

Биоэнергетика

9 лекций, 4 семинара, 2 ксп

зачет

**Биоэнергетика изучает
энергетические превращения ,
сопровождающие
биохимические реакции**

Программа лекционного курса

- **Введение.** Биоэнергетика и метаболизм: основные понятия. Обмен энергией как составная часть метаболизма. Экзергонические и эндергонические реакции. Сопряжение эндергонических процессов с экзергоническими. Макроэнергетическая связь. Источники энергии для функционирования клетки. Роль высокоэнергетических фосфатов в биоэнергетике и в процессах улавливания энергии. Взаимосвязь процессов катаболизма и анаболизма. Адениловая система. Механизмы синтеза АТФ и пути превращения энергии в клетке **(2 ч)**.

- **Основные принципы организации биомембран и транспорт веществ в клетку.** Структура мембран. Принцип кооперативности и функции мембран. Перенос веществ через мембраны. Простая диффузия. Облегченная диффузия. Активный транспорт. Конкретные системы переноса низкомолекулярных веществ. Перенос через мембраны частиц и высокомолекулярных соединений **(2 ч)**.

- **Биологическое окисление.** Окислительно-восстановительные реакции. Окислительно-восстановительный потенциал. Ферменты и коферменты, участвующие в окислительно-восстановительных процессах. Сопряженное и несопряженное окисление *(2 ч)*.
- **Несопряженное биологическое окисление** в клетке с участием активных форм кислорода азота и хлора. Регуляция процессов некроза и апоптоза. Антиоксидантные системы клетки.
Микросомальное окисление. Цитохром P-450 и его роль в обмене ксенобиотиков *(2 ч)*.

■ **Окислительное фосфорилирование.**

Структура митохондрий. Транспорт веществ в митохондрии. Тканевое дыхание. Организация электрон-транспортной цепи в митохондриях. Субстраты тканевого дыхания. Дыхательный контроль. Фосфорилирование АДФ. Хемиосмотическая теория Митчелла. Формирование электрохимического градиента протонов. АТФ-синтаза: механизм синтеза АТФ. Ингибирование тканевого дыхания. Разобщение окислительного фосфорилирования. Регуляция фосфорилирования АДФ **(2 ч)**.

- **Синтез АТФ в растительной клетке.**
Общие представления о фотосинтезе (2 ч).
- **Биоэнергетика углеводного обмена.**
Анаэробное и аэробное превращение глюкозы. Окислительное декарбоксилирование пирувата. Лимоннокислый цикл. Пентозофосфатный путь окисления глюкозы. Энергетический выход окисления глюкозы в анаэробных и аэробных условиях. Энергетическое обеспечение глюконеогенеза (2 ч).

- **Биоэнергетика липидного обмена.**
Окисление жирных кислот. Синтез жирных кислот. Метаболизм холестерина. Энергетический баланс метаболизма липидов. Механизмы транспорта липидов.
Энергетическое обеспечение биосинтеза нуклеиновых кислот и белков (2 ч).
- **Интеграция процессов метаболизма.**
Взаимосвязь процессов катаболизма и анаболизма. Основные механизмы регуляции метаболизма. Регуляция энергетического обмена. Роль витаминов, ферментов и гормонов (2 ч).

семинары

- Витамины и функционирование ферментов.
- Окислительное фосфорилирование.
- Биоэнергетика обмена углеводов.
- Биоэнергетика обмена липидов.

темы контрольных работ

- Биологическое окисление. Тканевое дыхание и фосфорилирование АДФ.
- Структура клеточных мембран и механизмы транспорта веществ.
- Биоэнергетика углеводного и липидного обмена.
- Интеграция процессов метаболизма.

ВВЕДЕНИЕ.

Биоэнергетика и метаболизм:

ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ

С позиций термодинамики

метаболизм представляет собой совокупность процессов, в которой реакции, потребляющие энергию из внешней среды (**эндергонические**), сопрягаются с энергодающими (**экзергоническими**) реакциями.

