

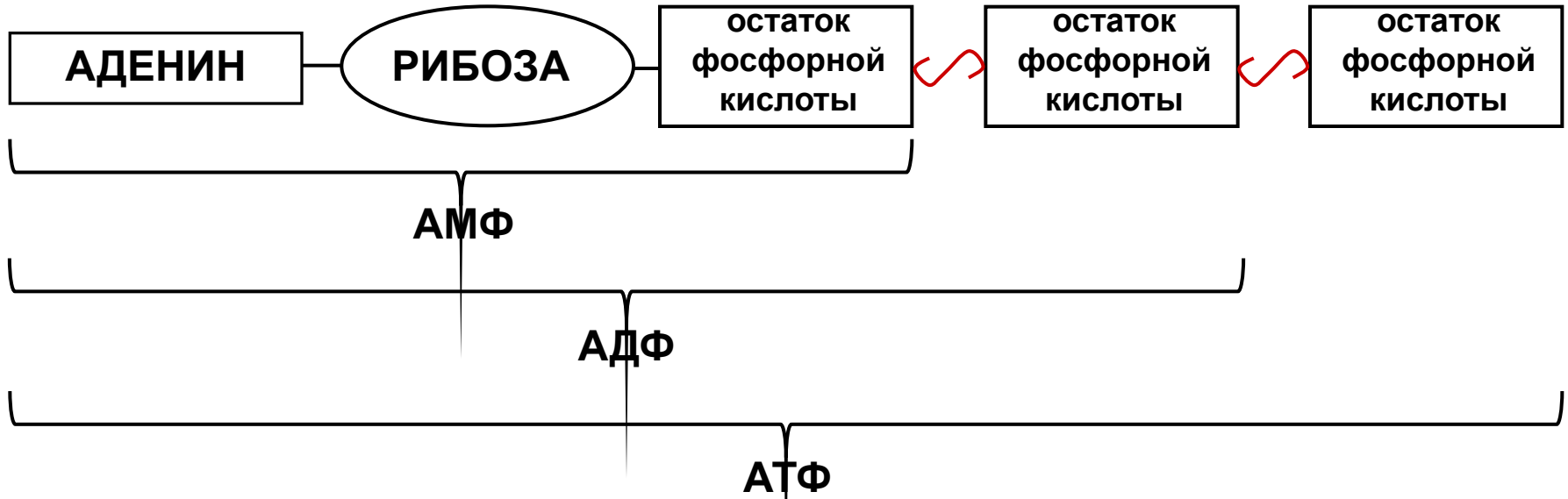
**Государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
Ивановская государственная медицинская академия  
Министерства здравоохранения Российской Федерации**

**КАФЕДРА БИОХИМИИ**



# **ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ОБМЕН**

# АТФ



**АТФ – универсальный донор свободной энергии для:**

- 1) физической работы**
- 2) химической работы**
- 3) электрической работы**
- 4) осмотической работы**

При образовании АТФ энергия **КУМУЛИРУЕТСЯ**, а НЕ ДЕПОНИРУЕТСЯ!



# ПУТИ СИНТЕЗА АТФ

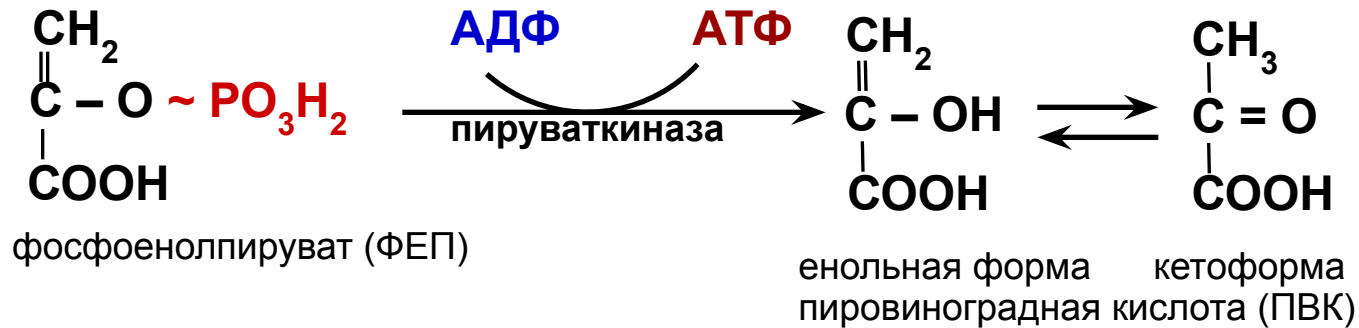


# ПУТИ СИНТЕЗА АТФ

Субстратное фосфорилирование	Окислительное фосфорилирование
СУБСТРАТЫ	
<p><b><u>Содержат макроэргическую связь:</u></b> фосфоенолпируват (ФЕП) 1,3-дифосфоглицериновая кислота креатинфосфат сукцинил-СоА</p>	<p><b><u>Содержат ОН-группу в <math>\alpha</math>- или <math>\beta</math>-положении:</u></b> малат изоцитрат лактат</p> <p><b><u>Содержат фрагмент <math>-\text{CH}_2-\text{CH}_2-</math>:</u></b> сукцинат ацил-СоА</p>
ЛОКАЛИЗАЦИЯ	
матрикс митохондрий цитоплазма	внутренняя мембрана митохондрий
ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ 1 молекулы субстрата	
1 молекула АТФ	2-3 молекулы АТФ
НАЛИЧИЕ КИСЛОРОДА	
НЕ ТРЕБУЕТ наличия кислорода	наличие кислорода <b>ОБЯЗАТЕЛЬНО!</b>

