

# Энергетический обмен

# Биологическое окисление

Обмен веществ (метаболизм) = ассимиляции + диссимиляции

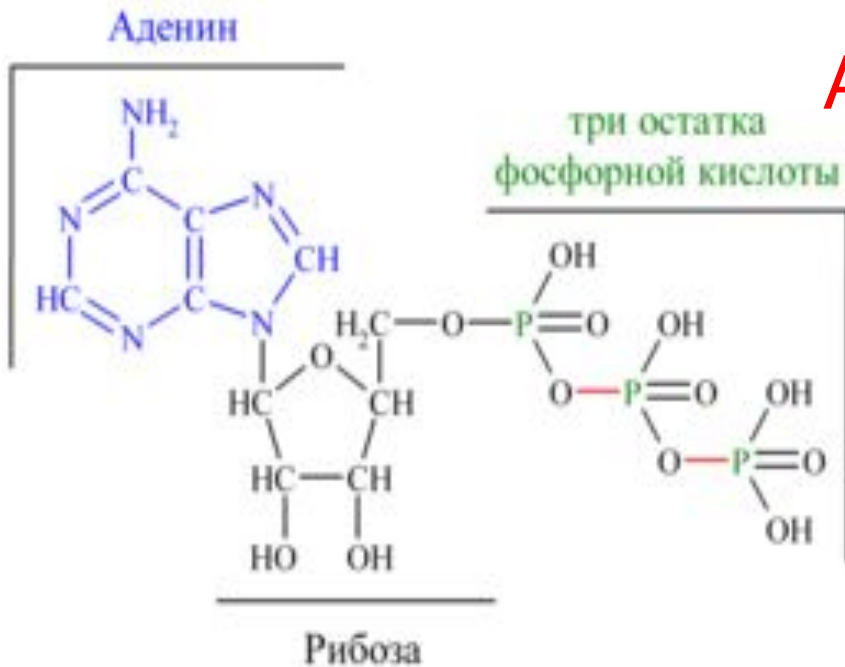
Органические вещества пищи являются основным источником не только *материи*, но и *энергии* для жизнедеятельности клеток организма. При образовании сложных органических молекул была затрачена энергия, потенциально она находится в форме образованных химических связей. В результате реакций энергетического обмена происходит окисление сложных молекул до более простых и разрушение химических связей, при этом происходит высвобождение энергии.

Биологическое окисление в клетках происходит *с участием O<sub>2</sub>*:



и без его участия, *за счет дегидрирования* или *переноса электронов* от одного вещества к другому:

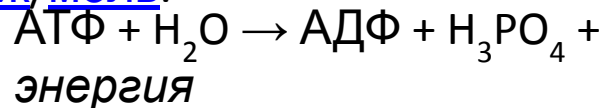




## АТФ

**Аденозинтрифосфат ( АТФ) — нуклеотид**, играет исключительно важную роль в обмене энергии и веществ в организмах; в первую очередь соединение известно как универсальный источник энергии для всех биохимических процессов, протекающих в живых системах.

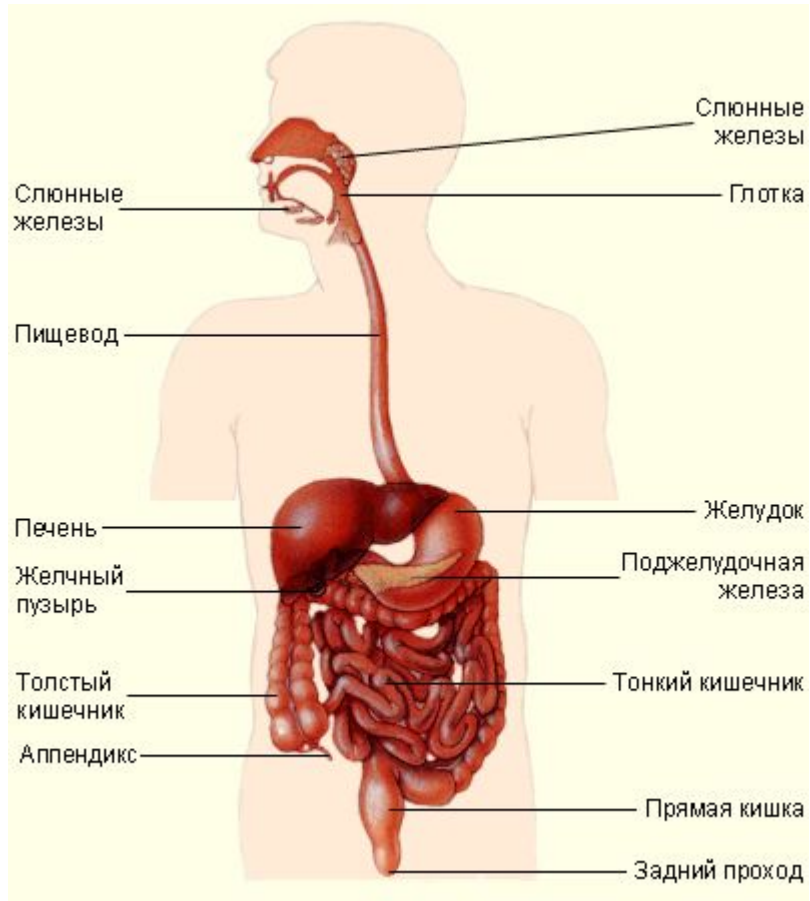
АТФ относится к так называемым макроэргическим соединениям, то есть к химическим соединениям, содержащим связи, при гидролизе которых происходит освобождение значительного количества энергии. Гидролиз макроэргических связей молекулы АТФ, сопровождаемый отщеплением 1 или 2 остатков фосфорной кислоты, приводит к выделению, по различным данным, от 40 до 60 кДж/моль.



