

# Метаболизм углеводов

*Поли- и олигосахариды в желудочно-кишечном тракте под действием гликозидаз расщепляются до моносахаридов и всасываются в кровь.*

*Гликозидазы – гидролитические ферменты:  $\alpha$ -,  $\beta$ - и  $\gamma$ -амилазы, мальтаза, инулиназа, сахараза, лактаза и др.*

*Основными путями внутриклеточного метаболизма углеводов являются:*

*□ гликолиз;*

*□ гликогенолиз;*

*□ пентозомонофосфатный путь;*

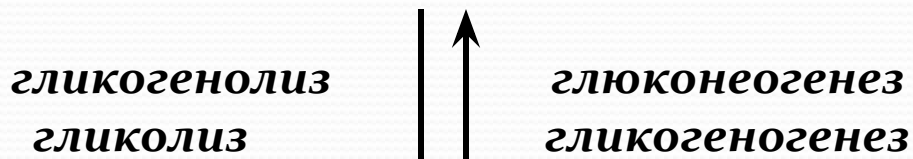
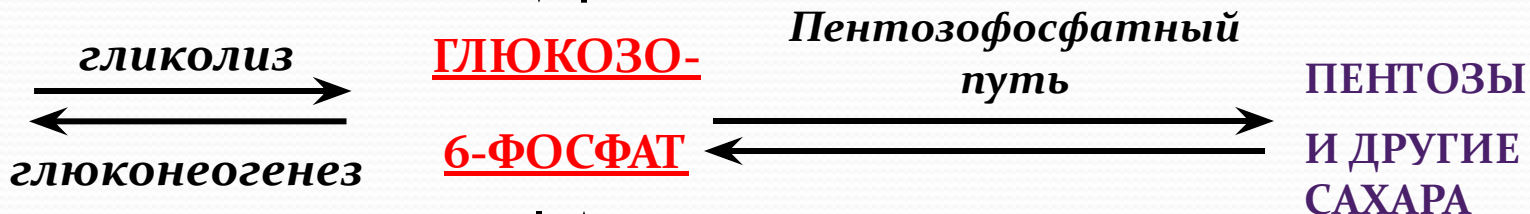
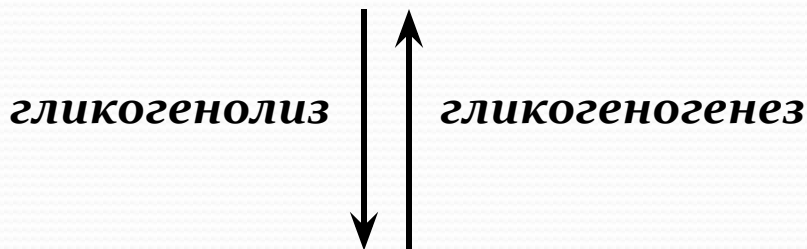
*□ глюконеогенез;*

*□ гликогеногенез.*

Глюкозо-6-фосфат – ключевой метаболит углеводного обмена

ГЛИКОГЕН

ГЛ  
ЮК  
ОЗ  
А



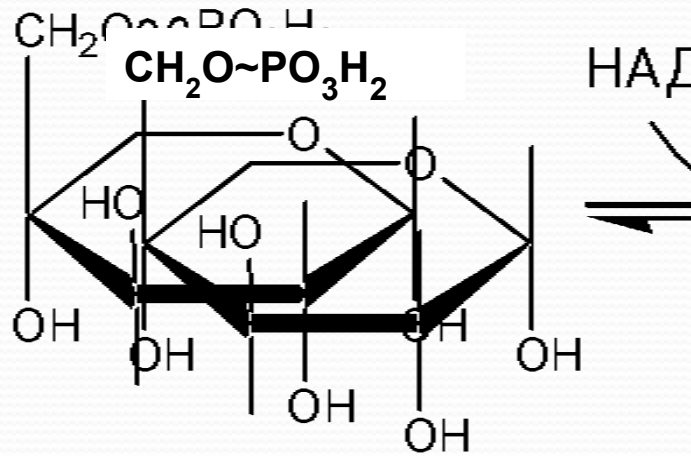
ПИРУВАТ

ЛАКТАТ

Цикл Кребса

$CO_2$  и  $H_2O$

*E: гексокиназа*



***глюкозо-6-фосфат***

*Гликолиз – последовательность реакций окисления глюкозы в результате которых:*

- в анаэробных условиях образуется молочная кислота (**лактат**);*
- в аэробных – пировиноградная кислота (**пируват**).*