# СУБСТРАТНОЕ ФОСФОРИЛИРОВАНИЕ

## 1) Пируваткиназная реакция

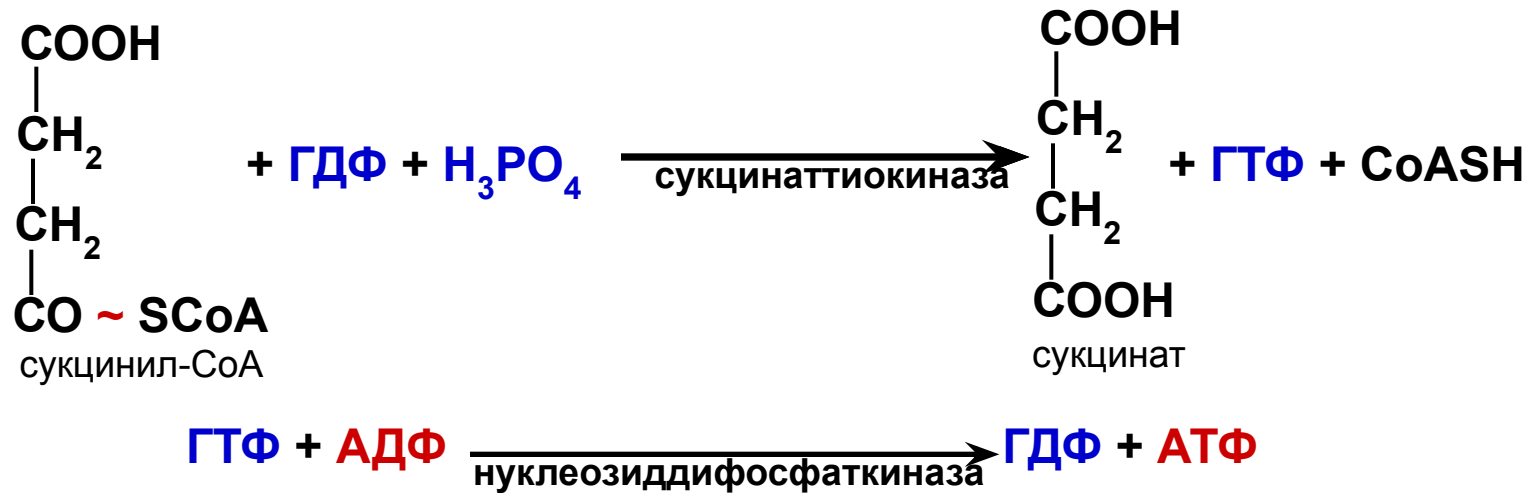


осуществляется **в цитоплазме**  
1 молекула субстрата – 1 молекула АТФ  
1 реакция – 1 молекула АТФ



# СУБСТРАТНОЕ ФОСФОРИЛИРОВАНИЕ

## 2) Сукцинаттиокиназная реакция



осуществляется в матриксе митохондрий  
1 молекула субстрата – 1 молекула АТФ  
2 реакции – 1 молекула АТФ



# ОКИСЛИТЕЛЬНОЕ ФОСФОРИЛИРОВАНИЕ



Для осуществления реакции необходимо наличие ферментов и кофакторов, получивших название **ДЫХАТЕЛЬНАЯ ЦЕПЬ**.

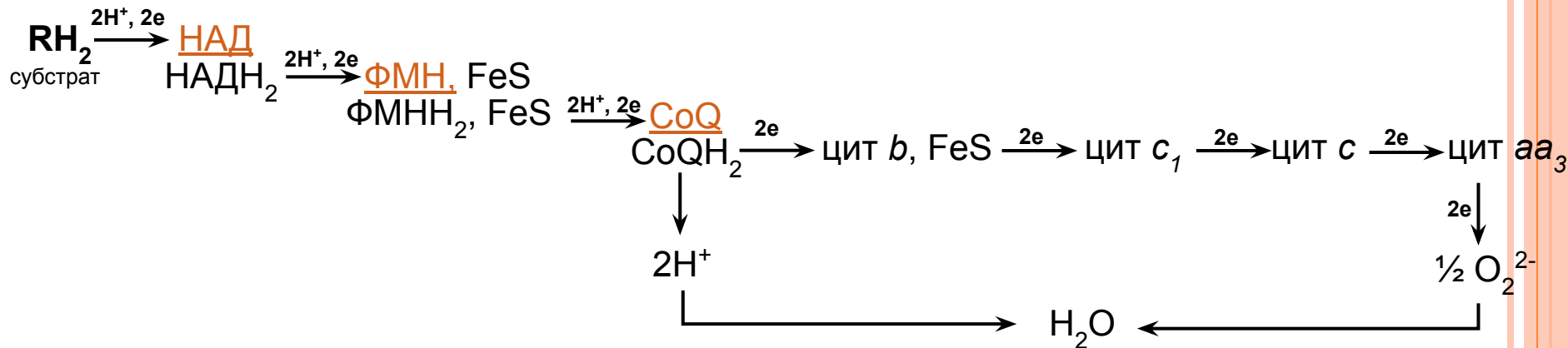
протекает на мембране митохондрий  
1 молекула субстрата – 2 или 3 молекулы АТФ



# ДЫХАТЕЛЬНЫЕ ЦЕПИ

Существует две группы субстратов, окисляемых посредством энергодающих дыхательных цепей:

**1) Субстраты, содержащие в своём составе ОН-группы** (чаще всего в  $\alpha$ -положении). Атакующие группы таких субстратов комплементарны НАД, поэтому дыхательные цепи для их окисления начинаются именно с этого кофактора.

