

Тема лекции:

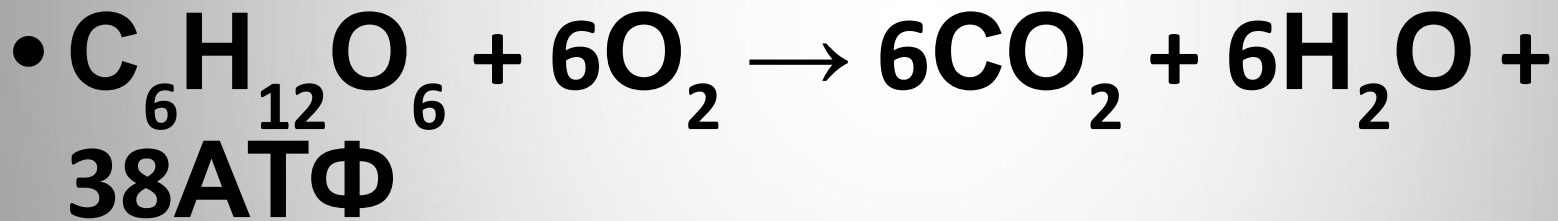
**Цикл трикарбоновых кислот
(Ц.Кребса). Подсчёт
суммарного энергетического
эффекта аэробного
окисления глюкозы**

Лектор: доцент Васильева С.В.

- **В аэробных условиях глюкоза в реакциях гликолиза окисляется не до молочной, а до пировиноградной кислоты.**

- **Что значит «в аэробных условиях»? Это значит, что процесс окисления глюкозы требует:**
 - **присутствия кислорода**
 - **присутствия ферментов биологического окисления**

Суммарное уравнение аэробного окисления ГЛЮКОЗЫ:



- **Часть этого процесса нам уже известна – это гликолиз.**
- **Но в гликолизе вырабатывается 2 молекулы ПВК и только 2 АТФ.**
- **Вероятно, есть какой-то процесс, где ПВК вступает в реакции и в этих реакциях образуется 18 АТФ.**



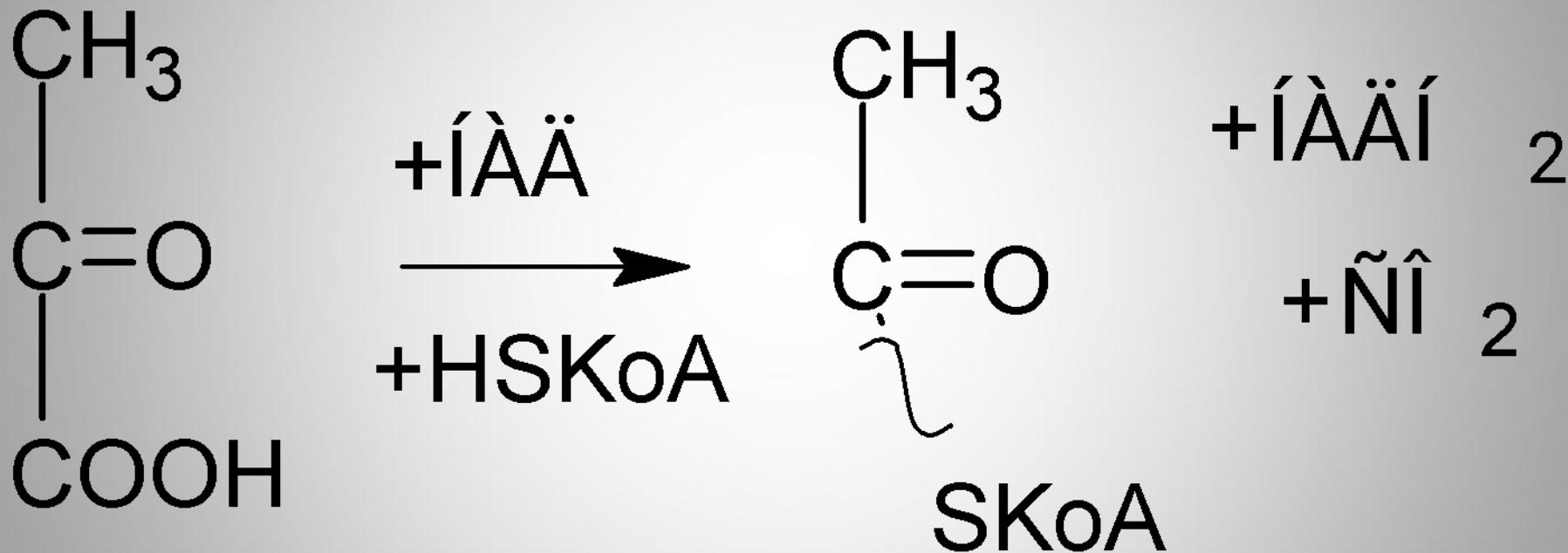
**Ганс Адольф
Кребс (1900 – 1981)
Открыл и описал
цикл лимонной
кислоты в 1937
году.
В 1953 году за это
открытие получил
Нобелевскую
премию.**