*Локализация процесса – **цитоплазма**.*

# Значение гликолиза

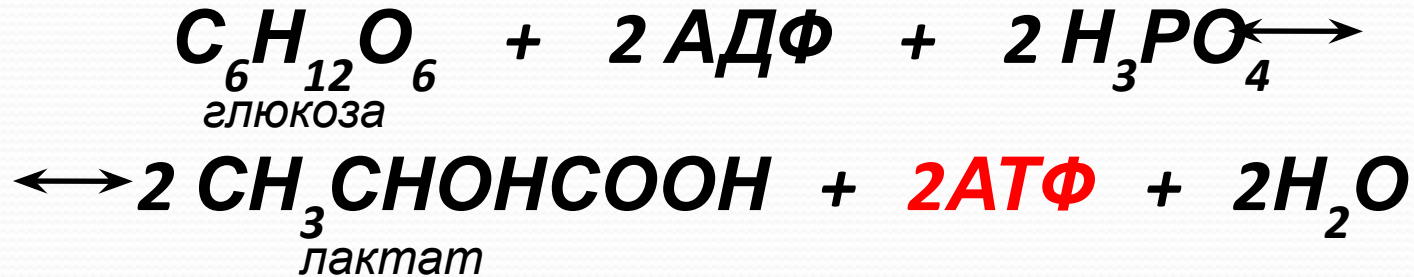
- ❖ Промежуточные метаболиты являются предшественниками для синтеза аминокислот, азотистых оснований, липидов и др.
- ❖ Окисление глюкозы сопровождается образованием АТФ путем субстратного фосфорилирования.

- ❖ *В анаэробных условиях гликолиз – это единственный процесс в клетках, приводящий к образованию АТФ*
- ❖ *В аэробных условиях образующийся пируват поступает в цикл Кребса, где происходит дальнейшее полное окисление глюкозы до  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  и выделяется большое количество энергии.*

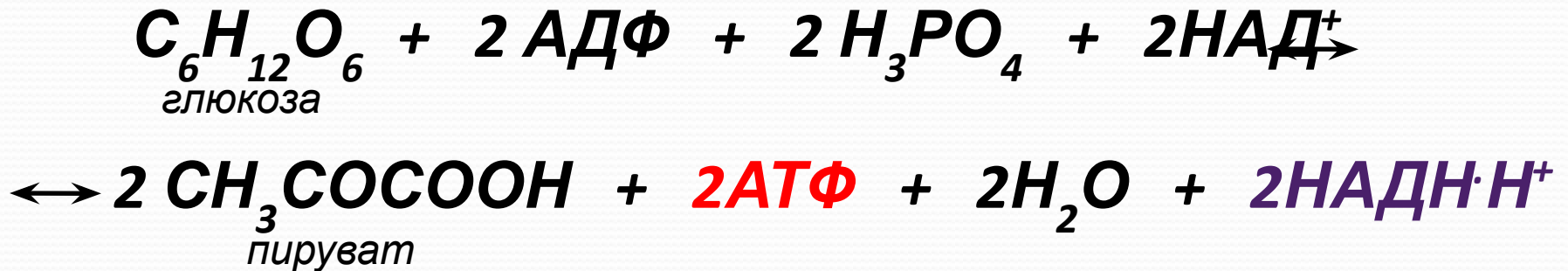


*Гликолиз* – дихотомический путь катаболизма глюкозы

В анаэробных условиях (11 реакций)



В аэробных условиях (10 реакций)



## СТАДИИ ГЛИКОЛИЗА

### **Подготовительная стадия (стадия активации глюкозы):**

- 5 реакций;
- 1 молекула гексозы (глюкозы) расщепляется на 2 молекулы фосфотриоз (2 глицеральдегидфосфата)

### **Стадия генерации АТФ:**

- 6 (5) реакций;
- энергия окислительных реакций трансформируется в химическую энергию АТФ (в реакциях субстратного фосфорилирования)

Подготовительная стадия:

- ❖ *Необратимое образование глюкозо-6-фосфата.*
- ❖ *Необратимое образование фруктозо-1,6-дифосфата.*  
(ключевая реакция, ключевой фермент).

Стадия генерации АТФ:

- ❖ *Обратимая реакция гликолитической оксиредуции*
- ❖ *Обратимая реакция образования фосфоглицерата их дифосфоглицерата, сопровождающаяся субстратным фосфорилированием.*
- ❖ *Необратимая реакция образования пирувата из фосфоенолпирувата, сопровождающаяся субстратным фосфорилированием.*

*Механизм регуляции активности  
ключевых ферментов гликолиза – аллостерический.*

# Энергетический баланс гликолиза

## В анаэробных условиях

### *Расход АТФ:*

*в подготовительной стадии гликолиза затрачивается 2 молекулы АТФ на фосфорилирование глюкозы и фруктозо-6 фосфата.*

### *Образование АТФ:*

*4 молекулы АТФ образуется в реакциях субстратного фосфорилирования в процессе окисления двух молекул фосфотриоз*

*Суммарно – 2 молекулы АТФ.*

## **В аэробных условиях**

### **Расход АТФ:**

*в подготовительной стадии гликолиза затрачивается 2 молекулы АТФ на фосфорилирование глюкозы и фруктозо-6 фосфата.*

### **Образование АТФ:**

*4 молекулы АТФ образуется в реакциях субстратного фосфорилирования в процессе окисления двух молекул фосфотриоз,*