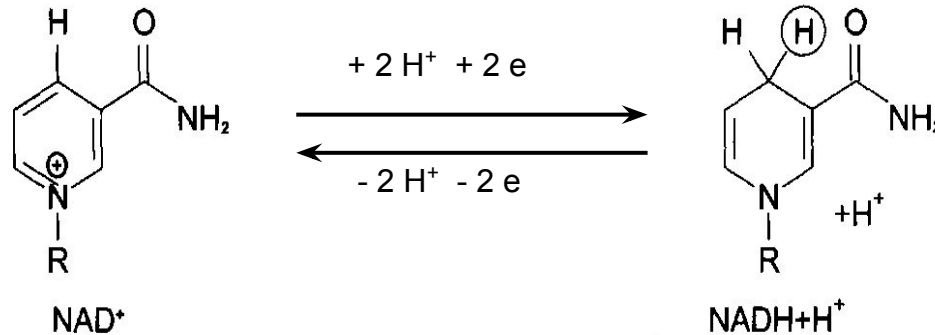
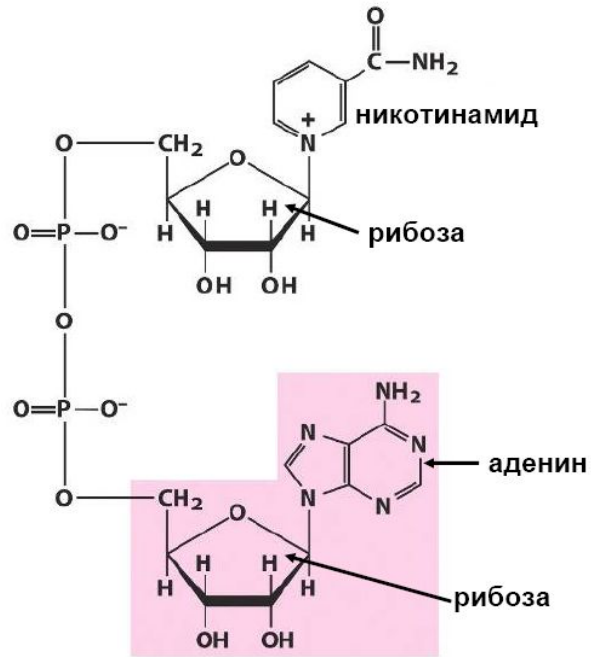


Данная дыхательная цепь содержит в своём составе как производное витамина РР (НАД), выполняющего роль первичных дегидрогеназ, так и витамина В<sub>2</sub> (ФМН) в роли вторичных дегидрогеназ, поэтому она получила название полная дыхательная цепь.





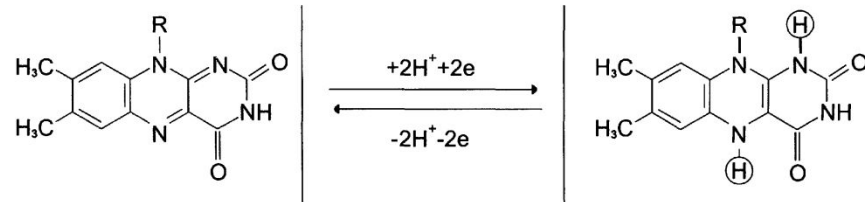
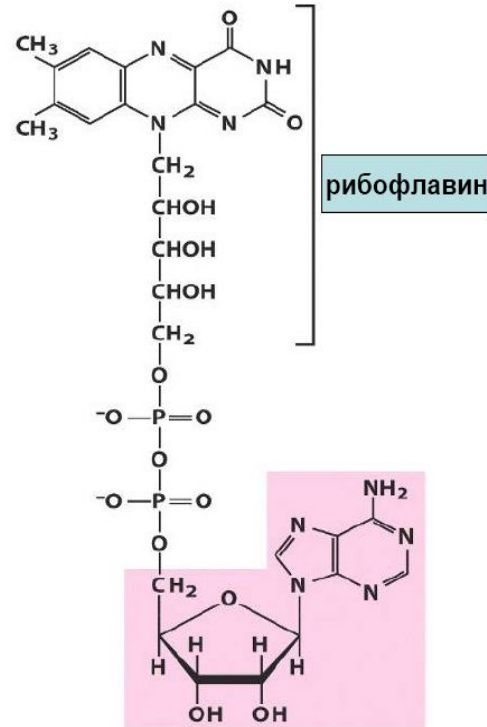
# ДЫХАТЕЛЬНЫЕ ЦЕПИ



Структура никотинамидадениндинуклеотида (НАД) и механизм его участия в переносе протонов и электронов