Это позволяет живым существам оказывать постоянное сопротивление нарастанию энтропии.

Предмет биоэнергетики:

выяснение биохимических механизмов, приводящих к генерации различных форм биологической энергии

Источником энергии служат реакции, в ходе которых соединения, содержащие атомы углерода в высоковосстановленном состоянии, подвергаются окислению, а специальные переносчики присоединяют H^+ и e^- и в таком виде транспортируют H к дыхательной цепи

Пути передачи восстановительных эквивалентов в клетке:

- В составе флавиновых (ФАД, ФМН) коферментов дегидрогеназ



- В составе НАД и НАДФ (коферментная форма вит. РР) дегидрогеназ



- Прямой перенос электронов (цитохромы)



- Перенос на кислород (оксидазы)

- флавинзависимые (ФАД, ФМН)



- Cu/Fe-зависимые



ДЕГИДРОГЕНАЗЫ

■ ПИРИДИНОВЫЕ ДЕГИДРОГЕНАЗЫ

Кофермент : НАД⁺, НАДФ⁺



■ ФЛАВИНОВЫЕ ДЕГИДРОГЕНАЗЫ

Кофермент: ФАД, ФМН



SH₂ -----> **S** + **восстановленный кофермент**

ДГ

ФАДН₂

НАДН·Н⁺

ФМНН₂

НАДФН·Н⁺

!

**Источник энергии для клетки –
химическая энергия, заключенная в
химических связях молекул**

Запасается энергия в виде АТФ

**Синтез АТФ в организме сопряжен с
окислительно-восстановительными
реакциями**

Метаболизм — совокупность химических реакций, протекающих в клетках организма с момента поступления пищевых веществ в организм до образования конечных продуктов обмена.

Функции метаболизма:

- снабжение клеток химической энергией;
- превращение молекул пищи в строительные блоки;
- сборка из этих блоков компонентов клетки (белки, липиды, нуклеиновые кислоты);
- синтез и разрушение специализированных биологических молекул (гем, холин).

Метаболический путь —

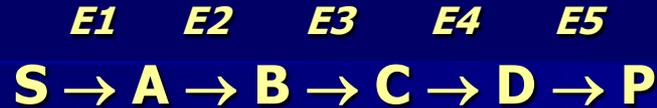
последовательность химических превращений вещества.

ОСОБЕННОСТИ МЕТАБОЛИЧЕСКИХ ПУТЕЙ

- **Многоэтапны**
- **Взаимосвязаны**
- **Регулируются**
- **Скоординированы в пространстве**

Виды метаболических путей:

- **Линейные** (распад и синтез гликогена, гликолиз и др.)



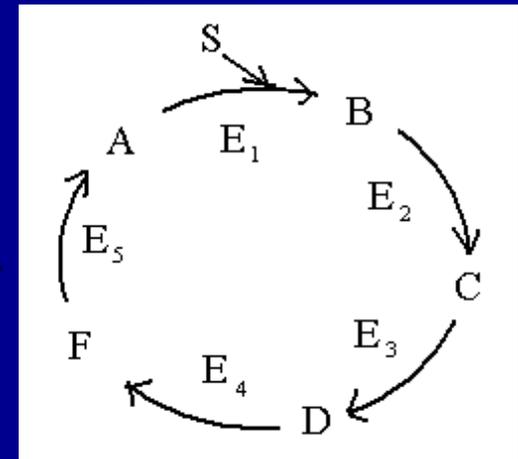
S — исходный субстрат,

P — конечный продукт,

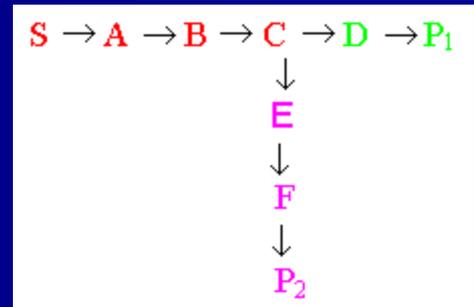
A, B, C, D — метаболиты (промежуточные продукты),

E — ферменты.

