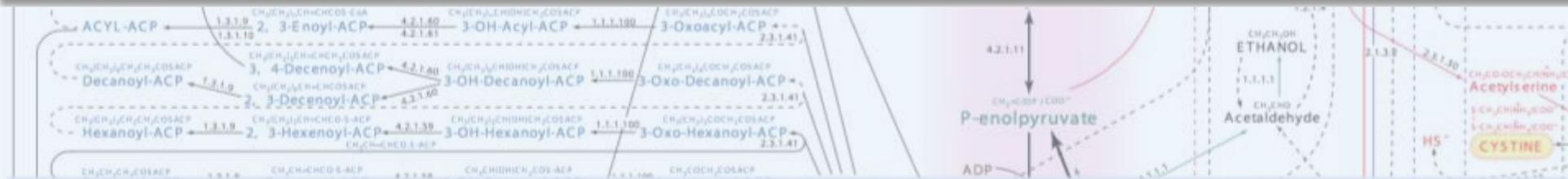


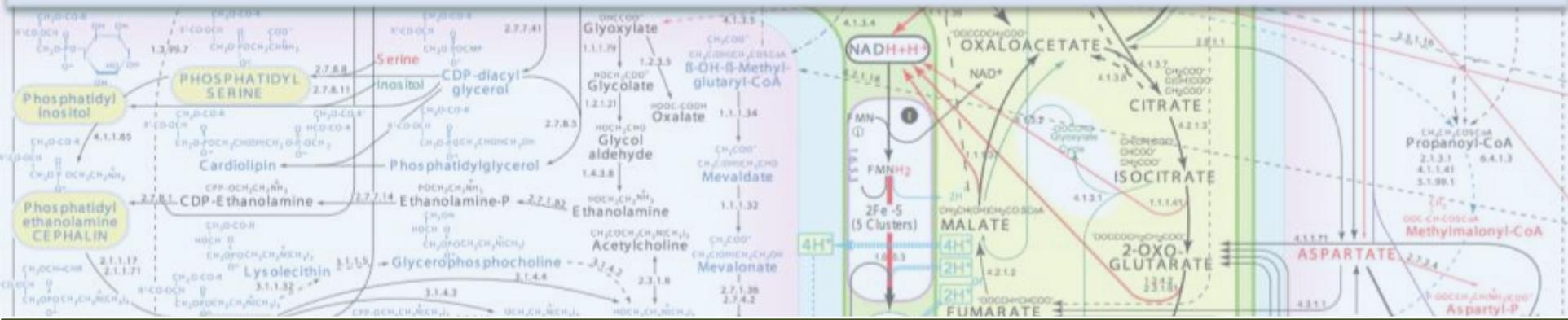
# «Биоэнергетика»

Курс лекций кафедры фундаментальной медицины и биологии ВолгГМУ  
для студентов медико-биологического факультета

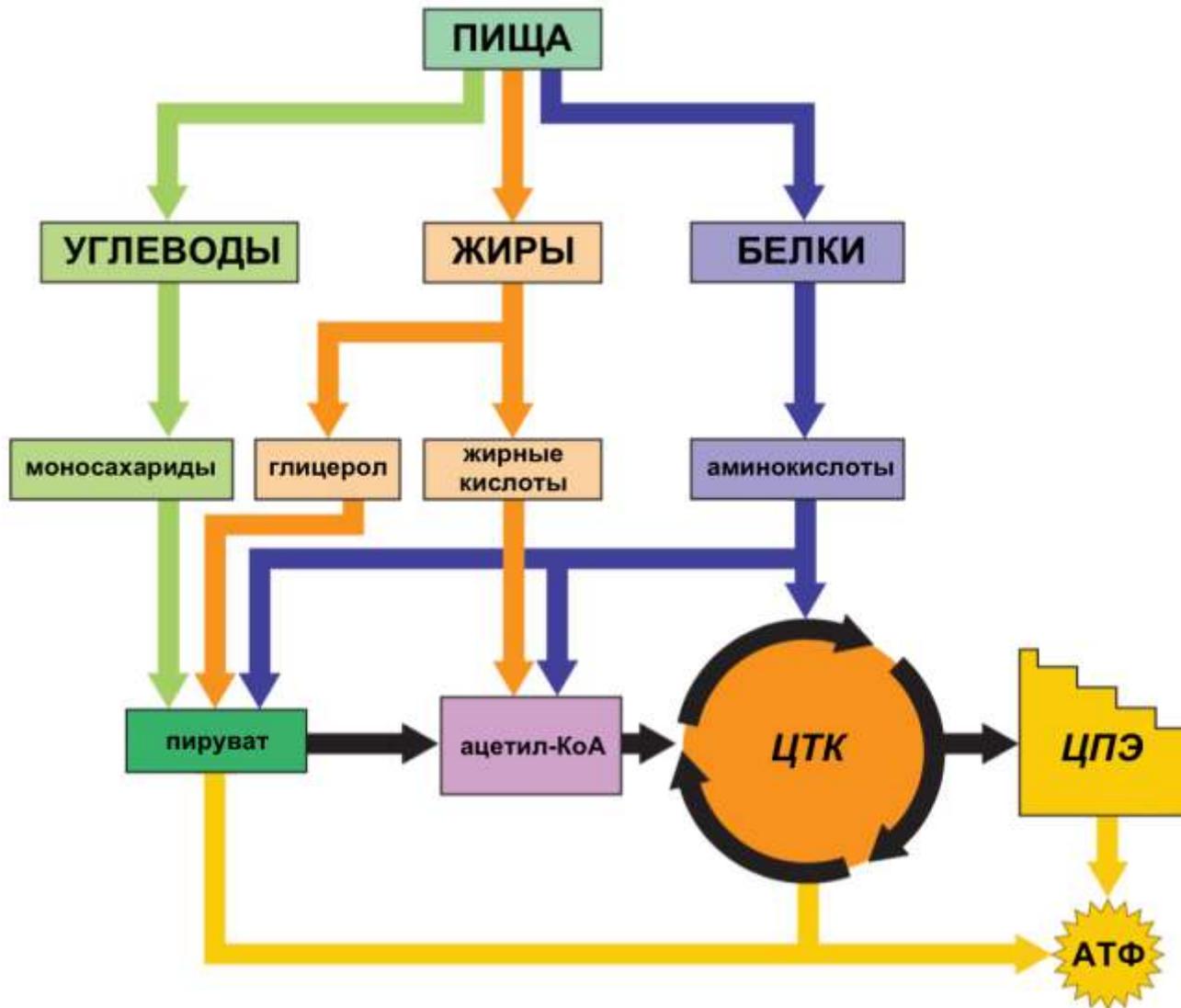


Тема лекции:

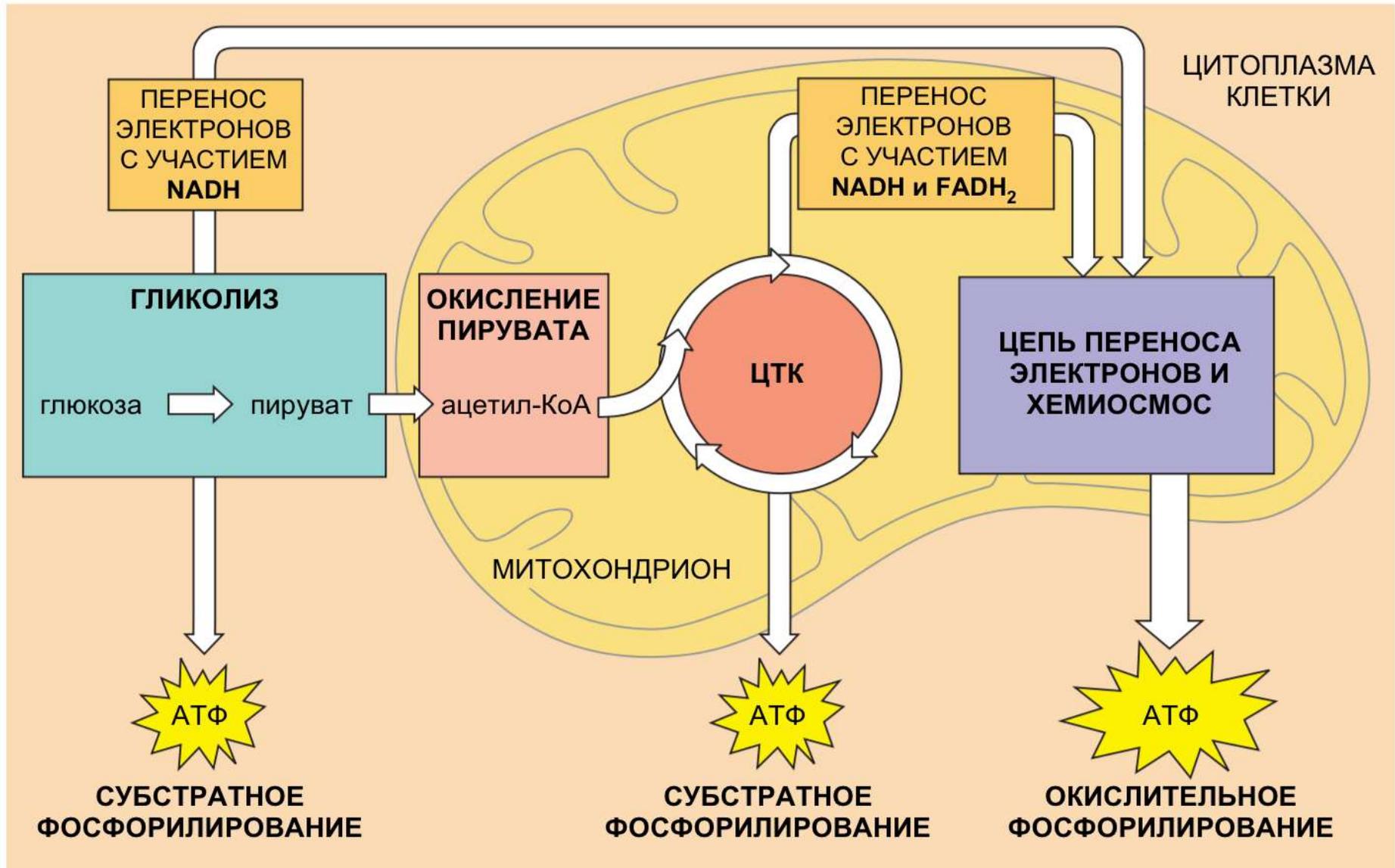
«Окислительное фосфорилирование у прокариот».