- **Вспомним, что важнейший процесс образования АТФ в клетке – это окислительное фосфорилирование.**
- **Полная цепь биологического окисления идёт с образованием 3 АТФ (начинается с НАД)**
- **Укороченная цепь биологического окисления идёт с образованием 2 АТФ (начинается с ФАД)**

Вернёмся к гликолизу

- Итак, мы остановились на образовании пирувиноградной кислоты.
- Молекула ПВК в присутствии ферментов аэробного окисления подвергается воздействию ***пируват-дегидрогеназного комплекса***. В этот комплекс входят три фермента и пять коферментов (НАД, ФАД, витамин В₁, амид

В результате окислительного декарбоксилирования образуется молекула ацетил-коэнзим А



ацетат

ацетил-коэнзим А

- В этой реакции помимо образования молекулы ацетил-КоА мы видим перенос водорода на НАДН₂
- Эта восстановленная форма НАДН₂ далее передаёт водород на полную цепь биологического окисления.
- Также заметим, что выделяется молекула СО₂

- **Заметим также, что в молекуле ацетил-КоА содержится тиоэфирная связь, которая является макроэргической.**
- **Энергия этой связи будет использована в следующей реакции.**

- **Рассмотренная реакция является «мостиком» между гликолизом и циклом Кребса.**