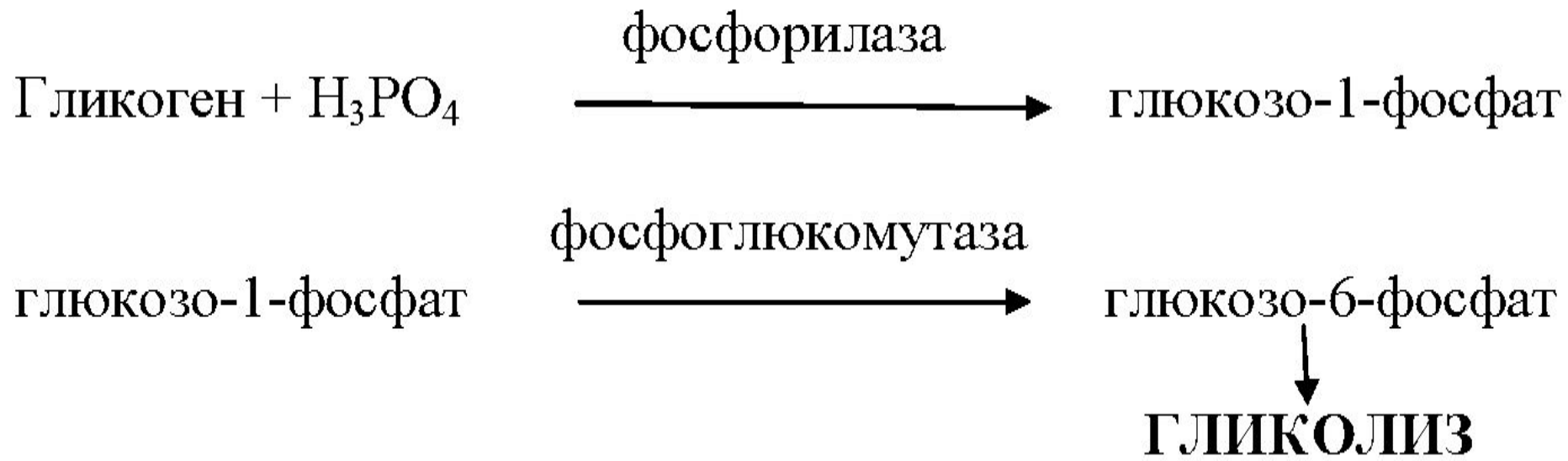
*6 молекул АТФ образуется в ходе окислительного фосфорилирования (при передаче  $e^-$  в дыхательную цепь митохондрий от НАДН).*

**Суммарно – 8 молекул АТФ.**

# ГЛИКОГЕНОЛИЗ

*Гликогенолиз – расщепление гликогена по дихотомическому (гликолитическому) пути.*

*Внутриклеточное расщепление гликогена происходит путем **фосфоролиза**, в результате которого образуется **глюкозо-1-фосфат**.*



# Энергетический баланс гликогенолиза

## *Расход АТФ:*

*в подготовительной стадии гликогенолиза  
затрачивается 1 молекула АТФ на  
фосфорилирование фруктозо-6 фосфата.*

## *Образование АТФ:*

*4 молекулы АТФ образуется в реакциях  
субстратного фосфорилирования в процессе  
окисления двух молекул фосфотриоз*

*Суммарно – 3 молекулы АТФ.*



# Регуляция гликогенолиза

*Сложный многоступенчатый (каскадный) процесс, контролируемый гормонами и нейромедиаторами (с участием вторичных посредников цАМФ,  $Ca^{2+}$ ).*

*Ключевой фермент (регуляторный) – гликогенфосфорилаза.*

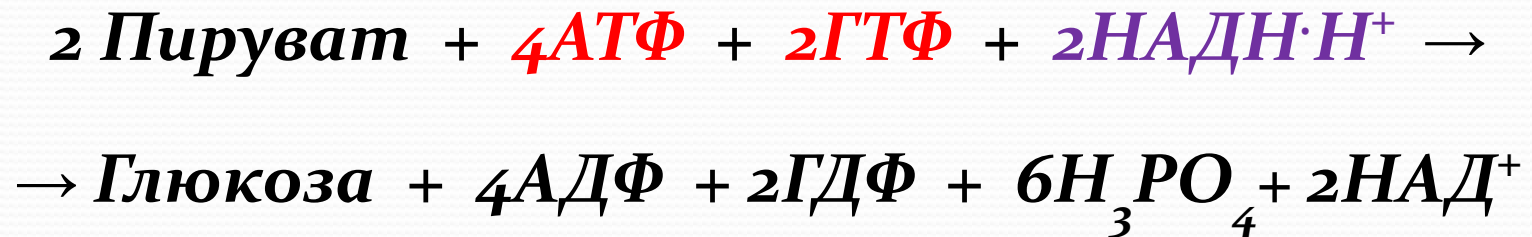
- ❖ *Активаторы гликогенолиза: адреналин, глюкагон, норадреналин и др.*
- ❖ *Ингибиторы гликогенолиза: инсулин, простагландины гр.Е и др.*