# Пути катаболизма и синтеза АТФ

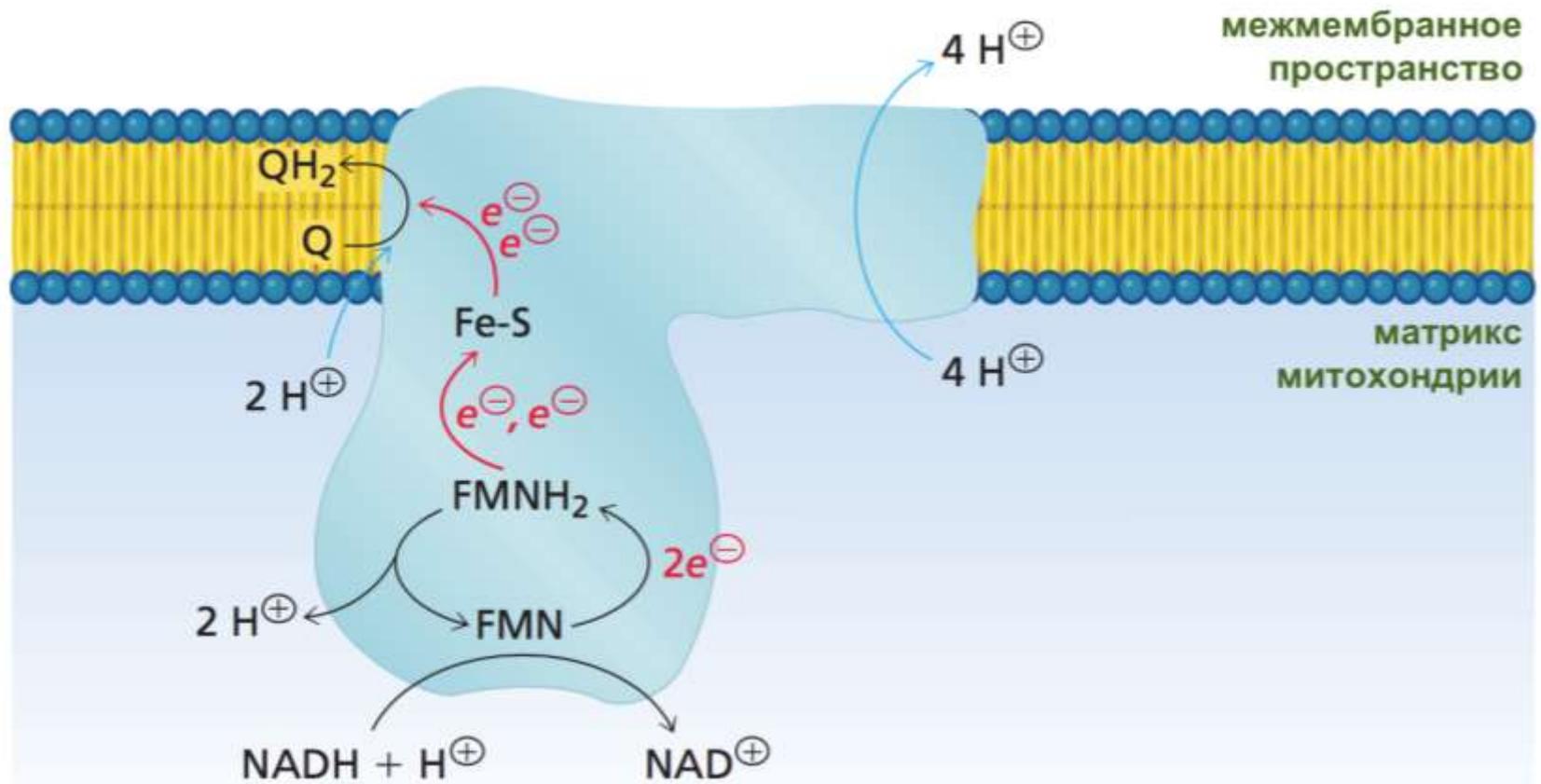


# Пути катаболизма и синтеза АТФ



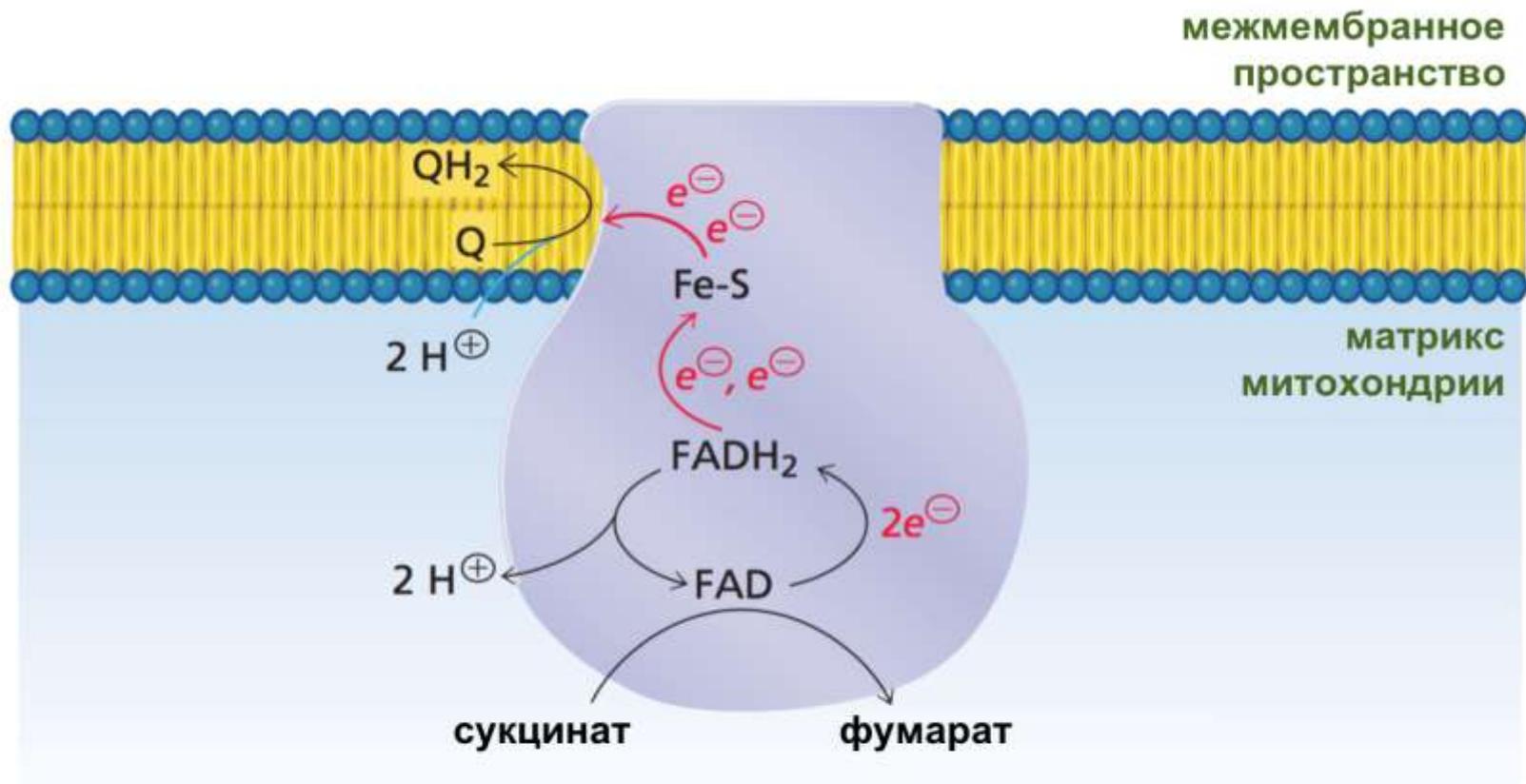
# ЦПЭ: комплекс I

## NADH:Q-оксидоредуктаза



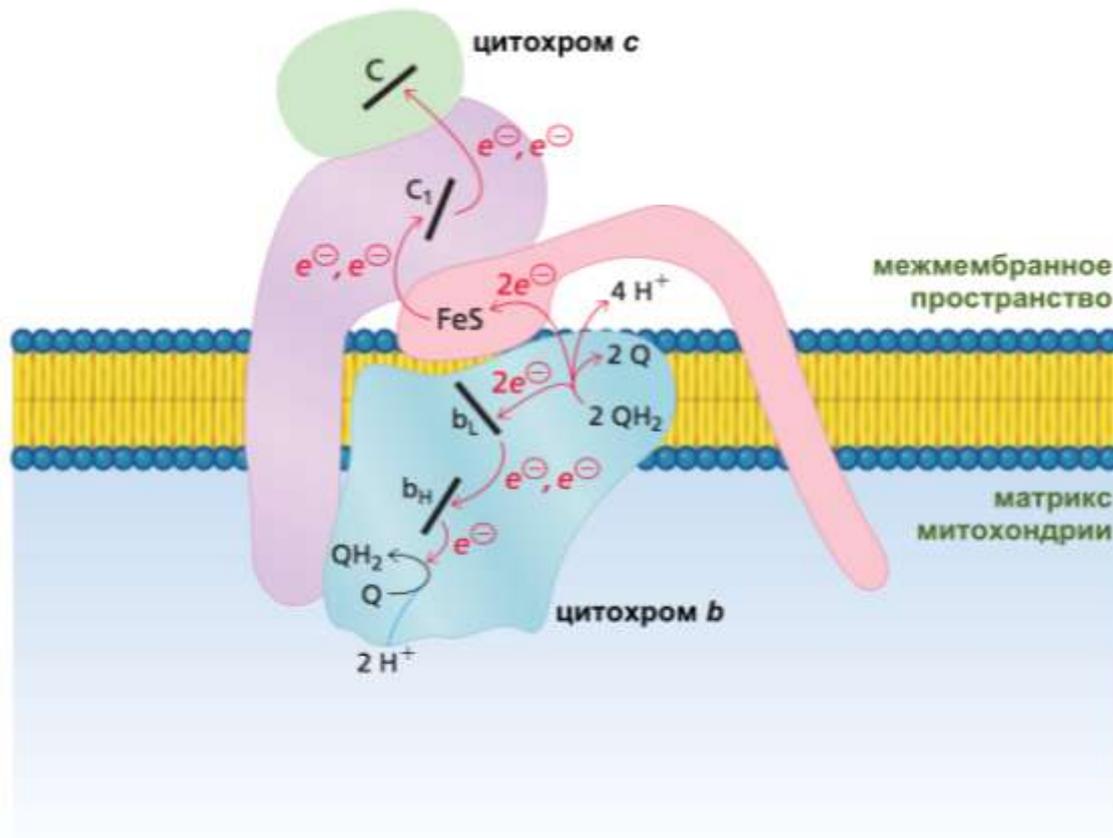
# ЦПЭ: комплекс II

## Сукцинат:Q-редуктаза



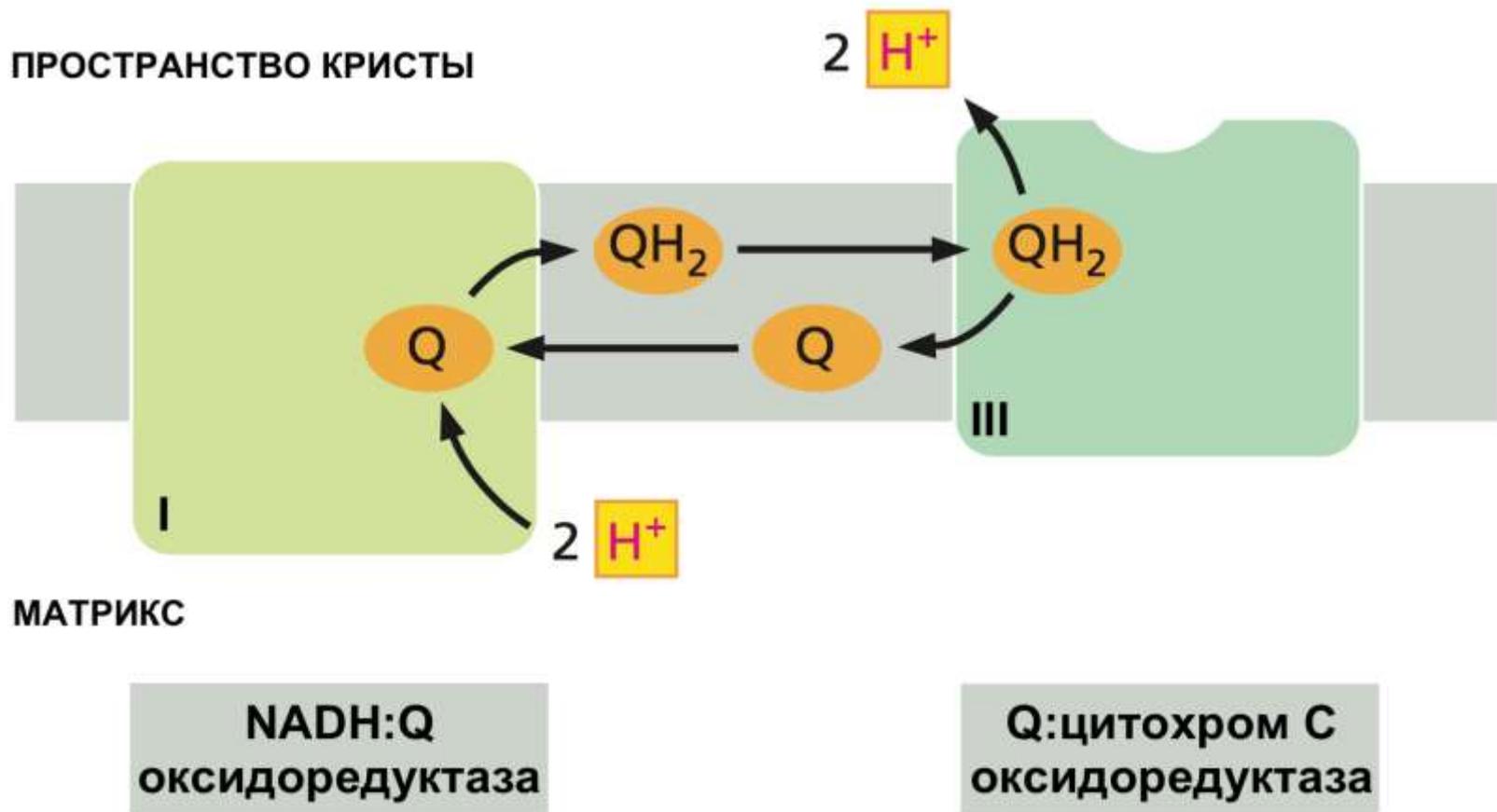
# ЦПЭ: комплекс III

Q: цитохром с-оксидоредуктаза