На II и III этапах энергетического обмена происходит обратная реакция — фосфорилирования АДФ в АТФ



# Биологическое окисление



Процесс энергетического обмена можно разделить на три этапа:

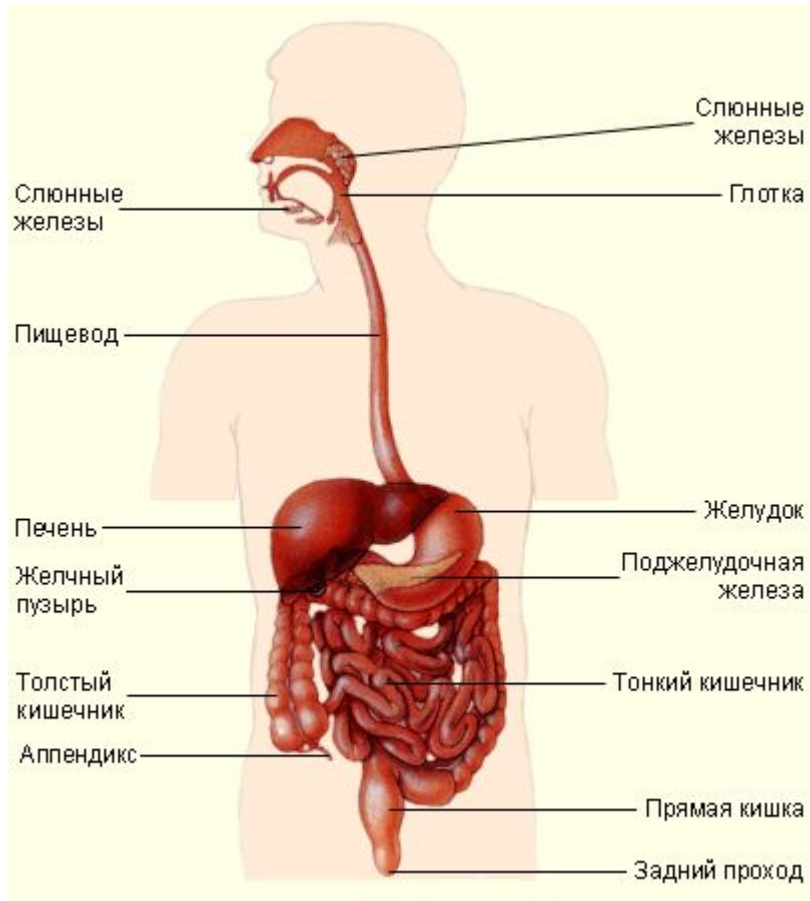
на первом этапе происходит пищеварение, то есть **сложные органические молекулы расщепляются до мономеров**;

на втором происходит **бескислородное окисление этих мономеров, субстратное фосфорилирование**;

последнем этапе происходит **окисление с участием кислорода в митохондриях**.

# Биологическое окисление

## *Подготовительный этап.*



Под действием ферментов пищеварительного тракта или ферментов лизосом

Сложные органические молекулы расщепляются:

**белки** до .....

**жиры** — до .....

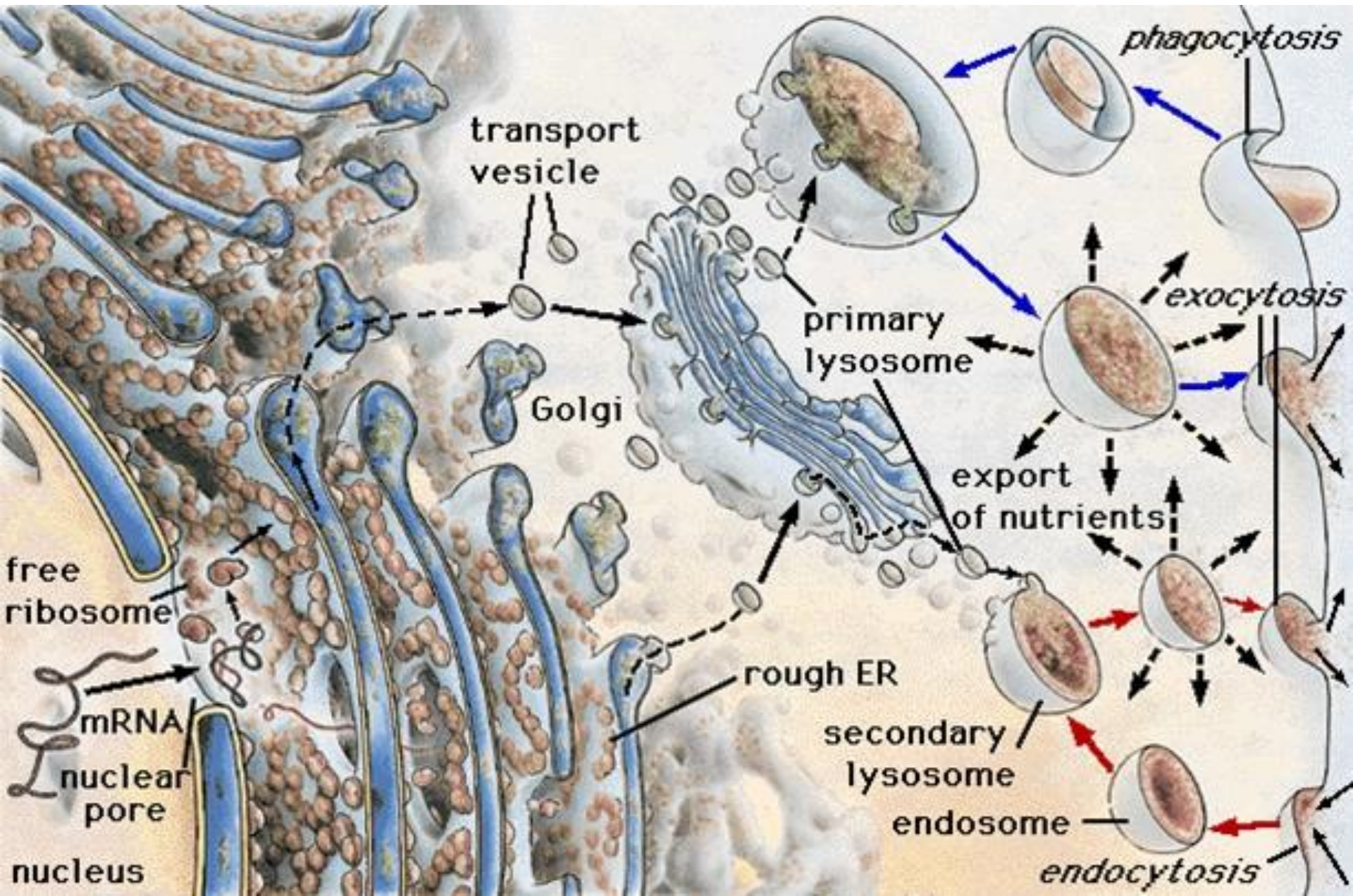
**углеводы** — до .....

