

# **Обеспечение клеток энергией**

**вследствие окисления  
органических веществ**

# организмы

## автотрофы

**Клетки растений и фотосинтезирующих бактерий используют энергию солнца для образования АТФ.**

**Бактерии-хемосинтетики получают энергию вследствие окисления неорганических веществ.**

## гетеротрофы

**Животные и грибы получают энергию в результате окисления органических соединений. Эти соединения поступают извне готовыми.**

**Катаболизм** – это фаза, на которой происходит расщепление сложных органических молекул до более простых конечных продуктов.

Углеводы, жиры и белки распадаются в серии последовательных реакций до таких соединений, как вода,  $\text{CO}_2$  и аммиак.

Катаболические процессы сопровождаются высвобождением свободной энергии.

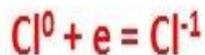
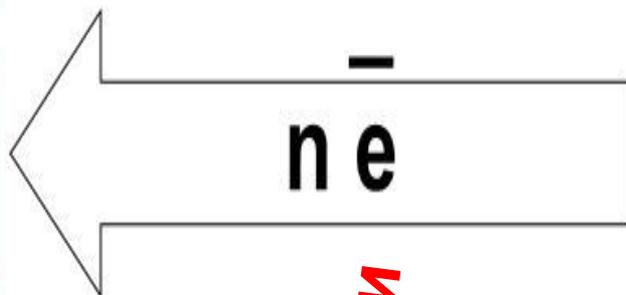
Значительная часть свободной энергии запасается в форме высокоэнергетического соединения – АТФ.

Часть – в водородных атомах кофермента  $\text{NADH}(\text{NADPH})$ .

Восстановление – взятие e



Окисление – отдача e



Окислитель,

взял e,

восстановился.

Степень окисления ↓

Процесс восстановления

ОКИСЛИТЕЛЬ



акцепто  
р

Энергия

ВОССТАНОВИТЕЛЬ



доно  
р



Восстановитель,

отдал e,

окислился.

Степень окисления ↑.

Процесс окисление

Крахма

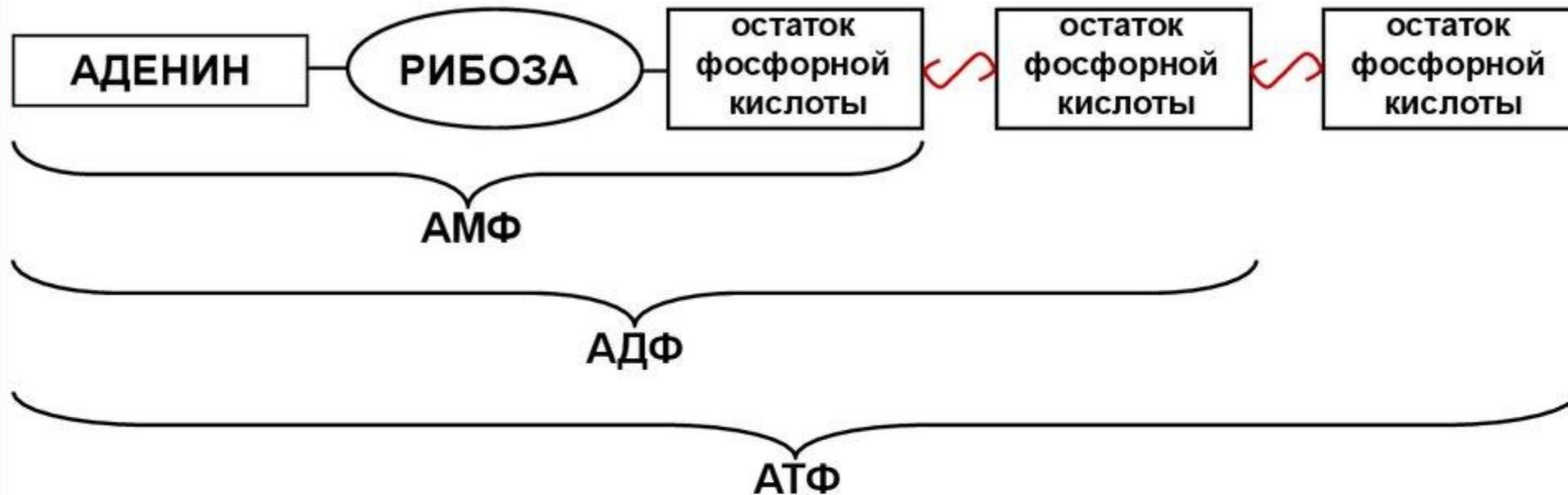
л

Гликоген



Субстраты для  
дыхания

# АТФ

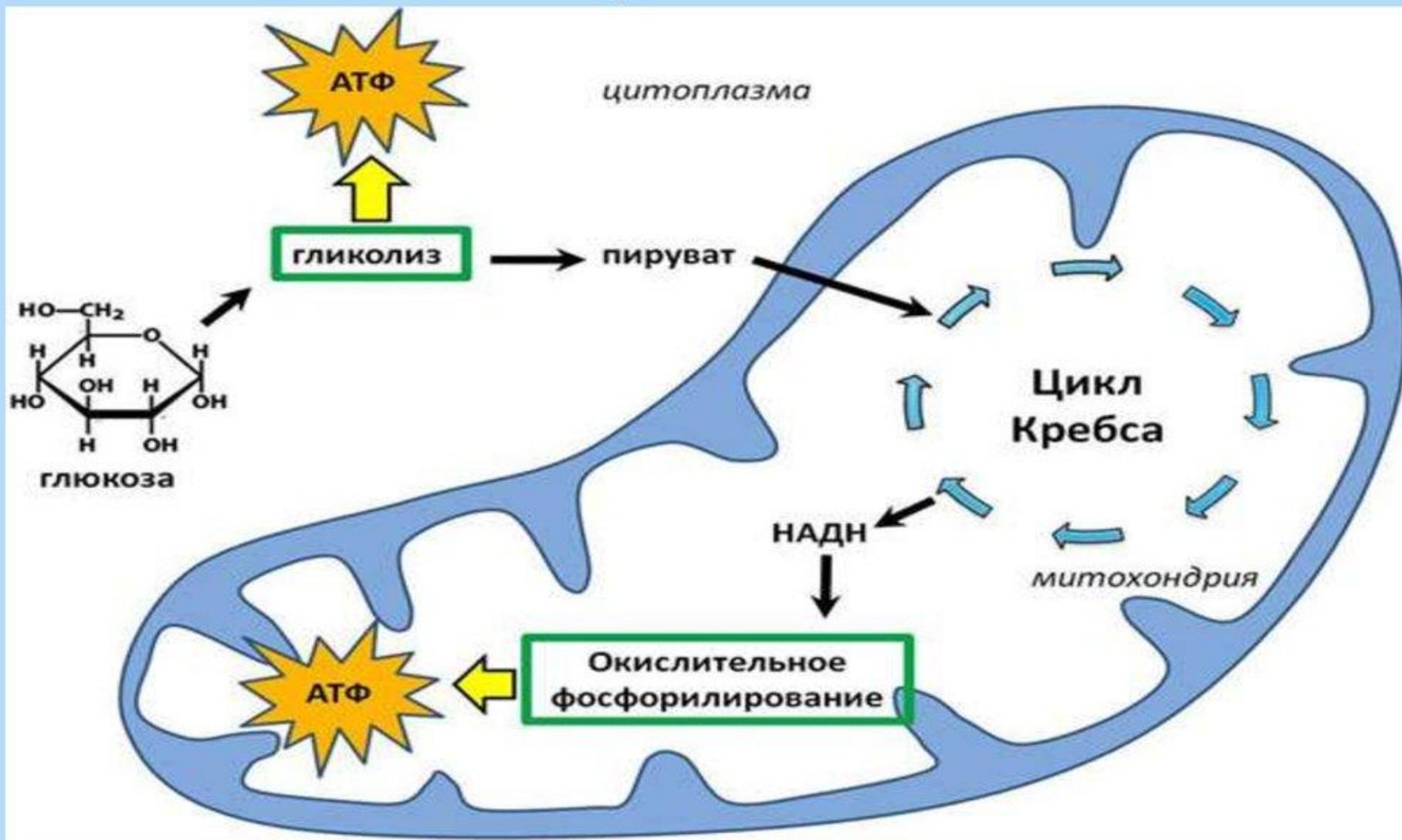


**АТФ – универсальный донор свободной энергии для:**

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

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

# Энергетический обмен общая схема



Первый этап — подготовительный

Подготовительный этап заключается в распаде крупных органических молекул до более простых: У многоклеточных организмов он осуществляется в желудочно-кишечном тракте с помощью пищеварительных ферментов. У одноклеточных организмов — происходит под действием ферментов лизосом.