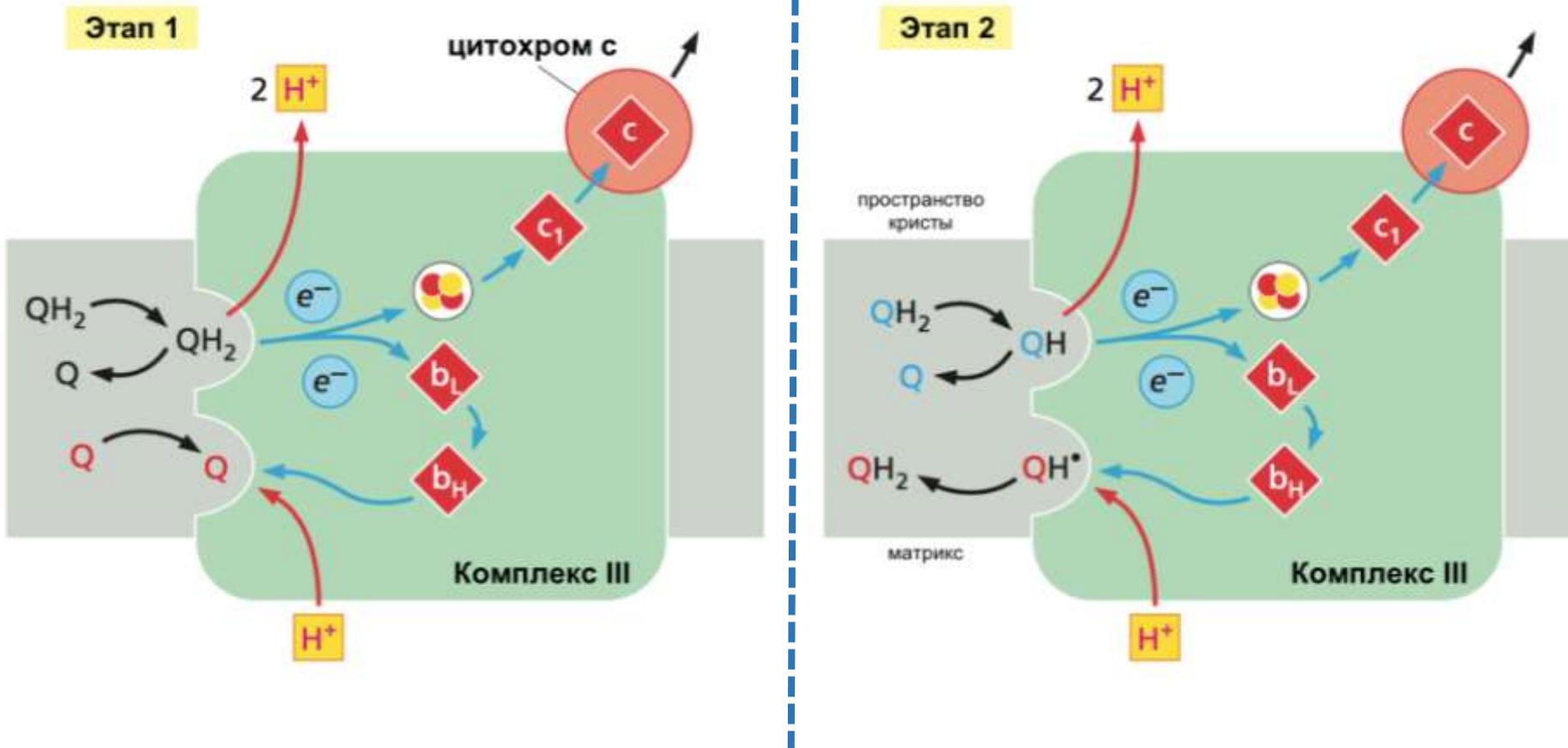
# Цепь переноса электронов (ЦПЭ)

## Q-цикл: общая схема



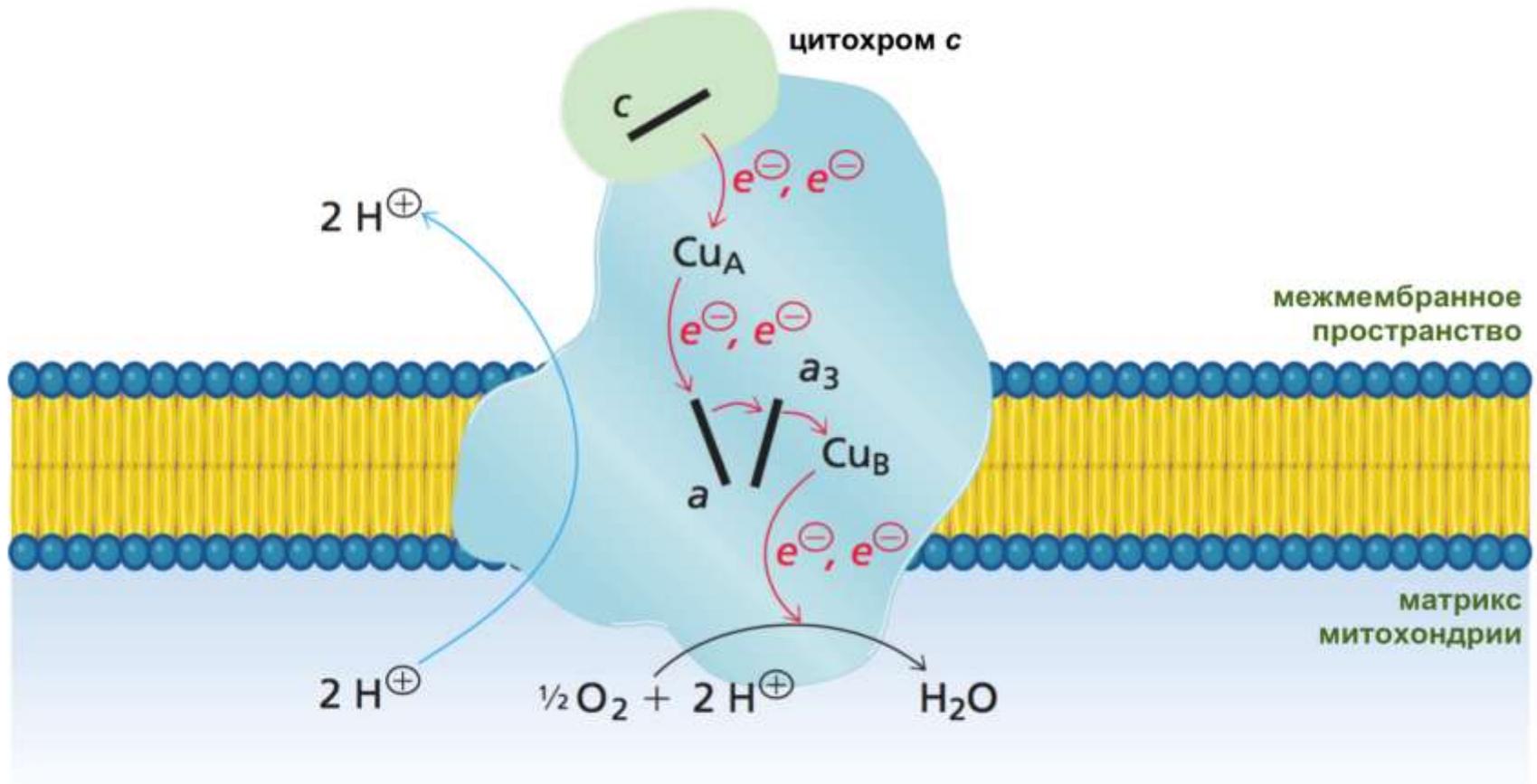
# Цепь переноса электронов (ЦПЭ)

## Q-цикл: этапы

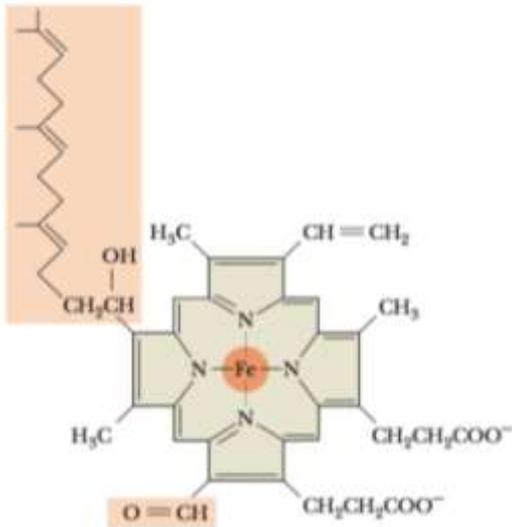


# ЦПЭ: комплекс IV

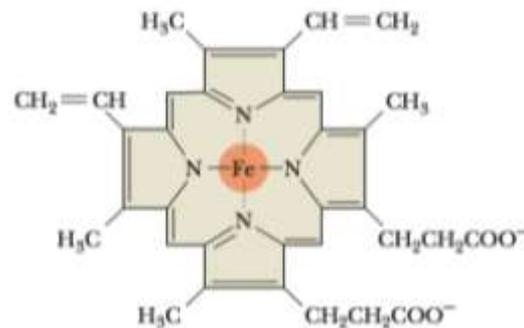
## Цитохром с оксидаза



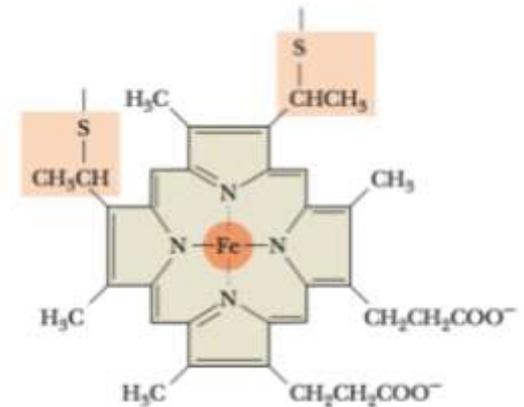
# Цепь переноса электронов (ЦПЭ): кофакторы