**нуклеиновые кислоты** — .....

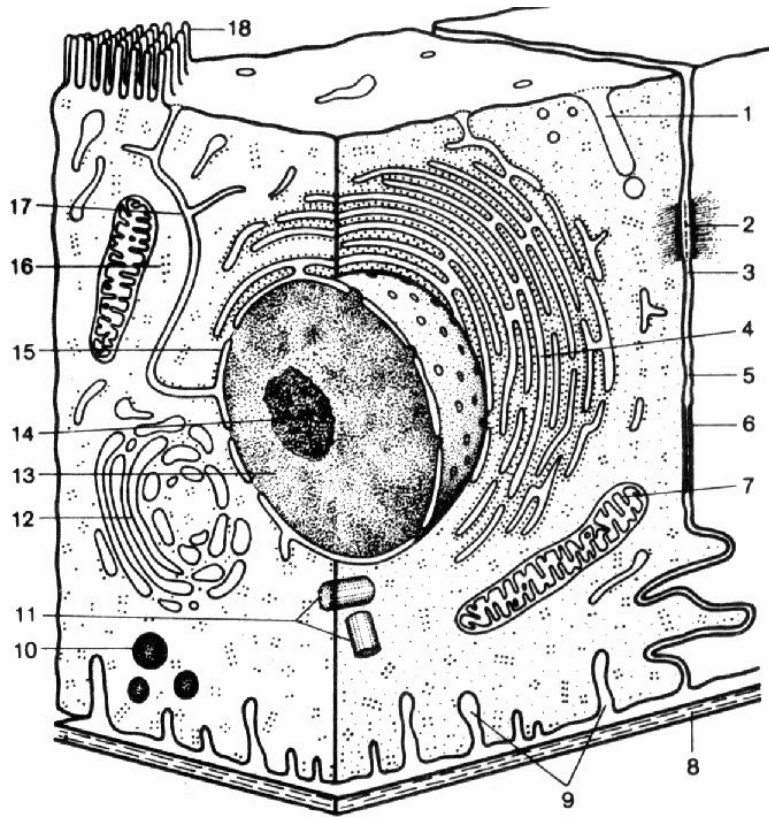
Вся энергия при этом рассеивается в виде тепла.



# Биологическое окисление

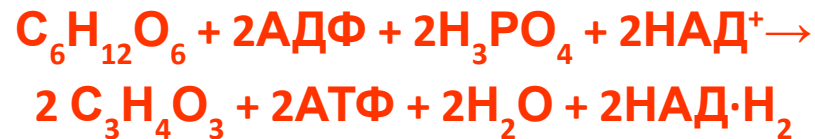


## Гликолиз, или бескислородное окисление, субстратное фосфорилирование.



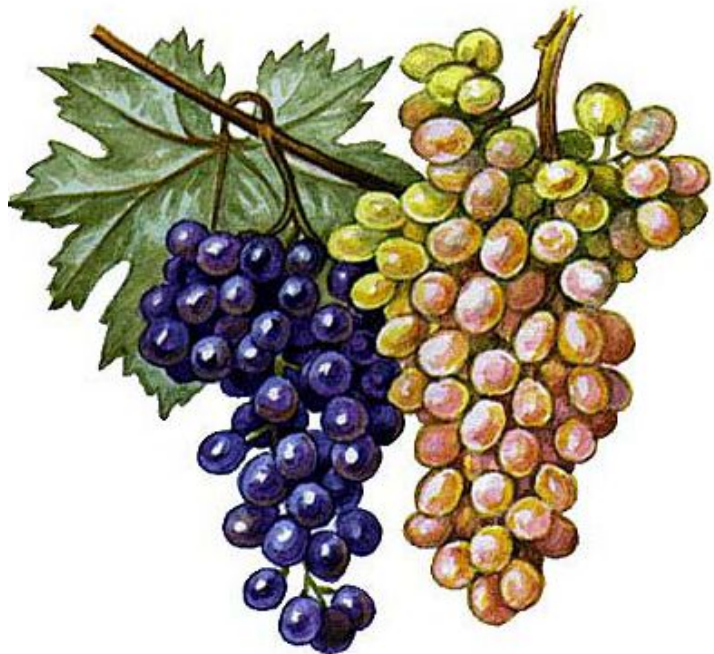
Окисление глюкозы в клетках без участия кислорода происходит путем дегидрирования, акцептором H служит кофермент НАД<sup>+</sup>. Реакции протекают в цитоплазме, **глюкоза** с помощью 10 ферментативных реакций превращается в **2 молекулы ПВК — пировиноградной кислоты** и образуется восстановленная форма переносчика водорода НАД·Н<sub>2</sub> (никотинамидаденин-динуклеотида).