- **Циклические** (цикл трикарбоновых кислот, орнитиновый цикл).



- **Разветвленные** (синтез нуклеотидов)



- **В виде спирали** (синтез и окисление жирных кислот)

Ферменты, которые определяют скорость всего процесса в целом, называются **ключевыми ферментами**

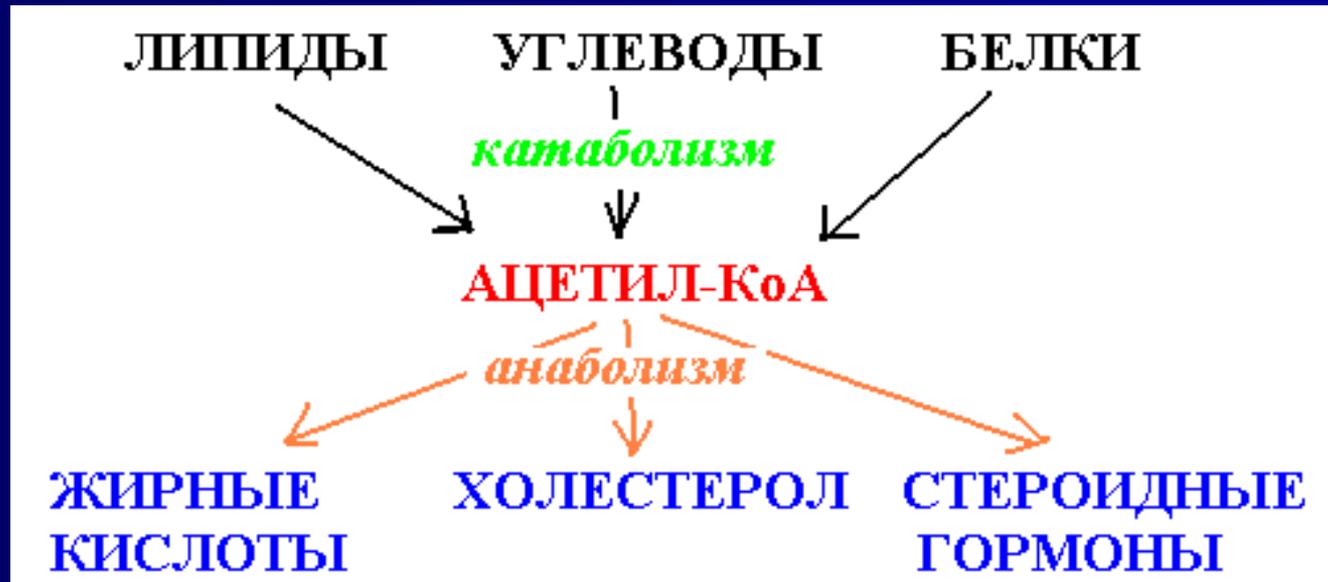
Ключевые ферменты катализируют необратимые реакции, имеют четвертичную структуру (аллостерические) и легко регулируются (гормонами, продуктами реакции и др.)

Две стороны метаболизма:

- **Катаболизм** — процесс расщепления сложных молекул до более простых, идущий с выделением энергии.
- **Анаболизм** — процесс синтеза сложных веществ из более простых, идущий с затратой энергии в виде АТФ.