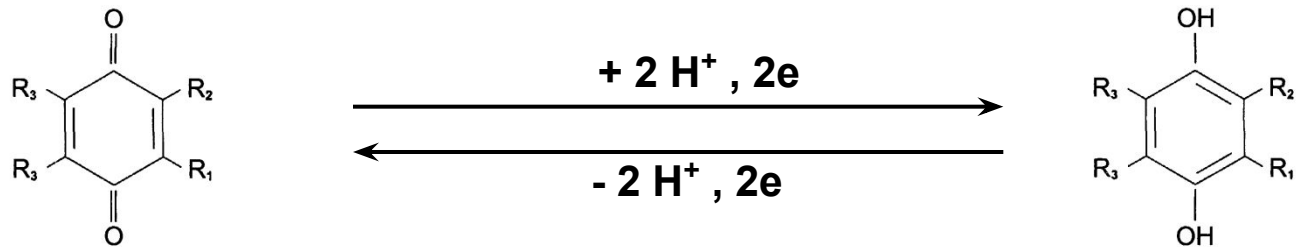
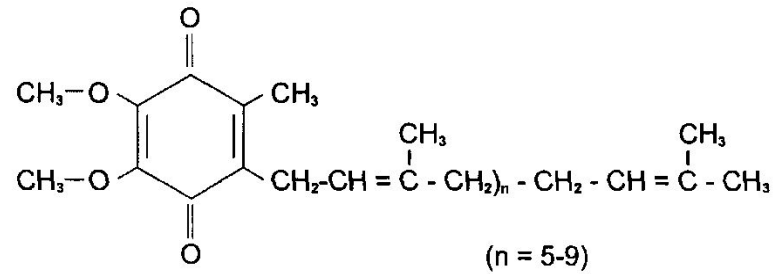
# ДЫХАТЕЛЬНЫЕ ЦЕПИ



Структура флавиномононуклеотида (ФМН) и механизм его участия в работе дыхательных цепей



# ДЫХАТЕЛЬНЫЕ ЦЕПИ

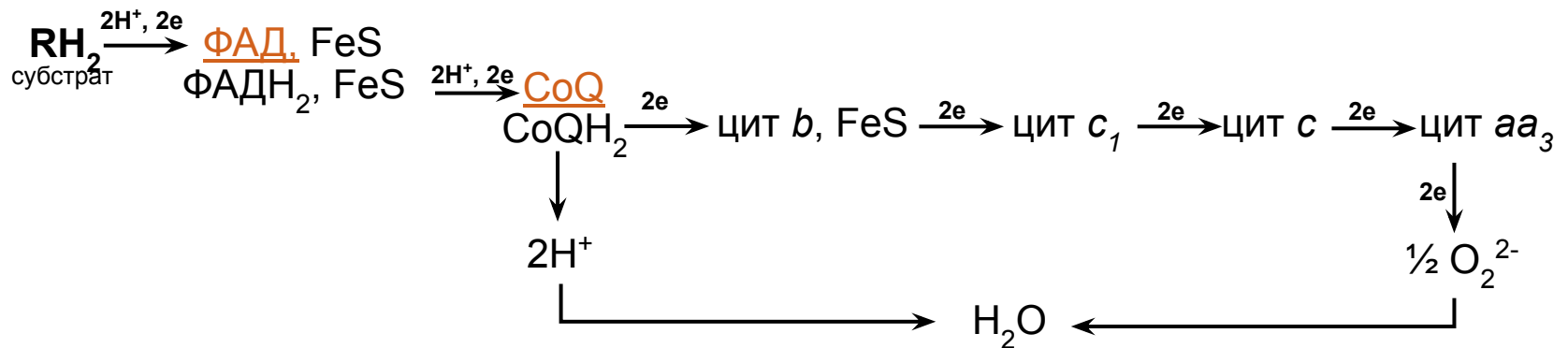


Структура коэнзима Q и механизм его участия в работе дыхательных цепей



# ДЫХАТЕЛЬНЫЕ ЦЕПИ

**2) Субстраты, содержащие в своём составе две рядом расположенные  $\text{CH}_2$ -группировки** (примером является сукцинат) и комплементарные ФАД. Дыхательные цепи, посредством которых они окисляются, начинаются с ФАД.

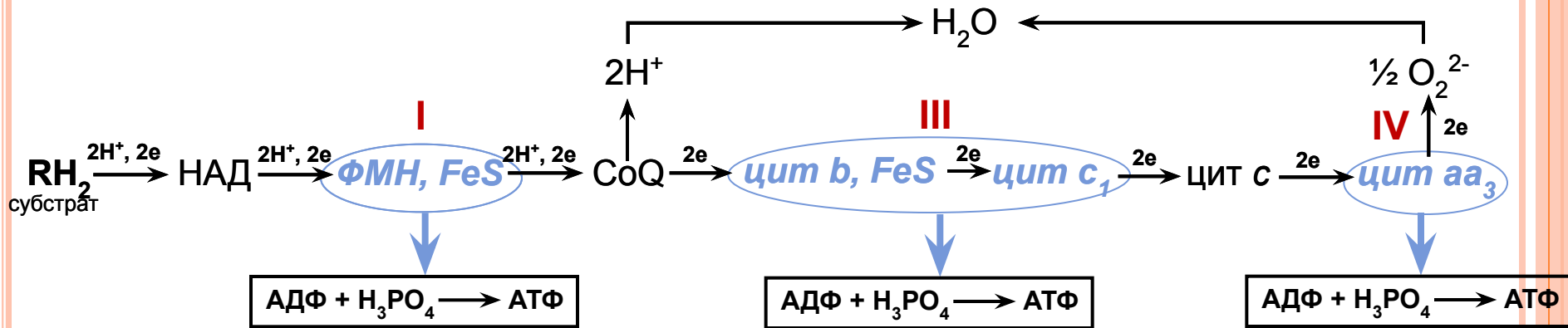


Дыхательная цепь этого вида содержит в своём составе **только** производное витамина  $\text{B}_2$  (ФАД), выполняющего роль кофактора первичной дегидрогеназы. Поэтому она называется **короткая дыхательная цепь**.