В ходе биохимических реакций, происходящих на этом этапе, энергии выделяется мало, она рассеивается в виде тепла, и АТФ не образуется.



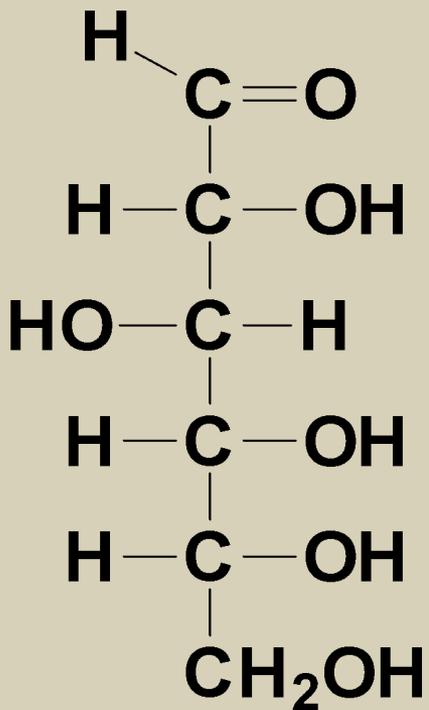
# Гликолиз – бескислородный этап

Полисахариды



Глюкоза

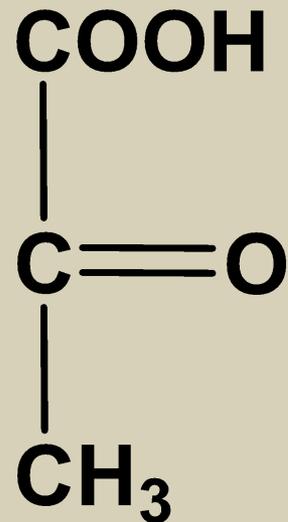




# Гликолиз

2 АТФ

2 НАД·Н



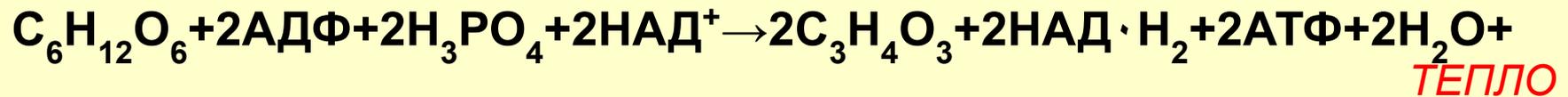
# Анаэробное дыхание

Это путь получения энергии наиболее древний, поскольку на ранних этапах развития жизни на Земле кислород в атмосфере отсутствовал.

**ГЛИКОЛИЗ** – процесс ферментативного анаэробного расщепления глюкозы и других органических соединений.

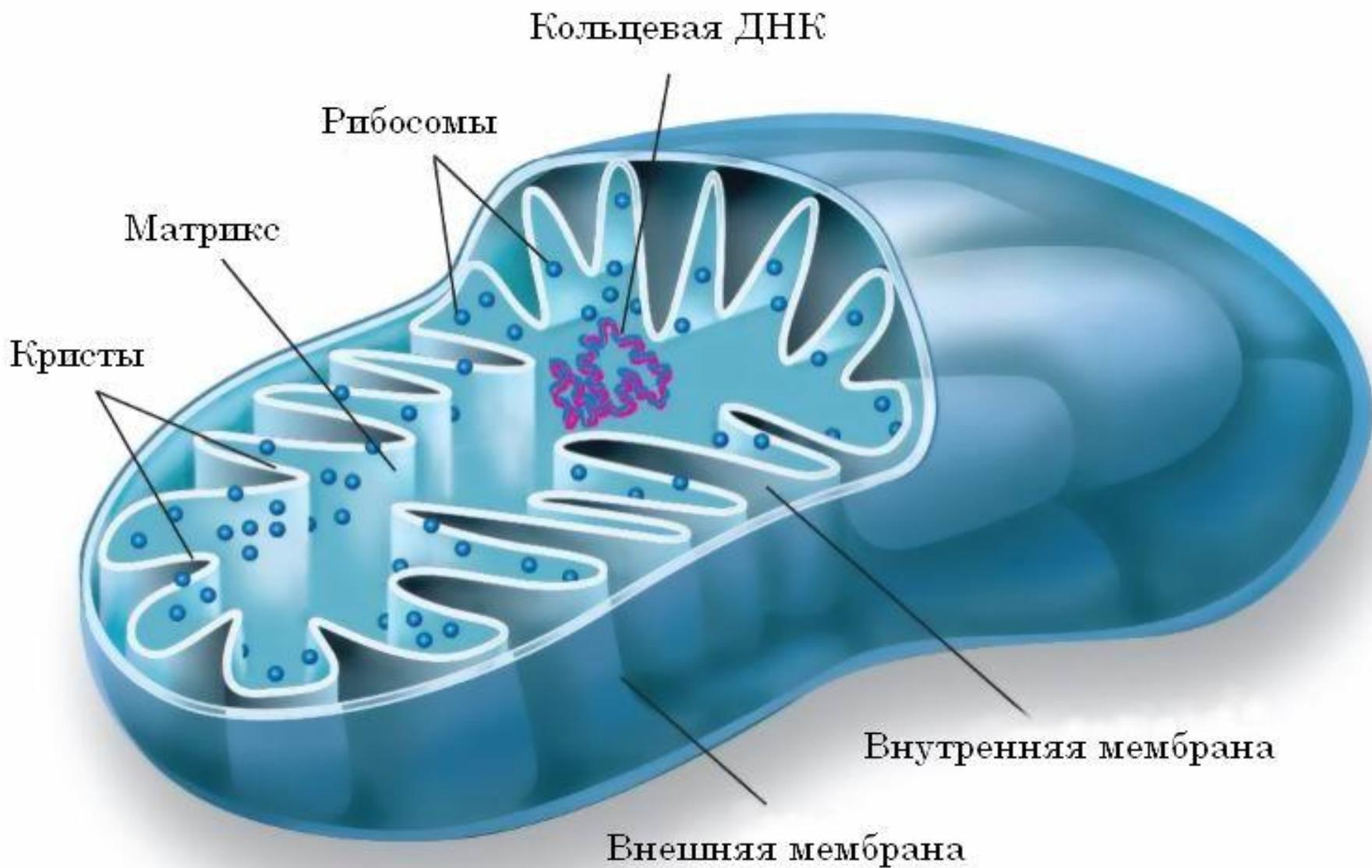
Этот процесс так же называется брожением. Термин «брожение» обычно применяют по отношению к процессам, протекающим в клетках микроорганизмов или растений.

Гликолиз идет в цитоплазме клеток и не связан с какими-либо мембранными системами.



- Большая часть энергии (60%) в реакции гликолиза рассеивается в виде тепла, и только 40% идет на синтез АТФ.





## Клеточное дыхание

У прокариот клеточное дыхание происходит на  
впячиваниях  
плазматической мембраны, а у эукариот – на мембранах  
специальных клеточных органоидов – **митохондрий**.

**Митохондрии** иногда называют «клеточными электростанциями». В клетке их количество сильно зависит от активности клетки.