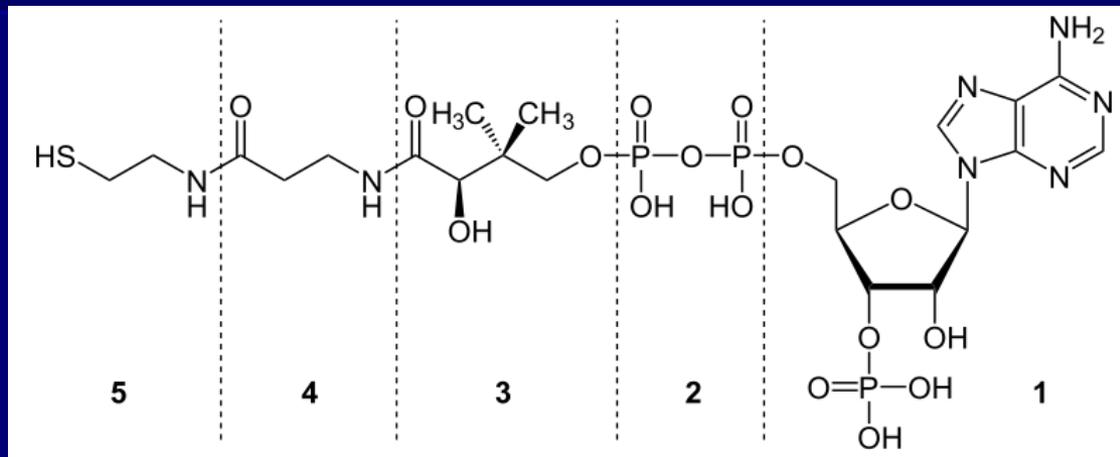
Анаболизм и катаболизм взаимосвязаны:

- на уровне *субстратов (источников углерода)*

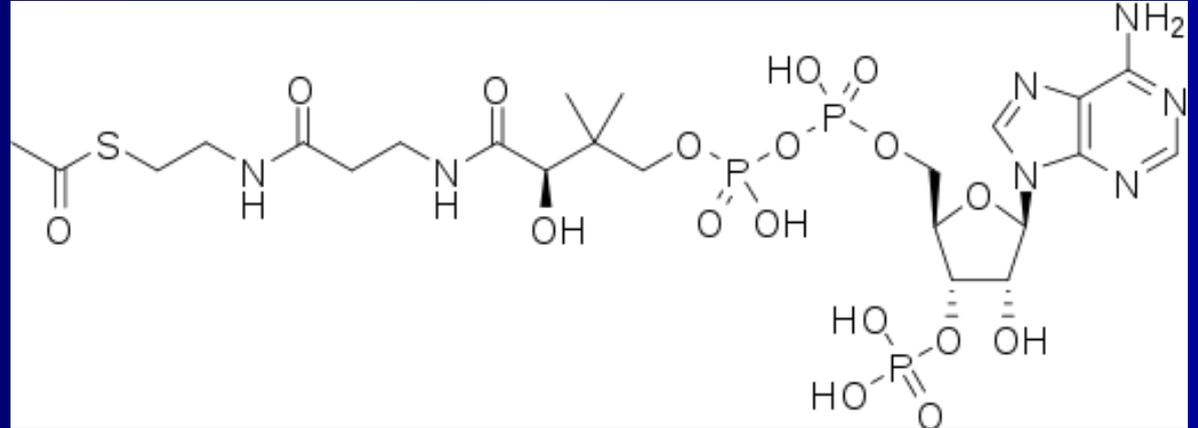


Молекула КоА состоит из остатка адениловой кислоты (1), связанной пиррофосфатной группой (2) с остатком пантоевой кислоты(3), которая связана пептидной связью с β-аланином (4) (эти две группы представляют собой остаток пантотеновой кислоты), соединённой пептидной связью с остатком (5).