## **ГЛЮКОНЕОГЕНЕЗ**

**Глюконеогенез** – синтез глюкозы из неуглеводных соединений по пути обратимых реакций гликолиза.

**Необратимые** реакции гликолиза «преодолеваются» **обходными** путями глюконеогенеза.

# Глюконеогенез

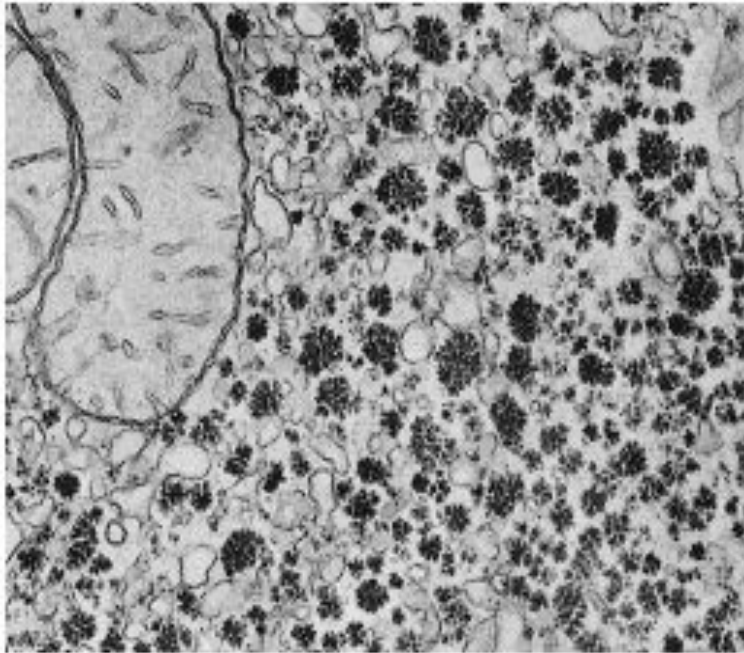


# ГЛИКОГЕНОГЕНЕЗ

Гликогеногенез – синтез гликогена из глюкозы.

## Стадии синтеза цепи гликогена

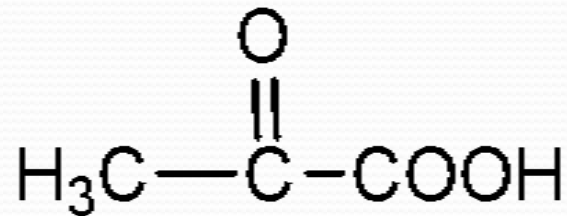
1. Синтез олигосахарида ( $n_{\text{min}} = 11$ ) – удлинение цепи с образованием 1,4-связей.
2. Перенос части олигосахарида ( $n_{\text{min}} = 6$ ) на затравочную цепь с образованием 1,6-связи – образуется новая ветвь.
3. Удлинение цепей (новой ветви) с образованием 1,4-связей.



*Гранулы гликогена  
в гепатоцитах*

- $\frac{1}{3}$  гликогена в организме накапливается в печени. Необходим для поддержания уровня глюкозы в крови (гликоген → глюкозо-6-фосфат → глюкоза).
- $\frac{2}{3}$  гликогена в организме откладывается в мышцах. Необходим для восполнения энергетических потребностей организма. В глюкозу не превращается.

Продуктом дихотомического расщепления глюкозы (гликогена) в аэробных условиях является **пировиноградная кислота**



***пируват***

# ОКИСЛИТЕЛЬНОЕ ДЕКАРБОКСИЛИРОВАНИЕ ПИРОВИНОГРАДНОЙ КИСЛОТЫ

**Мультиферментный пируватдегидрогеназный комплекс**

**Локализация:** матрикс митохондрий.

## ФЕРМЕНТЫ

пируватдегидрогеназа ( $E_1$ )

дигидролипоилацетил-  
трансфераза ( $E_2$ )

дигидролипоилдегидрогеназа ( $E_3$ )