При этом образуется 200 кДж энергии, 120 рассеивается в форме тепла, 80 кДж запасается в форме 2 моль АТФ (КПД = 40%):





## Гликолиз, или бескислородное окисление, субстратное фосфорилирование.



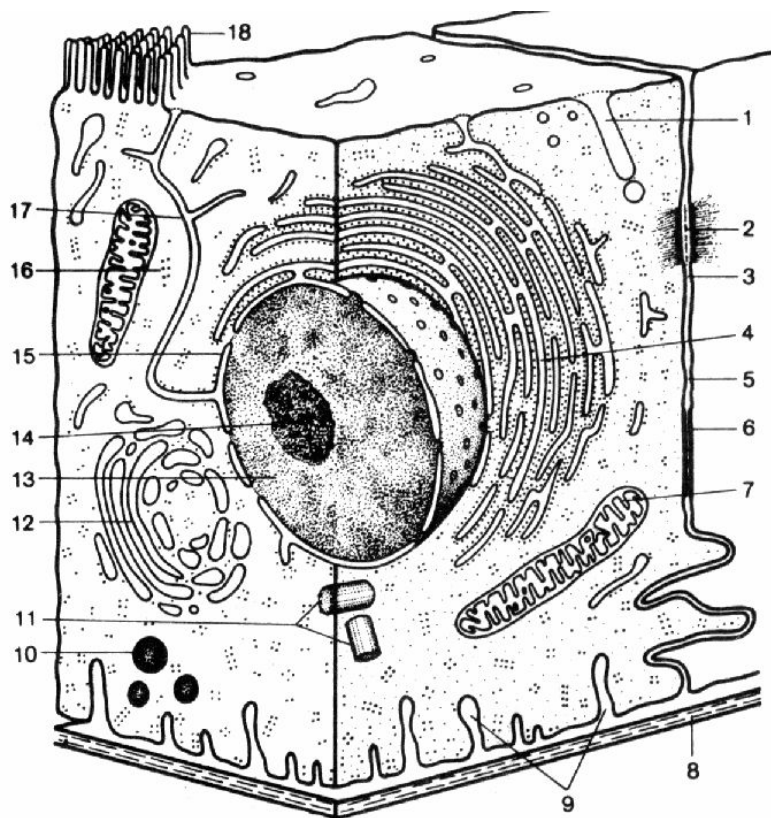
Дальнейшая судьба ПВК зависит от присутствия  $O_2$  в клетке.

Если  $O_2$  нет, происходит **анаэробное брожение (дыхание)**, причем у дрожжей и растений происходит *спиртовое брожение*, при котором сначала происходит образование уксусного альдегида, а затем этилового спирта:

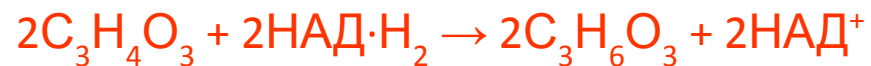




## Гликолиз, или бескислородное окисление, субстратное фосфорилирование.



У животных и некоторых бактерий при недостатке  $O_2$  происходит **молочнокислое брожение** с образованием молочной кислоты:



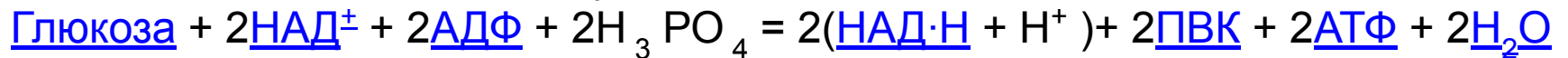


# Гликолиз



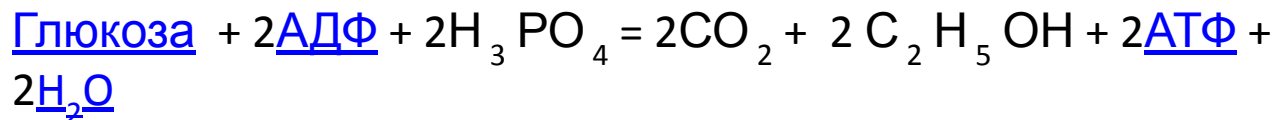
- Гликолиз — путь ферментативного расщепления глюкозы — является общим практически для всех живых организмов процессом. У аэробов он предшествует собственно клеточному дыханию, у анаэробов завершается брожением. Сам по себе гликолиз является полностью анаэробным процессом и для осуществления не требует присутствия кислорода.

Уравнение гликолиза имеет следующий вид:



Уравнение брожения имеет следующий

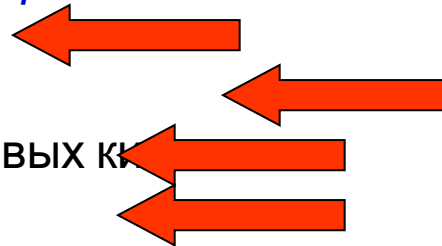
вид:



## Повторение. Какие ответы верны:

**\*\*Тест 1. На подготовительном этапе энергетического обмена происходит:**

1. Гидролиз белков до аминокислот.
2. Гидролиз жиров до глицерина и карбоновых кислот.
3. Гидролиз углеводов до моносахаридов.
4. Гидролиз нуклеиновых кислот до нуклеотидов.



**Тест 2. Обеспечивают гликолиз:**

1. Ферменты пищеварительного тракта и лизосом.
2. Ферменты цитоплазмы.
3. Ферменты цикла Кребса.
4. Ферменты дыхательной цепи.