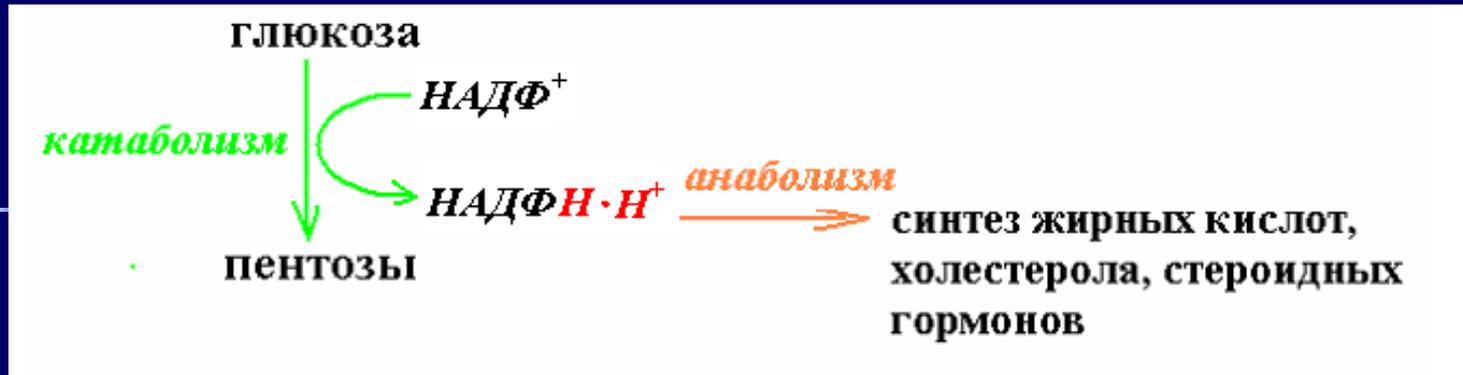
КоА – коферментная форма витамина В5 (пантотеновой кислоты)