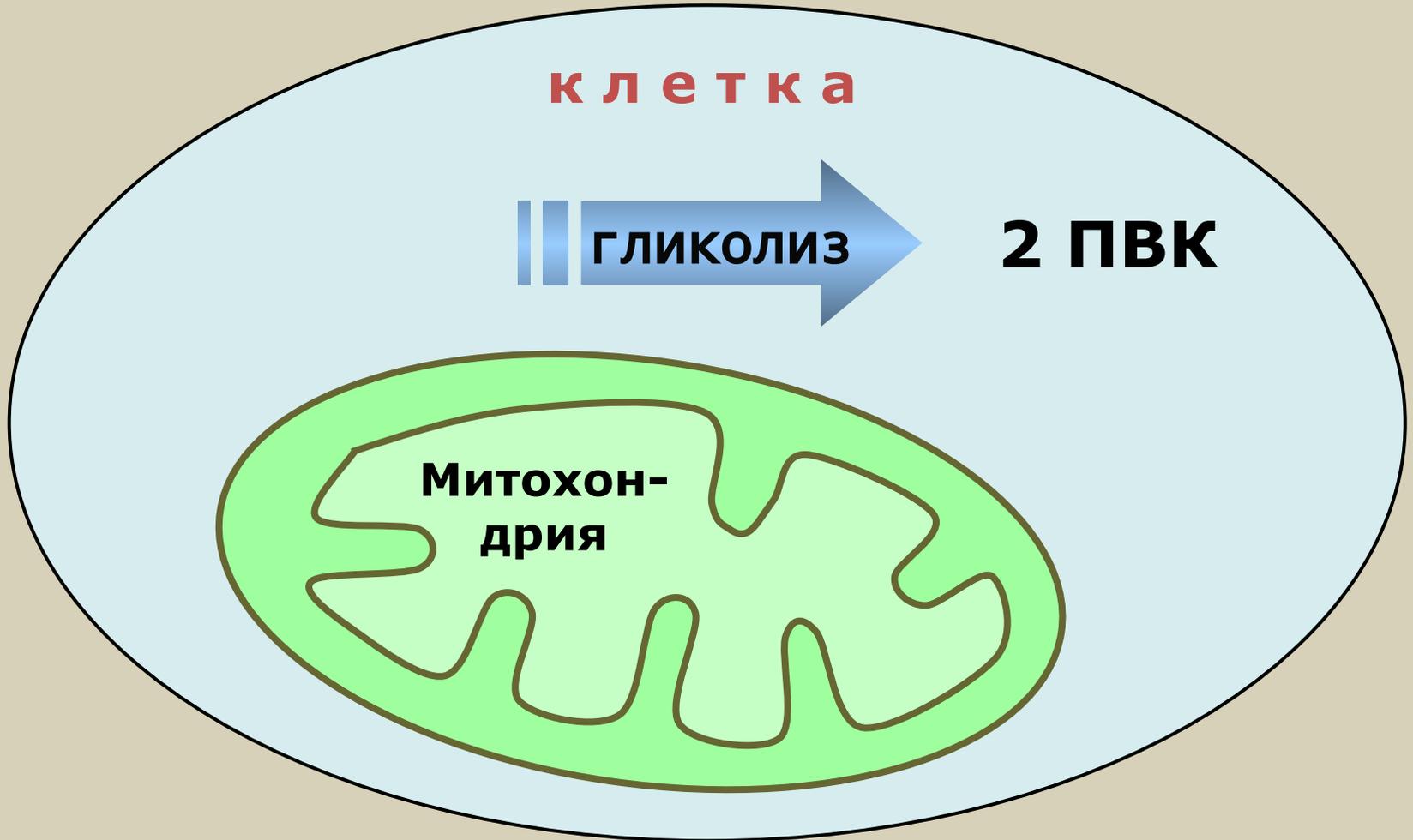
Важнейшей функцией митохондрий является синтез АТФ, происходящий за счёт окисления органических веществ.



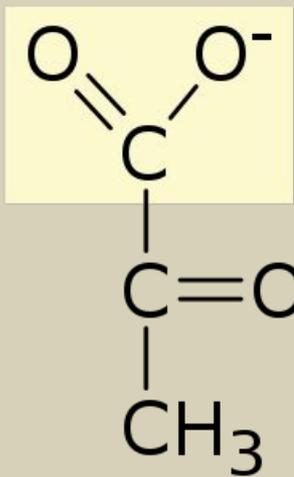
# Аэробный этап



Глюкоза



# Аэробное дыхание



Пируват

Ko-A-SH

Дегидрогеназа  
декарбоксилаза

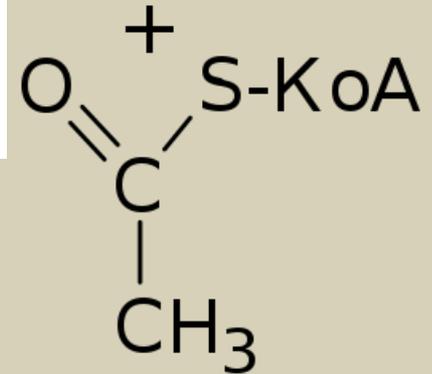


НАД<sup>+</sup>

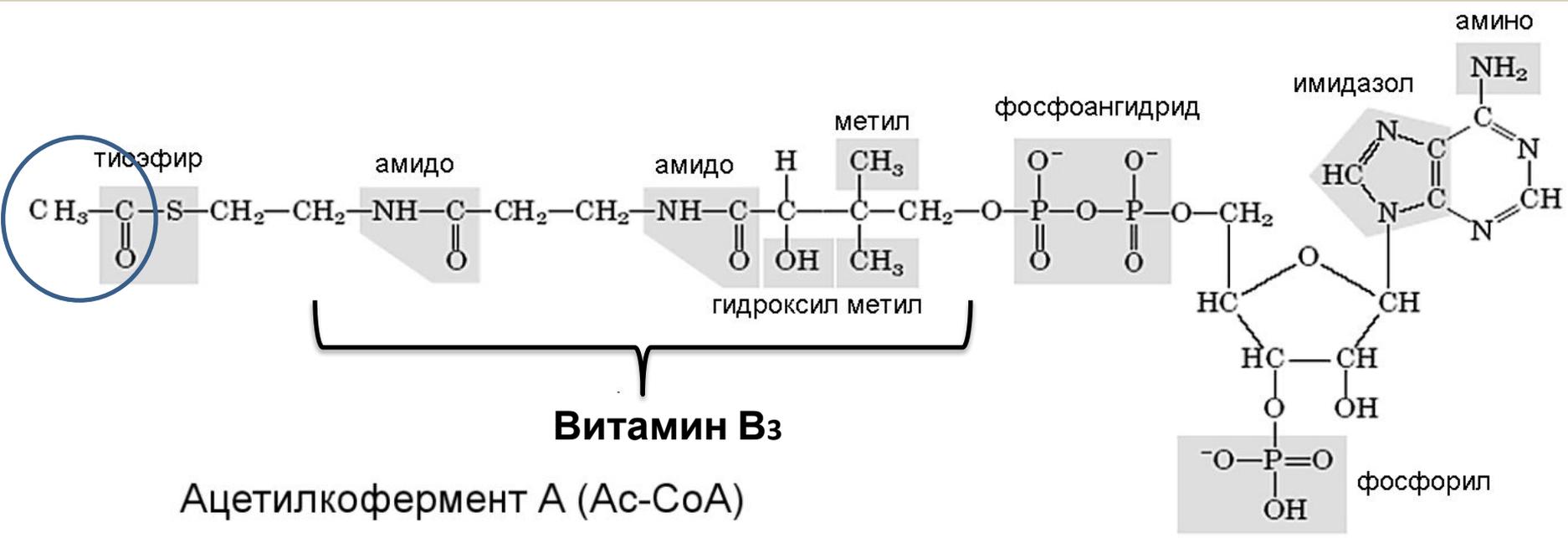
НАДН(Н<sup>+</sup>)

Пируватдегидрогеназный  
комплекс

CO<sub>2</sub>



Ацетил-  
кофермент А



# Аэробный этап

$O_2$

ПВК

Ацетил-КоА



Цикл  
Кребс

перенос  
чики E

АТФ

Митохондрия



# Ганс Адольф Кребс

- В **1937** г, изучая промежуточные стадии обмена углеводов, Кребс сделал важнейшее открытие в биохимии.
- Он описал цикл **лимонной кислоты**, или цикл **трикарбоновых кислот**, который в настоящее время называется **циклом Кребса**.
- Нобелевская премия по физиологии и медицине – **1953** г.



В цикле Кребса ВСЕ АТОМЫ  
УГЛЕРОДА, оставшиеся от  
ГЛЮКОЗЫ, окисляются до  $\text{CO}_2$

**Но основная масса АТФ  
еще не образовалась!**

И кислород еще в реакции не  
вступал!

## Третий этап – биологическое окисление, или дыхание

Этот этап протекает только в присутствии кислорода и иначе называется кислородным.

1. Пировиноградная кислота (ПВК) из цитоплазмы поступает в митохондрии, где теряет молекулу углекислого газа и превращается в производное уксусной кислоты (ацетил-коэнзим А, ацетил-КоА), и НАД•Н<sub>2</sub>.
2. В матриксе митохондрий уксусная кислота вступает в сложный цикл биохимических превращений, который получил название Цикл Кребса.

В результате ряда последовательных реакций происходит отщепление углекислого газа и окисление – снятие водорода с образующихся веществ. Углекислый газ, выделяется из митохондрий, а далее из клетки и организма в процессе дыхания. Весь водород, который снимается с промежуточных веществ, соединяется с переносчиком НАД<sup>+</sup>, и образуется НАД•2Н.