# ДЫХАТЕЛЬНЫЕ ЦЕПИ

## Полная дыхательная цепь



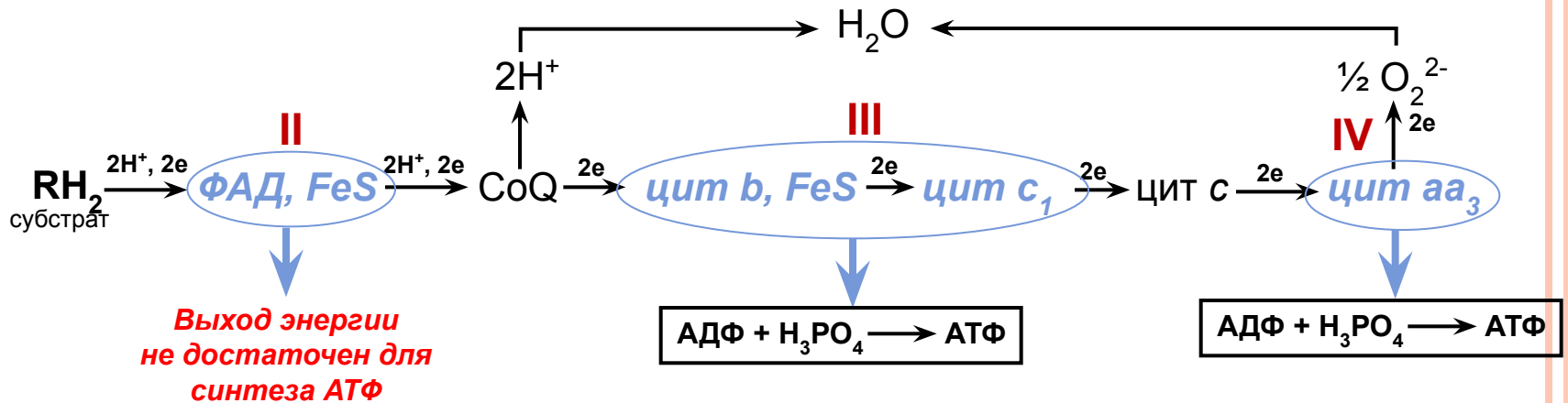
Фиксированные, крупногабаритные компоненты дыхательной цепи формируют  
ДЫХАТЕЛЬНЫЕ АНСАМБЛИ:

- I – НАДН<sub>2</sub>-дегидрогеназа
- III – СоQH<sub>2</sub>-дегидрогеназа
- IV – цитохром-с-оксидаза

При работе полной дыхательной цепи выделяется 3 порции энергии, достаточных  
для синтеза **3 молекул АТФ**.

# ДЫХАТЕЛЬНЫЕ ЦЕПИ

## Короткая дыхательная цепь



Фиксированные, крупногабаритные компоненты дыхательной цепи формируют **ДЫХАТЕЛЬНЫЕ АНСАМБЛИ**:

**II** – сукцинатдегидрогеназа

**III** –  $\text{CoQH}_2$ -дегидрогеназа

**IV** – цитохром-с-оксидаза

При работе короткой дыхательной цепи выделяется 2 порции энергии, достаточных для синтеза **2 молекул АТФ**.

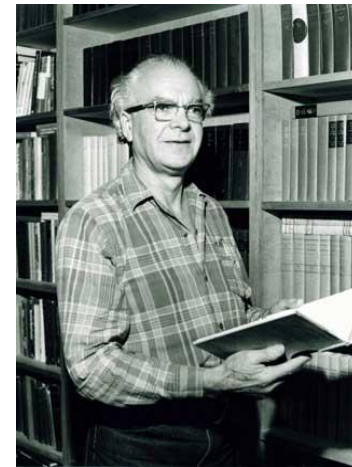


Каким образом энергия,  
выделяемая при транспорте электронов,  
трансформируется в энергию  
химической связи АТФ?