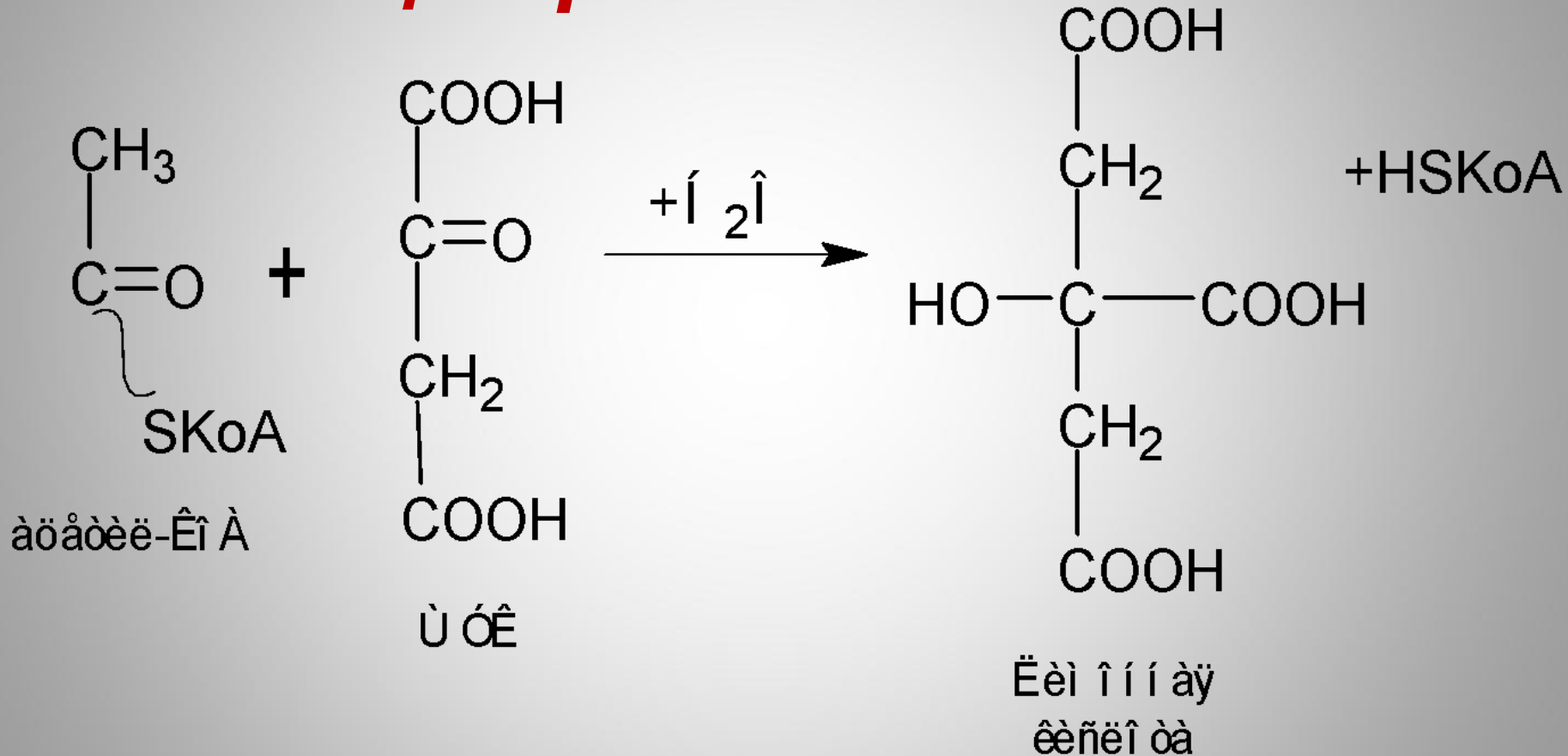
Цикл Кребса

**Цикл трикарбоновых
кислот**