**гем а**  
(цитохром а)



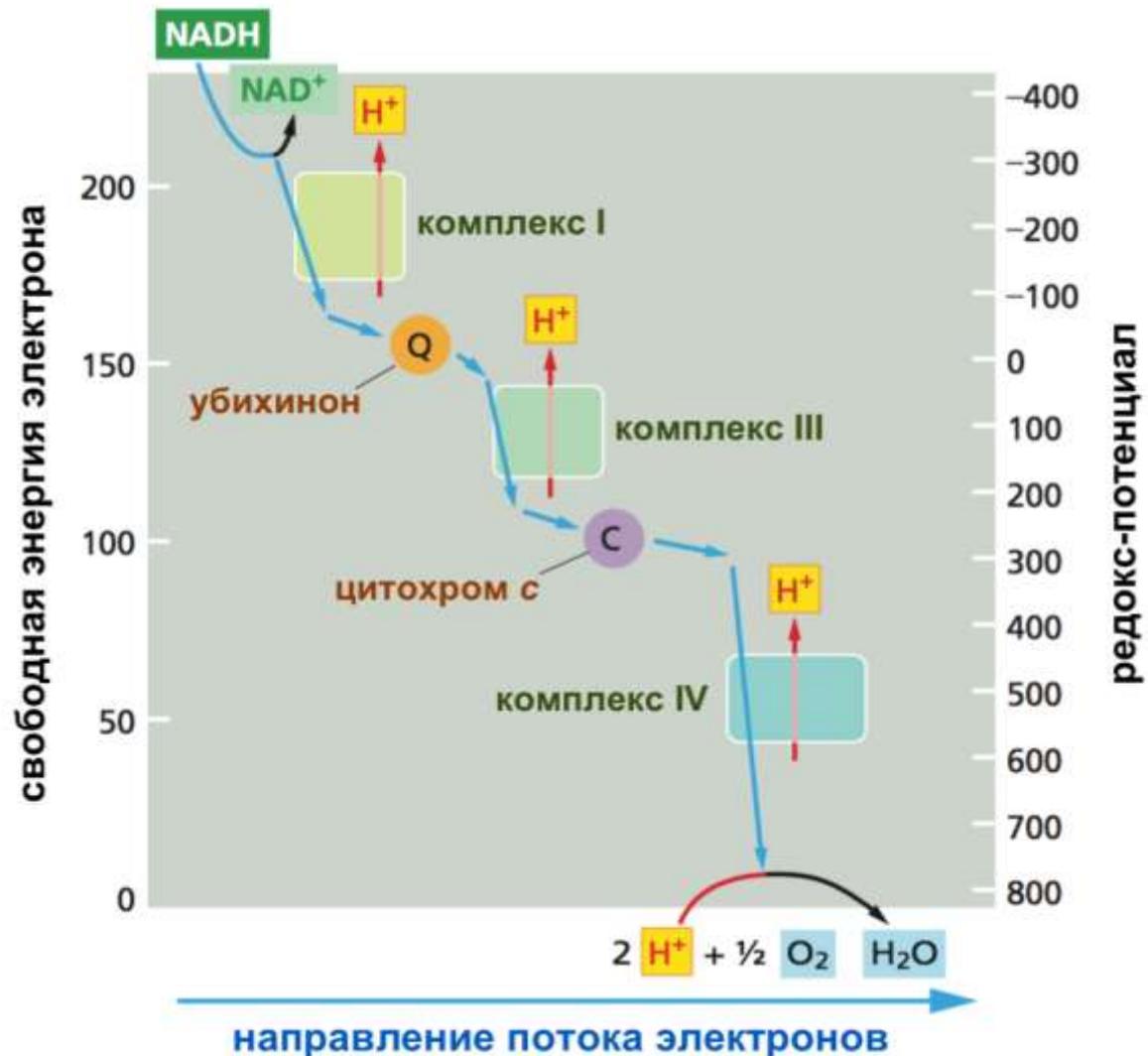
**протопорфирин IV**  
(цитохром *b*,  
гемоглобин,  
миоглобин)



**гем с**  
(цитохром с)

# Цепь переноса электронов

- Редокс-потенциал определяет сродство вещества к электронам.
- Движение электронов в дыхательной цепи происходит от более электроотрицательных к электроположительным переносчикам.
- В ходе передачи электронов по ЦПЭ их свободная энергия уменьшается.



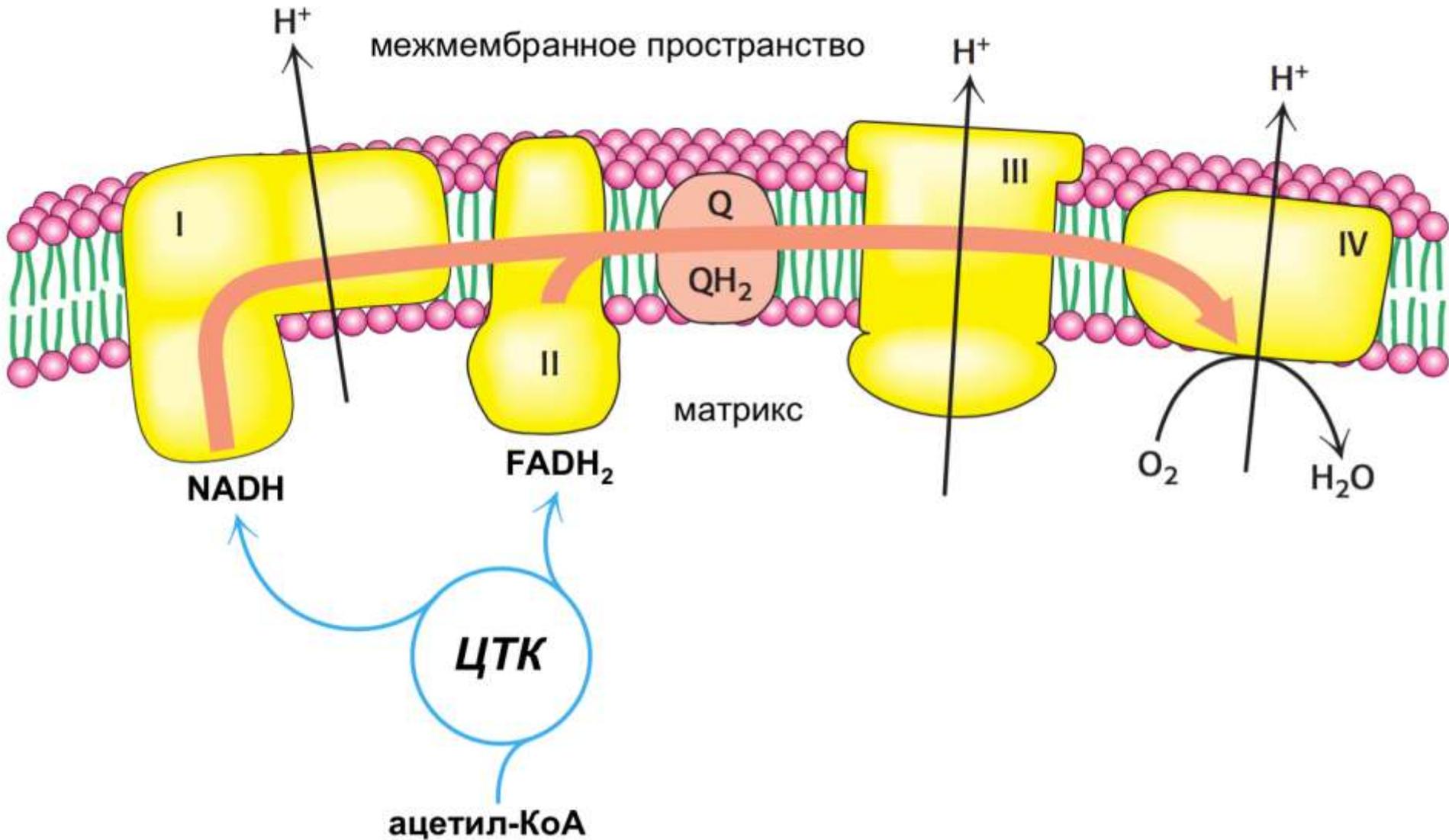
# ЦПЭ: комплексы и кофакторы

№	Название	Простетическая группа
I	NADH:Q-оксидоредуктаза	<ul style="list-style-type: none"> <li>• FMN</li> <li>• Fe-S</li> </ul>
II	Сукцинат:Q-редуктаза	<ul style="list-style-type: none"> <li>• FAD</li> <li>• Fe-S</li> </ul>
III	Q:цитохром с-оксидоредуктаза	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Гемы b</li> <li>• Гем с</li> <li>• Fe-S</li> </ul>
IV	Цитохром с оксидаза	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Гемы а</li> <li>• Cu</li> </ul>

