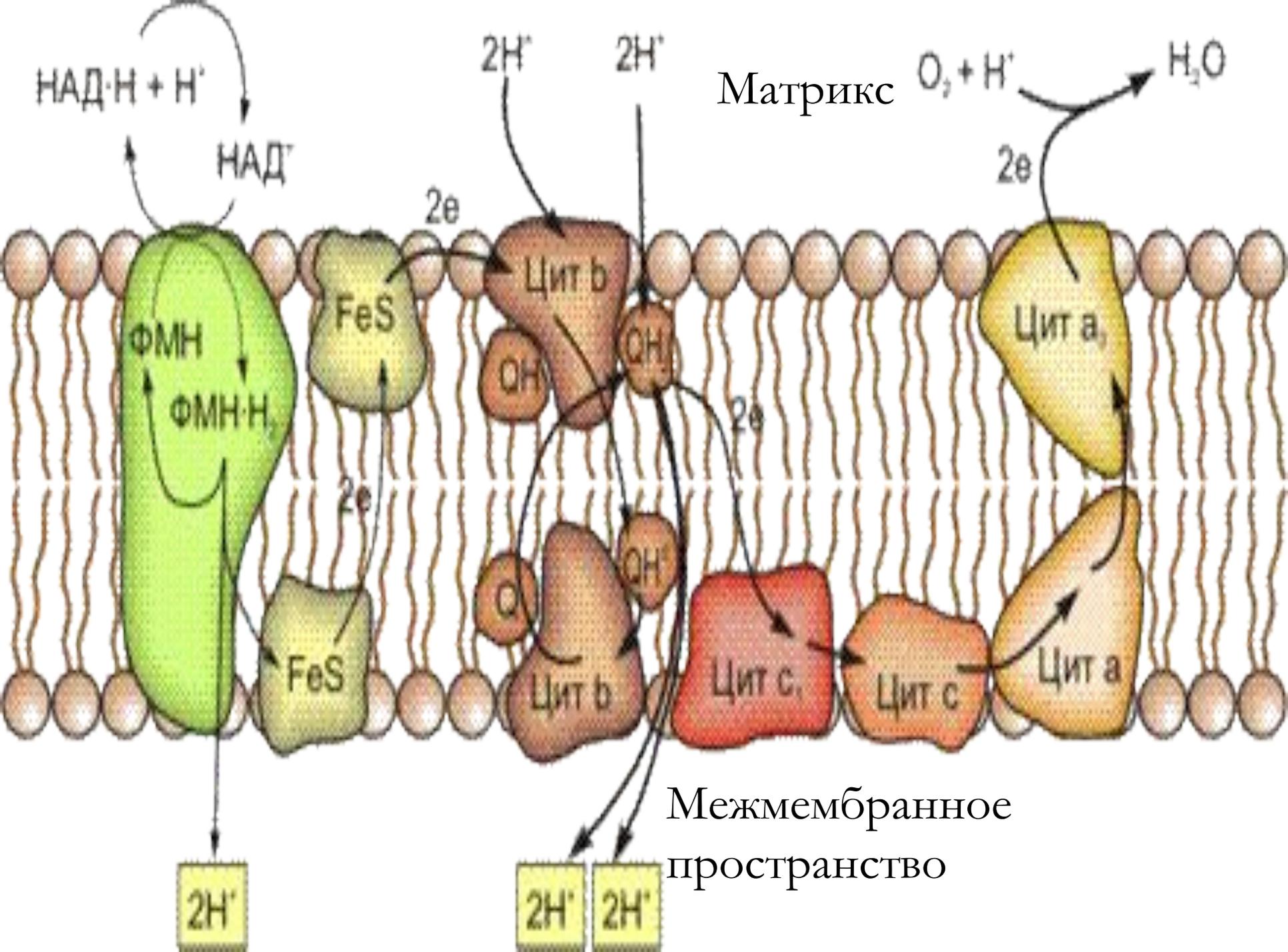
- Вторая точка сопряжения**

КОМПЛЕКС IV

**Комплекс IV - ЦИТОХРОМОКСИДАЗА
(цитохромы a и a₃)**

Цитохромоксидаза содержит гем и ионы меди, которые способны менять валентность и таким способом участвовать в переносе электронов

- **Третья точка сопряжения**



КОЭФФИЦИЕНТ P/O

- Для оценки эффективности работы ЦПЭ вычисляют коэффициент P/O
- Он показывает, сколько молекул неорганического фосфата присоединилось к АДФ в расчете на один атом кислорода.