**Тест 3. В результате бескислородного окисления в клетках у животных при недостатке  $O_2$  образуется:**

1. ПВК.
2. Молочная кислота.
3. Этиловый спирт.
4. Ацетил-КоА.




## Повторение. Какие ответы верны:


*Тест 4. В результате бескислородного окисления в клетках у растений при недостатке  $O_2$  образуется:*

1. ПВК.
2. Молочная кислота.
3. Этиловый спирт. 
4. Ацетил-КоА.

*Тест 5. При гликолизе моль глюкозы образуется всего энергии:*

1. 200 кДж. 
2. 400 кДж.
3. 600 кДж.
4. 800 кДж.




*Тест 6. Три моль глюкозы подверглось гликолизу в животных клетках при недостатке кислорода. При этом углекислого газа выделилось:*

1. 3 моль.
2. 6 моль. 
3. 12 моль.
4. Углекислый газ в животных клетках при гликолизе не выделяется.





## Повторение. Какие ответы верны:

**\*\*Тест 7. К биологическому окислению относятся:**

1. Окисление вещества А в реакции:  $A + O_2 \rightarrow AO_2$ . 
2. Дегидрирование вещества А в реакции:  $AH_2 + B \rightarrow A + BH_2$ . 
3. Потеря электронов ( $Fe_2^+$  в реакции  $Fe_2^+ \rightarrow Fe_3^+ + e^-$ ). 
4. Приобретение электронов ( $Fe_3^+$  в реакции  $Fe_3^+ + e^- \rightarrow Fe_2^+$ ).

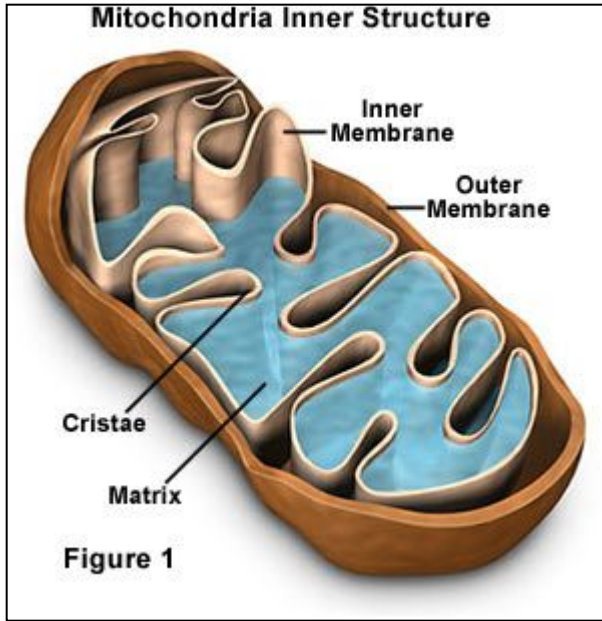
**\*\*Тест 8. Реакции подготовительного этапа происходят:**

1. В пищеварительном тракте. 
2. В митохондриях.
3. В цитоплазме.
4. В лизосомах. 

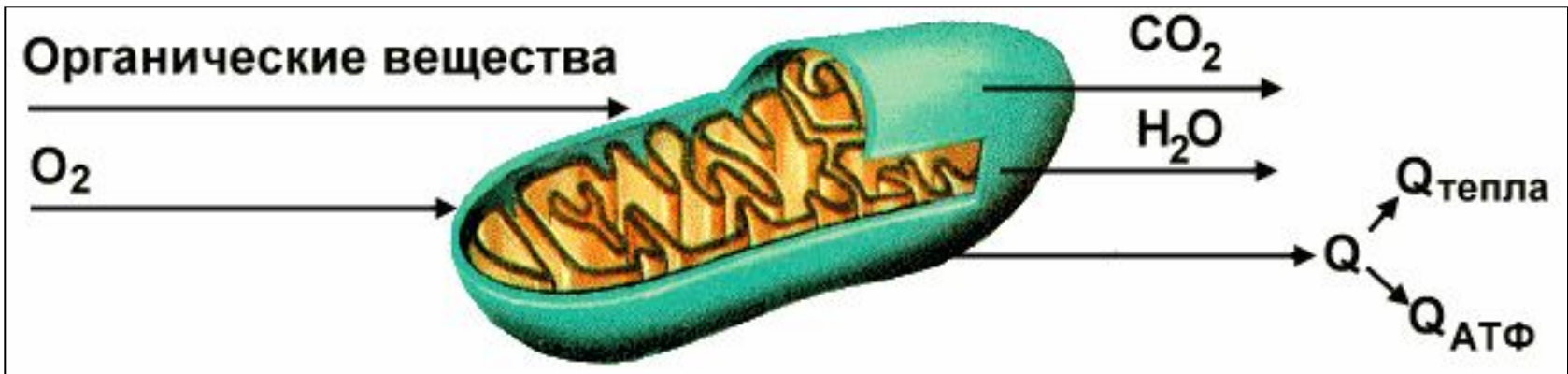
**Тест 9. Энергия, которая выделяется в реакциях подготовительного этапа:** 

1. Рассеивается в форме тепла.
2. Запасается в форме АТФ.
3. Большая часть рассеивается в форме тепла, меньшая — запасется в форме АТФ.
4. Меньшая часть рассеивается в форме тепла, большая — запасется в форме АТФ.