Ацетил-КоА



■ на уровне **восстановленных коферментов:**



■ на уровне **регуляторов обмена:**

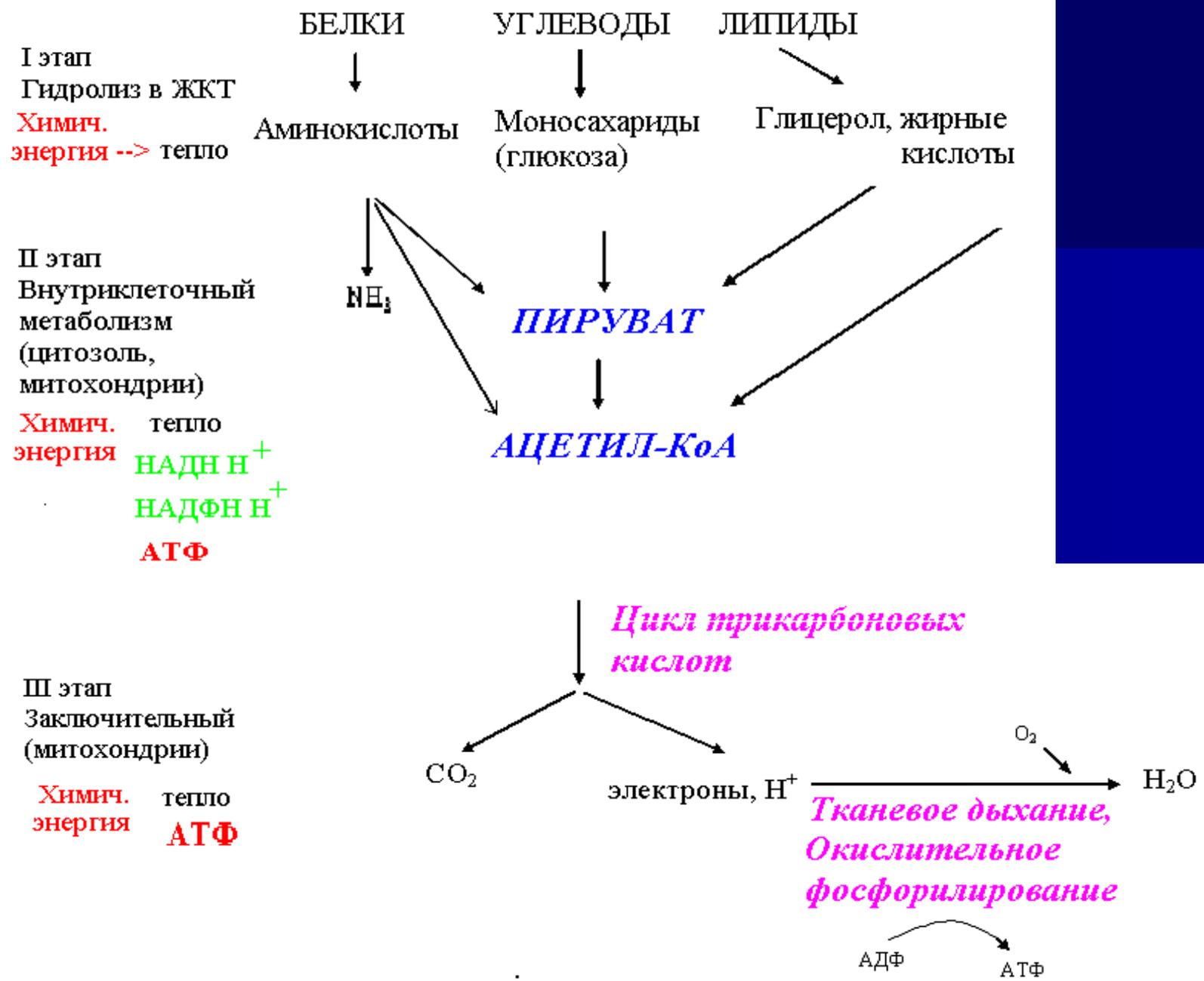


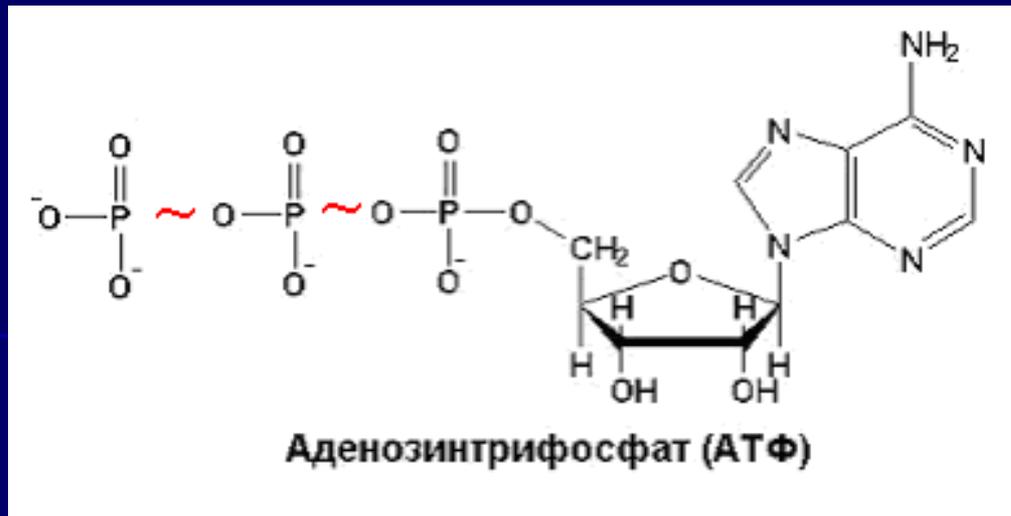
■ на уровне **источников энергии:**



Как производится энергия в организме:







~ (тильда) - макроэргические ангидридные связи

$\Delta G^{0'}$ — разность между свободной E исходных веществ и свободной E продуктов реакции в биохимической системе при стандартных условиях ($t = 25 \text{ }^{\circ}\text{C}$; $p = 1 \text{ атм.}$; $pH = 7,0$; концентрация исходных компонентов = 1 M)