## КОФАКТОРЫ

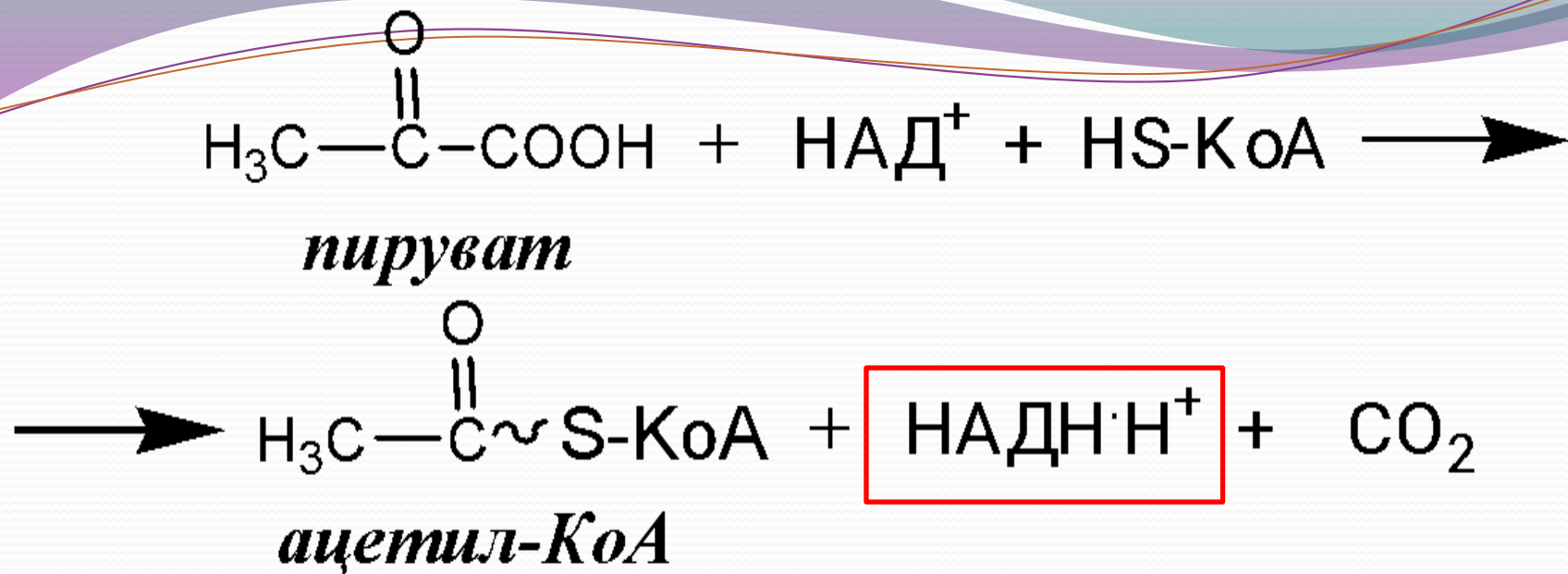
Тиаминпирофосфат (ТПФ)

Липоевая кислота (ЛК)

ФАД

HS-CoA

НАД<sup>+</sup>

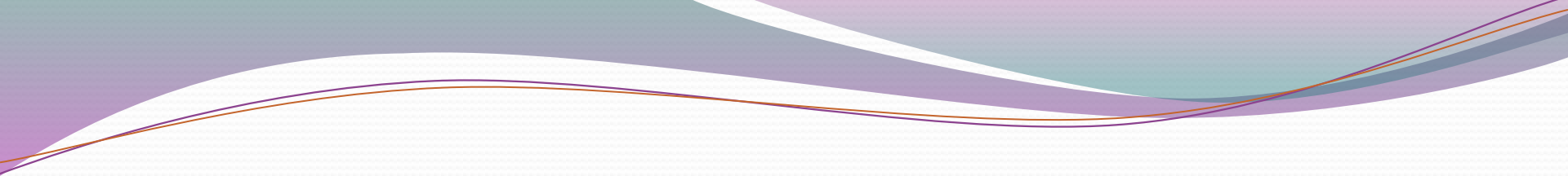


## Энергетический баланс

окислительного декарбоксилирования пирувата:

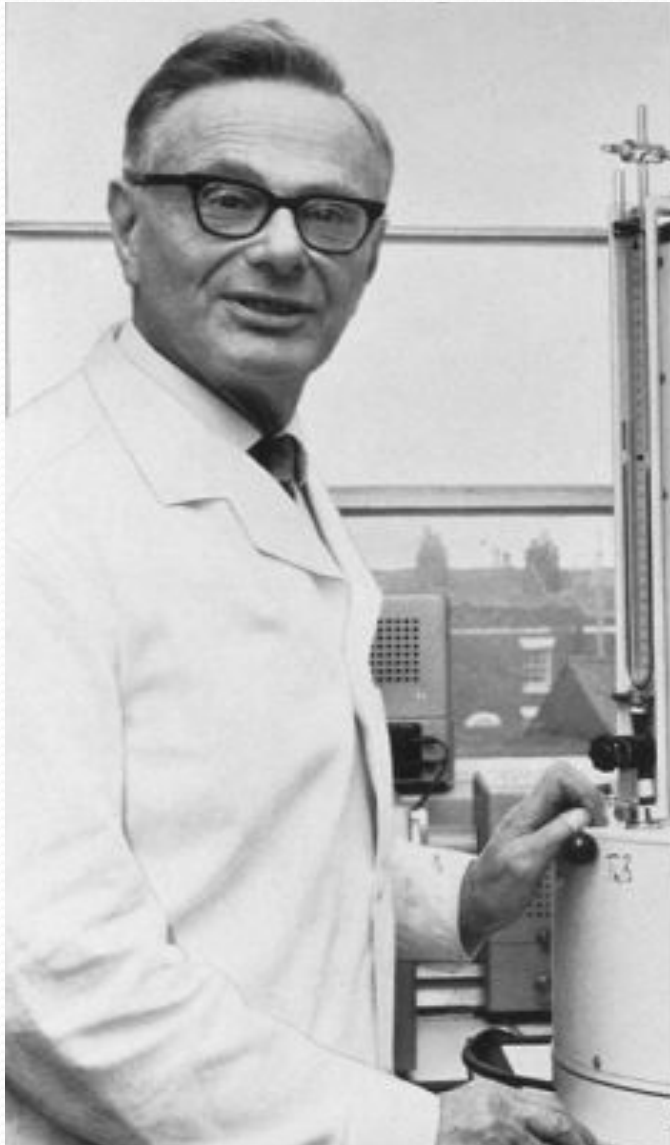
3 АТФ (образуются при передаче восстановительных эквивалентов от восстановленного НАДН в электронтранспортную цепь митохондрий)





