

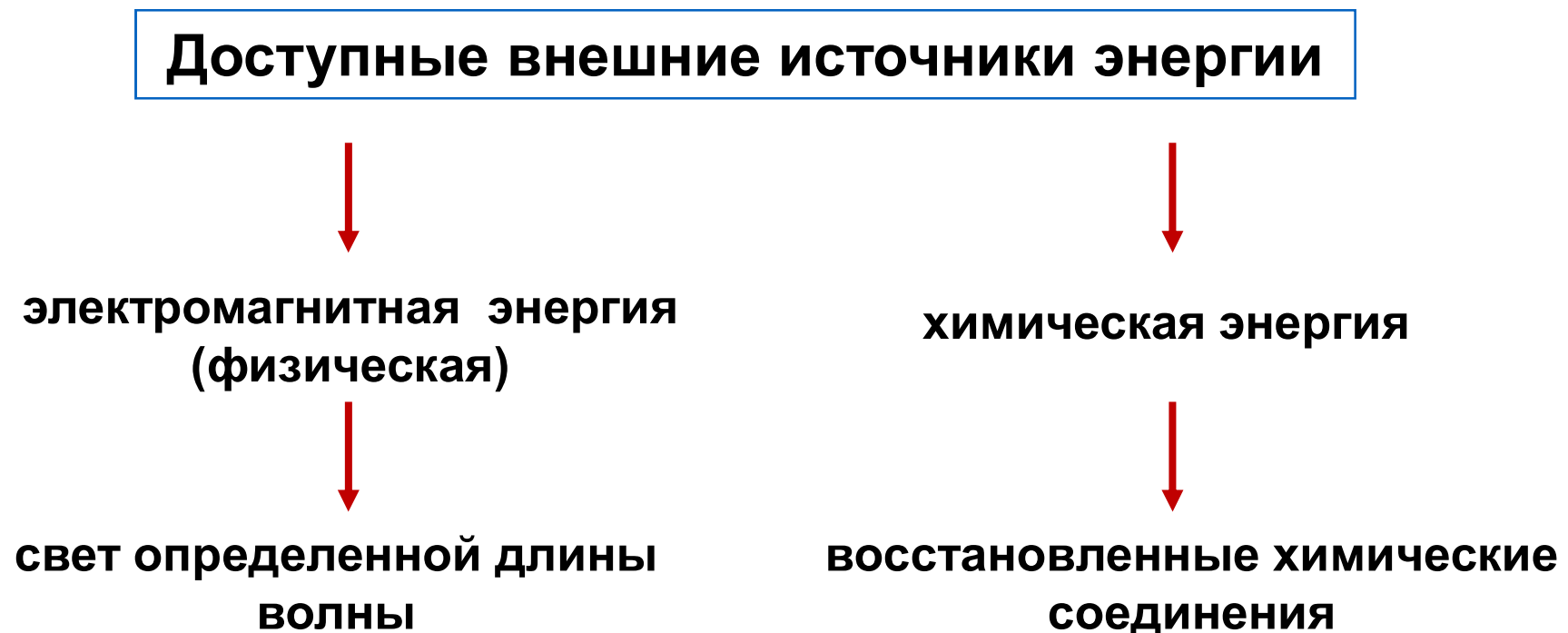
**Энергетический
метаболизм
микроорганизмов**

Метаболизм прокариот

- **Метаболизм** — совокупность ферментативных процессов, протекающих в клетке и обеспечивающих её энергетические и биосинтетические потребности.
- **Энергетический метаболизм (катаболизм)** — поток реакций, сопровождающийся мобилизацией энергии и преобразованием её в электрохимическую или химическую форму, которая затем используется во всех энергозависимых процессах.
- **Конструктивный метаболизм (биосинтез, анаболизм)** — поток реакций, в результате которых за счет поступающих извне веществ строится вещество клетки и при этом используется запасённая клеткой энергия.

Энергетический метаболизм прокариот

- поток реакций, сопровождающихся мобилизацией энергии и преобразованием её в электрохимическую ($\Delta\mu\text{H}^+$) или химическую (АТФ) форму, которая затем может использоваться во всех энергозависимых процессах.



Энергетические ресурсы клетки

биополимеры,
а также липиды

гидролиз



мономерные
единицы

Энергетический ресурс клетки	Фермент
Липиды	Липаза
Крахмал и гликоген	Амилаза
Целлюлоза	Целлюлаза
Полисахариды и их производные	Пектиназа, хитиназа, агараза
Белки	Протеазы
Нуклеиновые кислоты	Рибо- и дезокси- рибонуклеазы

Основные катаболические системы прокариотной клетки

- 1. Гликолиз (Эмбдена – Мейергофа – Парнаса);**
- 2. Окислительный пентозофосфатный путь
(Варбурга – Диккенса – Хорекера);**
- 3. КДФГ-путь (Энтнера – Дудорова);**
- 4. Цикл трикарбоновых кислот (Кребса).**

Способы получения энергии

В процессах брожения в определенных окислительно-восстановительных реакциях образуются нестабильные молекулы, фосфатная группа которых содержит много свободной энергии.

Субстратное фосфорилирование - реакции, в которых энергия, освобождающаяся на определенных окислительных этапах брожения запасается в молекулах АТФ (*внутримолекулярный и межмолекулярный процесс.*)

Процесс дыхания - окисление восстановленных веществ с относительно низким окислительно-восстановительным потенциалом (E_0), возникающих в реакциях промежуточного метаболизма или являющихся исходными субстратами (*Всегда межмолекулярный процесс*).

Три типа фотосинтеза:

I — зависимый от бактериохлорофилла бескислородный фотосинтез, осуществляемый группами зеленых, пурпурных бактерий и гелиобактерий;

II — зависимый от хлорофилла кислородный фотосинтез, свойственный цианобактериям и прохлорофитам;

III — зависимый от бактериородопсина бескислородный фотосинтез, найденный у экстремально галофильных архебактерий.

