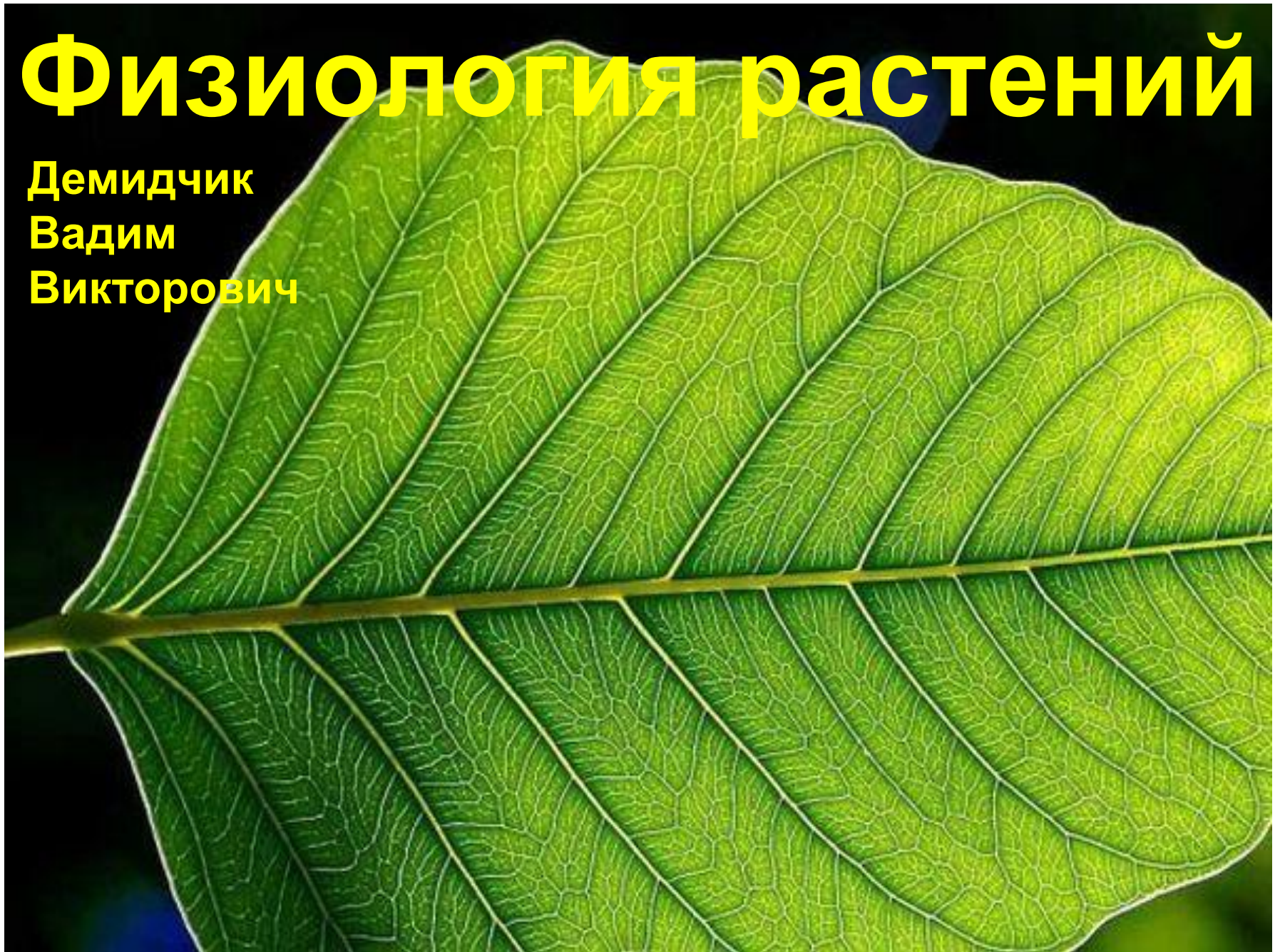


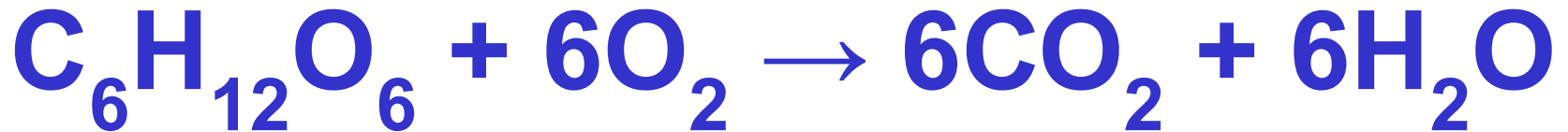
Физиология растений

Демидчик
Вадим
Викторович



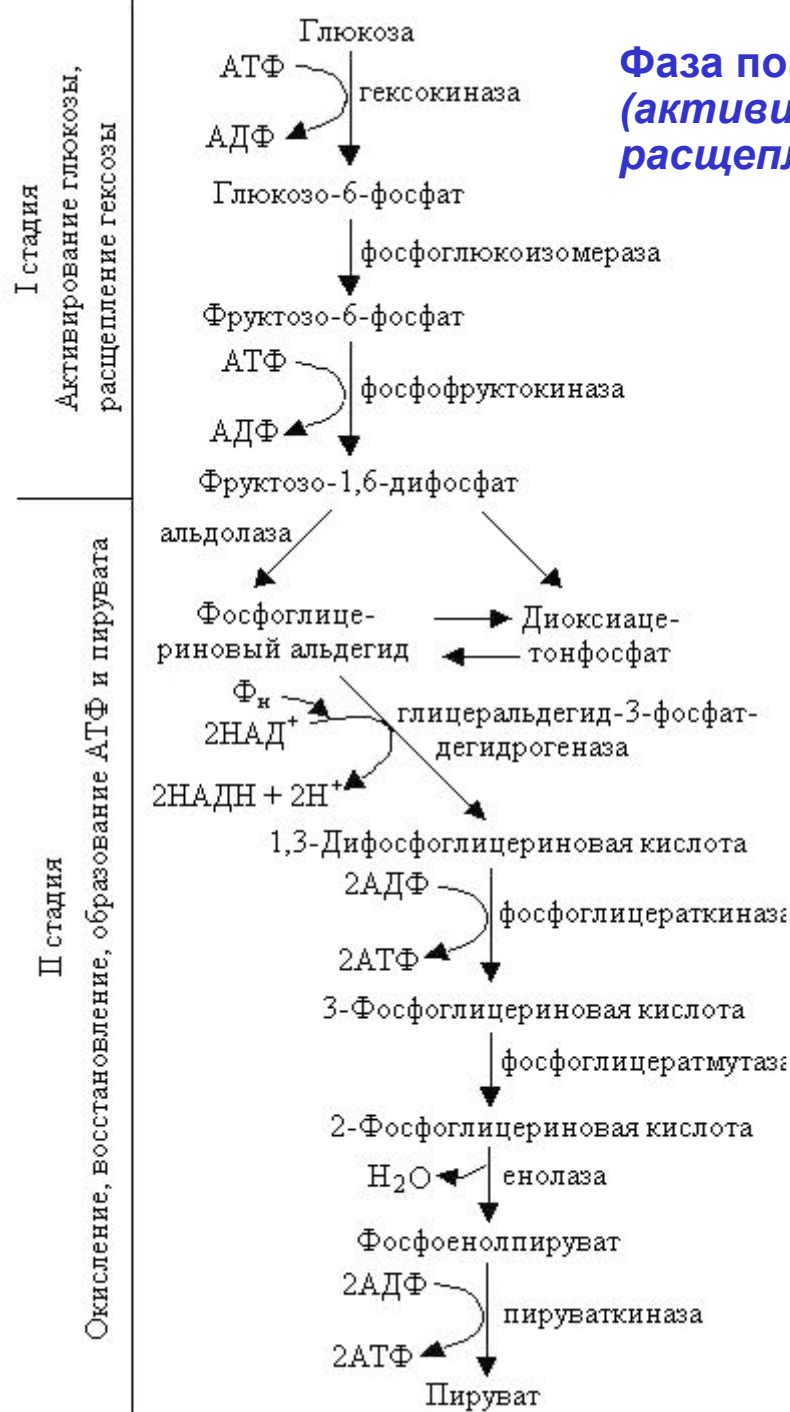
Дыхание

представляет собой разрушение органических веществ при участии кислорода воздуха, в результате чего выделяется энергия и образуются высоко-окисленные вещества CO_2 и H_2O .