Общее уравнение декарбоксилирования и окисления ПВК:



[Проследим теперь путь молекул НАД•2Н.](#)





В результате работы цикла

Кребса:

- Выделяется  $2 \text{ CO}_2$

- 4 пары атомов Н

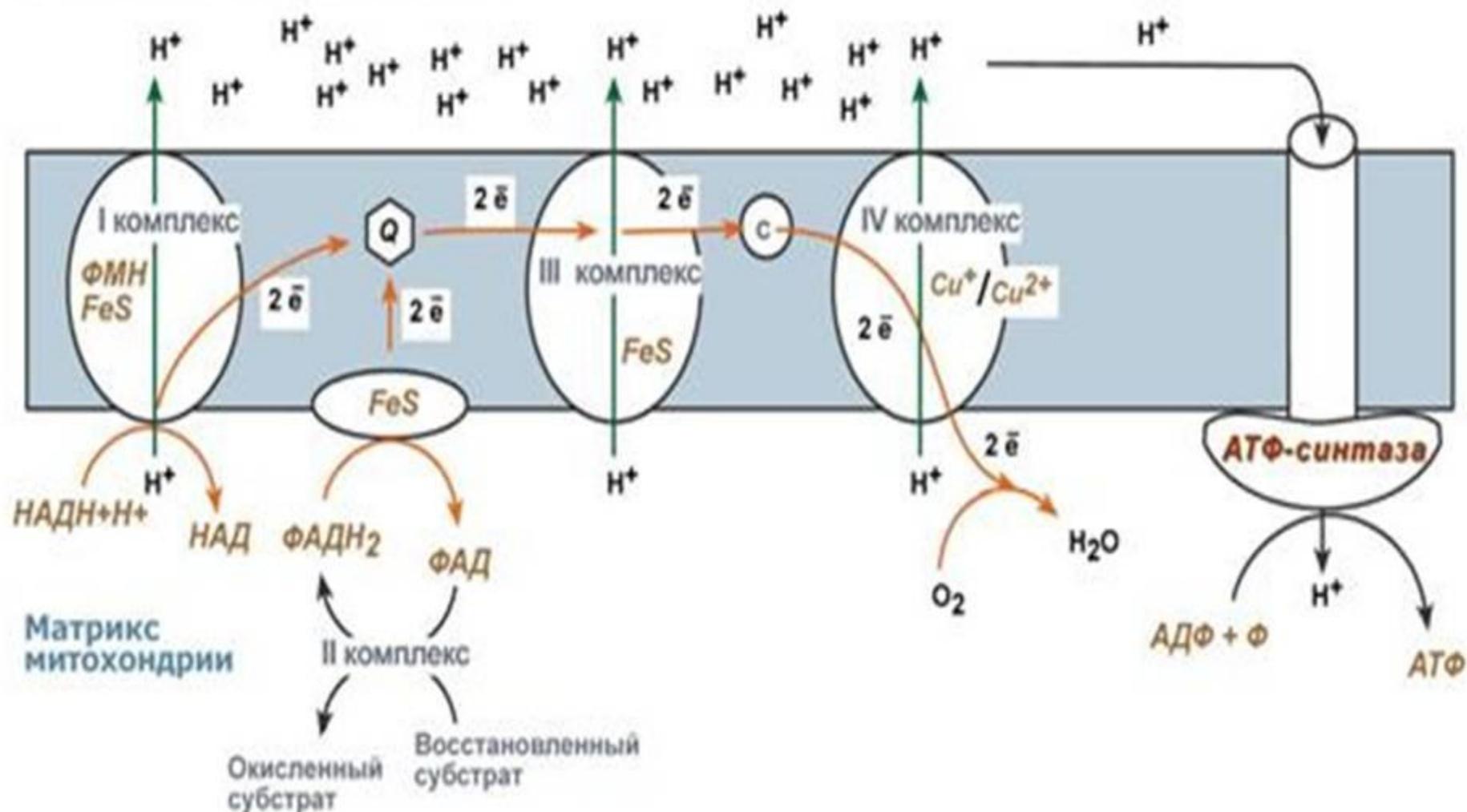
Биологическое значение цикла

Кребса:

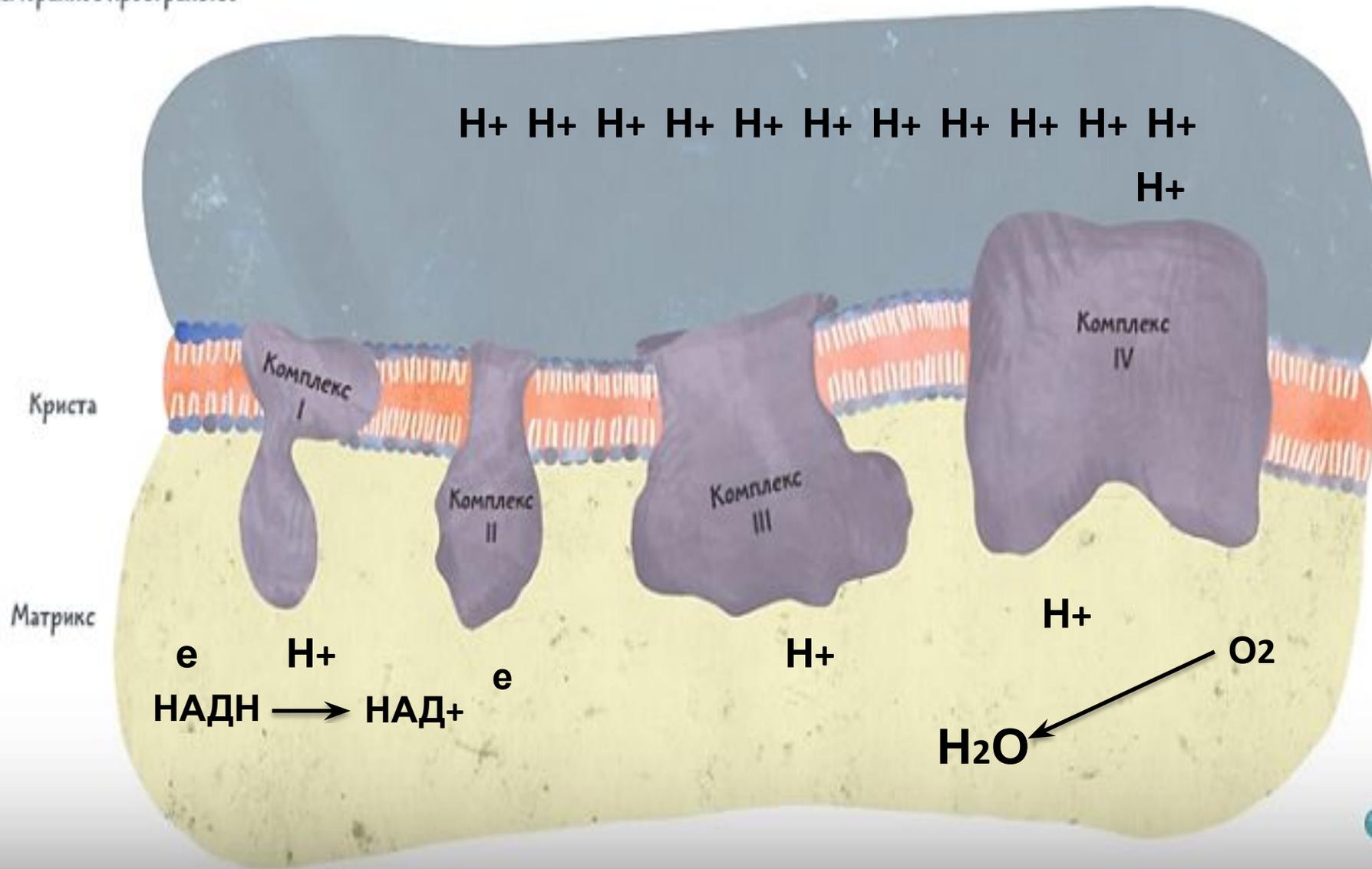
1. Синтез АТФ
2. Образование НАД\*Н
3. Промежуточные продукты используются для биосинтеза