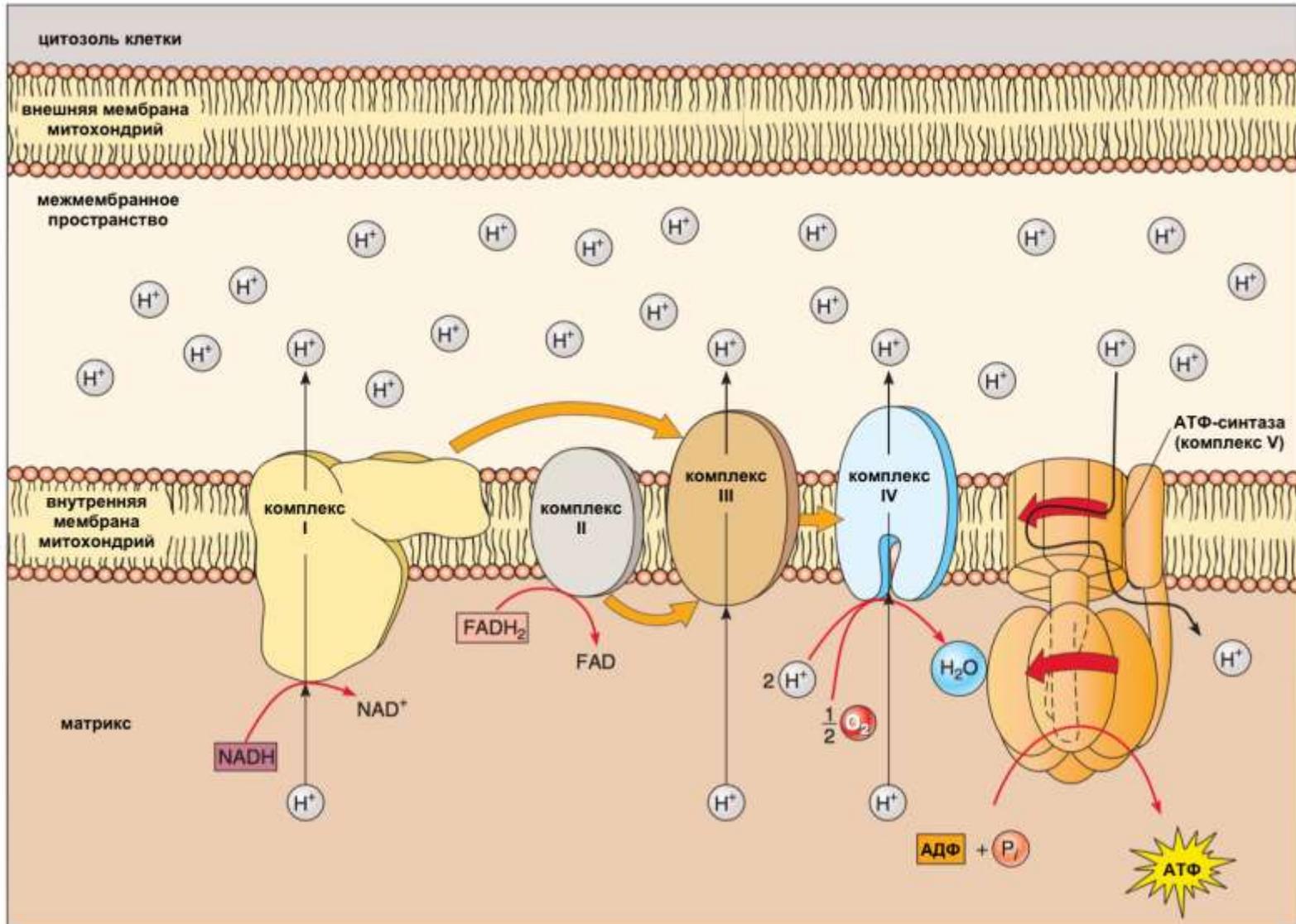
# ЦПЭ: комплексы и кофакторы

№	Название	Субстраты
I	NADH:Q-оксидоредуктаза	<ul style="list-style-type: none"> <li>• NADH</li> <li>• коэнзим Q</li> </ul>
II	Сукцинат:Q-редуктаза	<ul style="list-style-type: none"> <li>• сукцинат</li> <li>• коэнзим Q</li> </ul>
III	Q:цитохром с-оксидоредуктаза	<ul style="list-style-type: none"> <li>• коэнзим Q</li> <li>• цитохром с</li> </ul>
IV	Цитохром с оксидаза	<ul style="list-style-type: none"> <li>• цитохром с</li> <li>• кислород</li> </ul>

# Цепь переноса электронов (ЦПЭ)

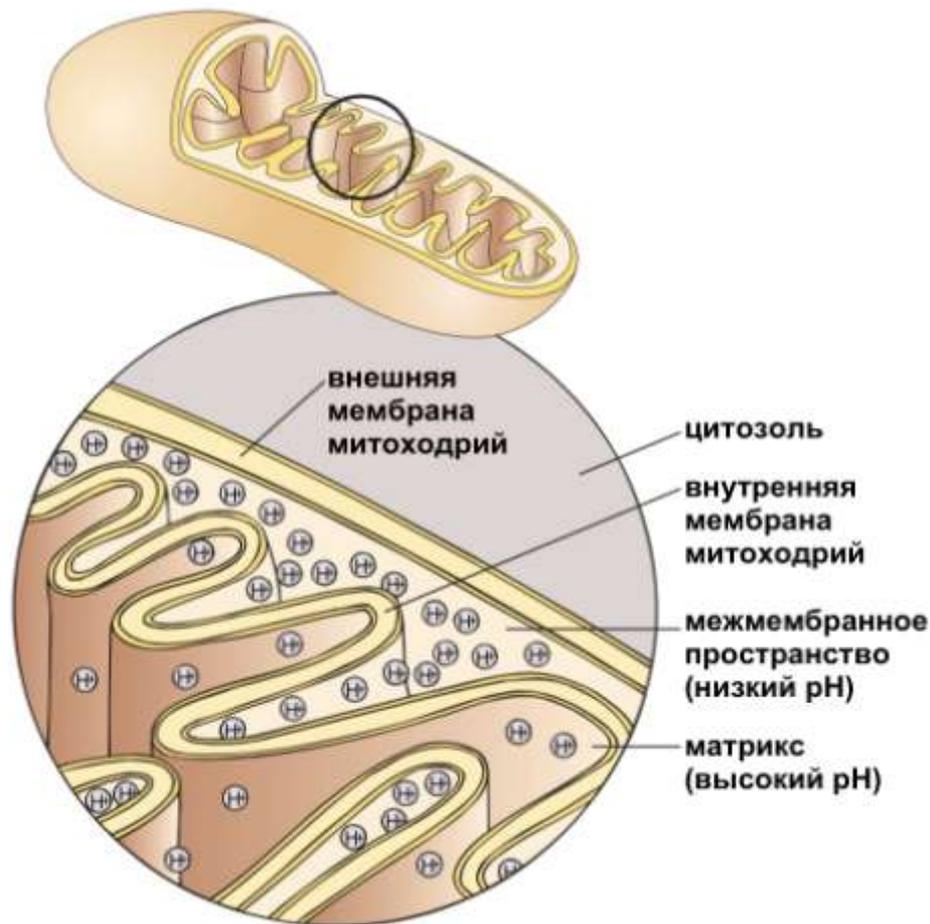


# Цепь переноса электронов и синтез АТФ



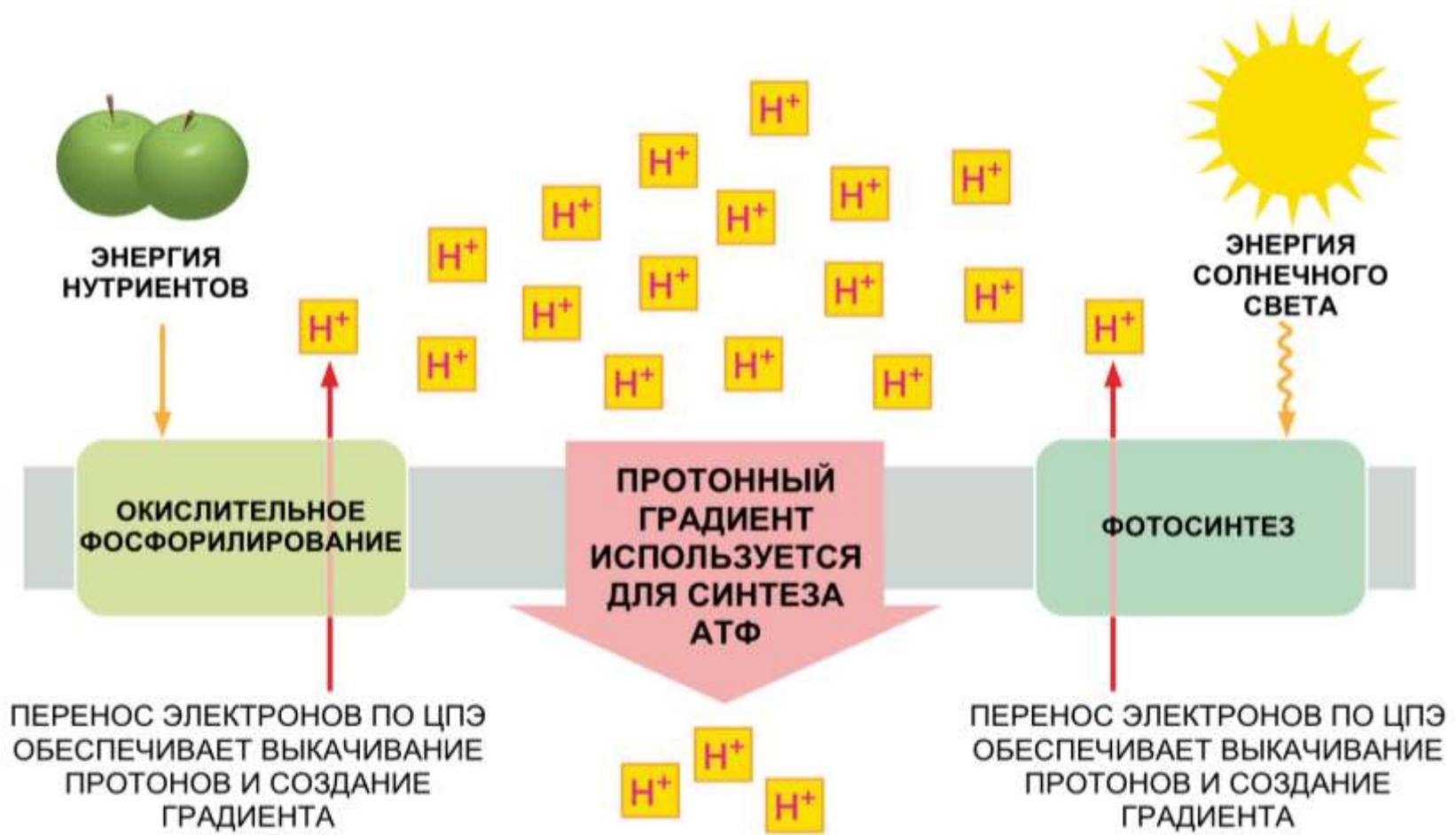
# Пути синтеза АТФ: окислительное фосфорилирование