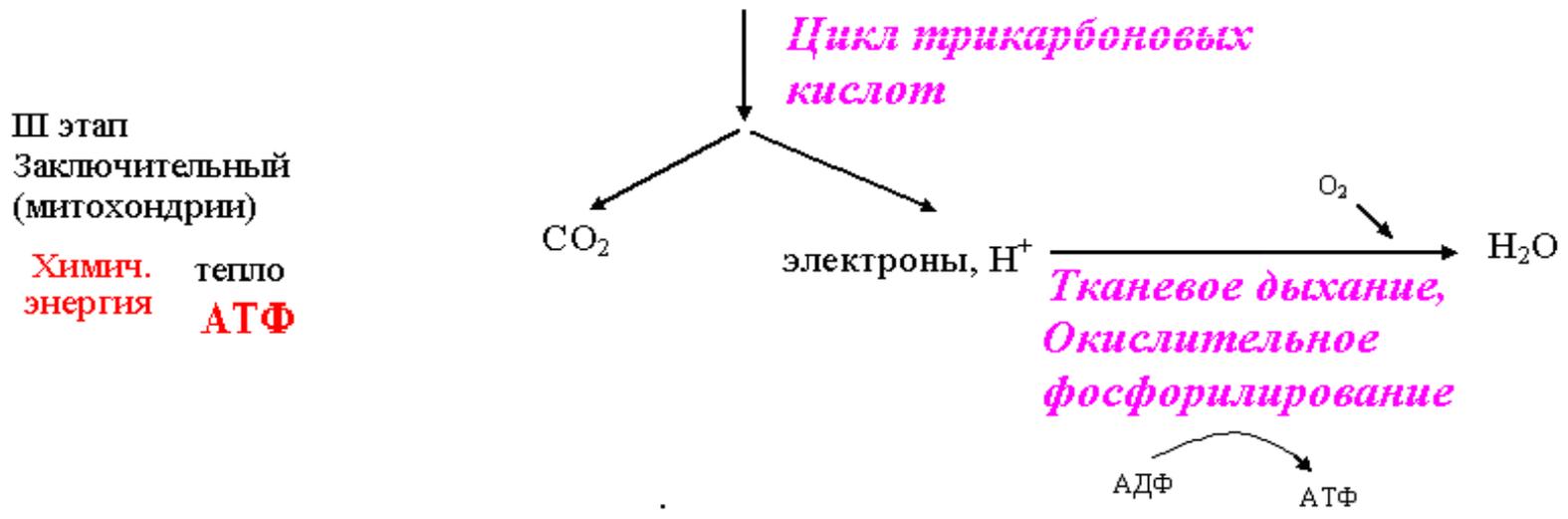
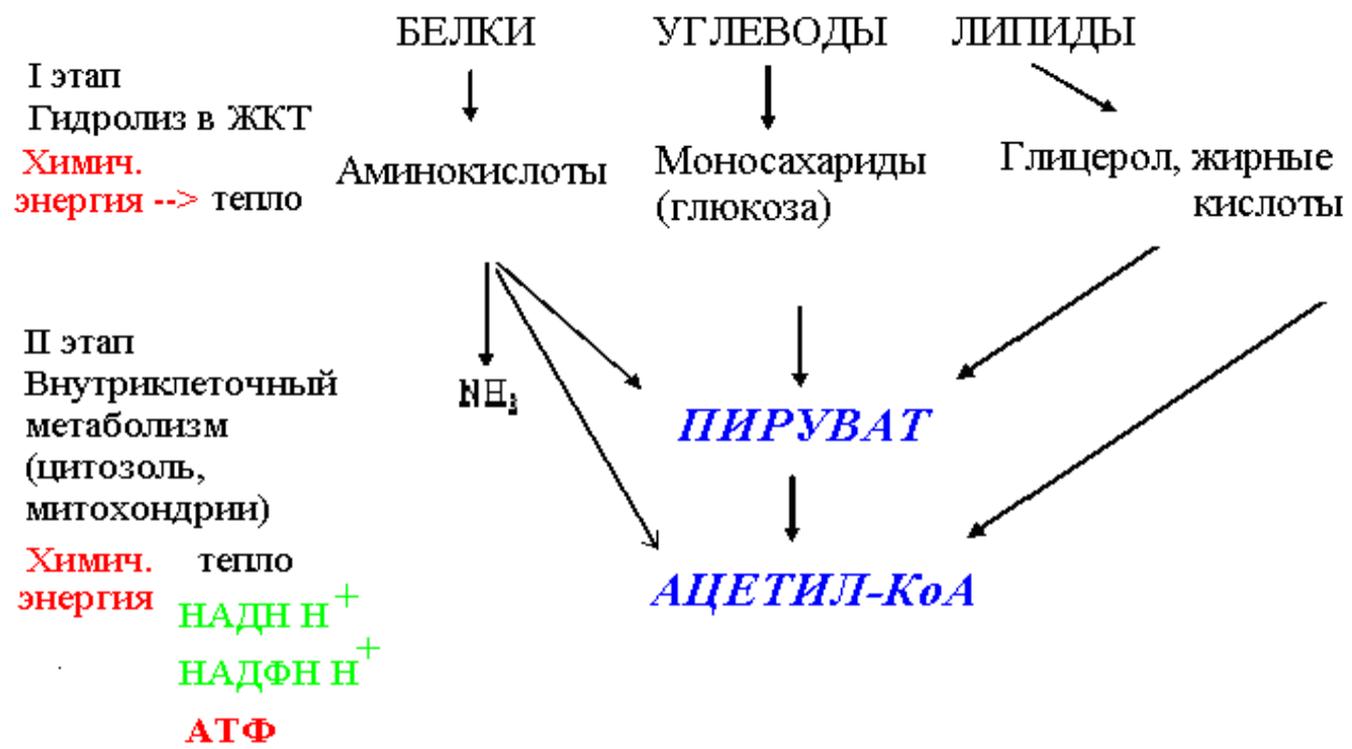
Макроэргические связи — $\Delta G^{0'} > - 5 \text{ ккал/моль}$ (22 кДж/моль),