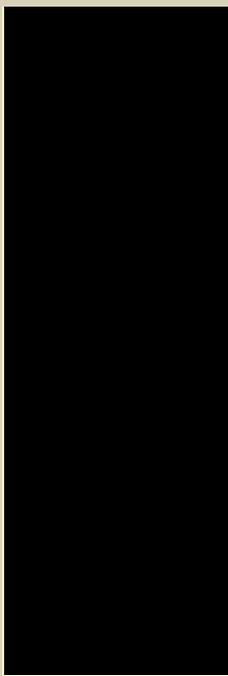
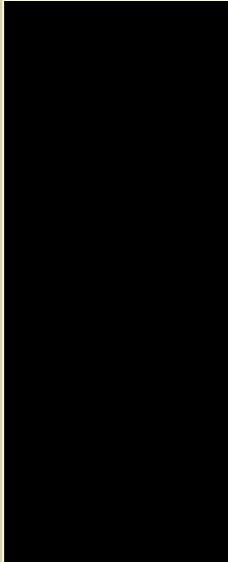
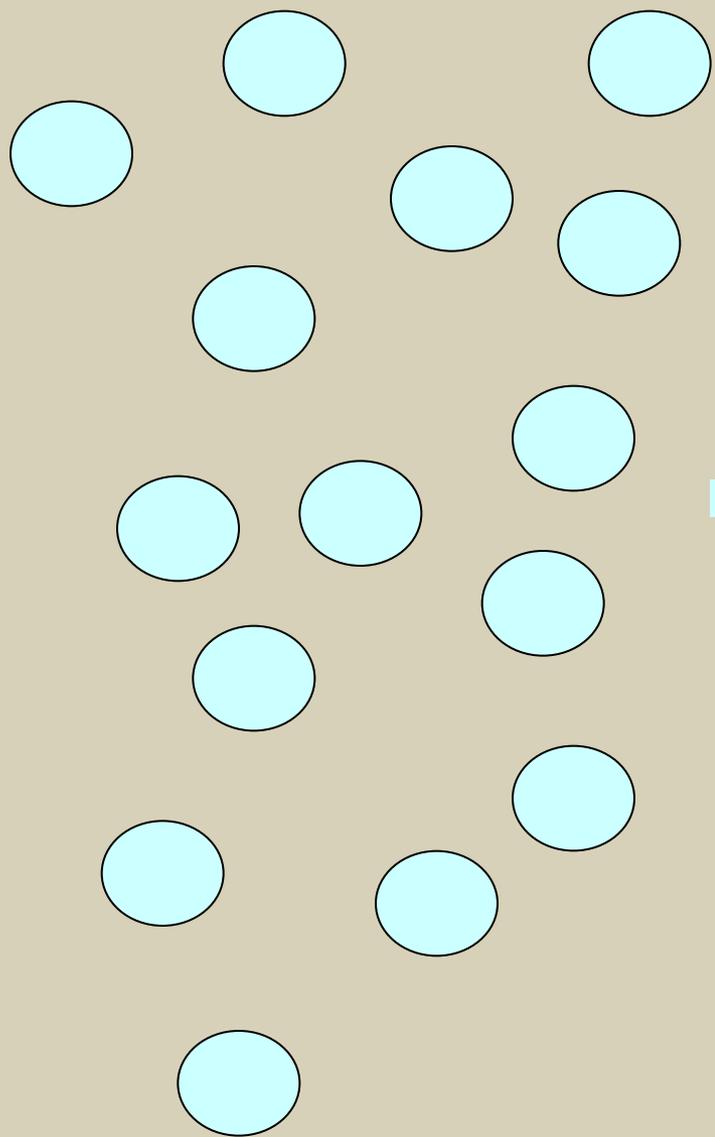
# Дыхательная цепь митохондрий.

Межмембранное пространство

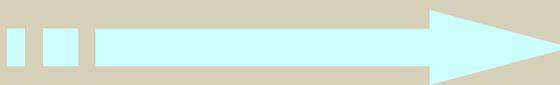


Межмембранное пространство

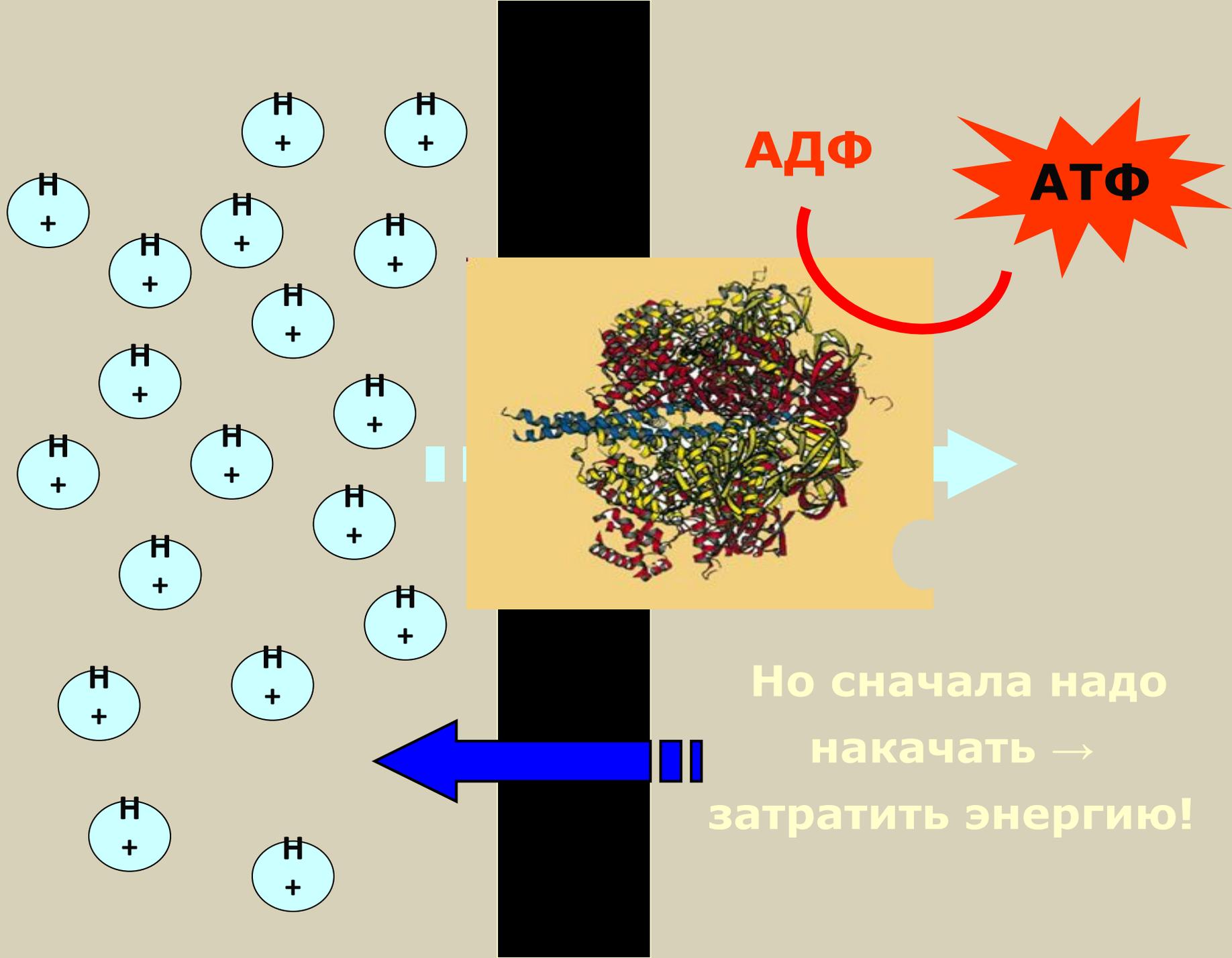




Можно запасти  
в АТФ !