## Хемиосмотическая теория: строение митохондрий



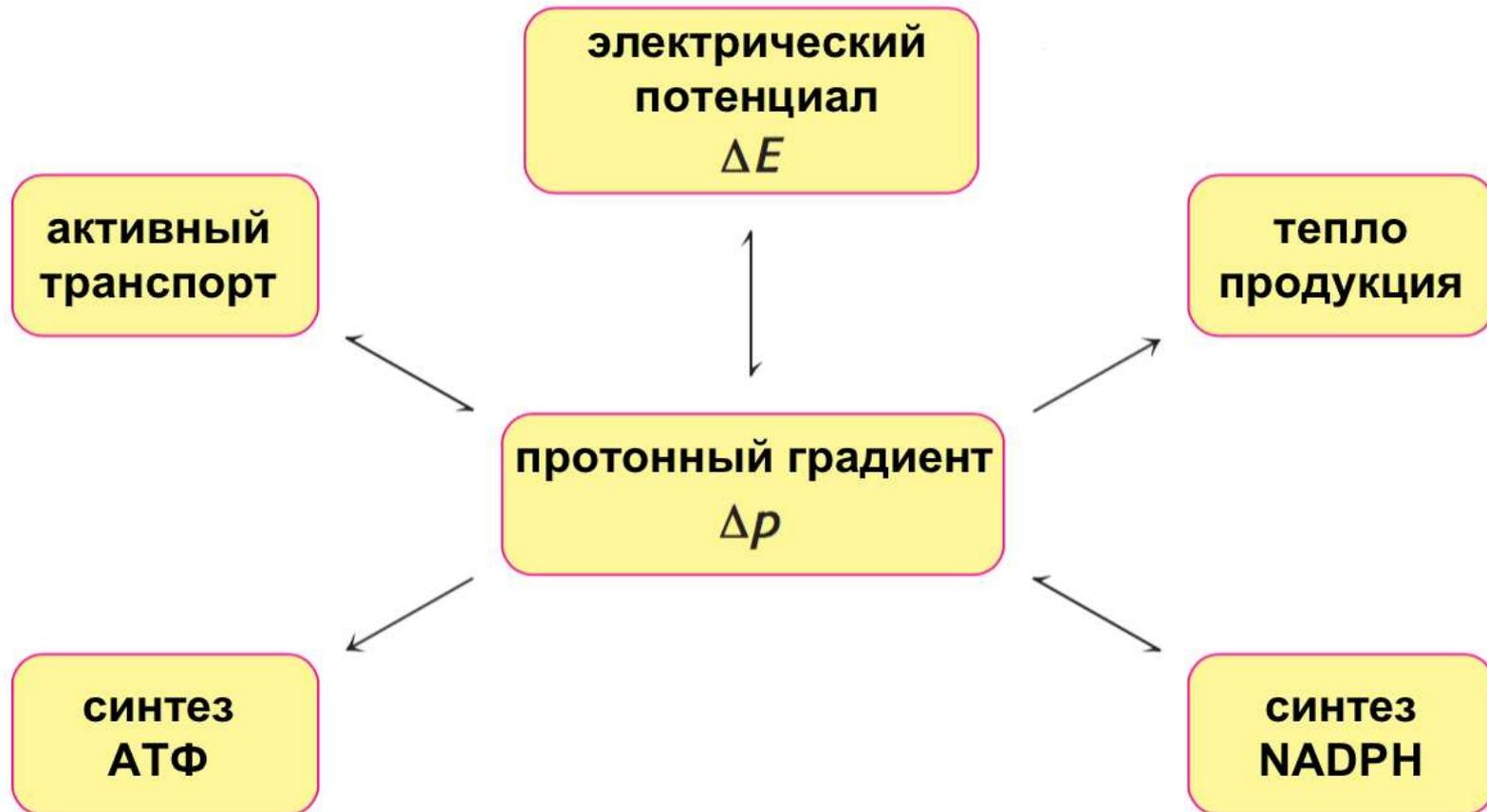
# Пути синтеза АТФ: окислительное фосфорилирование

## Хемиосмотическая теория: протонный градиент



# Пути синтеза АТФ: окислительное фосфорилирование

## Роль протонного градиента

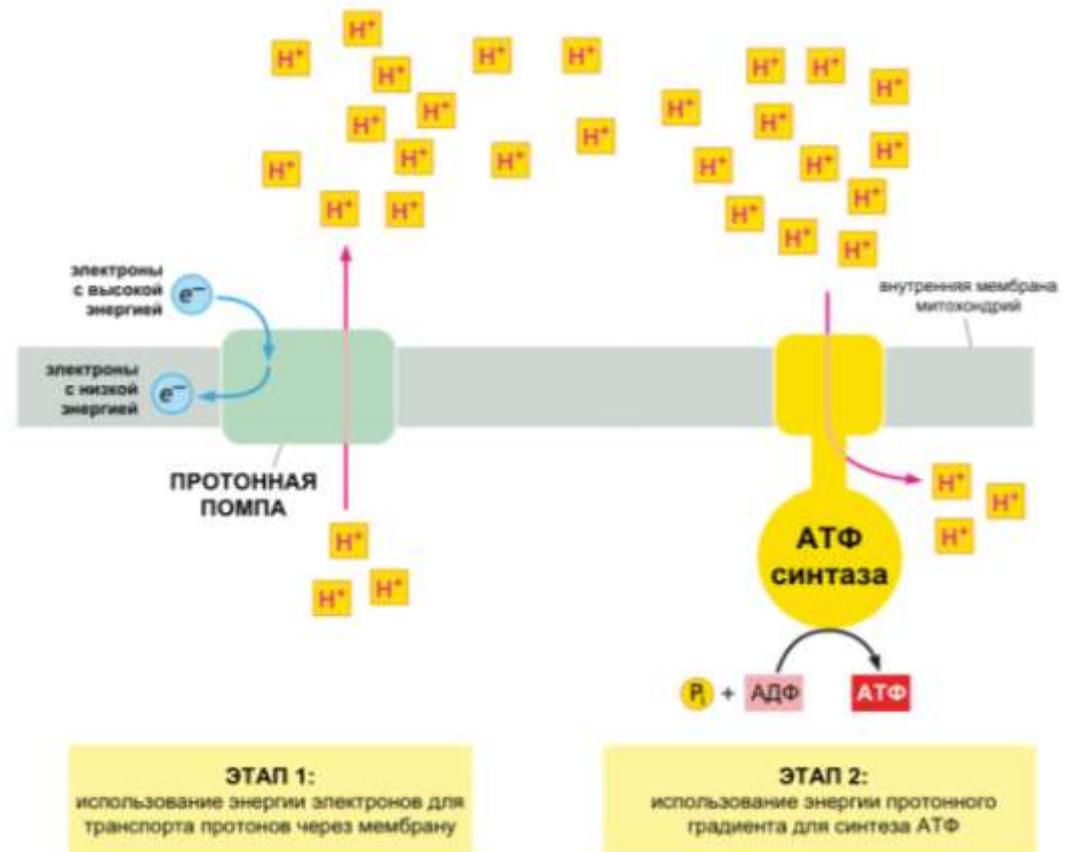


# Пути синтеза АТФ

## Окислительное фосфорилирование

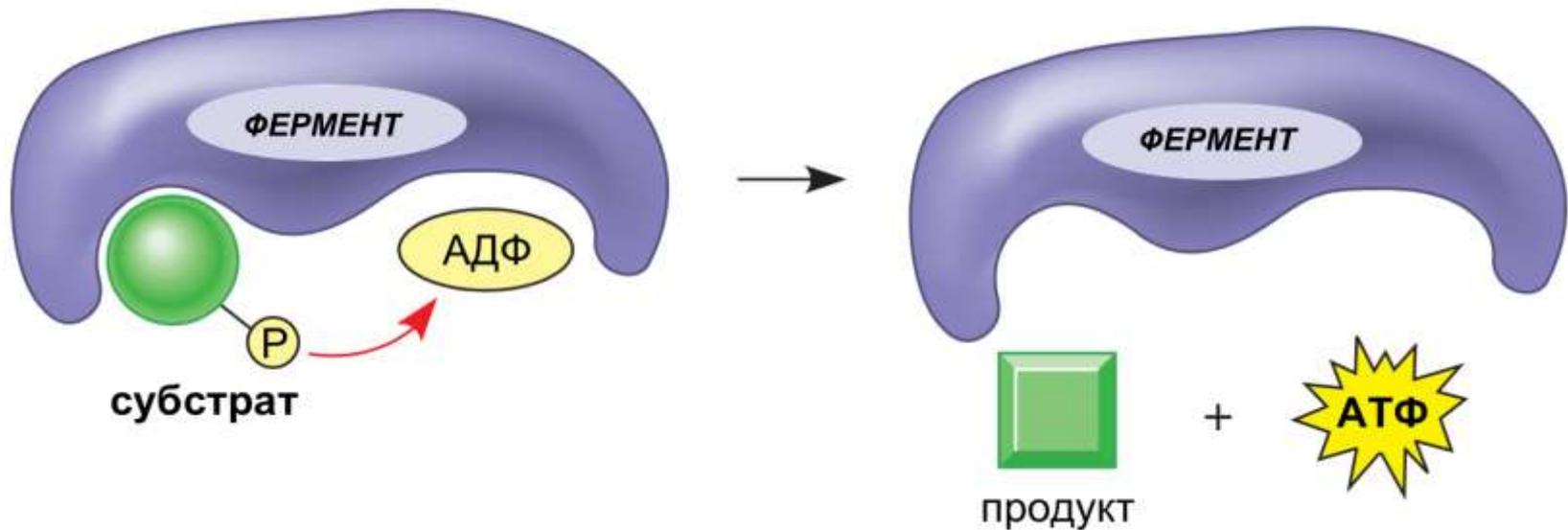
Окислительное фосфорилирование – синтез АТФ из АДФ и  $\text{H}_3\text{PO}_4$  за счёт энергии протонного градиента.

Протонный градиент создаётся за счёт энергии электронов, переносимых по дыхательной цепи.



# Пути синтеза АТФ

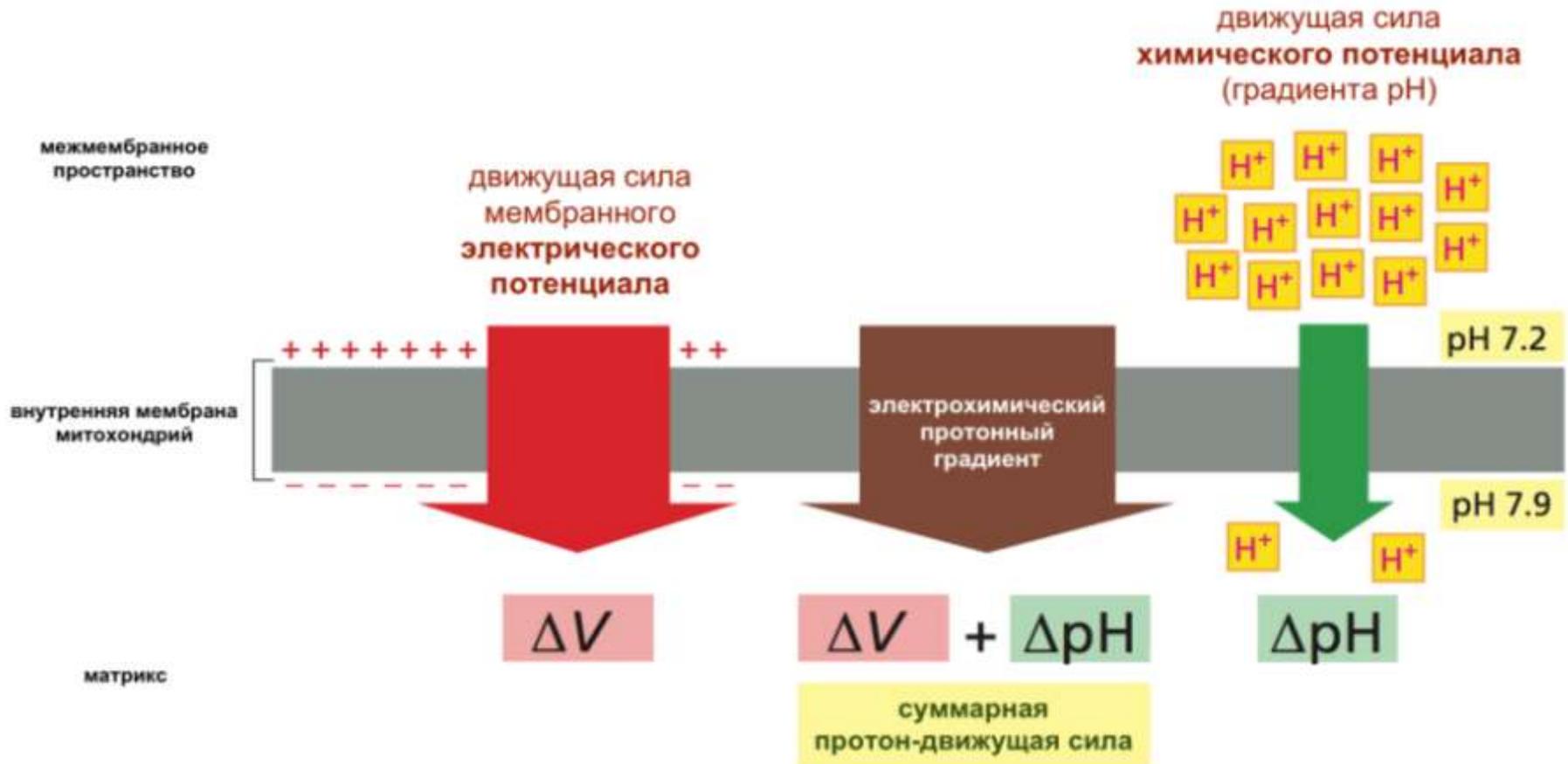
## Субстратное фосфорилирование



**Субстратное фосфорилирование** – синтез АТФ из АДФ за счёт ферментативного переноса остатка фосфорной кислоты с другого субстрата.