Ф. Липман, 1941 г..

МАКРОЭРГИ

« - » $\Delta G^{0'}$ -- реакция экзэргоническая

« + » $\Delta G^{0'}$ -- реакция эндэргоническая



ΔG° гидролиза АТФ = - 7,3 ккал/моль (32 кДж/моль)

АТФ + H₂O = АДФ + неорг. фосфат + E (32 кДж\моль);

АТФ + H₂O = АМФ + пирогосфат + E (32 кДж\моль).

Стандартная свободная энергия гидролиза некоторых биохимически Важных органических фосфатов:

Фосфорилированные соединения клетки	ΔG° (ккал/моль)
Глицеролфосфат	- 2,2
Глюкоза-6-фосфат	- 3,3
АТФ/АДФ	- 7,3
Креатинфосфат	- 10,3
Фосфоенолпируват	- 14,8

АТФ и АДЕНИЛОВАЯ СИСТЕМА

совокупность адениловой кислоты и ее производных, взаимные превращения которых играют важную роль в процессах энергетического и некоторых других видов обмена в организме:

АТФ, АМФ, АДФ, $H_4P_2O_7$ (пирофосфат), H_3PO_4 (неорганический фосфат) и цАМФ (циклический АМФ).

Синтез АТФ носит название *фосфорилирования* и описывается уравнением:



Виды фосфорилирования:

1. **Окислительное** – синтез АТФ за счет энергии транспорта электронов по дыхательной цепи

2. **Субстратное** – синтез АТФ за счет энергии окисления макроэргического субстрата



3. **Фотосинтетическое**

Процессы, которые используют энергию гидролиза макроэргических связей АТФ:

- **Синтез биомолекул из предшественников**
- **Активация многих молекул**
- **Выполнение механической работы**
- **Перенос веществ через мембраны**
- **Трансдукция сигнала в клетку**
- **Обеспечение точной передачи наследственной информации**
- **Проведение нервного импульса**
- **Превращение в другие виды энергии**