Образование АТФ

1. Субстратное фосфорилирование

I. Субстрат ~ Ф + АДФ \leftrightarrow субстрат + АТФ

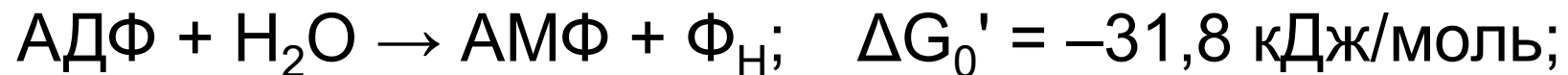
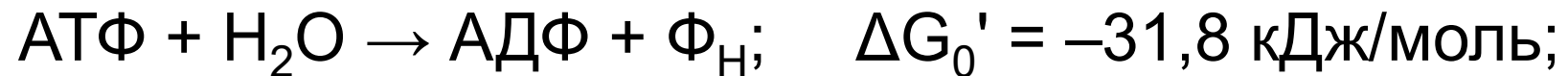
II. Субстрат ~ X + АДФ + Φ_H \leftrightarrow субстрат + X + АТФ

2. Мембранзависимое фосфорилирование

образование АТФ за счет энергии $\Delta\mu H^+$

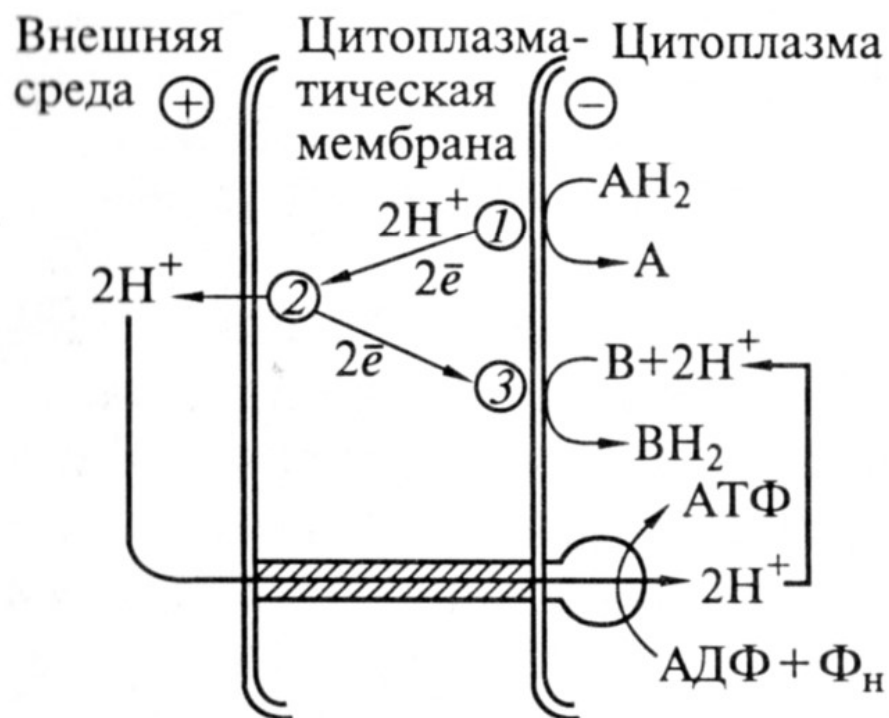
Символ "~" введён Ф. Липманом для обозначения макроэргической связи

Количество свободной энергии, высвобождаемой при гидролизе АТФ

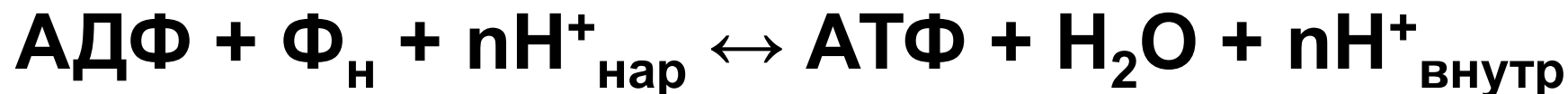


$\Delta\mu\text{H}^+$ - вторая универсальная форма клеточной энергии

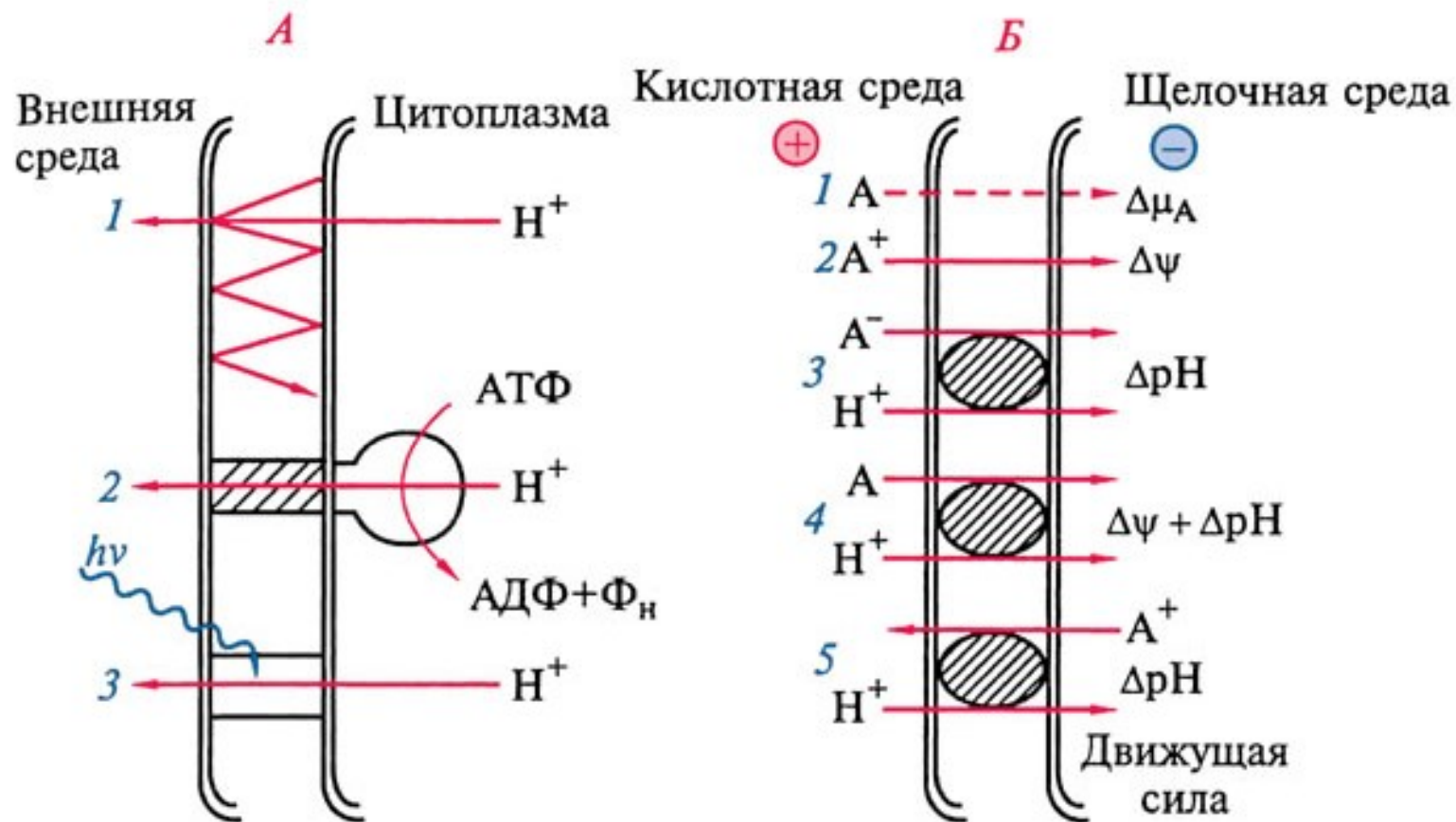
Схема переноса электронов и протонов по электрон-транспортной цепи и протонной АТФ-синтазы.