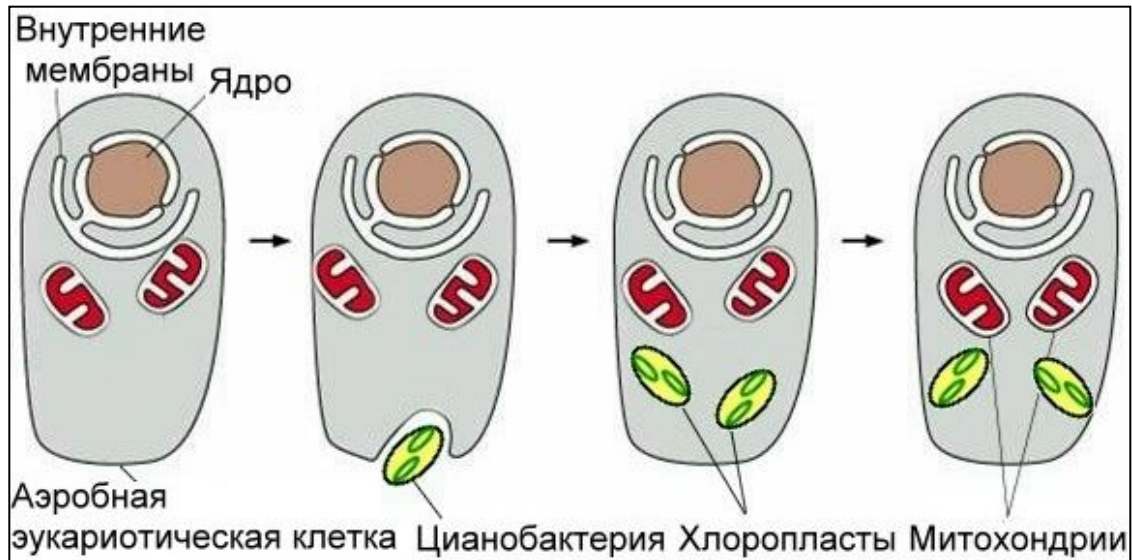
# Кислородное окисление - дыхание



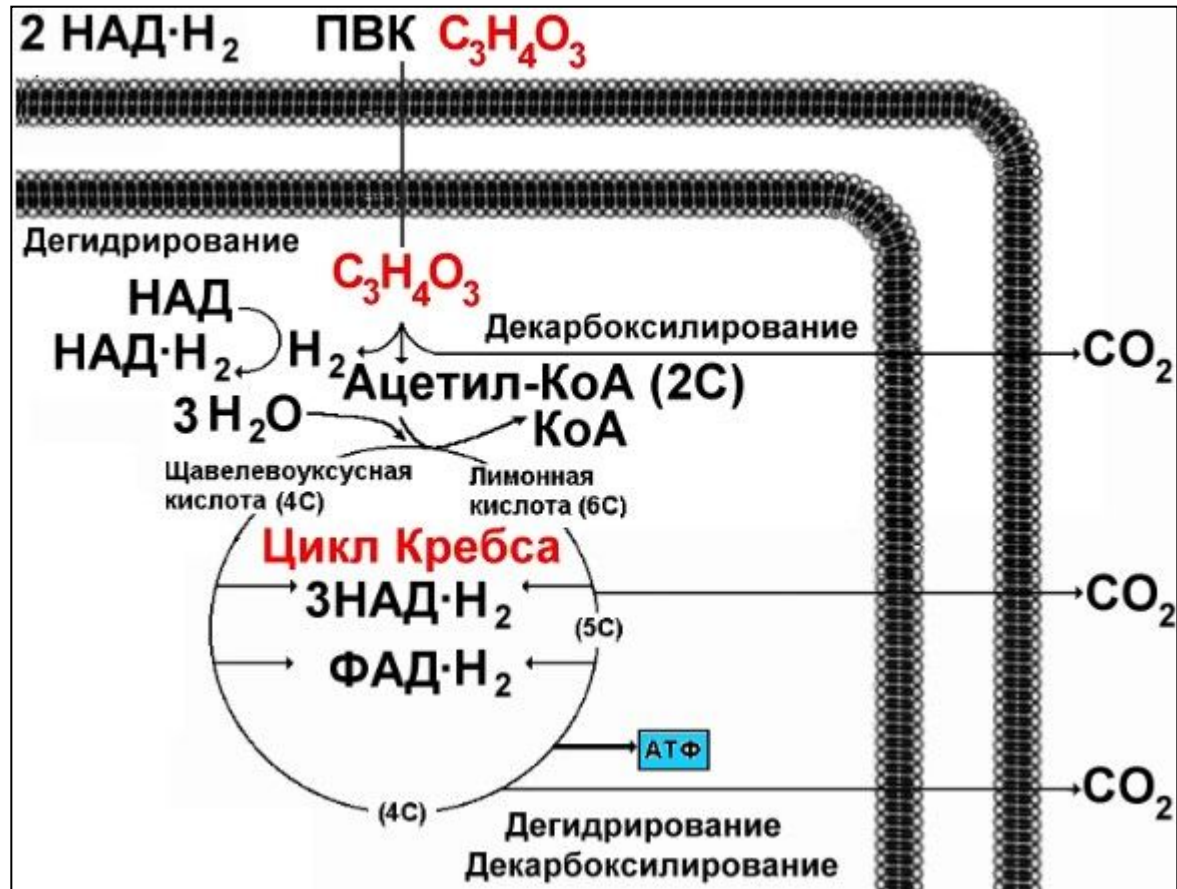
Третий этап энергетического обмена — **кислородное окисление**, или **дыхание**, происходит в митохондриях.  
Как устроены митохондрии?  
Каковы функции митохондрий?  
Каково происхождение митохондрий?