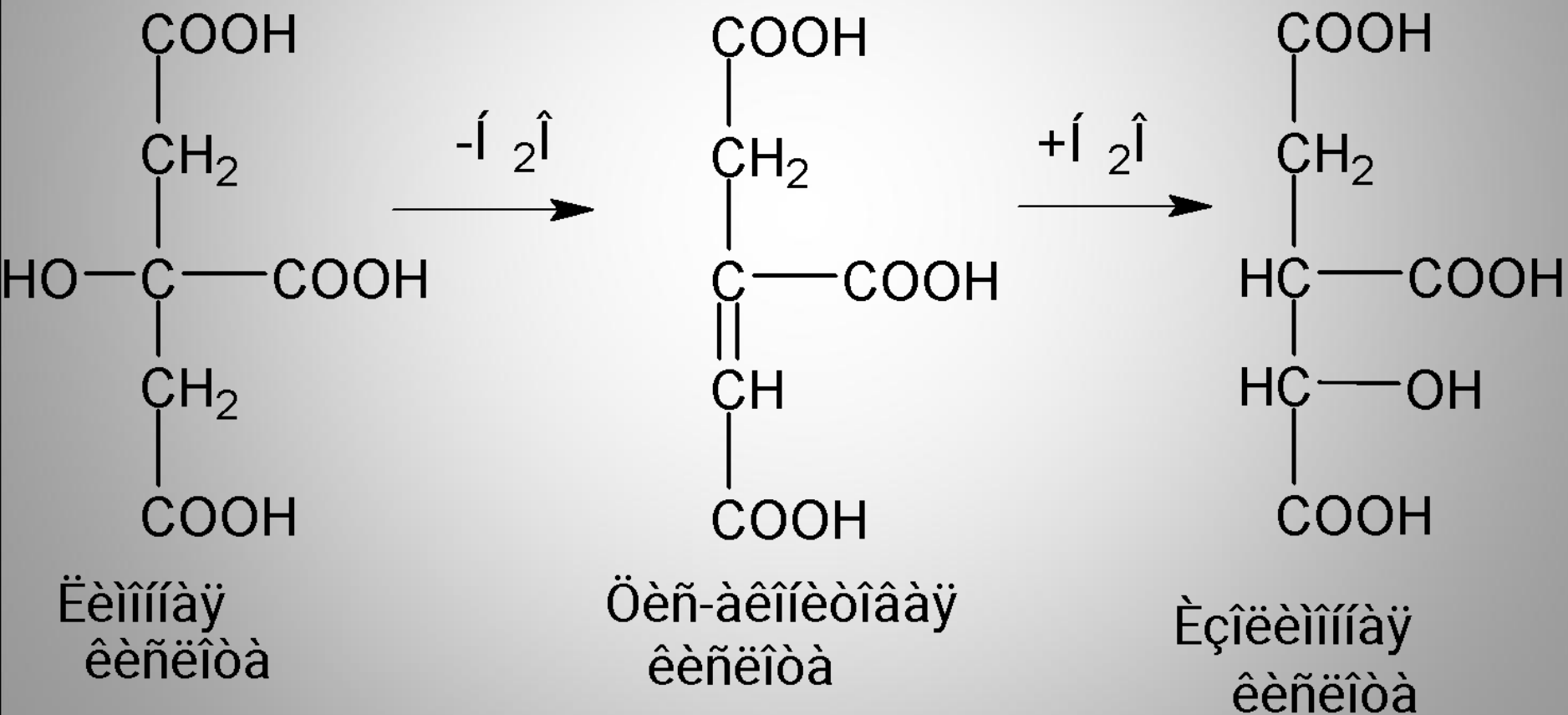
**Цикл лимонной кислоты
цитратный цикл**