AH_2 – донор электронов,
 B – акцептор электронов



Транспортные системы в клетках прокариот



А. система первичного транспорта; Б. система вторичного транспорта

Преобразование энергии в клетках прокариот

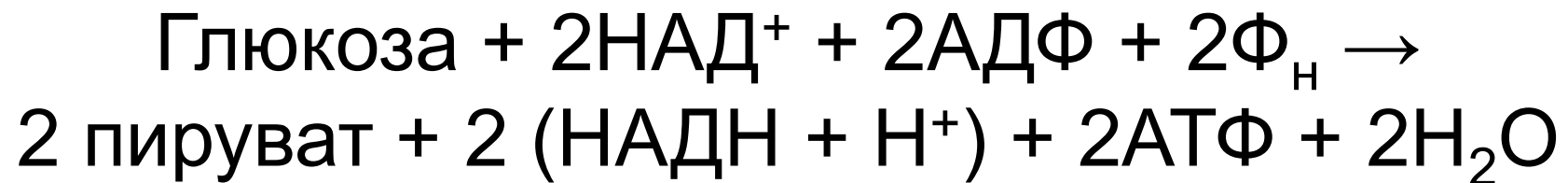


Гликолиз

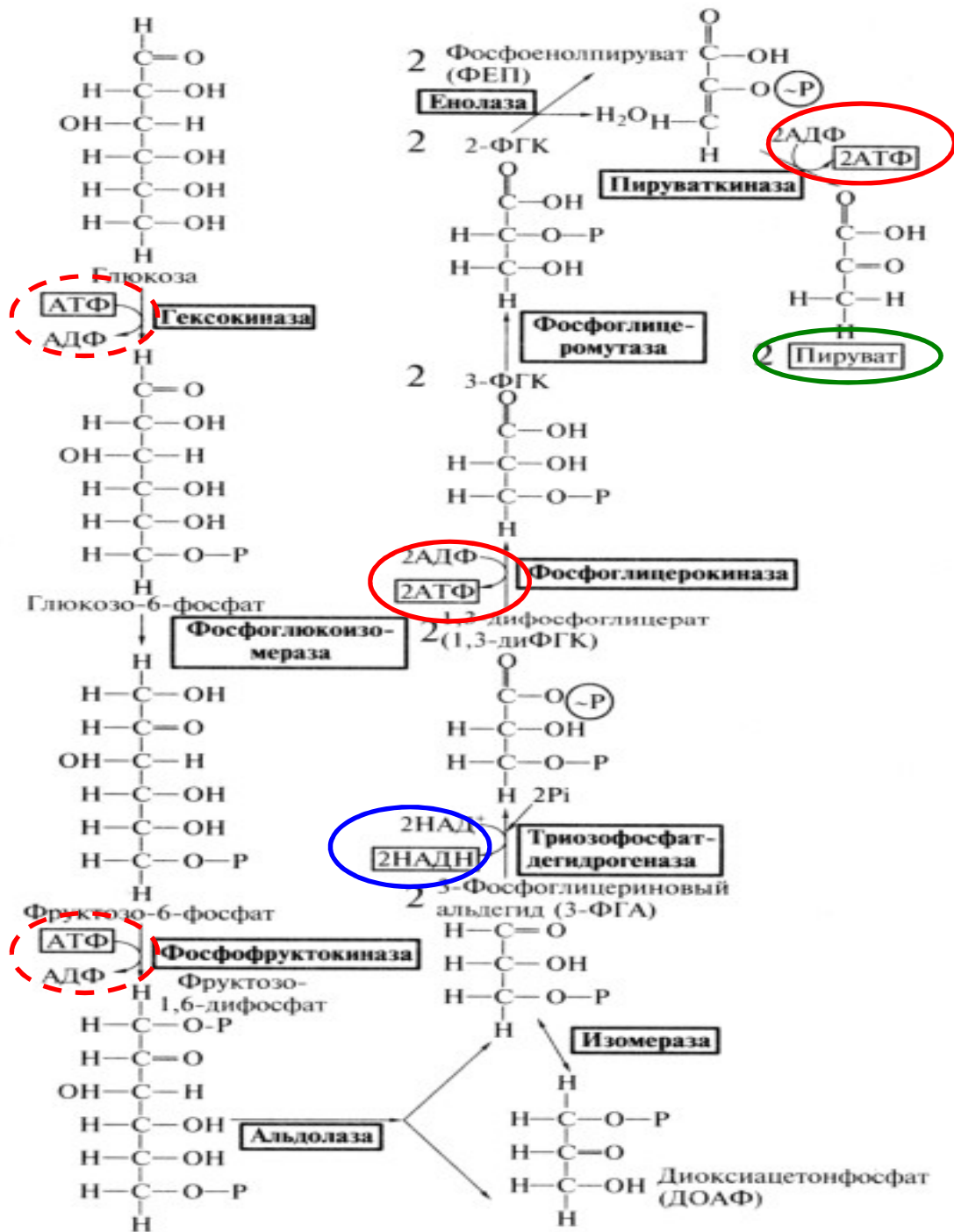
(Эмбдена – Мейергофа – Парнаса)

- процесс окисления глюкозы, при котором из одной молекулы глюкозы образуются две молекулы пировиноградной кислоты.

Суммарная реакция гликолиза



Гликолиз



Гликолиз

<i>Фермент</i>	<i>Обратимость реакции</i>	<i>Кофактор</i>	<i>Изменение свободной энергии (ΔG°, кДж/моль)</i>
Гексокиназа	→	Mg ²⁺	–16,7
Фосфоглюкозоизомераза	↔	Mg ²⁺	1,7
Фосфофруктокиназа	→	Mg ²⁺	–20,2
Альдолаза	↔		23,8
Изомераза	↔		7,5
Фосфатдегидрогеназа	→		6,3
Фосфоглицераткиназа	↔	Mg ²⁺	–18,5
Фосфоглицератмутаза	↔	Mg ²⁺	4,4
Енолаза	↔	Mg ²⁺	7,5
Пируваткиназа	→	K ⁺ , Mg ²⁺ /Mn ²⁺	–31,4

Пентозофосфатный путь (Варбурга – Диккенса – Хорекера)

- альтернативный путь окисления глюкозы, включает в себя окислительный и неокислительный этапы.