**РАБОТА**  
**ЭНЕРГИЯ**

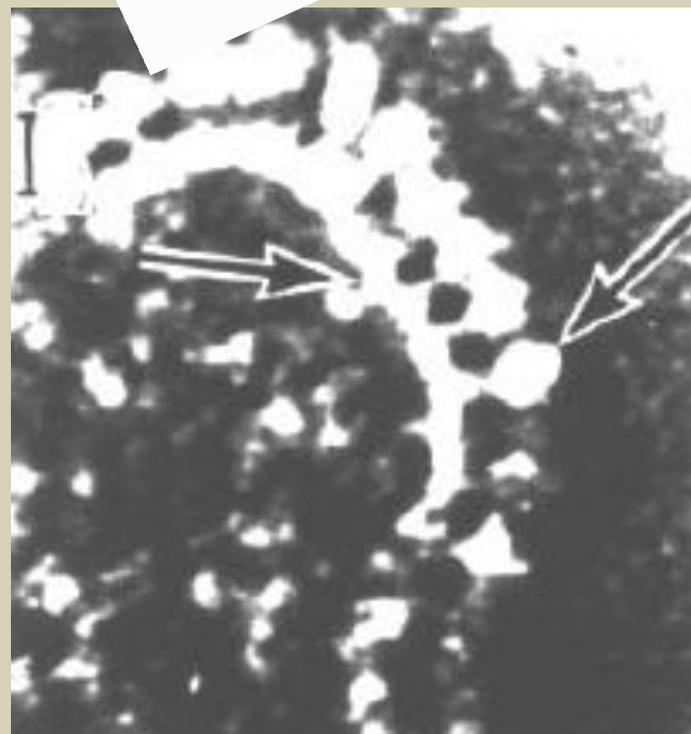
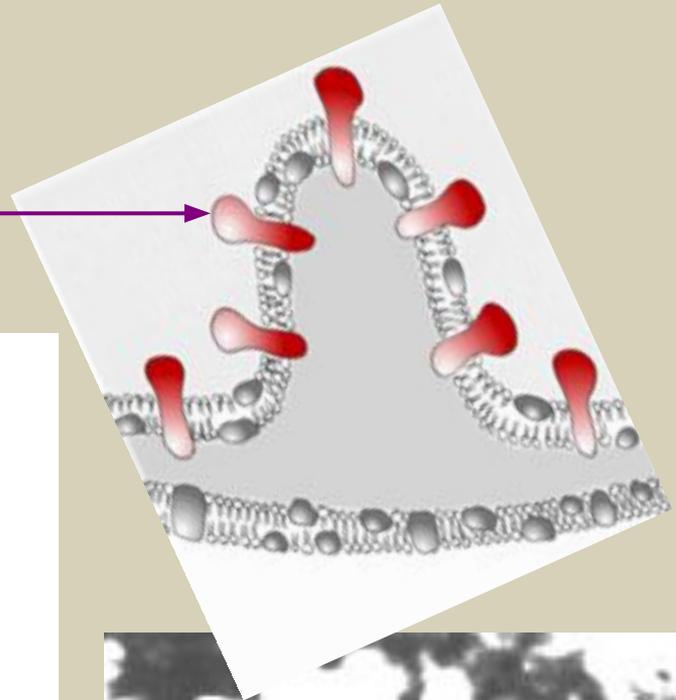
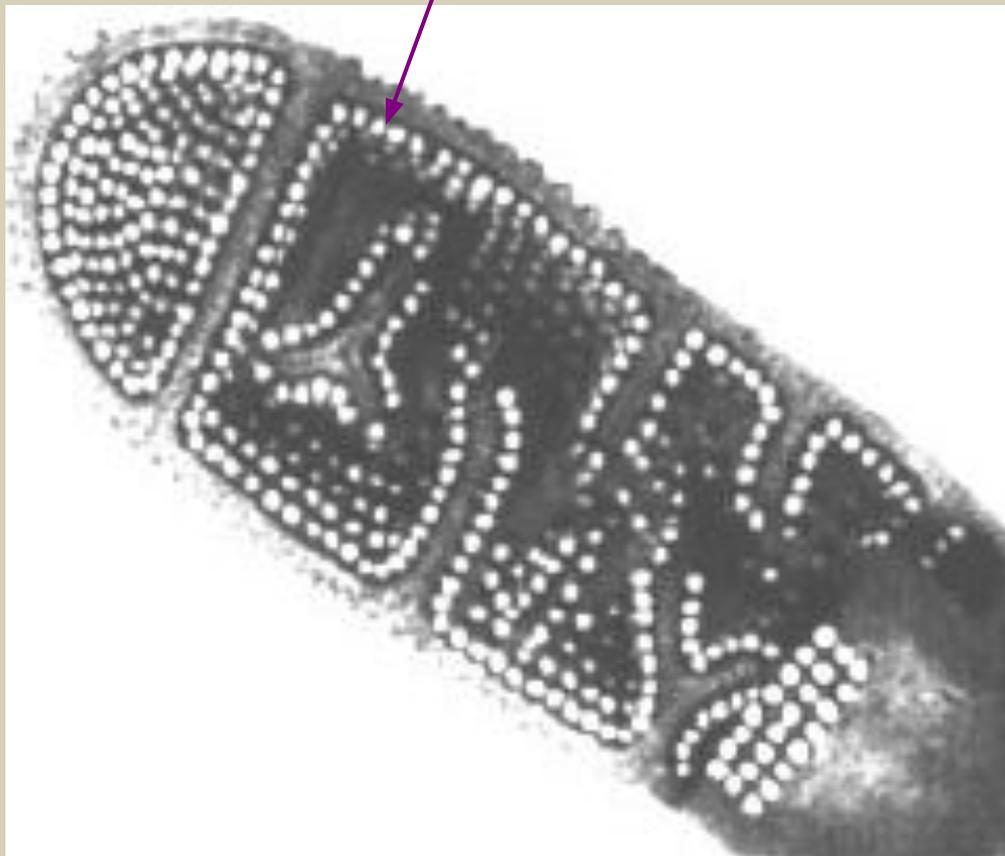


АДФ

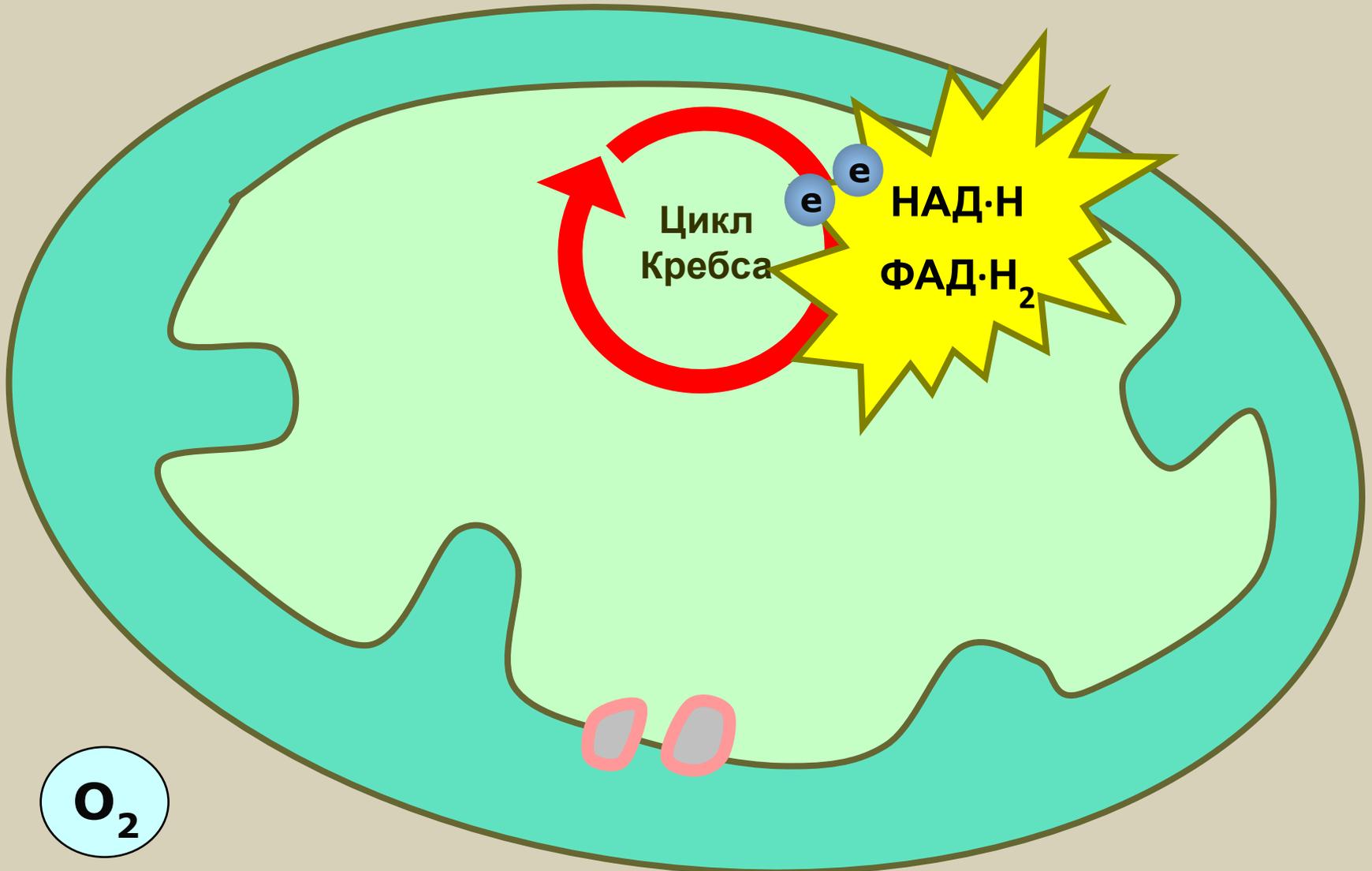
АТФ

Но сначала надо  
накачать →  
затратить энергию!