*Окислительное декарбоксилирование  
пировиноградной кислоты –  
**необратимый процесс***

# Цикл Кребса

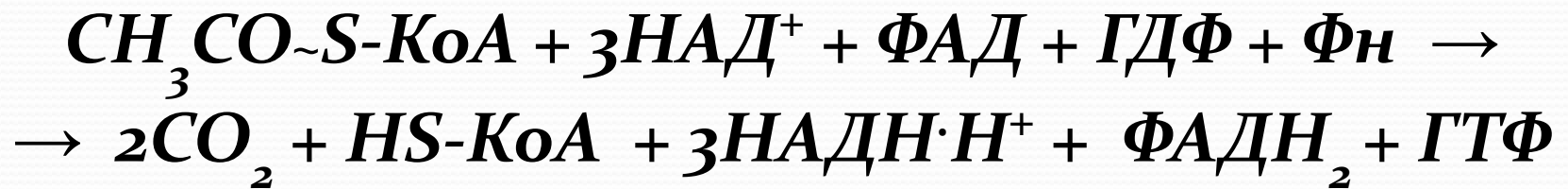


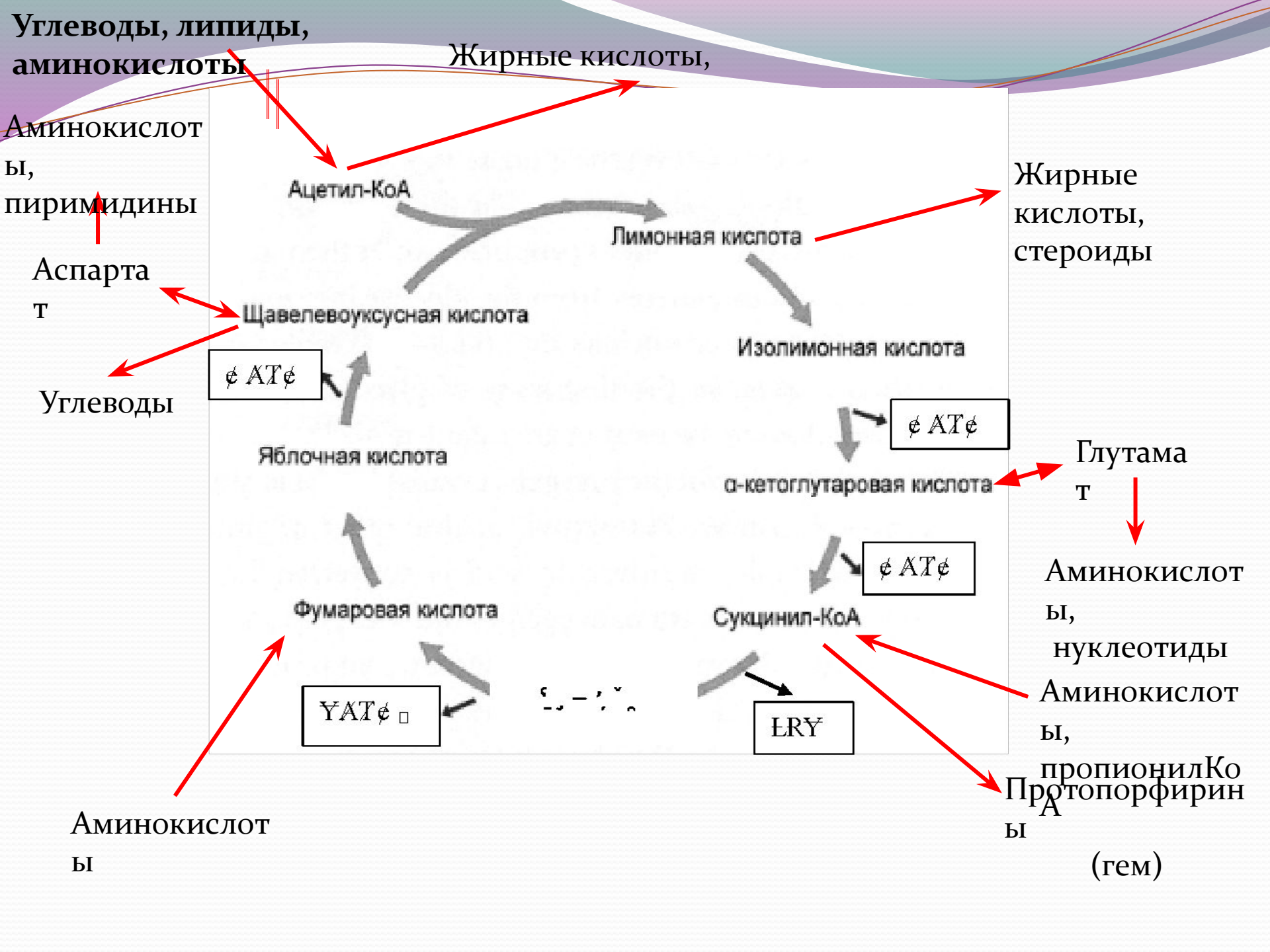
*Ханс Кребс*

(1900-1981)