• **НАДН.Н - P/O=3 - 3 АТФ**

Коэффициент полезного действия - 65%,

• **ФАДН.Н - P/O=2 - 2 АТФ**

Дыхательный контроль

- Скорость дыхания митохондрий может контролироваться концентрацией АДФ.
- Ускорение ОФ при повышении концентрации АДФ – называется дыхательный контроль.

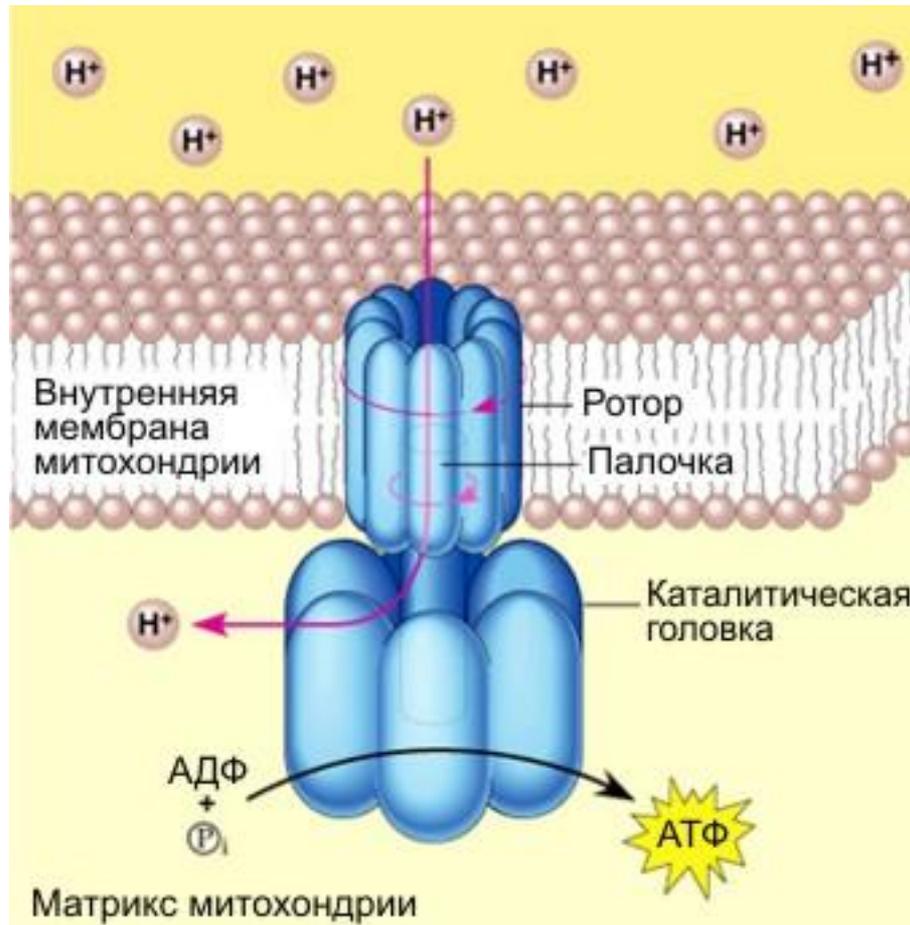
ХЕМИОСМОТИЧЕСКАЯ ТЕОРИЯ

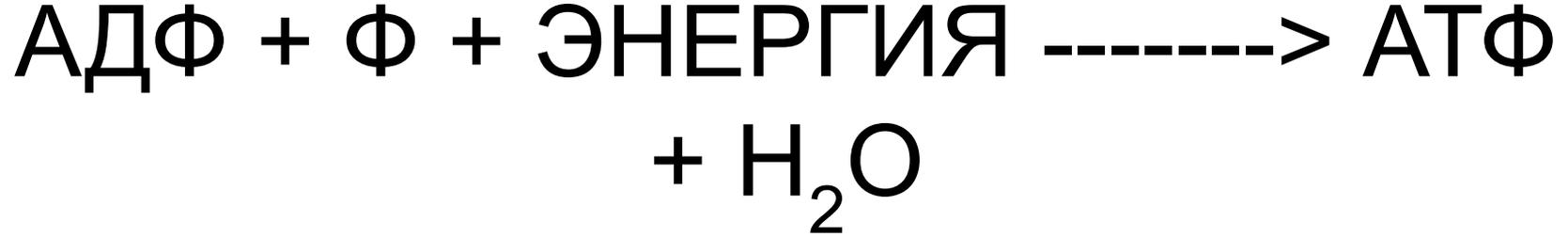
- Разработана Митчеллом (1961-1966гг)
- Дыхание и фосфорилирование связаны связаны через электрохимический потенциал ионов водорода на митохондриальной мембране ($\Delta\mu_{H^+}$)
- На каждую пару электронов выбрасывается три пары протонов в межмемб. пространство
- Внутренняя мембрана митохондрий заряжается

ХЕМИОСМОТИЧЕСКАЯ ТЕОРИЯ

- Внутренняя мембрана митохондрий заряжается: **снаружи +, внутри –**
- Протоны H^+ стремятся по градиенту в матрикс
- Проходят через мембрану через «попы», связанные с АТФ-синтетазой
- Переход сопровождается выделением свободной энергии – синтезируется АТФ
- **$\Delta\mu_{H^+}$ - СИНТЕЗ АТФ, ТЕПЛО, ОСМОС**

Синтез АТФ





**На каждую пару атомов водорода,
отнятых от субстрата, возможен
синтез**

3-х молекул АТФ.

**Синтез АТФ за счет энергии, которая
выделяется в ЦПЭ, называется
ОКИСЛИТЕЛЬНЫМ
ФОСФОРИЛИРОВАНИЕМ.**