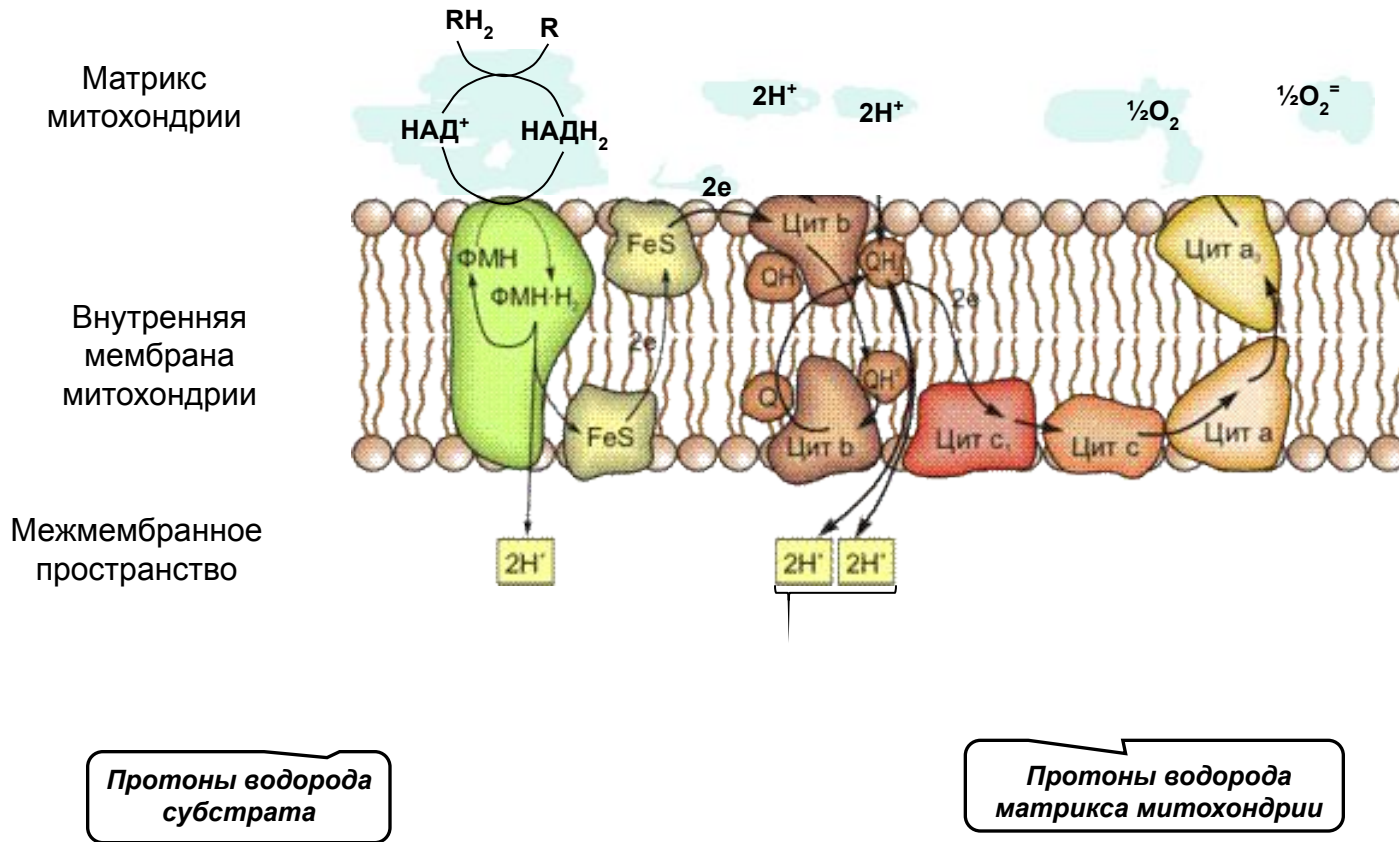
**ТЕОРИЯ СОПРЯЖЕНИЯ ОКИСЛЕНИЯ И  
ФОСФОРИЛИРОВАНИЯ**  
(теория Митчелла),  
1966 год



**Питер Митчелл (*Peter Mitchell*)**  
*День рождения: 29.09.1920 года*  
*Место рождения: Митчеме*  
*(графство Суррей)*  
*Дата смерти: 10.04.1992 года*  
*Место смерти: Бодмин*