# Кислородное окисление - дыхание



## Кислородное окисление - дыхание

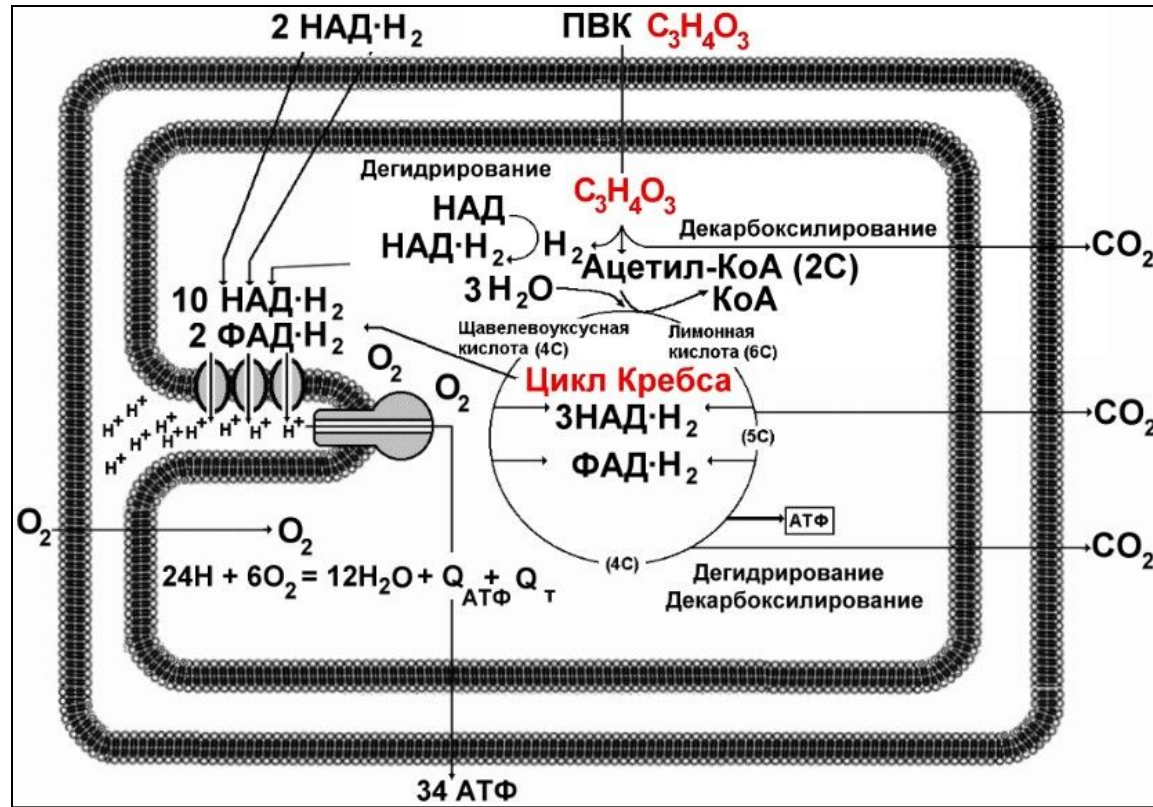


Суммарная реакция гликолиза и разрушения ПВК в митохондриях до водорода и углекислого газа выглядит следующим образом:





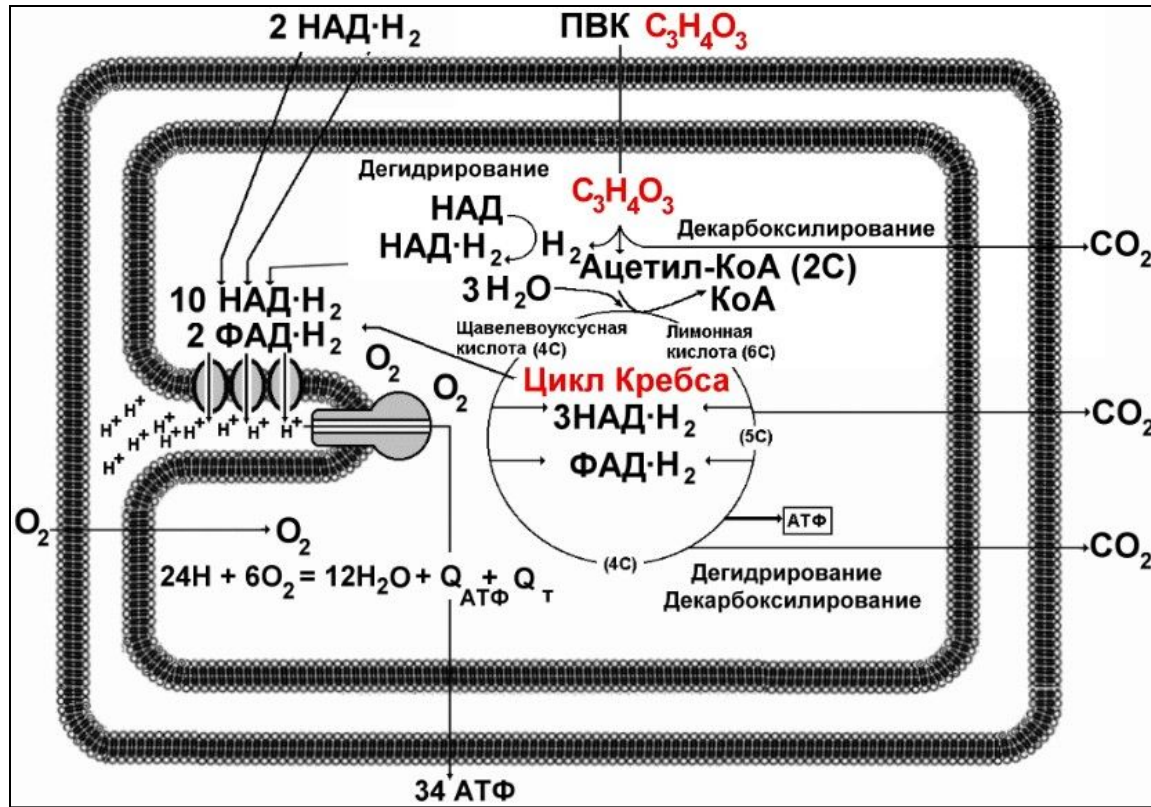
# Кислородное окисление - дыхание



Последним этапом является *окисление пар атомов водорода с участием  $O_2$  до  $H_2O$  с одновременным фосфорилированием АДФ до АТФ*. Этот процесс называется окислительным фосфорилированием и происходит на внутренней мембране митохондрий. Водород передается по трем большим ферментным комплексам дыхательной цепи (**флавопротеин, кофермент Q, цитохромы**).