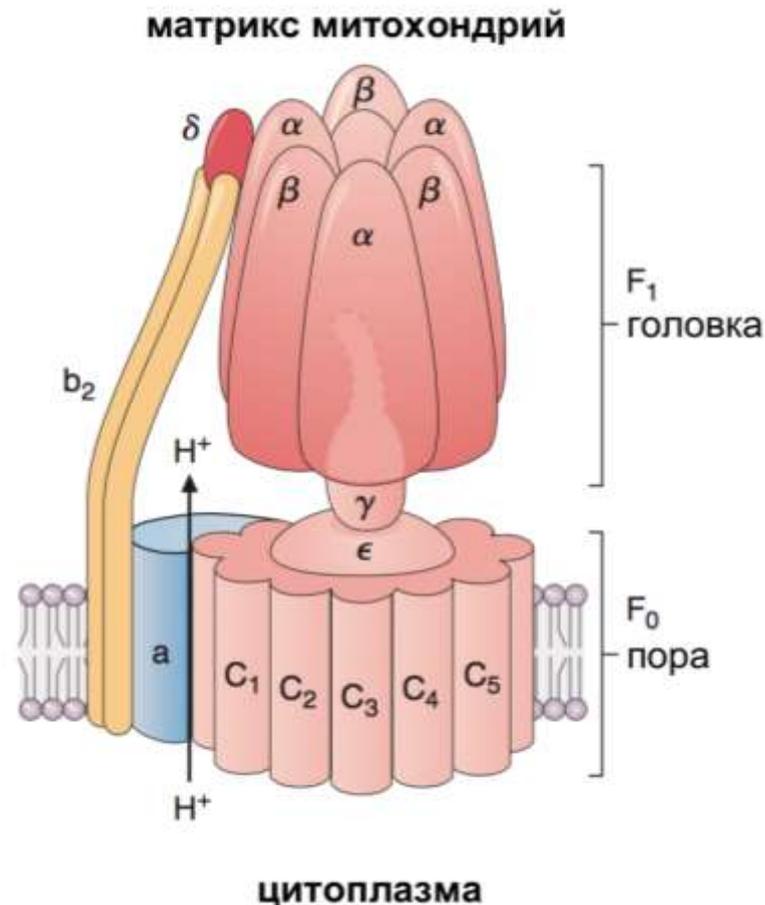
# Пути синтеза АТФ

Электрохимический потенциал протонов - источник энергии для синтеза АТФ:

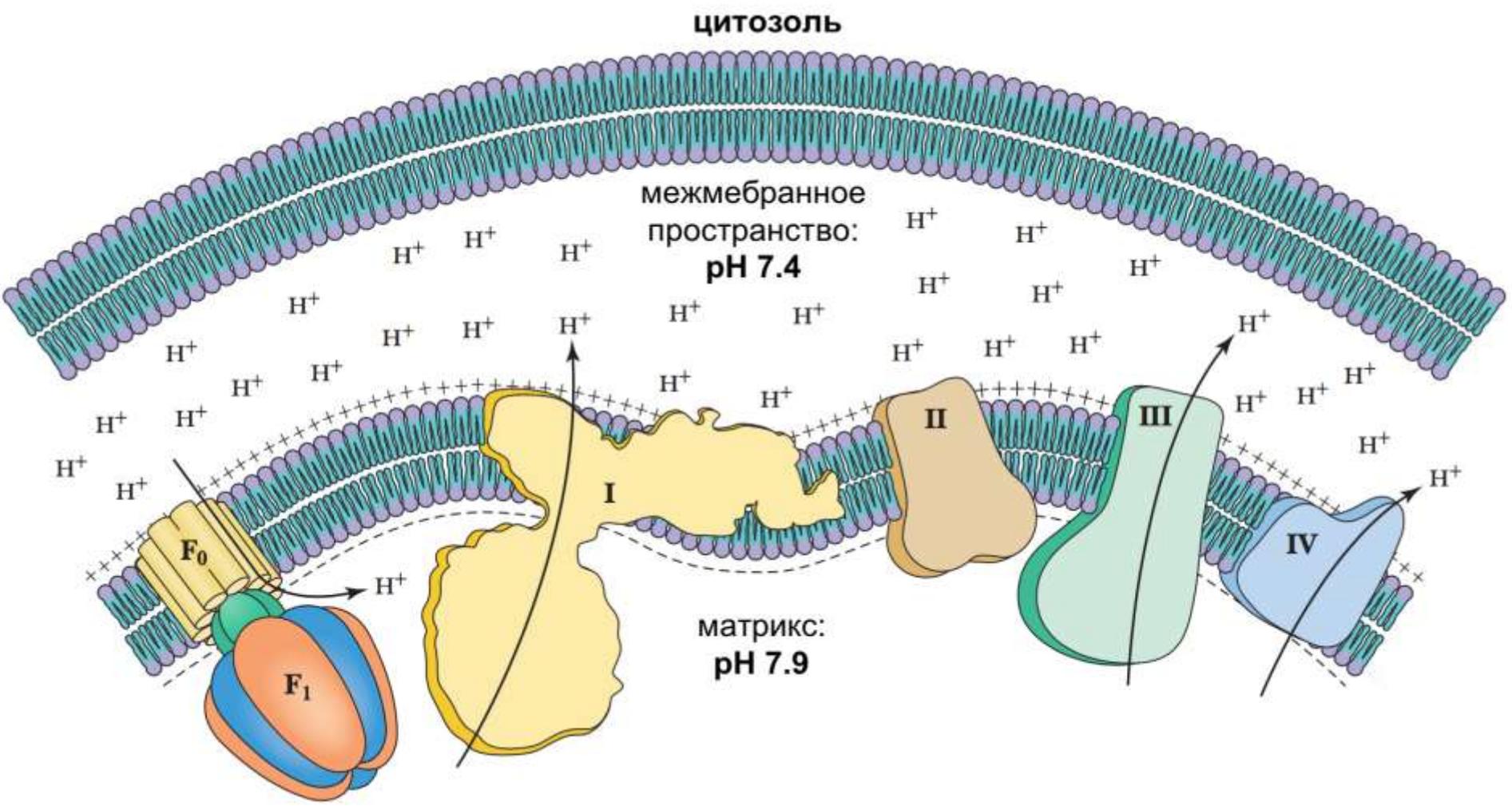


# Пути синтеза АТФ: окислительное фосфорилирование

## Строение фермента АТФ-синтазы

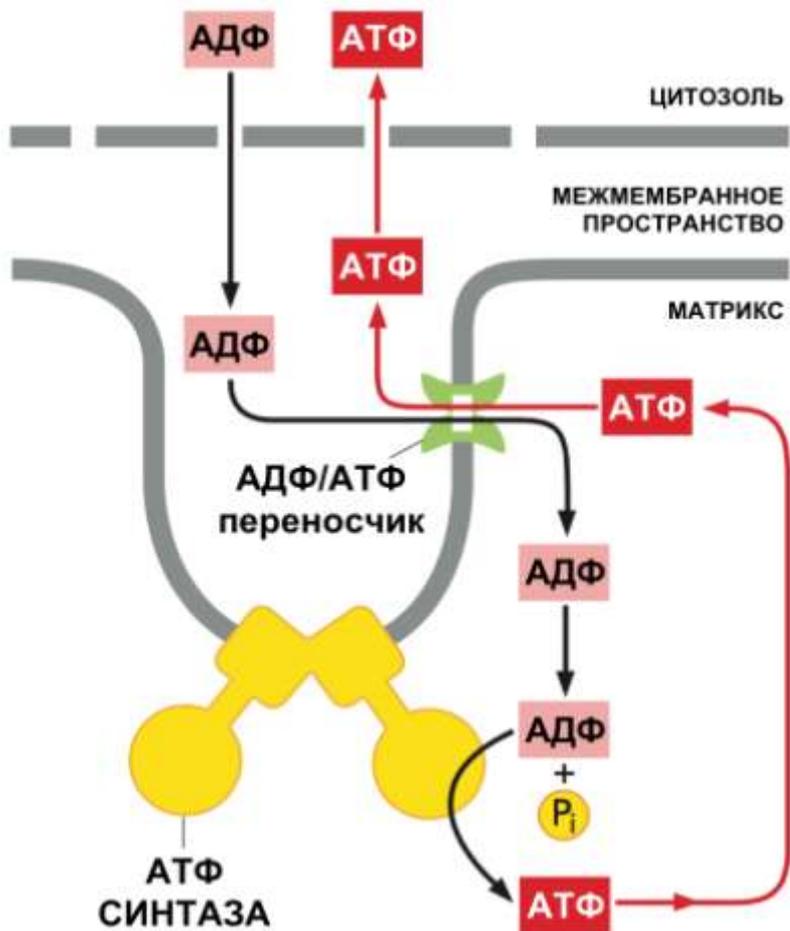


# Цепь переноса электронов и синтез АТФ



# Пути синтеза АТФ: окислительное фосфорилирование

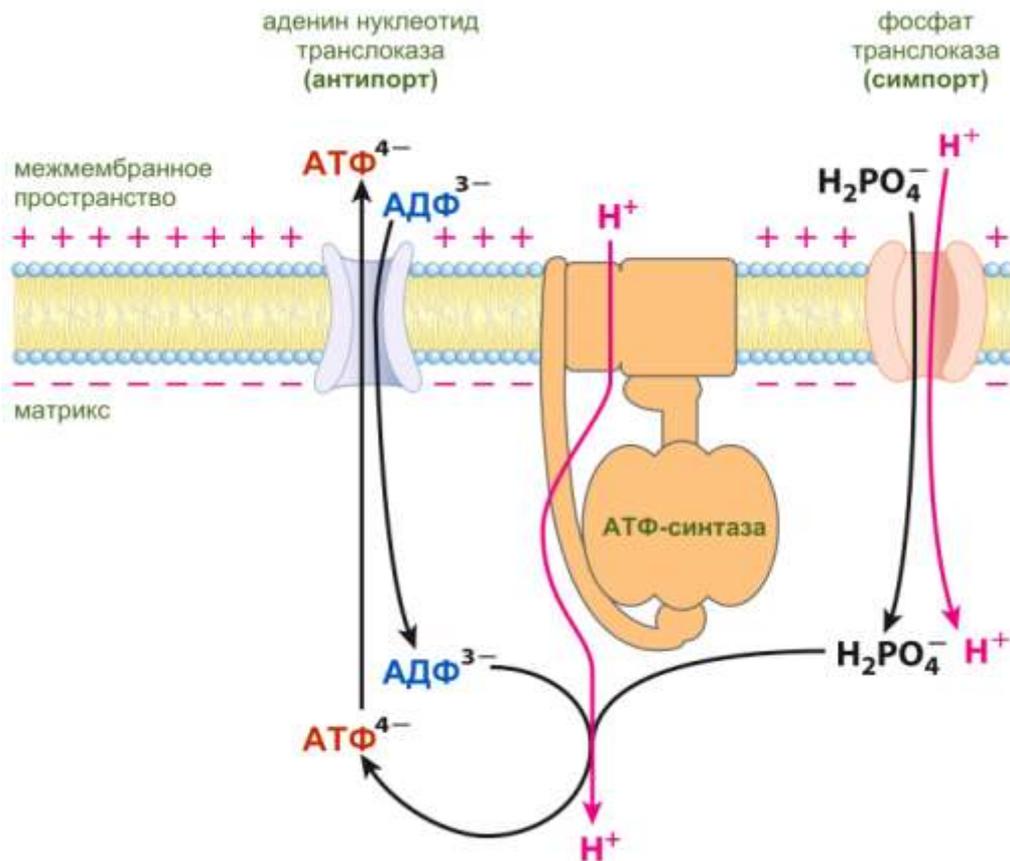
## Транспорт АТФ / АДФ



- Внутренняя мембрана митохондрий непроницаема для заряженных и гидрофильных веществ, в том числе АДФ и АТФ.
- Для транспорта этих молекул через внутреннюю мембрану митохондрий существуют специальные белки-транспортёры.
- Эти белки функционируют по механизму «антипорт»: одна молекула АТФ транспортируется в цитозоль в обмен на молекулу АДФ, поступающую в матрикс.