Первая реакция идёт с участием фермента

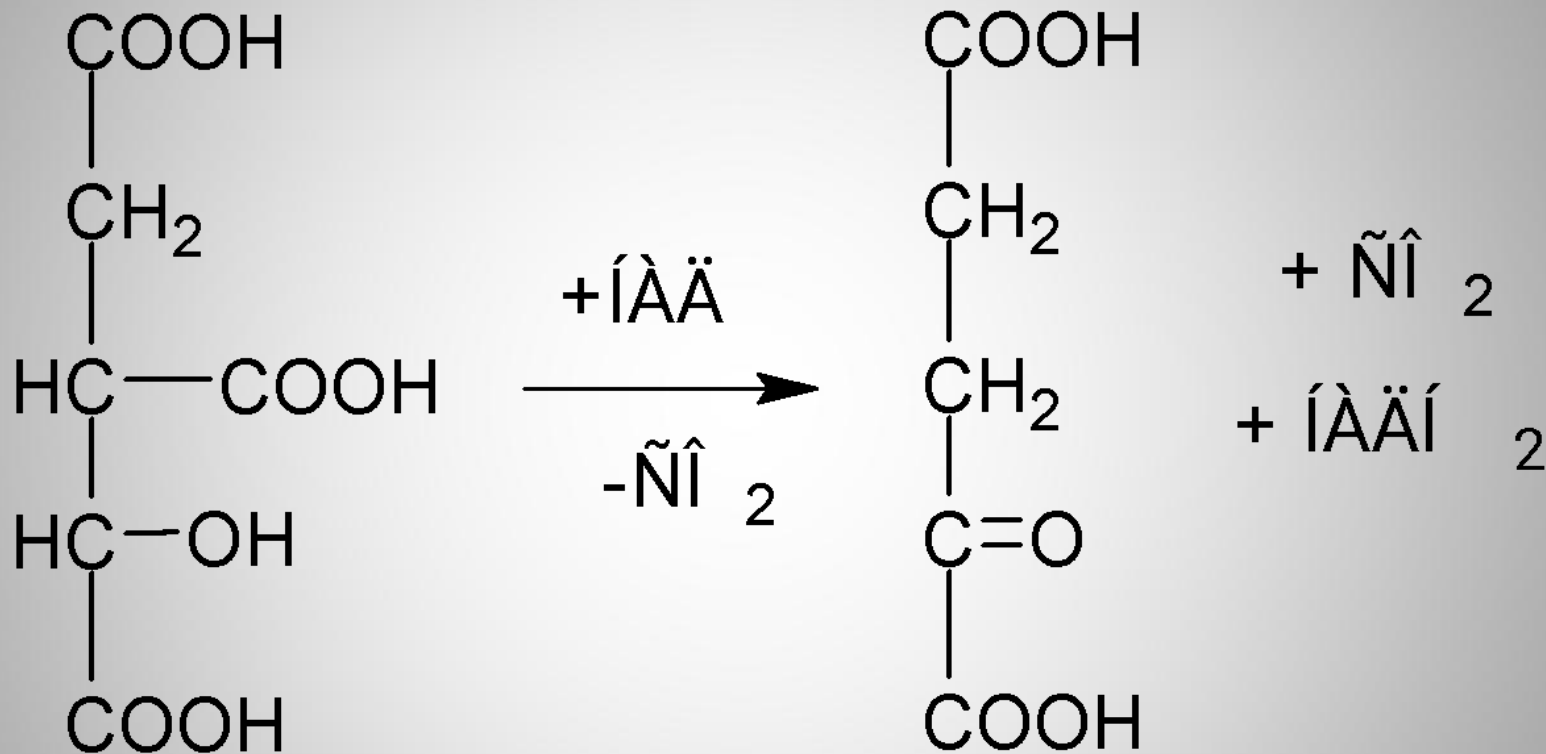
цитратсинтазы



Во второй реакции с участием фермента **аконитазы** лимонная кислота превращается в свой изомер – **изолимонную**.



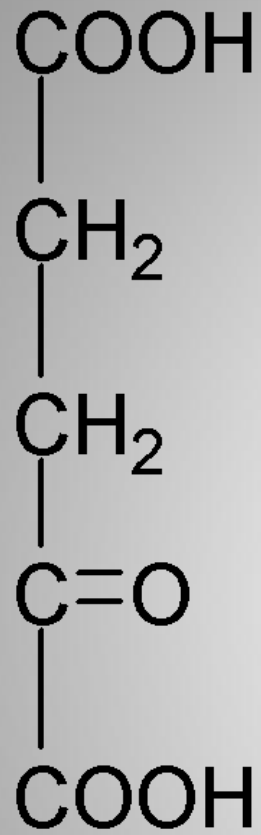
Изоцитратдегидрогеназа катализирует третью реакцию. Здесь мы видим перенос водорода на НАД и выделение CO_2



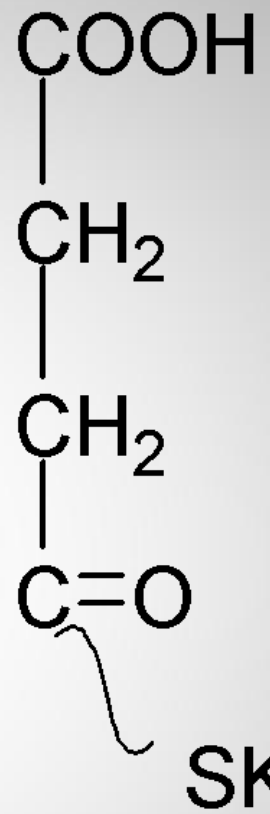
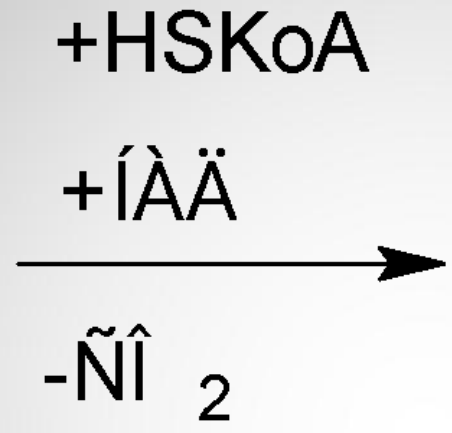
Изоцитрат
 3-оксисукцинат