АТФ-синтаза



# Последний шаг к АТФ – цепь переноса электронов на внутренней мембране МХ



1. Цепь переноса электронов
2. Окислительное фосфорилирование



Жиры

Углеводы

Белки

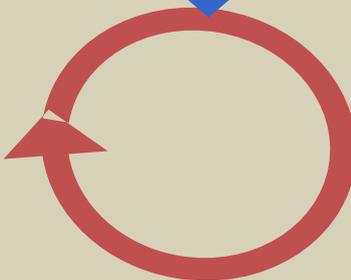
Глицерин

Сахара

Амино-  
кислоты

Жирные  
кислоты

Ацетил-Ко А



АТФ



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

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



**Питер Митчел (*Peter Mitchell*)**

*День рождения: 29.09.1920 года*

*Место рождения: Митчеме*

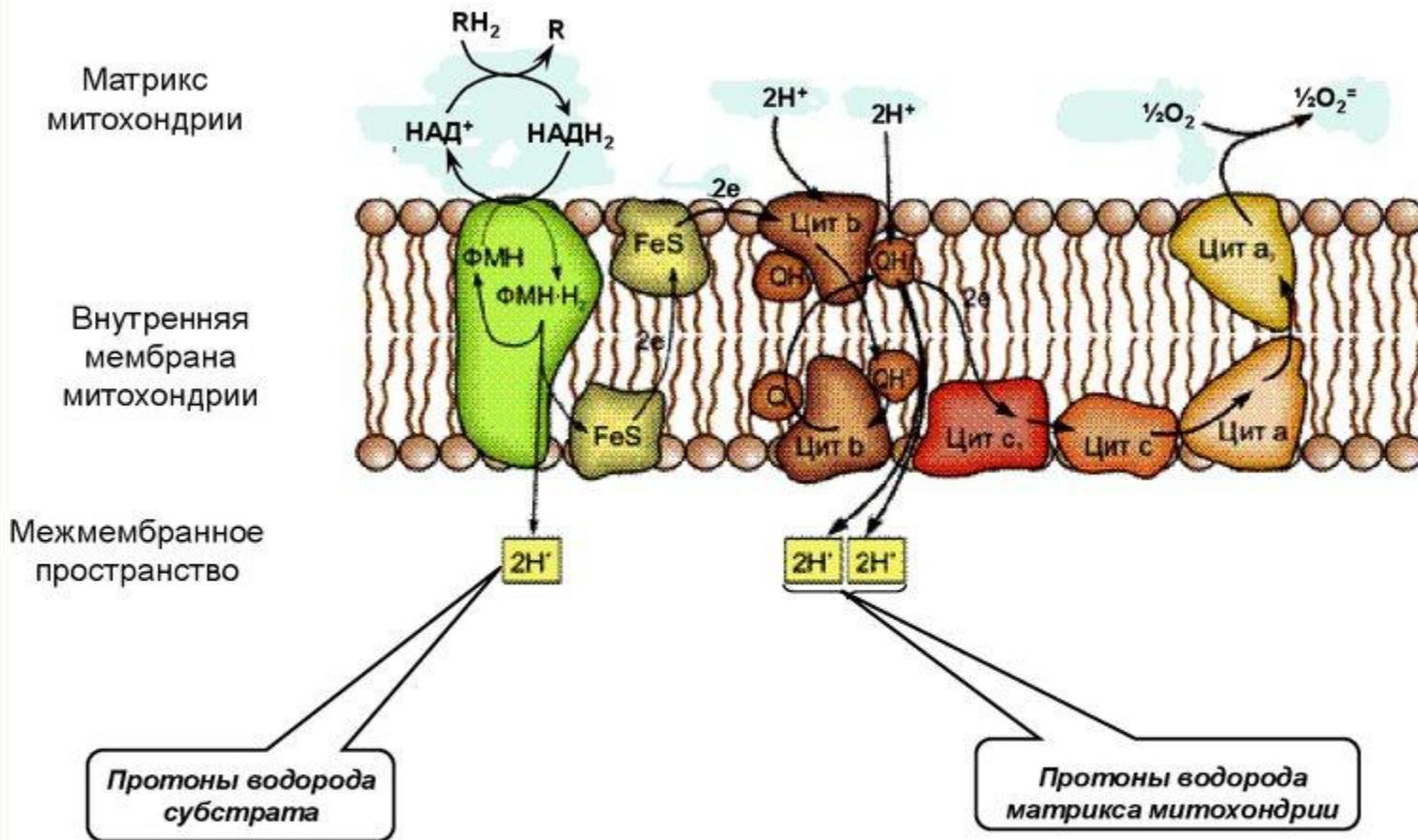
*(графство Суррей)*

*Дата смерти: 10.04.1992 года*

*Место смерти: Бодмин*



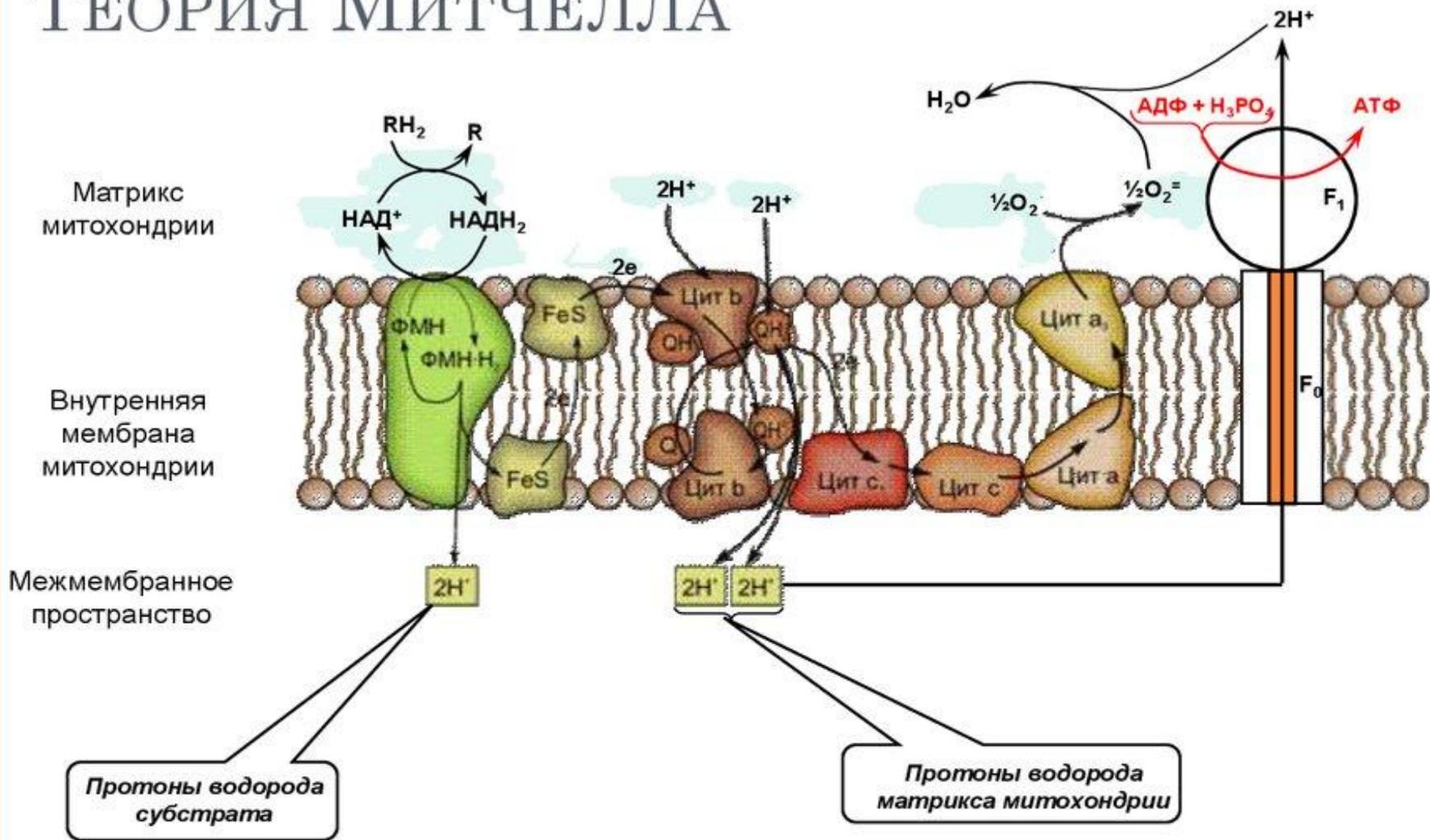
# ТЕОРИЯ МИТЧЕЛЛА



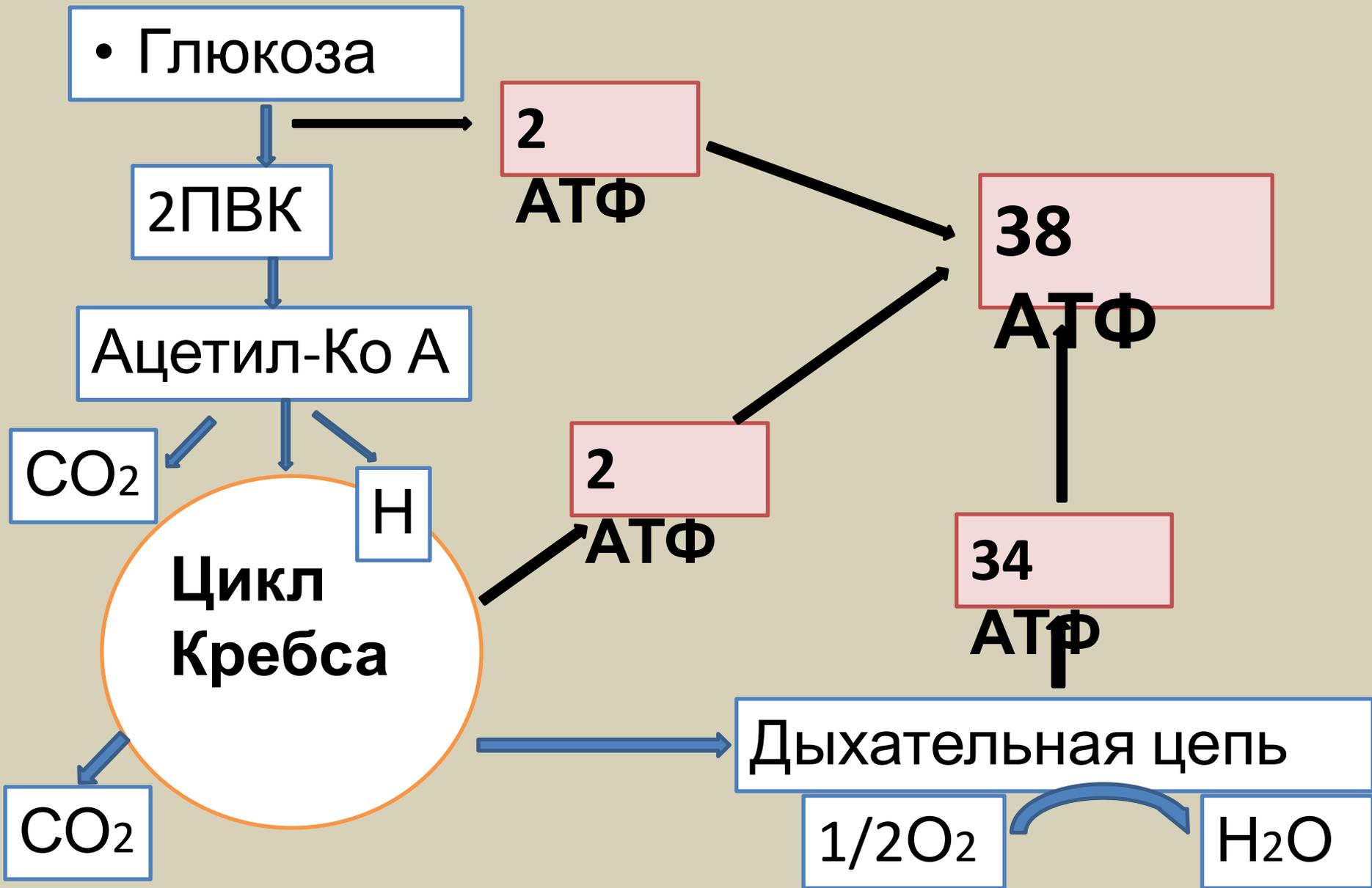
Дыхательная цепь выполняет роль **протонного насоса**, перекачивая протоны в межмембранное пространство (пространство между наружной и внутренней мембранами митохондрии).

В результате между поверхностями мембраны создаётся разность потенциалов.

# ТЕОРИЯ МИТЧЕЛЛА



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.



# Энергетический выход

Гликолиз	Дыхание
40% - АТФ 60% - тепловая энергия	55% - АТФ 45% - тепловая энергия

# ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫЙ ЭТАП

пищеварительный канал

БЕЛКИ

АМИНОКИСЛОТЫ

УГЛЕВОДЫ

ГЛЮКОЗА  
 $C_6H_{12}O_6$

ЖИРЫ

ГЛИЦЕРИН

ЖИРНЫЕ КИСЛОТЫ

ЦИТОПЛАЗМА КЛЕТКИ

ГЛИКОЛИЗ (БЕСКИСЛОРОДНЫЙ ЭТАП)

2АТФ +  
2НАД·Н<sub>2</sub>

ПИРОВИНОГРАДНАЯ  
КИСЛОТА  
 $2C_3H_4O_3$

2Н<sub>2</sub>О +  
ТЕПЛО

МИТОХОНДРИИ

КЛЕТОЧНОЕ ДЫХАНИЕ (КИСЛОРОДНЫЙ ЭТАП)

36АТФ +  
2НАД·Н<sub>2</sub>

42Н<sub>2</sub>О + 6СО<sub>2</sub> +  
ТЕПЛО

ИТОГО:

38АТФ +  
4НАД·Н<sub>2</sub>

# Почему при окислении органических соединений освобождается энергия?

Электроны в составе молекул органических веществ обладают большим запасом энергии, поскольку находятся на высоких энергетических уровнях этих молекул. Перемещаясь с высшего на более низкий энергетический уровень электроны освобождают энергию. Конечным акцептором электронов часто служит кислород. В этом и состоит его главная биологическая роль — именно для этой цепи аэробам необходим