Суммарная реакция ПФП

3 глюкозо-6-фосфат + 6 НАДФ⁺ → 3СО₂ +
6 (НАДФН + Н⁺) + 2 фруктозо-6-фосфат
+ глицеральдегид-3-фосфат

Пентозофосфатный путь

Стадия	Фермент
1	Глюкозо-6-фосфатдегидрогеназа
2	6-Фосфоглюконолактоназа
3	6-Фосфоглюконатдегидрогеназа
4	Рибулозо-5-фосфатизомераза
	Рибулозо-5-фосфат-3-эпимераза
5	Транскетолаза
6	Трансальдолаза
7	Транскетолаза

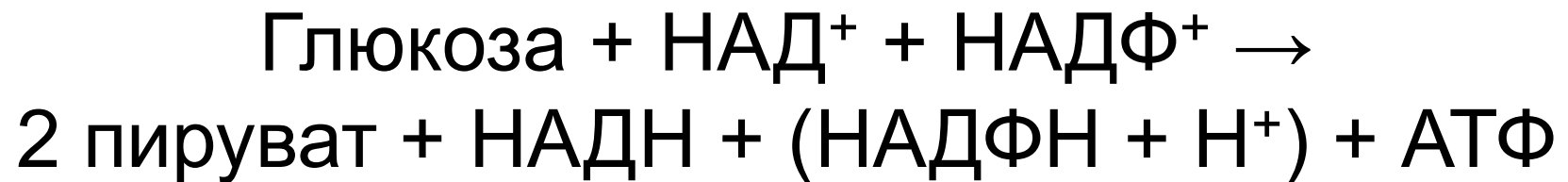


КДФГ-путь

(Энтнера – Дудорова)

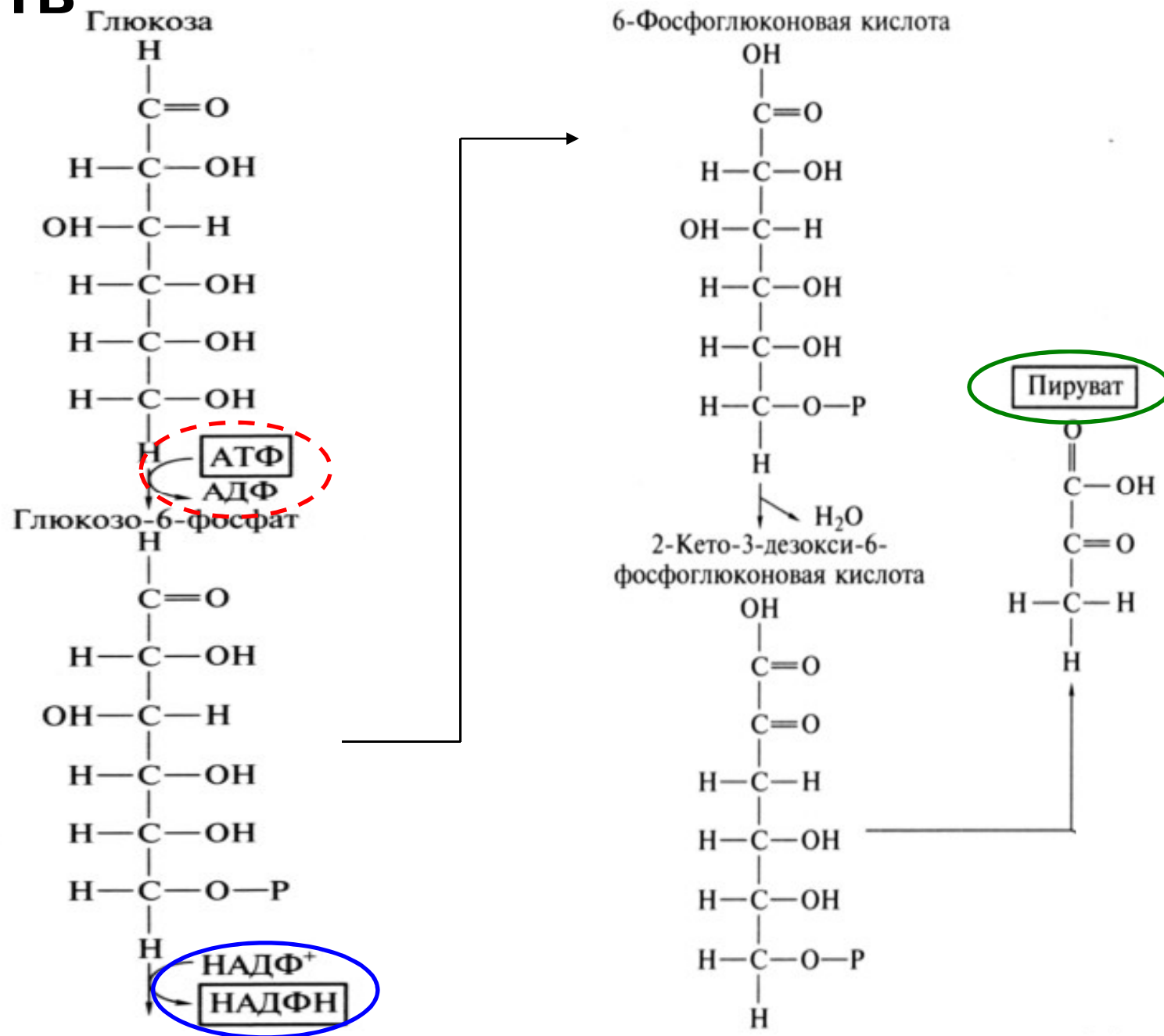
– путь окисления глюкозы, альтернативный гликолизу и пентозофосфатному пути.