# Пути синтеза АТФ: окислительное фосфорилирование

## Транспорт АТФ / АДФ



- Другие белки-транспортёры участвуют в переносе остатка фосфорной кислоты в матрикс митохондрий.
- **Эти белки функционируют по механизму «симпорт»:** анион фосфата транспортируется в матрикс совместно с протоном.

# Пути синтеза АТФ: окислительное фосфорилирование

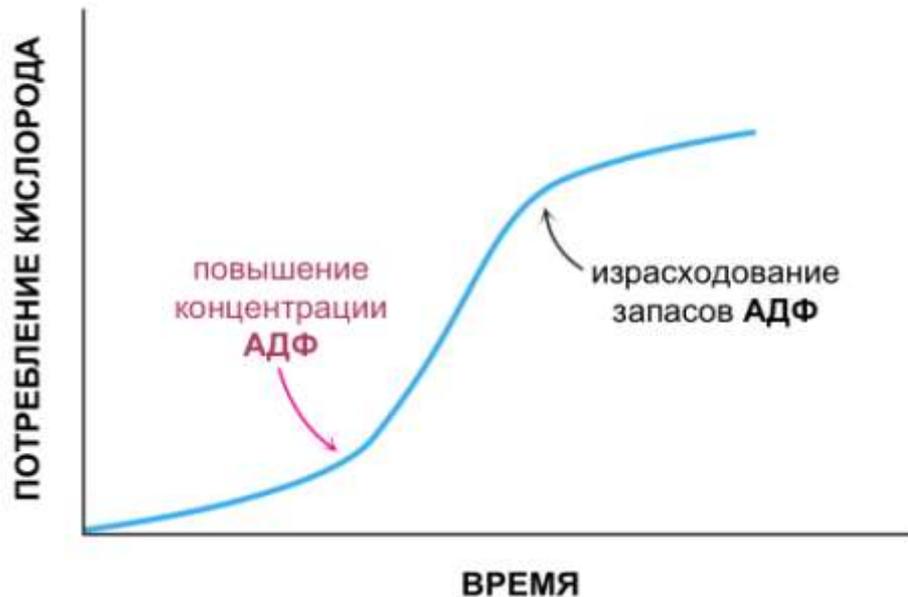
## Коэффициент окислительного фосфорилирования

$$\left( \frac{1 \text{ АТФ}}{3.7 \text{ Н}^+} \right) \left( \frac{10 \text{ Н}^+}{2 e^- [\text{NADH} \rightarrow \frac{1}{2} \text{O}_2]} \right) = \frac{10}{3.7} = \frac{\text{Р}}{\text{О}}$$

- Величина коэффициента окислительного фосфорилирования обозначает максимальное число молекул АТФ, которое образуется при переносе электронов по ЦПЭ от первичного донора электронов на кислород.
- Для NADH теоретическая величина коэффициента равна 3.
- Для сукцината теоретическая величина коэффициента равна 2.
- **Реальные величины коэффициента всегда ниже!**

# Цепь переноса электронов

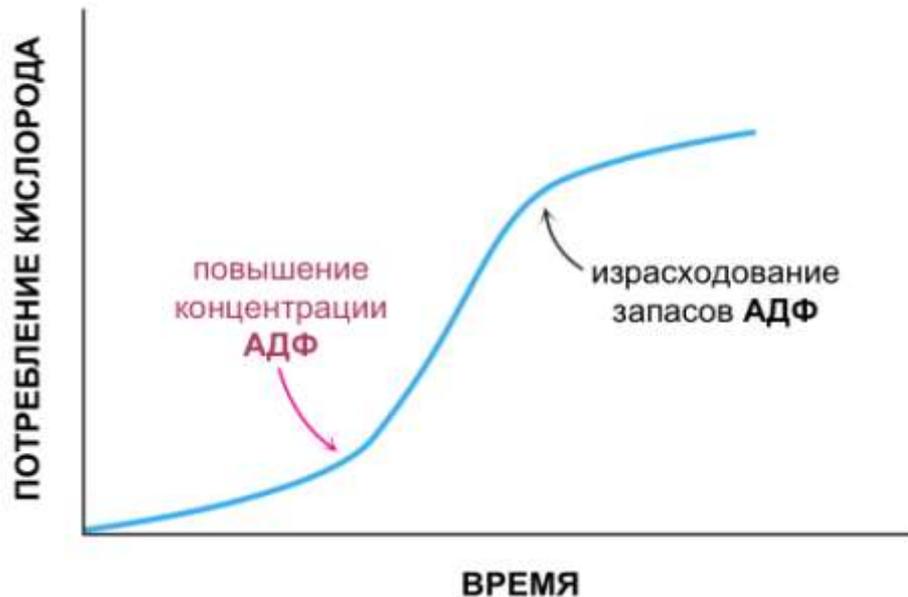
## Дыхательный контроль



- Окисление субстратов и фосфорилирование АДФ (то есть синтез АТФ) в митохондриях прочно сопряжены.
- **Дыхательный контроль** – зависимость интенсивности дыхания митохондрий (то есть потребления ими кислорода) от концентрации АДФ.

# Цепь переноса электронов

## Дыхательный контроль



- Увеличение концентрации АДФ немедленно приводит к повышению интенсивности клеточного дыхания и скорости окислительного фосфорилирования.
- Повышение концентрации АДФ соответствует увеличению скорости распада АТФ, то есть увеличению энергетических затрат клетки.

# Цепь переноса электронов

## Дыхательный контроль



- Скорость использования АТФ регулирует скорость потока электронов в ЦПЭ и, следовательно, потребление кислорода – их конечного акцептора.
- Благодаря дыхательному контролю скорость синтеза АТФ соответствует потребности клетки в энергии.

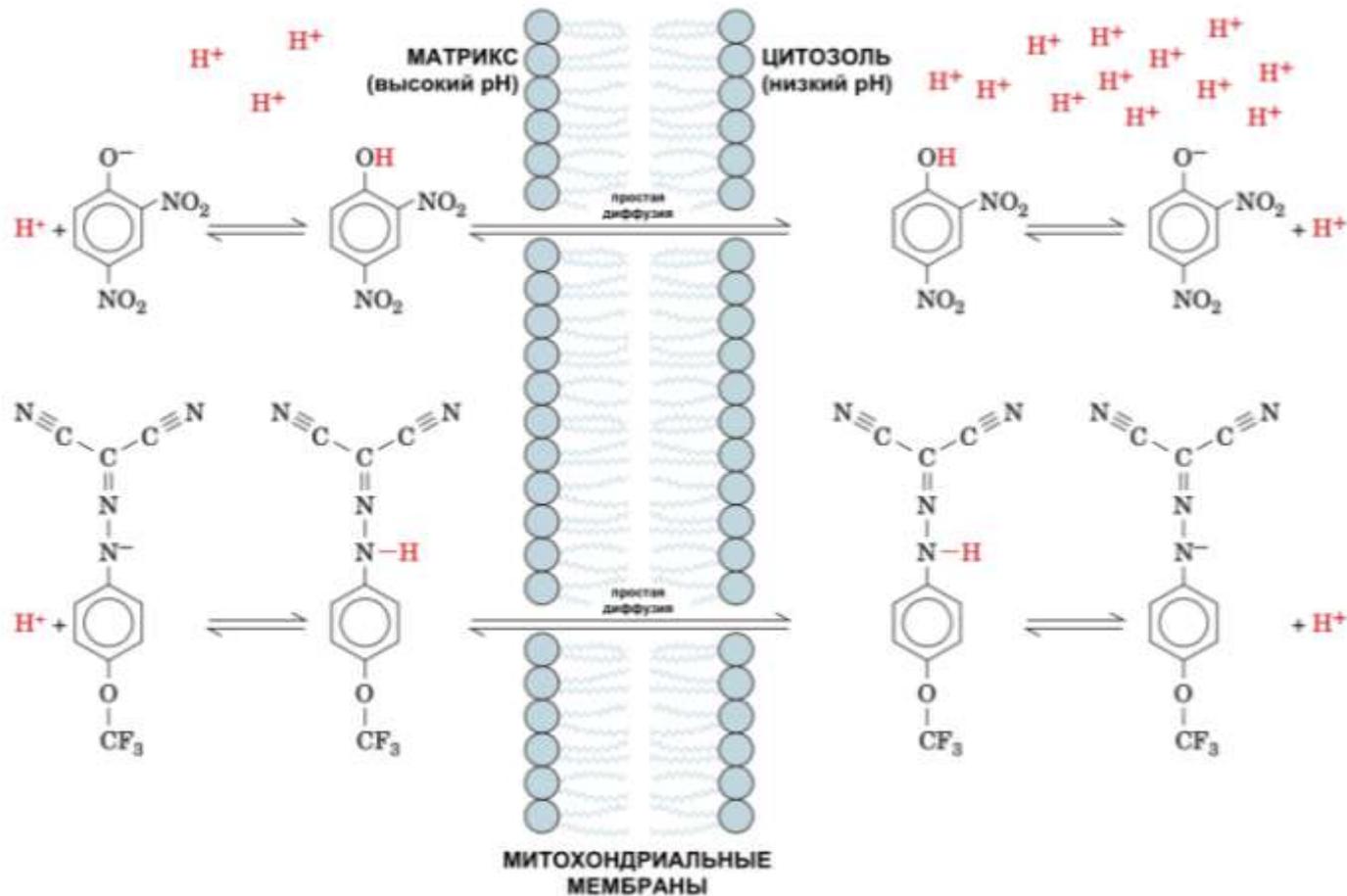
# Разобщение дыхания и фосфорилирования

## Механизм действия разобщителей



# Разобщение дыхания и фосфорилирования

## Механизм действия разобщителей



# Разобшение дыхания и фосфорилирования

## Разобшение дыхания и фосфорилирования