# Кислородное окисление - дыхание



Когда разность потенциалов на внешней и внутренней стороне внутренней мембраны достигает 200 мВ, протоны ( $24H^+$ ) проходят через канал фермента АТФ-синтетазы и происходит восстановление кислорода до воды ( $12H_2O$ ) с выделением энергии, часть которой запасается в форме **34 АТФ**. Таким образом, в митохондриии образуется всего **36 АТФ** – 55%, 45% - рассеивается в форме тепла.



## Electron Transport System and ATP Synthesis

1/1/2011 10:03:47 AM

Product ID: 10000000000000000000



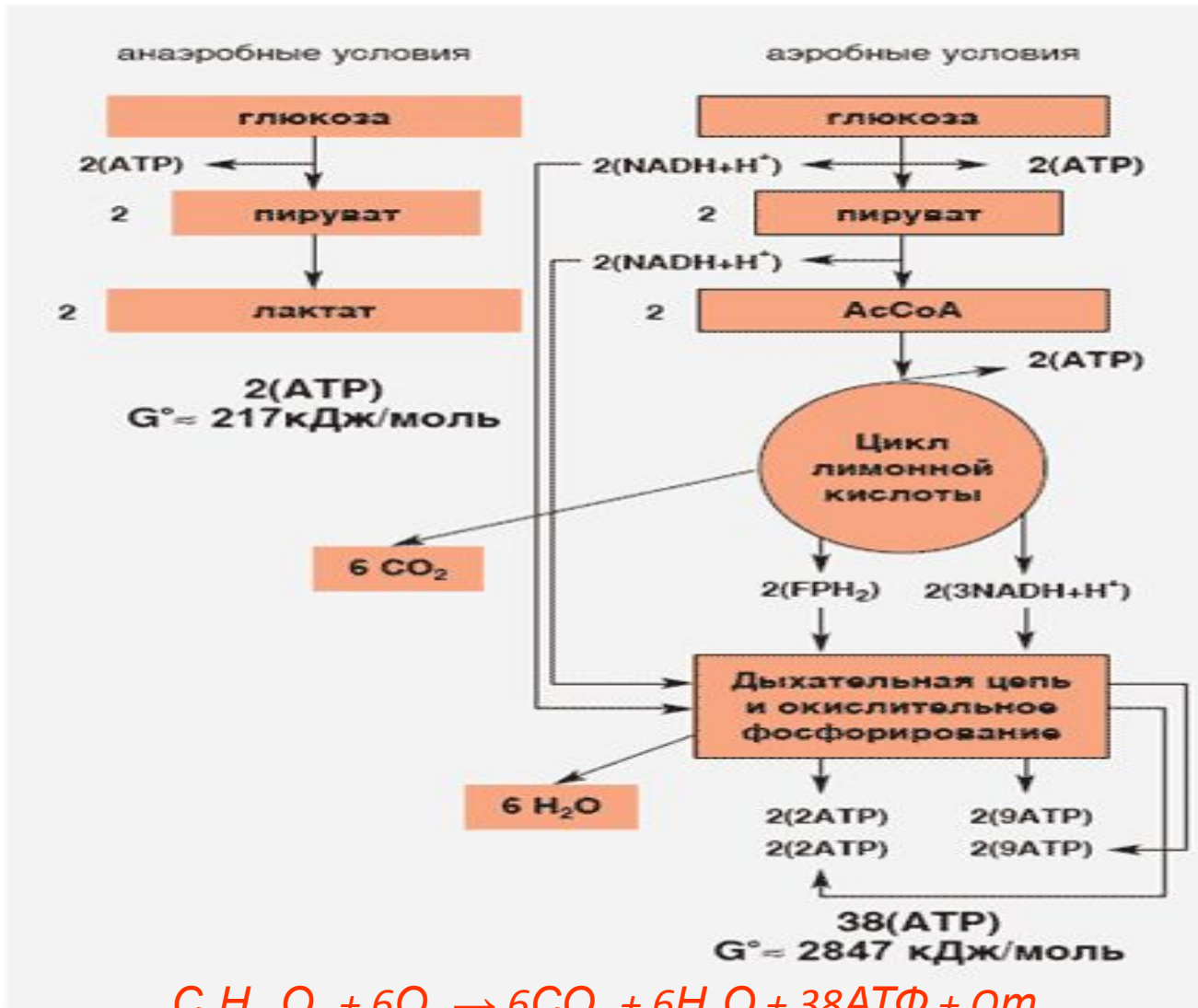
Mitochondrion

▶ Play    ⏸ Pause    ●    ⏮ Audio    📄 Text

When glucose is oxidized during glycolysis and the Krebs cycle, the co-enzymes  $\text{NAD}^+$  and  $\text{FAD}$  are reduced to  $\text{NADH} + \text{H}^+$  and  $\text{FADH}_2$ .



## Суммарная реакция энергетического обмена



Если внутренняя мембрана повреждена, то окисление НАД·Н<sub>2</sub> продолжается, но не работает АТФ-синтетаза и образования АТФ не происходит, вся энергия выделяется в форме тепла.