Суммарная реакция КДФГ-пути

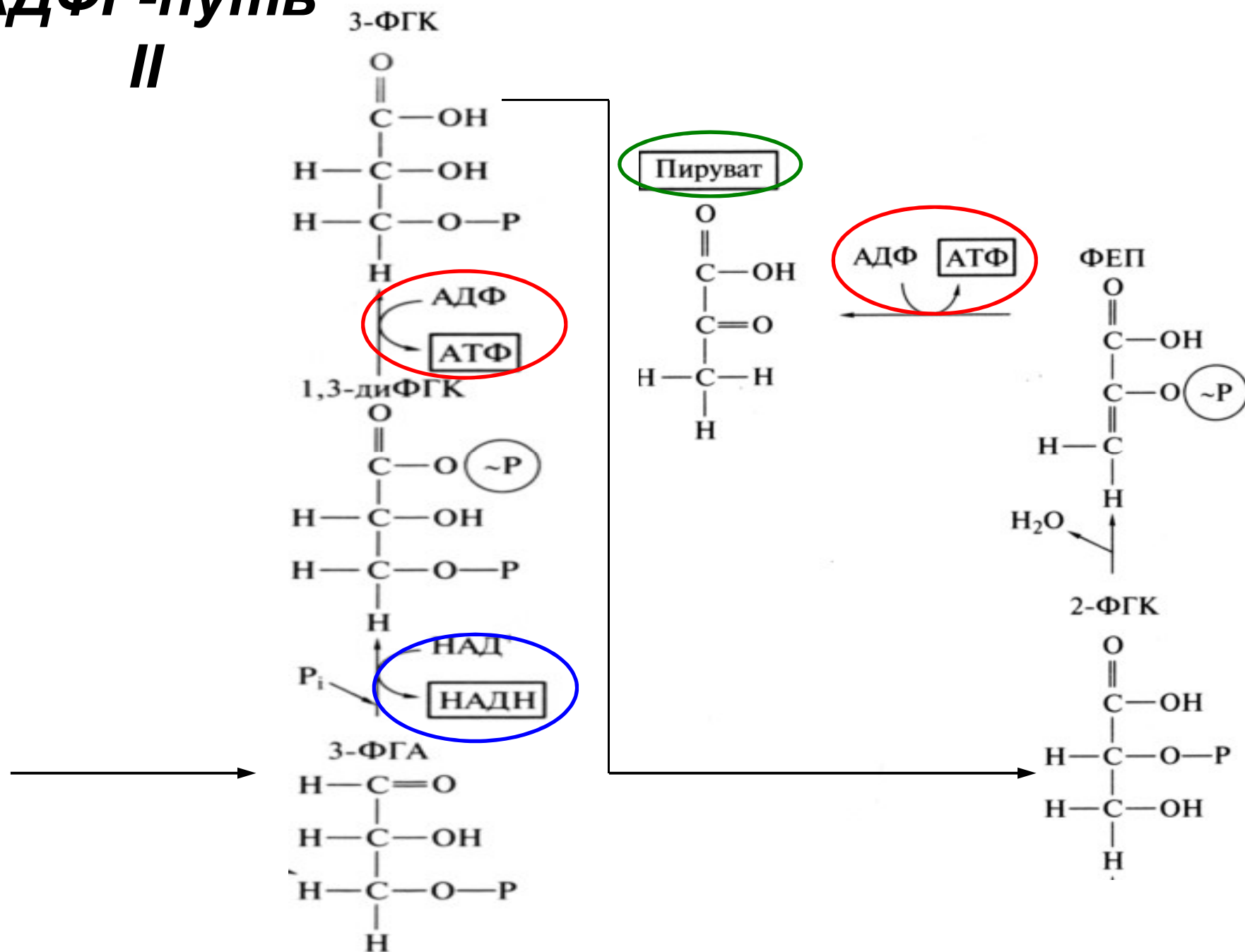


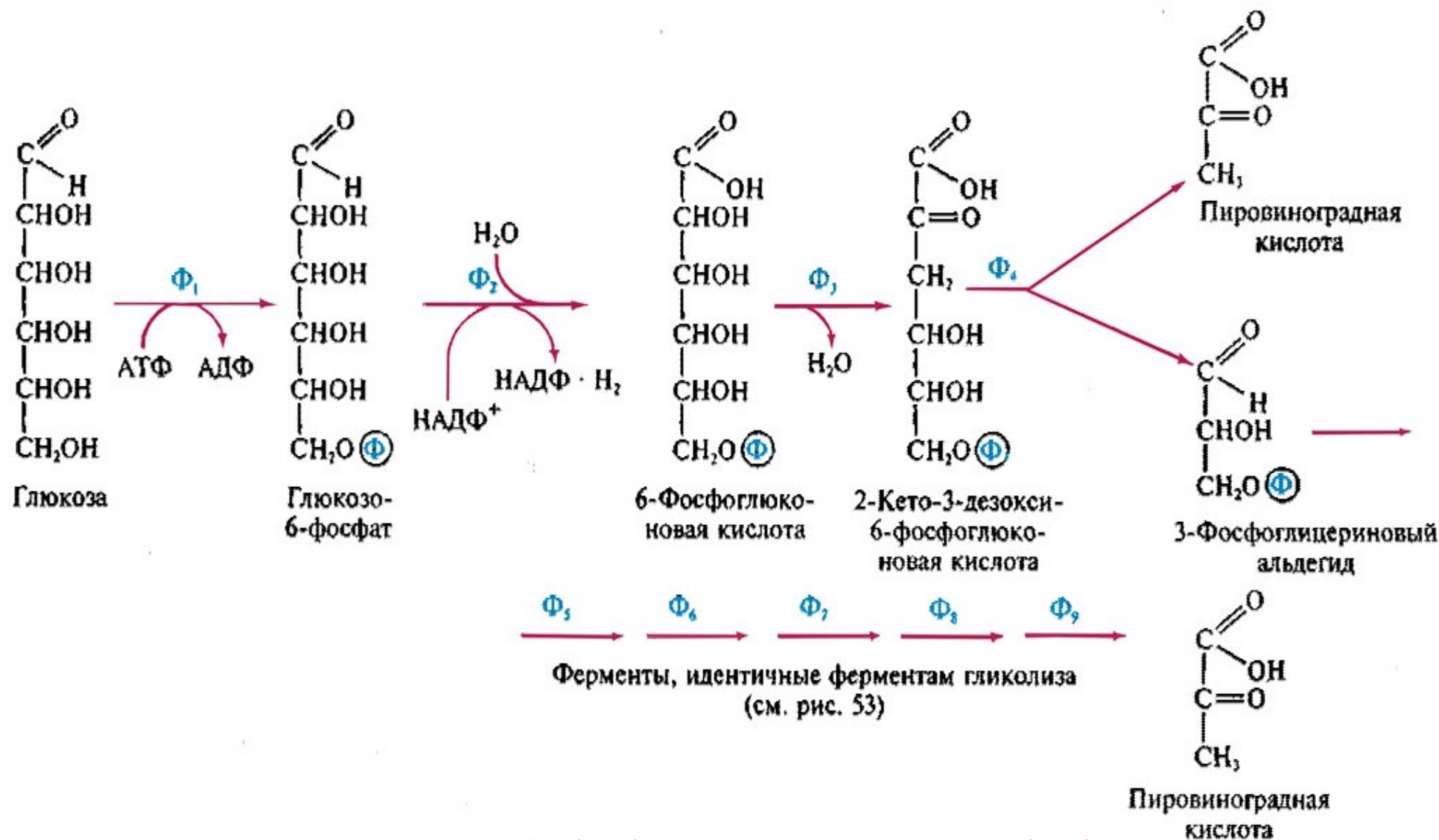
КДФГ-путь

I

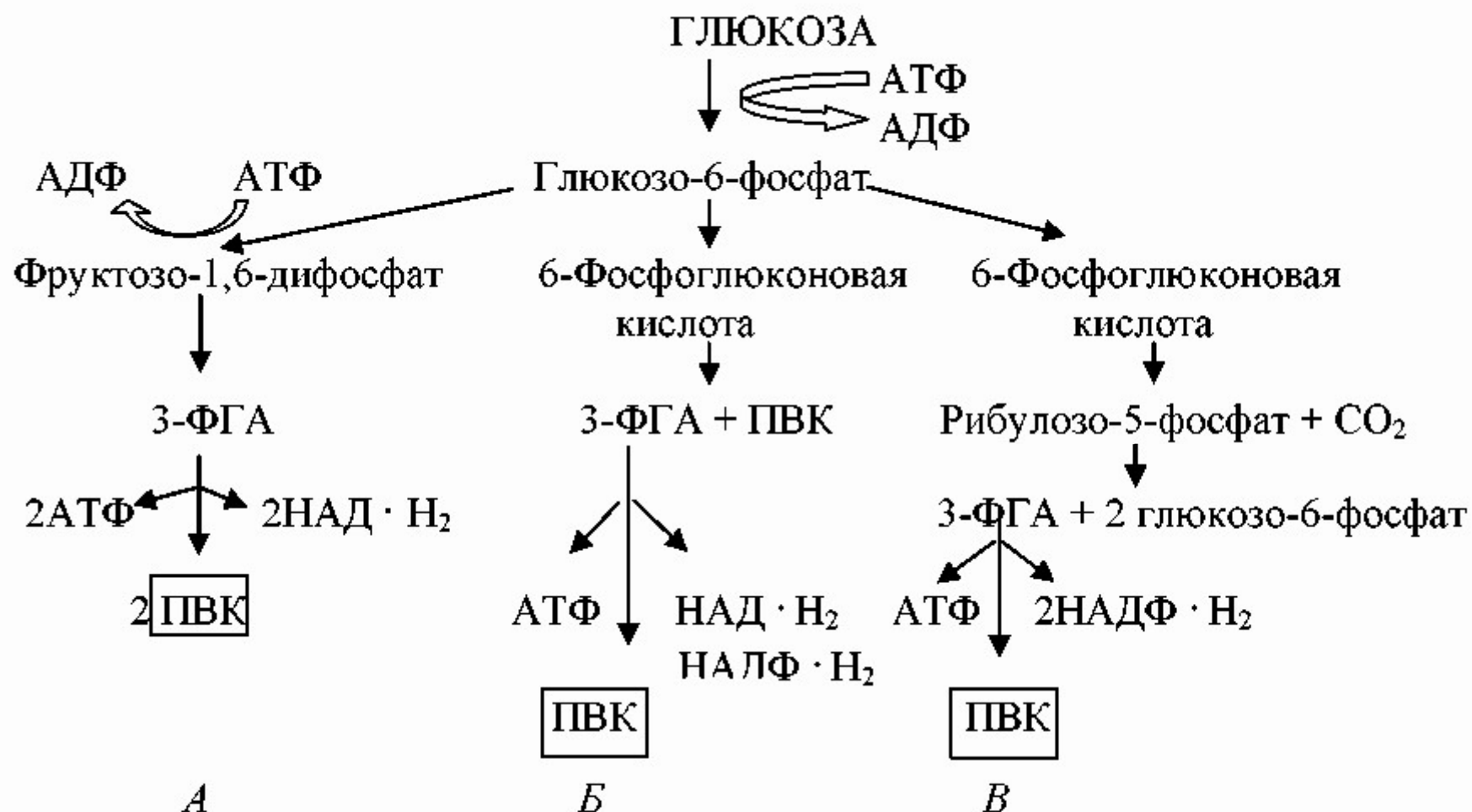


КДФГ-путь II





Φ_1 - гексокиназа; **Φ_2** - глюкозо-6-фосфатдегидрогеназа; **Φ_3** - 6-фосфоглюконатдегидратаза; **Φ_4** - 2-кето-3-дезоксиглюко-6-фосфонат-алолаза; **Φ_5** - глицеральдегид-3-фосфатдегидрогеназа; **Φ_6** - фосфоглицераткиназа; **Φ_7** - фосфоглицеромутаза; **Φ_8** - фосфоглицеромутаза; **Φ_9** - пируваткиназа.



Р Схема путей катаболизма глюкозы в клетках прокариот:
A – гликолиз; *B* – путь Энтнера – Дудорова; *B* – пентозофосфатный путь

Преобразование пирувата



ЦТК (Кребса)

— ключевой этап дыхания всех клеток, использующих кислород, центр пересечения множества метаболических путей в организме.