# ТЕОРИЯ МИТЧЕЛЛА

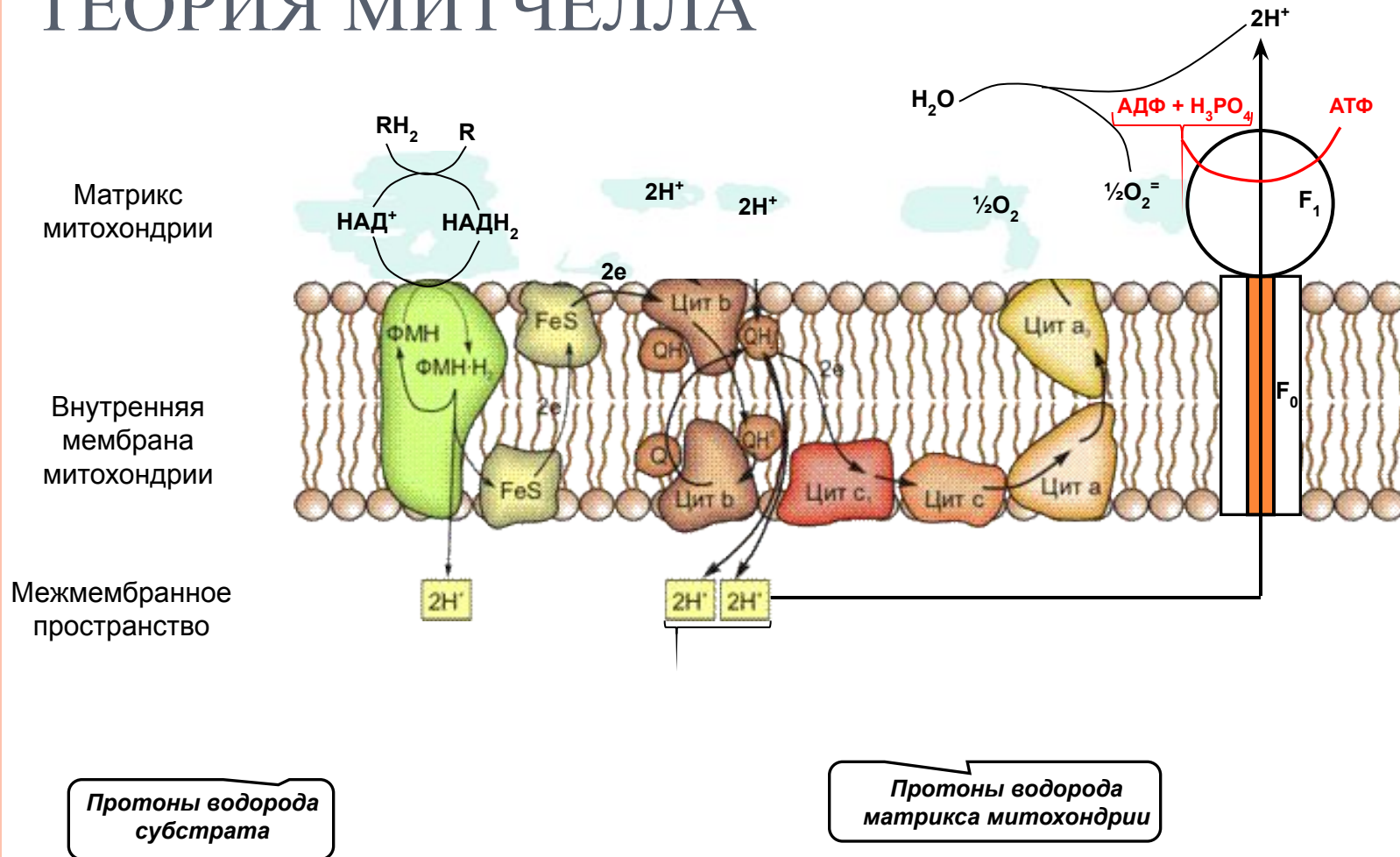


Дыхательная цепь выполняет роль **протонного насоса**, перекачивая протоны в межмембранное пространство (пространство между наружной и внутренней мембранами митохондрии).

В результате между поверхностями мембраны создаётся разность потенциалов.



# ТЕОРИЯ МИТЧЕЛЛА

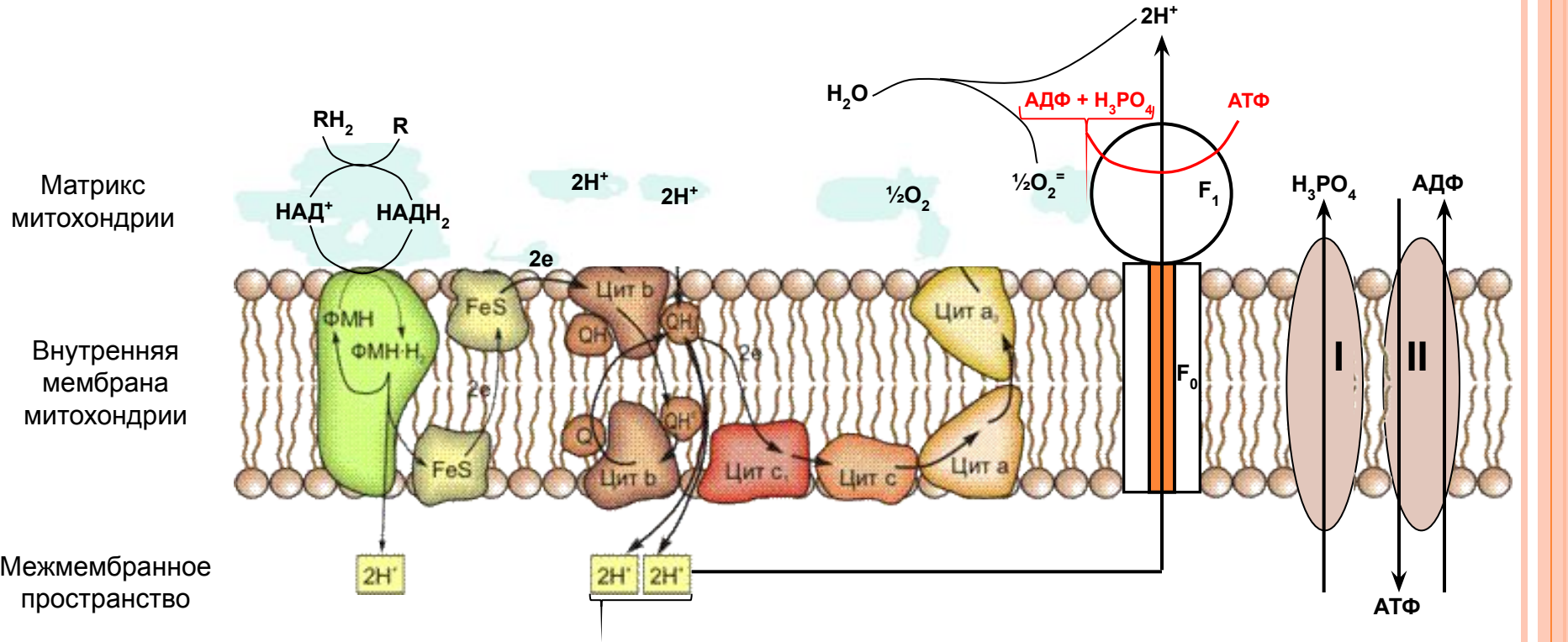


Протоны водорода субстрата

Протоны водорода матрикса митохондрии

Благодаря разности потенциалов протоны устремляются из межмембранного пространства в матрикс митохондрии по специальному каналу, обладающему способностью трансформировать кинетическую энергию движения протонов в потенциальную энергию химических связей.