α -кетосукцинат
 3-оксисукцинат

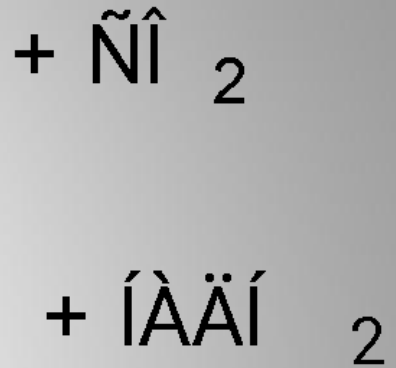
- Четвёртая реакция идёт при участии ***альфа-кетоглутарат-дегидрогеназного комплекса*** (аналог пируват-дегидрогеназного)
- В реакции участвуют те же пять коферментов
- Здесь также переносится водород на НАД, образуется тиоэфирная связь в составе сукцинил-КоА и выделяется CO_2



α -ketoglutarate
 2-oxoglutarate



N-acetyl-CoA



- В пятой реакции будет использована макроэргическая тиоэфирная связь.
- Её разрыв сопровождается выделением энергии, которая будет использована на образование ГТФ из ГДФ и неорганического фосфата (путём субстратного фосфорилирования)
- Фермент – ***тиокиназа***

COOH

CH₂

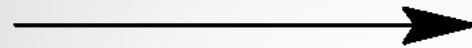
CH₂

C=O

SKoA

+ Í 3ĐÎ 4

+ ÃÄÔ



COOH

CH₂

CH₂

COOH

+ HSKoA

+ ÃTÔ

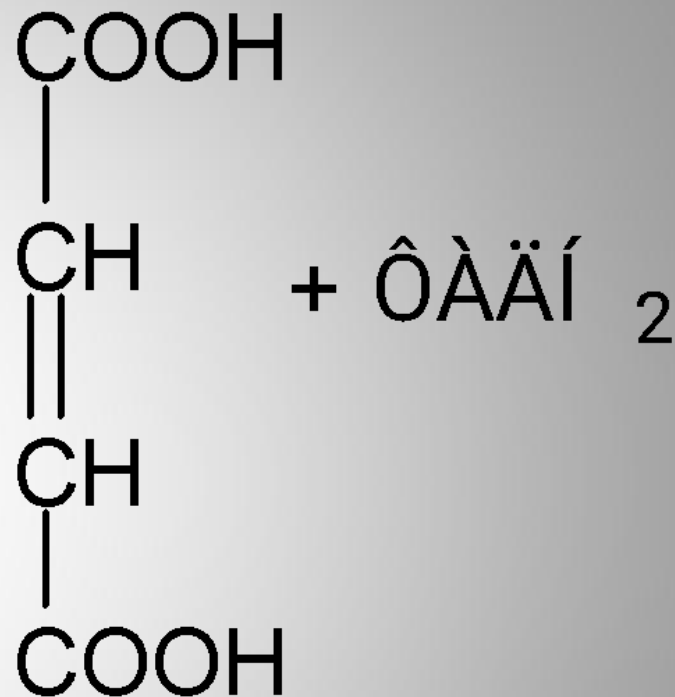
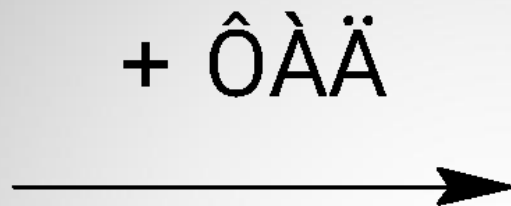
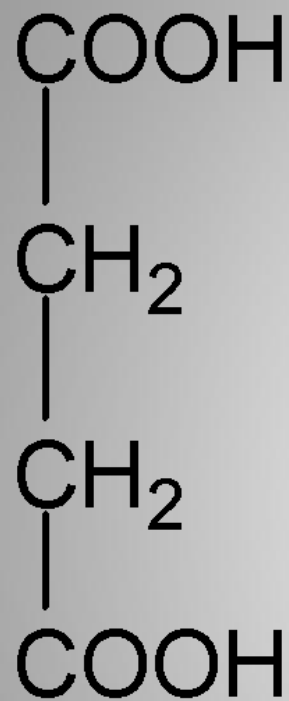
Ñóëöèíèè -ÊîÀ

Βίòàđíàÿ

êèñëîà

- Молекула ГТФ эквивалентна АТФ
- ГТФ легко превращается в АТФ под влиянием фермента *нуклеозиддифосфаткиназы*

- Янтарная кислота окисляется в фумаровую кислоту в сукцинат-дегидрогеназной реакции
- *Сукцинат-дегидрогеназа* – железо-серосодержащий фермент, коферментом которого является ФАД.