Суммарная реакция ЦТК



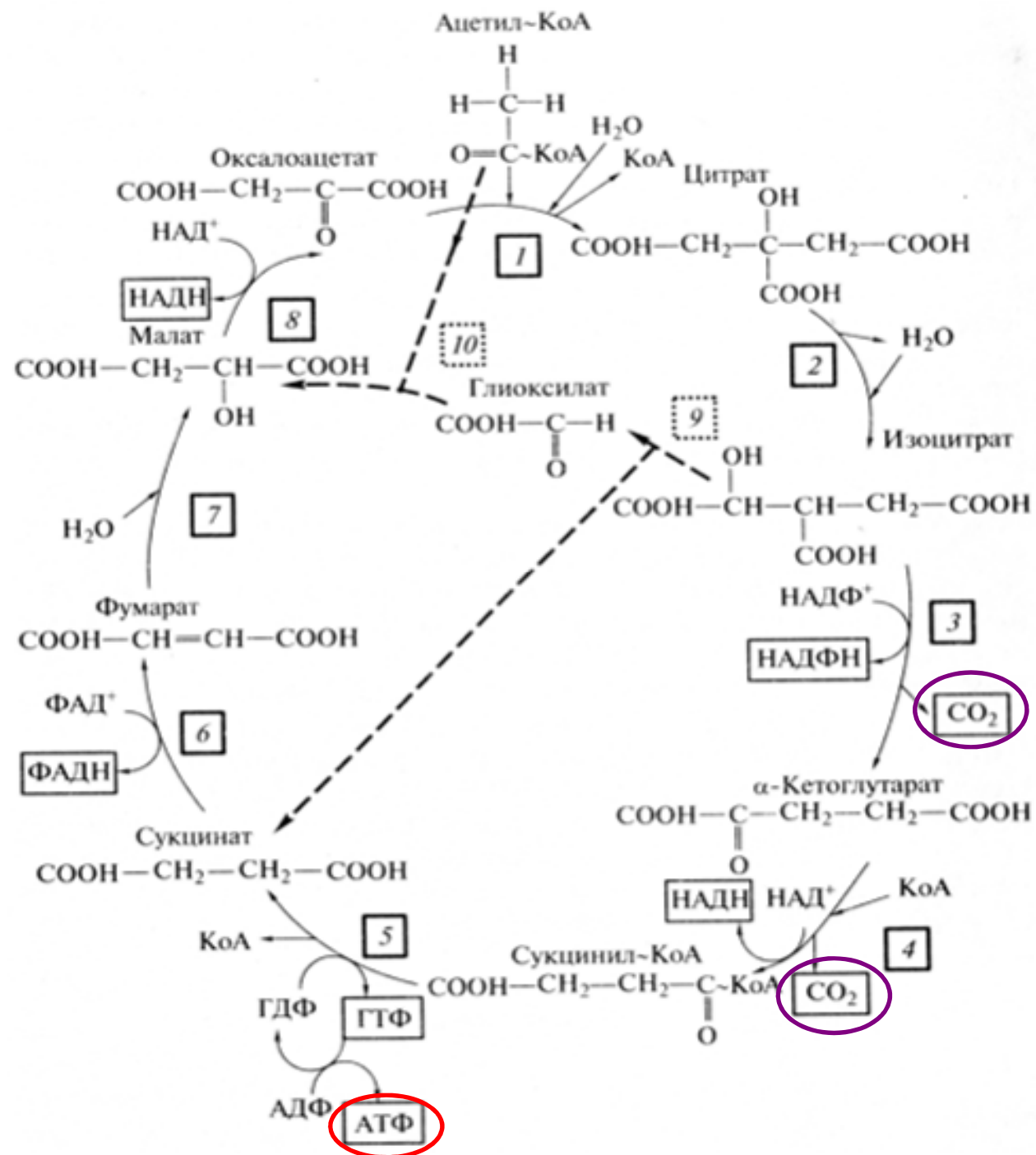
Функции ЦТК

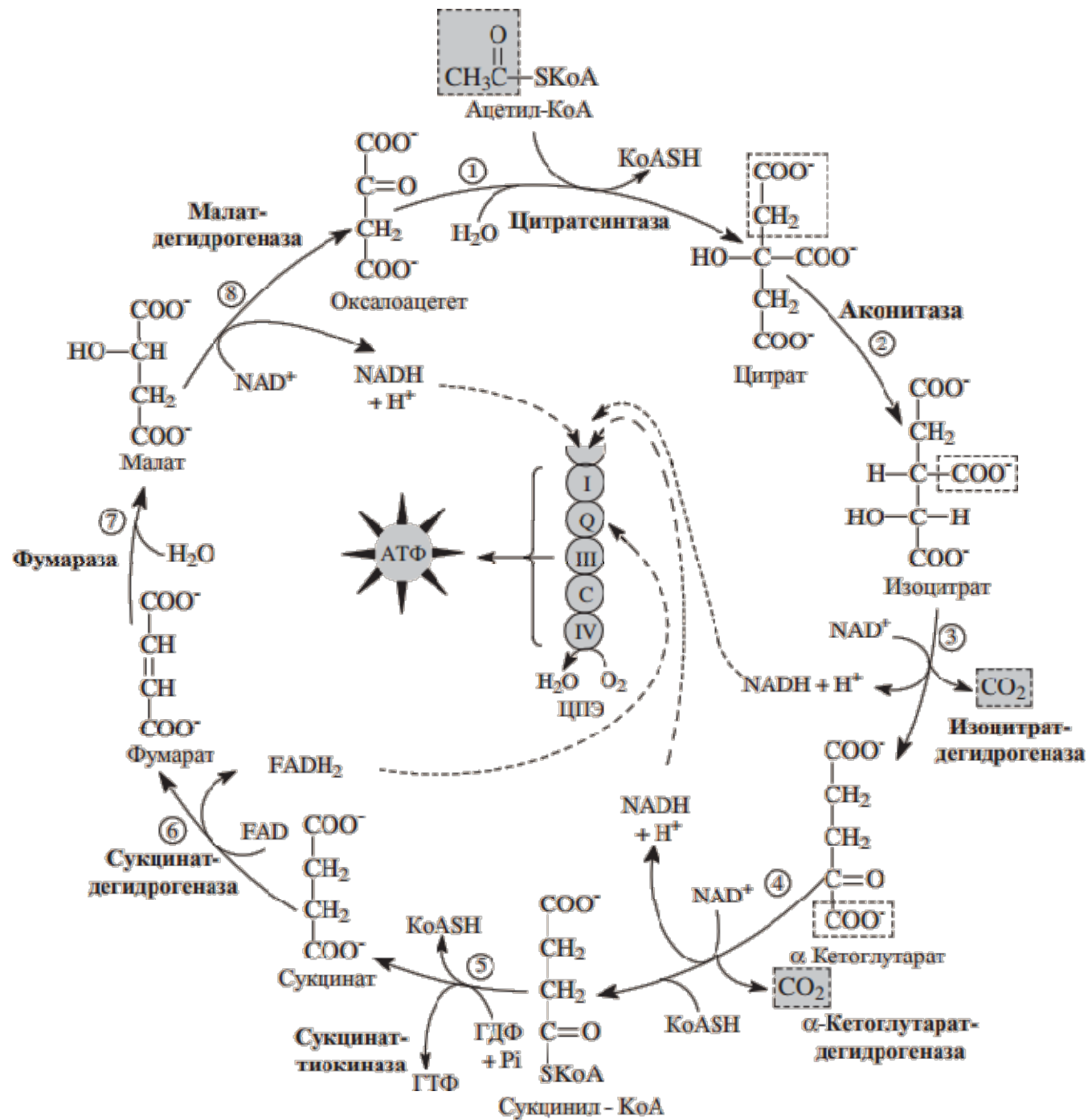
1. **Энергетическая.** Генерация атомов водорода для работы дыхательной цепи, а именно трех молекул НАДН и одной молекулы ФАДН₂, синтез одной молекулы ГТФ.
2. **Анаболическая.** В ЦТК образуются предшественник гема — сукцинил-SКоА, кетокислоты, способные превращаться в аминокислоты — α-кетоглутарат для глутаминовой кислоты, оксалоацетат для аспарагиновой, лимонная кислота, используемая для синтеза жирных кислот, оксалоацетат, используемый для синтеза глюкозы.
3. **Катаболическая.** Превращение различных соединений в субстраты цикла.
4. **Интегративная.** Цикл является связующим звеном между реакциями анаболизма и катаболизма.