ЭНЕРГИЯ АТФ ИСПОЛЬЗУЕТСЯ

- 1. Синтез различных веществ.**
- 2. Активный транспорт**
- 3. Механическое движение (мышечная работа).**

ТЕОРИЯ СОПРЯЖЕНИЯ ОКИСЛЕНИЯ И ФОСФОРИЛИРОВАНИЯ

1. Транспорт электронов должен создавать определённый градиент
2. Силы и энергия, направленные на сведение градиента к 0, должны проходить через устройство, использующие эту энергию для синтеза АТФ
3. Подобное устройство должно представлять замкнутую систему

ВЕЩЕСТВА-РАЗОБЩИТЕЛИ ПРОЦЕССОВ ОКИСЛЕНИЯ И ФОСФОРИЛИРОВАНИЯ

- Состояние, когда происходит окисление субстратов, а фосфорилирование (образование АТФ из АДФ и Ф) не идет, называется РАЗОБЩЕНИЕМ ОКИСЛЕНИЯ И ФОСФОРИЛИРОВАНИЯ.
- Разобщители являются слабыми кислотами, растворимыми в жирах. В межмембранном пространстве они связывают протоны, и затем диффундируют в матрикс, тем самым снижая $\Delta\mu\text{H}^+$.
- Подобным действием обладает и йодсодержащие гормоны щитовидной железы – тироксин и трийодтиронин.

СПЕЦИФИЧЕСКИЕ ИНГИБИТОРЫ ТКАНЕВОГО ДЫХАНИЯ

- К ним относятся вещества, прекращающие работу того или иного комплекса дыхательной цепи.
- Ингибитором комплекса I является яд растительного происхождения **РОТЕНОН**.
- Ингибиторами комплекса IV являются **ЦИАНИДЫ**, угарный газ **CO**, сероводород **H₂S**