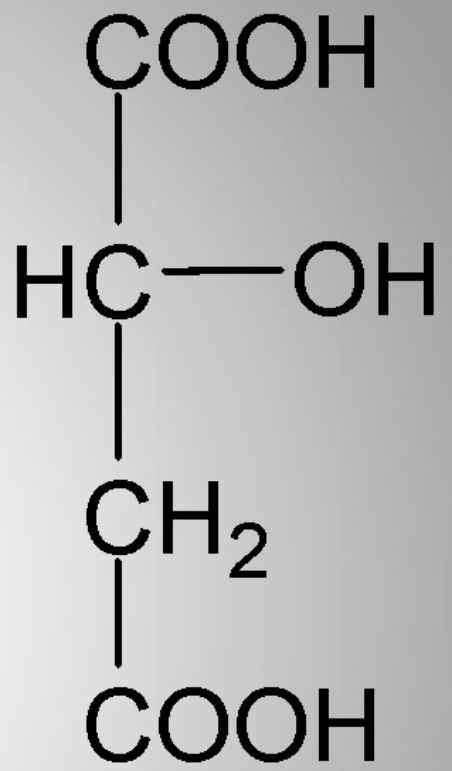
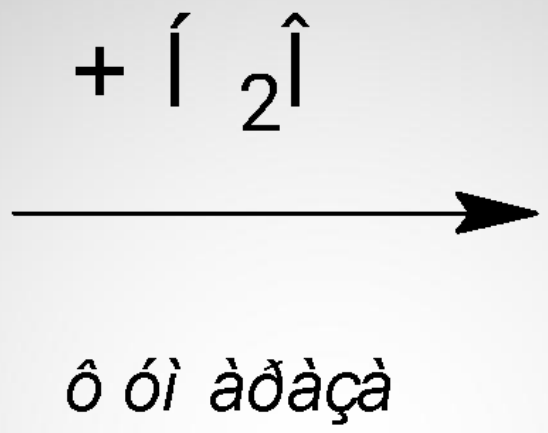