Процессы биологического окисления:

- протекают ступенчато;
- при участии ферментов и переносчиков электронов;
- 55% энергии превращается в энергию высокоэнергетических связей АТФ;
- 45% энергии превращается в тепло.

**Глюкоза – один из основных источников энергии для клеток.**

## Этапы энергетического обмена

	<b>Подготовительный этап</b>	<b>Бескислородный этап</b> <b>Гликолиз</b>	<b>Кислородный этап</b>
<b>Где происходит расщепление?</b>			
<b>Чем активизируется расщепление?</b>			
<b>До каких веществ расщепляются соединения клетки?</b>			
<b>Сколько выделяется энергии?</b>			
<b>Сколько синтезируется энергии в виде АТФ?</b>			

## Этапы энергетического обмена



	<b>Подготовительный этап</b>	<b>Бескислородный этап</b> <u>Гликолиз</u>	<b>Кислородный этап</b>
<b>Где происходит расщепление?</b>	<b>В органах пищеварения, в клетках под действием ферментов</b>	<b>Внутри клетки</b>	<b>В митохондриях</b>
<b>Чем активизируется расщепление?</b>	<b>Ферментами пищеварительных соков</b>	<b>Ферментами мембран клеток</b>	<b>Ферментами митохондрий</b>
<b>До каких веществ расщепляются соединения клетки?</b>	<b>Белки – аминокислоты Жиры – глицерин и жирные кислоты Углеводы - глюкоза</b>	<b>Глюкоза (<math>C_6H_{12}O_6</math>) 2 молекулы пировиноградной кислоты (<math>C_3H_4O_3</math>) + энергия</b>	<b>Пировиноградная кислота до <math>CO_2</math> и <math>H_2O</math></b>
<b>Сколько выделяется энергии?</b>	<b>Мало, рассеивается в виде тепла.</b>	<b>За счет 40% синтезируется АТФ, 60% рассеивается в виде тепла</b>	<b>Более 60% энергии запасается в виде АТФ</b>
<b>Сколько синтезируется энергии в виде АТФ?</b>	<b>_____</b>	<b>2 молекулы АТФ</b>	<b>36 молекул АТФ</b>