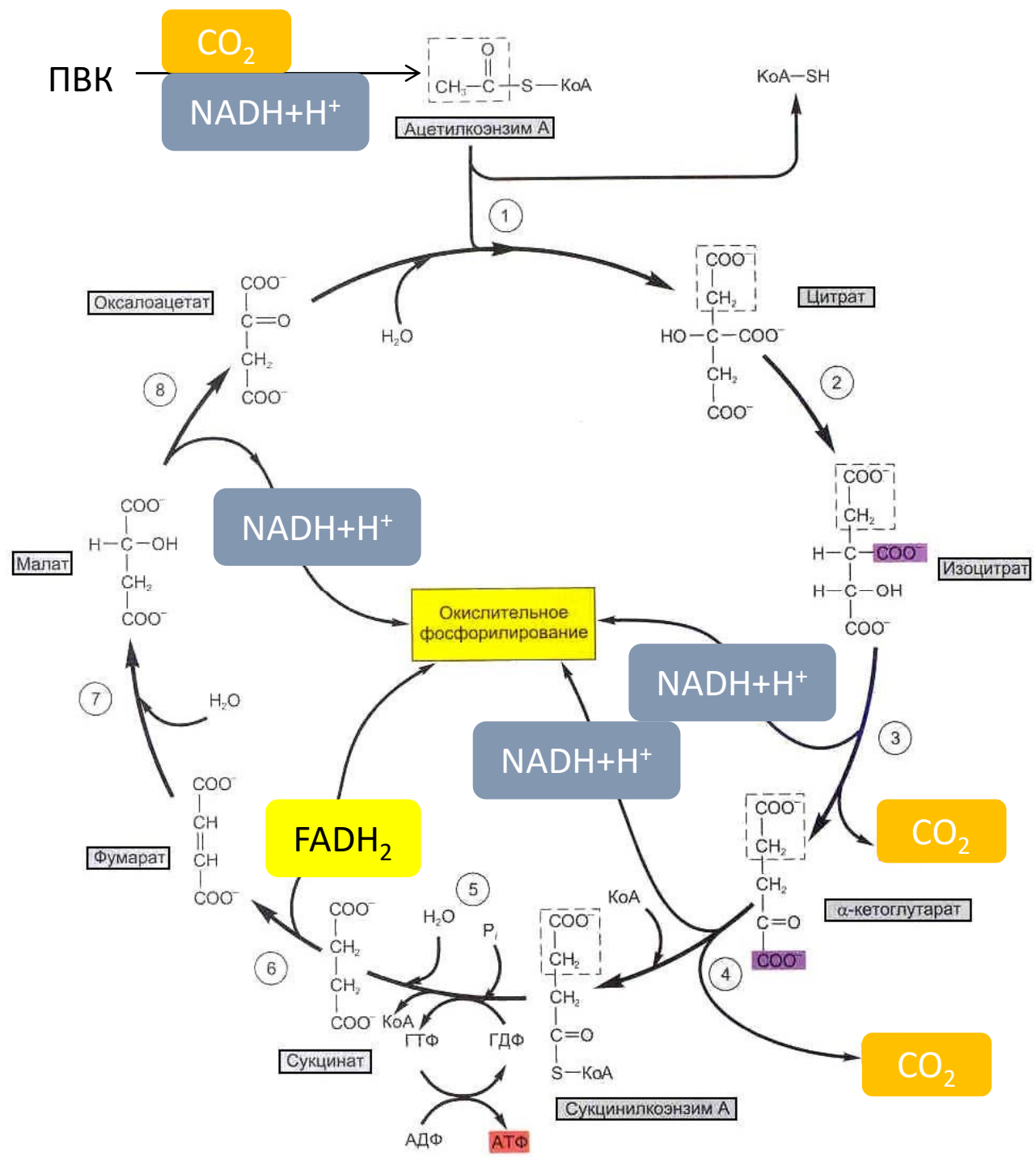
Как запомнить ЦТК

ЩУКа съела ацетат, получается цитрат,
Через цисаконитат будет он изоцитрат.
Водороды отдав НАД, он теряет CO_2 ,
Этому безмерно рад альфа-кетоглутарат.
Окисление грядет — НАД похитил водород,
ТДФ, коэнзим А забирают CO_2 .
А энергия едва в сукциниле появилась,
Сразу АТФ родилась и остался сукцинат.
Вот добрался он до ФАДа — водороды тому надо,
Фумарат воды напился, и в малат он превратился.
Тут к малату НАД пришел, водороды приобрел,
ЩУКа снова объявилась и тихонько затаилась.

**ЦТК,
или цикл Кребса**







**Энергия
химических
связей**

Свет

Донор электронов	Источник углерода	Способ существования	Представители прокариот
неорганические со- единения (H_2 , H_2S , NH_3 , Fe^{2+} и др.)	CO_2	хемолитоавто- трофия	нитрифицирующие, тионовые, водород- ные бактерии; аци- дофильные железо- бактерии
	органические соединения	хемолитогетеро- трофия	метанобразующие архебактерии, водо- родные бактерии
органические соединения	CO_2	хемоорганоавто- трофия	факультативные ме- тилотрофы, окисля- ющие муравьиную кислоту
	органические соединения	хемоорганогете- ротрофия	большинство про- кариот*
неорганические со- единения (H_2O , H_2S , S^0 и др.)	CO_2	фотолитоавто- трофия	цианобактерии, пурпурные и зеле- ные бактерии**
	органические соединения	фотолитогетеро- трофия	некоторые циано- бактерии, пурпур- ные и зеленые бак- терии
органические соединения	CO_2	фотоорганоавто- трофия	некоторые пурпур- ные бактерии
	органические соединения	фотоорганогете- ротрофия	пурпурные и неко- торые зеленые бак- терии, галобакте- рии, некоторые цианобактерии

Универсальные формы энергии, которые используются в клетке для выполнения разного рода работы: энергия высокоэнергетических химических соединений (химическая) и энергия трансмембранного потенциала ионов водорода (электрохимическая)

Высокоэнергетические соединения

Соединения с *высокоэнергетической фосфатной связью*:
ацилфосфаты, фосфорные эфиры енолов (фосфоенолпируват),
нуклеотидди- и трифосфаты, аденозинфосфосульфат

Соединения с *высокоэнергетической тиоэфирной связью* —
ацилтиоэфиры