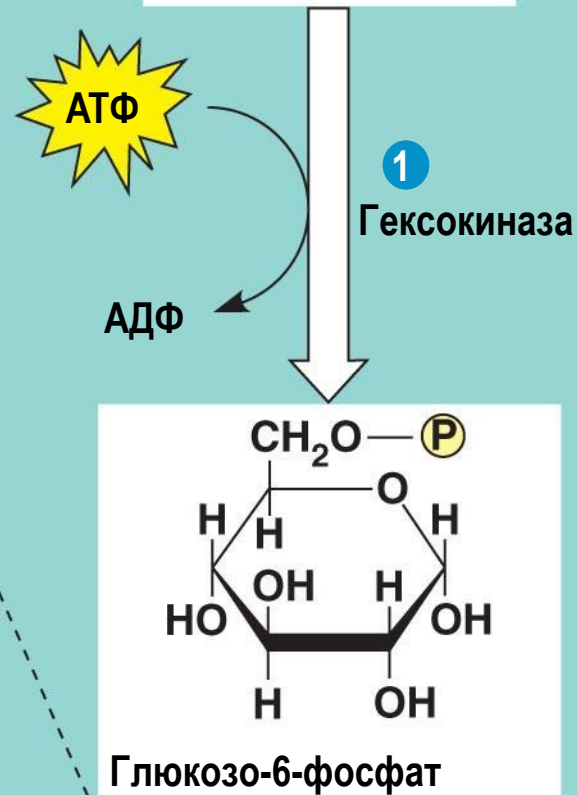
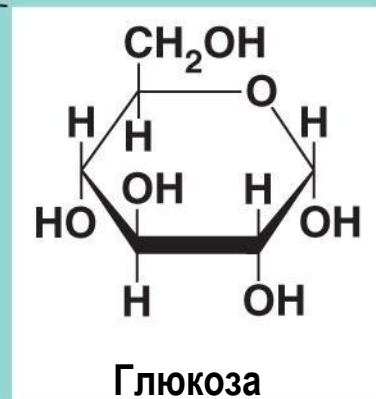
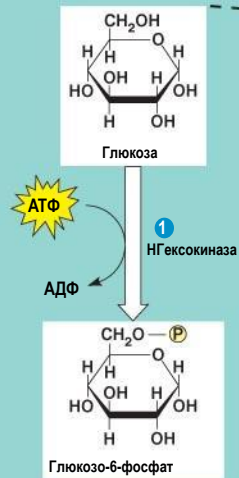
Общая схема гликолиза:

Фаза высвобождения энергии (окисление, восстановление и образование АТФ и пирувата)

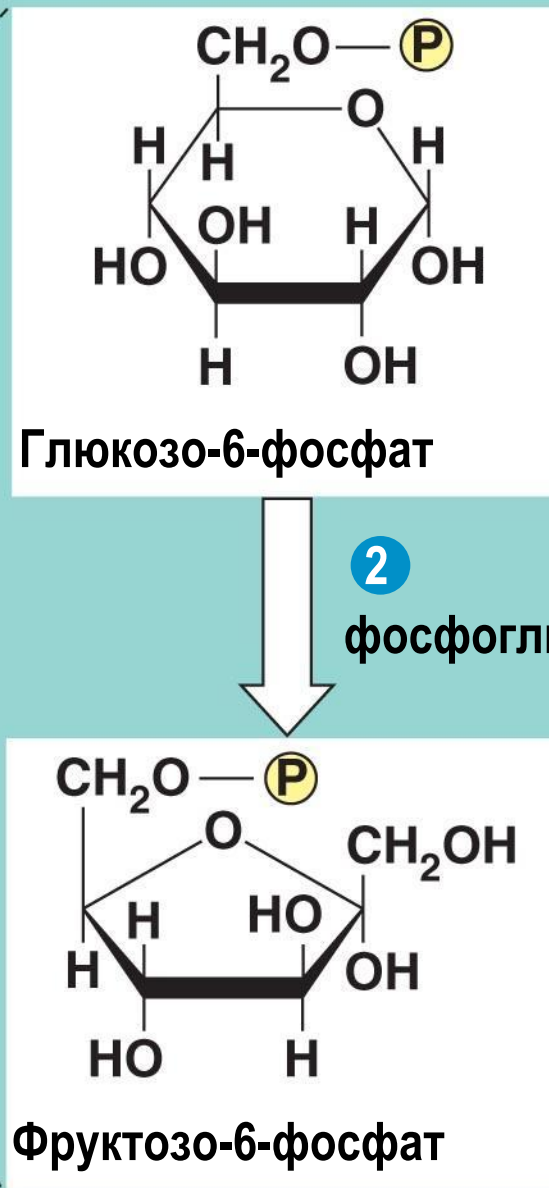
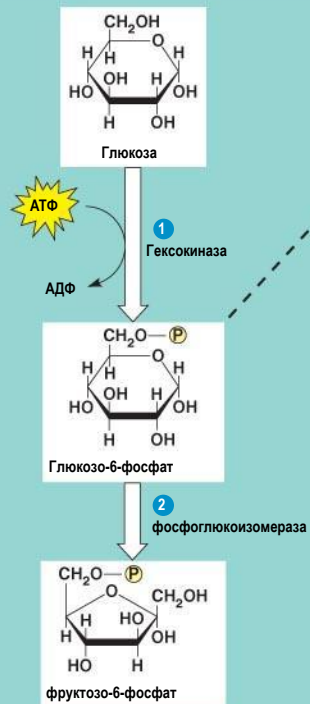