В 1953 году (совместно с Ф.-А. Липманом) удостоен Нобелевской премии в области физиологии и медицины за открытие цикла лимонной кислоты

- Цикл Кребса (цикл трикарбоновых кислот, цикл лимонной кислоты) – **конечный катаболический путь** окисления всех соединений в аэробных условиях.
- **Универсальный** механизм окисления у всех живых организмов.
- **Амфиболический** метаболический путь.
- Локализация цикла – **матрикс митохондрий**.





Углеводы, липиды, аминокислоты

Жирные кислоты,

Аминокислоты, пиримидины

Аспарат

Углеводы

ε АТФ

Яблочная кислота

Фумаровая кислота

γ АТФ

Аминокислоты

Жирные кислоты,

Жирные кислоты, стероиды

Лимонная кислота

Изолимонная кислота

ε АТФ

Глутамат

α-кетоглутаровая кислота

Аминокислоты, нуклеотиды

ε АТФ

Аминокислоты, пропионил-КоА

Сукцинил-КоА

Протопорфин А

ε АТФ

(гем)

# Регуляция Цикла Кребса

- Лимитирующий фактор цикла Кребса – доступность оксалоацетата.

Источники оксалоацетата:

- глюкоза (карбоксилирование пирувата, образующегося из глюкозы);
- аспарагиновая кислота (переаминирование);
- фруктовые кислоты (яблочная, лимонная).

## □ Аллостерическая регуляция ферментов:

	Ингибиторы	Активаторы
Цитратсинтаза	цитрат, АТФ, НАДН	
Изоцитрат-дегидрогеназа	АТФ, НАДН	АМФ, АДФ
$\alpha$ -Кетоглутарат-дегидрогеназа	Сукцинил-КоА, НАДН	цАМФ

## □ **Гормональный контроль цикла:**

- **Инсулин, адреналин** – активируют цикл Кребса, т. к. инициируют аэробный распад глюкозы;
- **Глюкагон** – тормозит цикл Кребса, т.к. стимулирует синтез глюкозы.

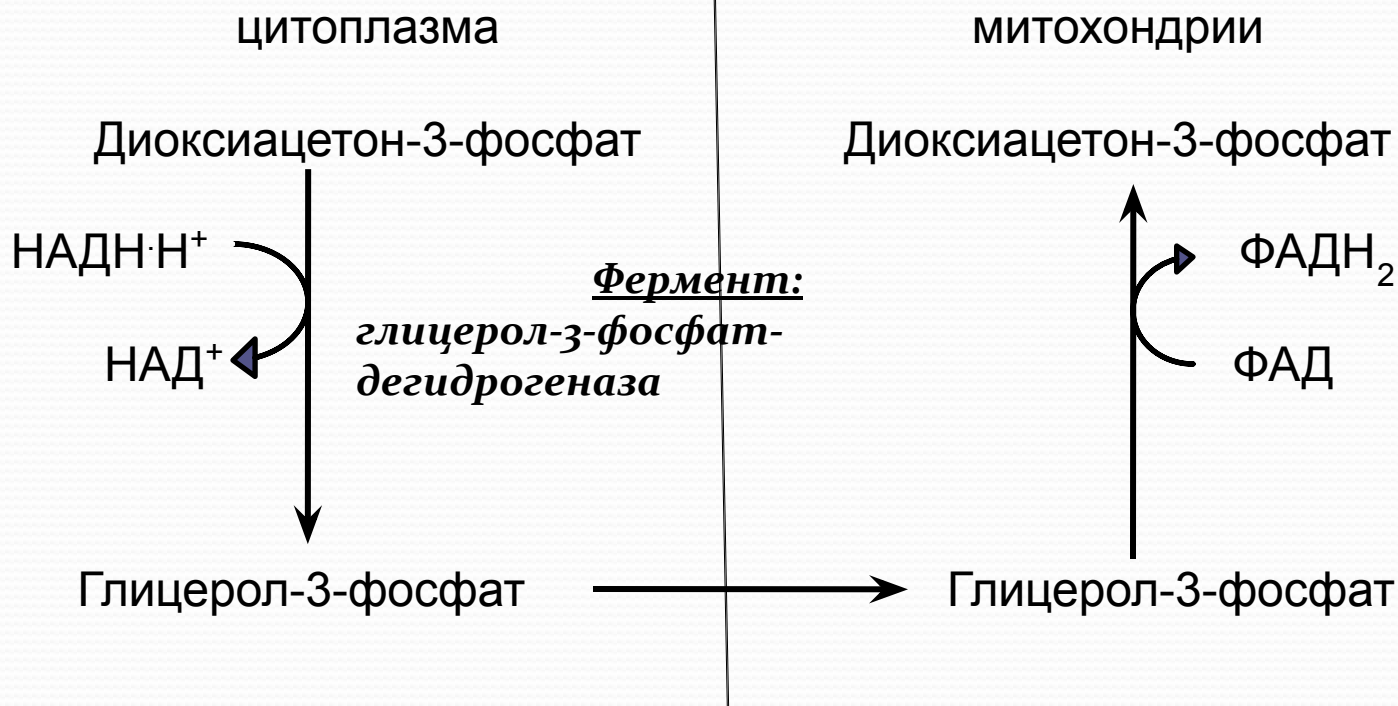
При полном аэробном окислении глюкозы образуется **максимально 38 молекул АТФ**.