β-οξιδισμός
εξοξείωση

Οξοξιδισμός
εξοξείωση

- **ФАДН₂ передаёт водород на укороченную цепь биологического окисления**

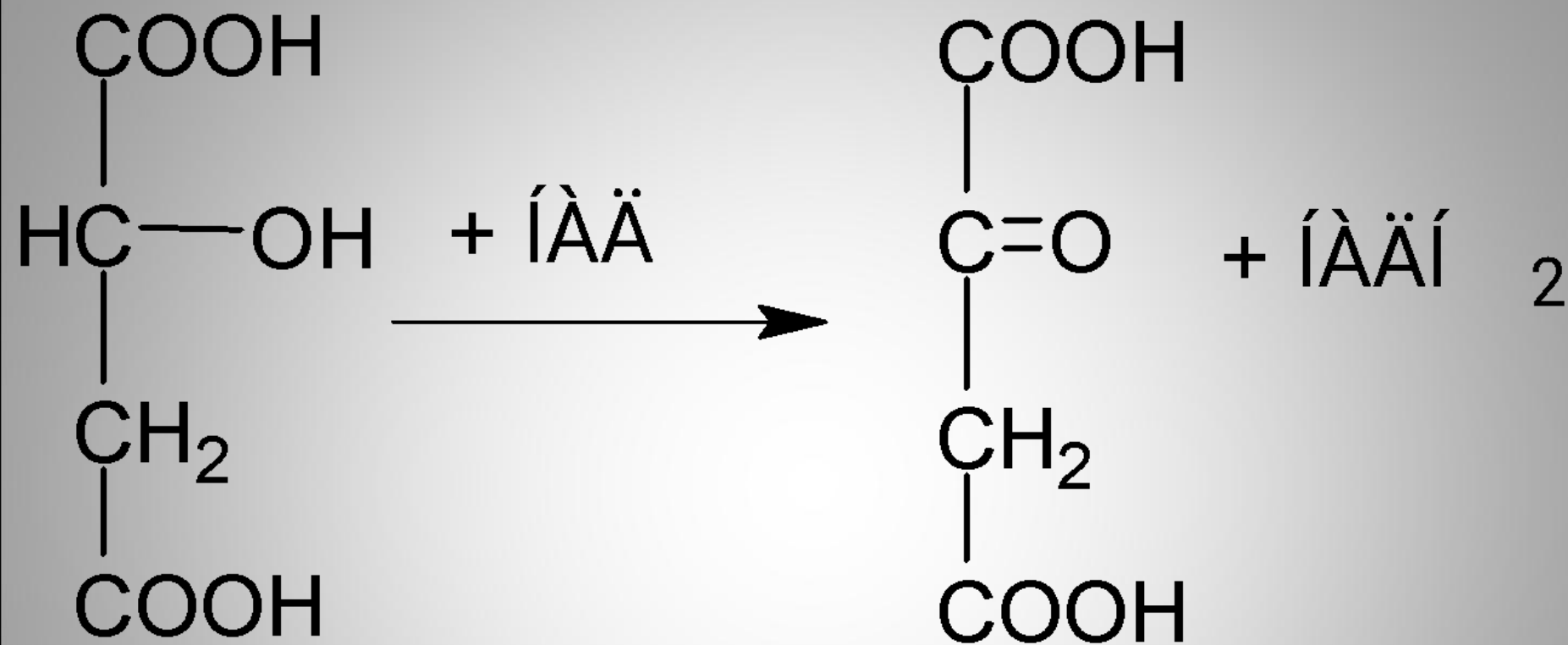
- Следующая реакция идёт с участием фермента **фумаразы**.
К фумаровой кислоте присоединяется вода
- В результате образуется яблочная кислота



Ôóìàđíâàÿ
 êèñëîà

Βάει÷íàÿ
 êèñëîà

- В последней реакции цикла Кребса яблочная кислота окисляется до щавелевоуксусной
- При этом водород переносится на НАД
- Фермент - *малатдегидрогеназа*



β-кетоглютарат
 еңеңірі

УОЭ

- **Итак, цикл замкнулся.**
Вспомним, что в первой
реакции цикла
взаимодействовали молекулы
ацетил-КоА и ЩУК
- **Ацетил-КоА образовался из**
ПВК (из глюкозы), а молекула
ЩУК образовалась в
предыдущем витке цикла
Кребса

- **Полученная в нашем цикле молекула ЦУК будет конденсировать с новой молекулой ацетил-КоА.**
- **И так будет повторяться снова и снова.**

Подведём итог. Сколько молекул АТФ образуется в цикле Кребса?

1. Изоцитрат \rightarrow α -кетоглутарат (3 АТФ)
2. α -кетоглутарат \rightarrow сукцинил-КоА (3АТФ)
3. Сукцинил-КоА \rightarrow янтарная кислота (1 АТФ)
4. Янтарная к-та \rightarrow фумаровая к-та (2 АТФ)
5. Яблочная к-та \rightarrow ЩУК (3 АТФ)

ИТОГО: 12 АТФ



ацетил-КоА

НАДН
НАД+

ЩУК

лимонная
кислота

яблоч-
ная
кислота

изо-
лимонная
кислота

Цикл
Кребса

H₂O

фумаро-
вая
кислота

НАД+
НАДН
CO₂

α-кето-
глута-
ровая
кислота

КоА

ФАДН₂
ФАД

янтарная
кислота

сукци-
нил-
КоА

НАД
НАДН
CO₂

ГТФ
ГДФ
АДФ
АТФ

Энергетический эффект аэробного окисления глюкозы

- Цикл Кребса – $12 \text{ АТФ} * 2 = 24 \text{ АТФ}$
- Гликолиз – 2 АТФ
- ПВК \square ацетил-КоА – $3 \text{ АТФ} * 2 = 6 \text{ АТФ}$
- НАДН₂ из гликолиза – $3 \text{ АТФ} * 2 = 6 \text{ АТФ}$

ИТОГО: 38 АТФ

Спасибо за внимание!