# ТЕОРИЯ МИТЧЕЛЛА

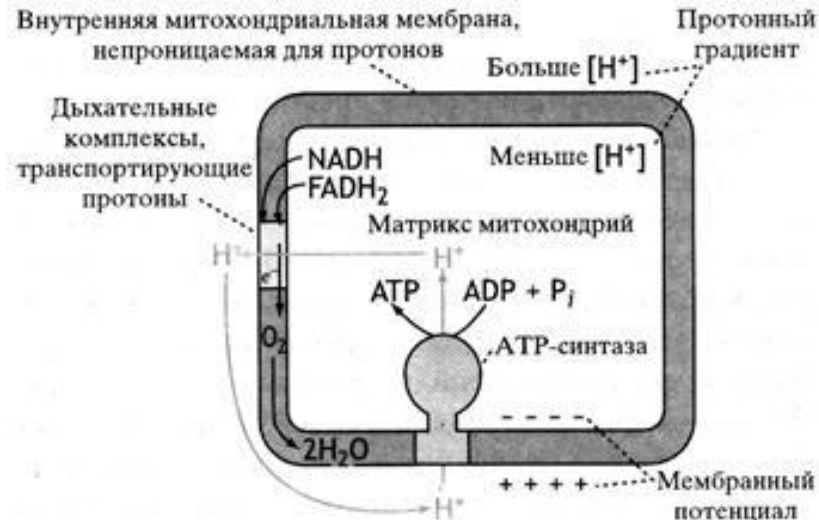
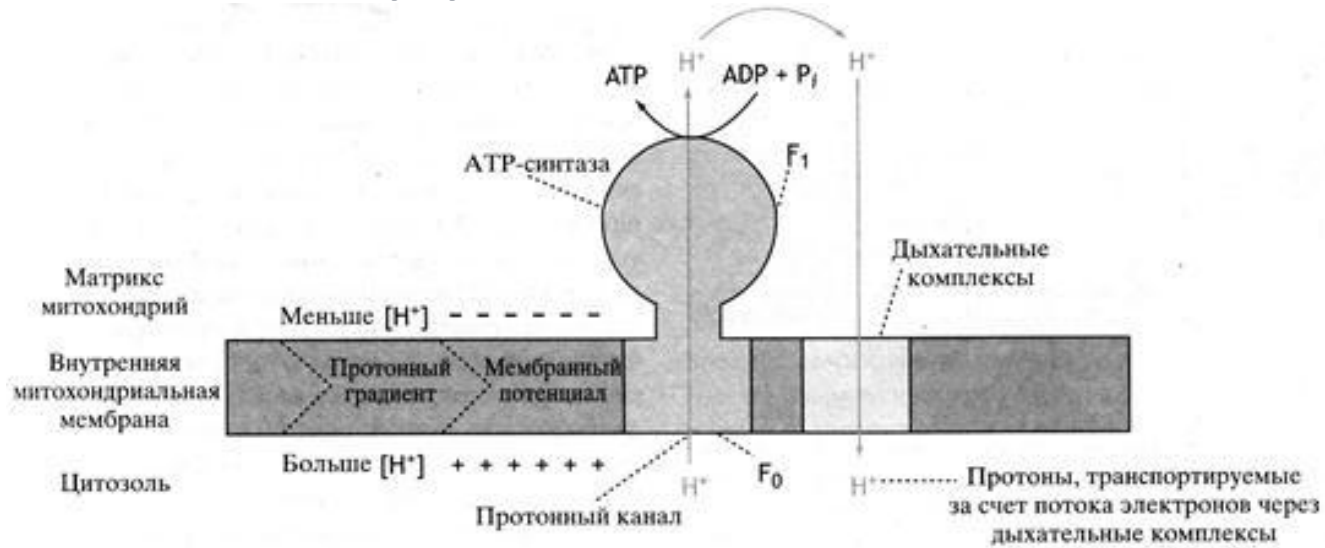


Протоны водорода субстрата

Протоны водорода матрикса митохондрии



# ТЕОРИЯ МИТЧЕЛЛА



# РАЗОБЩЕНИЕ ОКИСЛЕНИЯ И ФОСФОРИЛИРОВАНИЯ

Условием, необходимым для протекания сопряженного окисления и фосфорилирования, является

**НЕПРОНИЦАЕМОСТЬ ВНУТРЕННЕЙ МЕМБРАНЫ МИТОХОНДРИЙ**  
для протонов водорода.

## **РАЗОБЩИТЕЛИ ОКИСЛЕНИЯ И ФОСФОРИЛИРОВАНИЯ:**

- 1) Протонофоры (жирные кислоты, салицилаты, тироксин, билирубин)
- 2) Ионофоры (антибиотики – валиномицин, грамицидин)



**СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!**

**Успехов в нелёгком труде  
освоения биохимии!**