**НАДН цитоплазматический** не может проходить через митохондриальную мембрану!

В зависимости от того, каким путем цитоплазматический НАДН передает  $2e^-$  в ЭТЦ митохондрий количество АТФ может изменяться (36 АТФ).

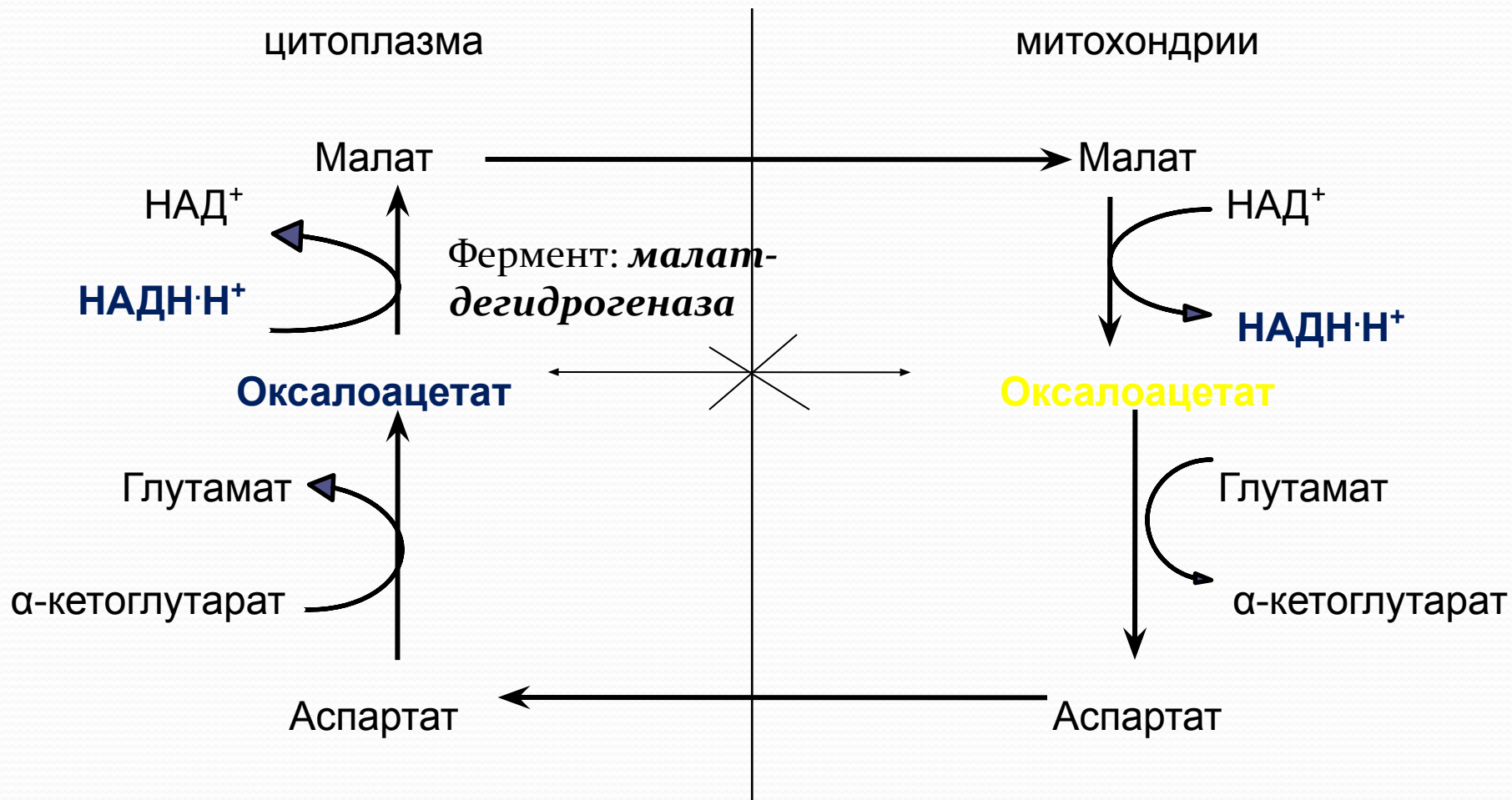


# Глицеролфосфатный челночный механизм\*



\* функционирует в клетках скелетных мышц и мозга

# Малат-аспартатный челночный механизм\*



\* Функционирует в клетках печени, сердечной мышцы и др.