Фаза поглощения энергии (активирование и расщепление глюкозы)

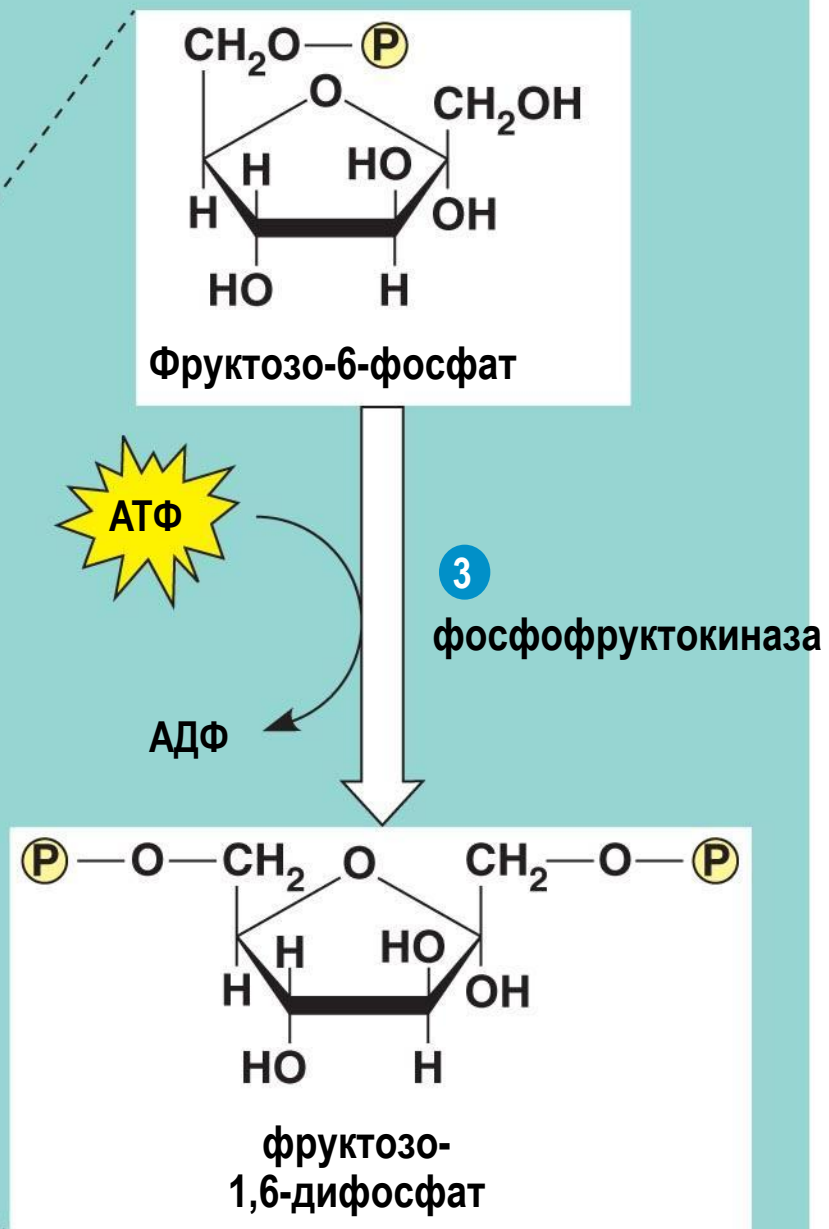
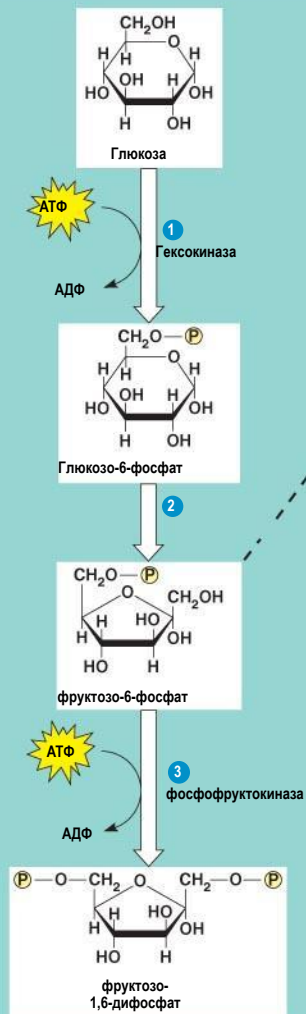
Основные реакции гликолиза:



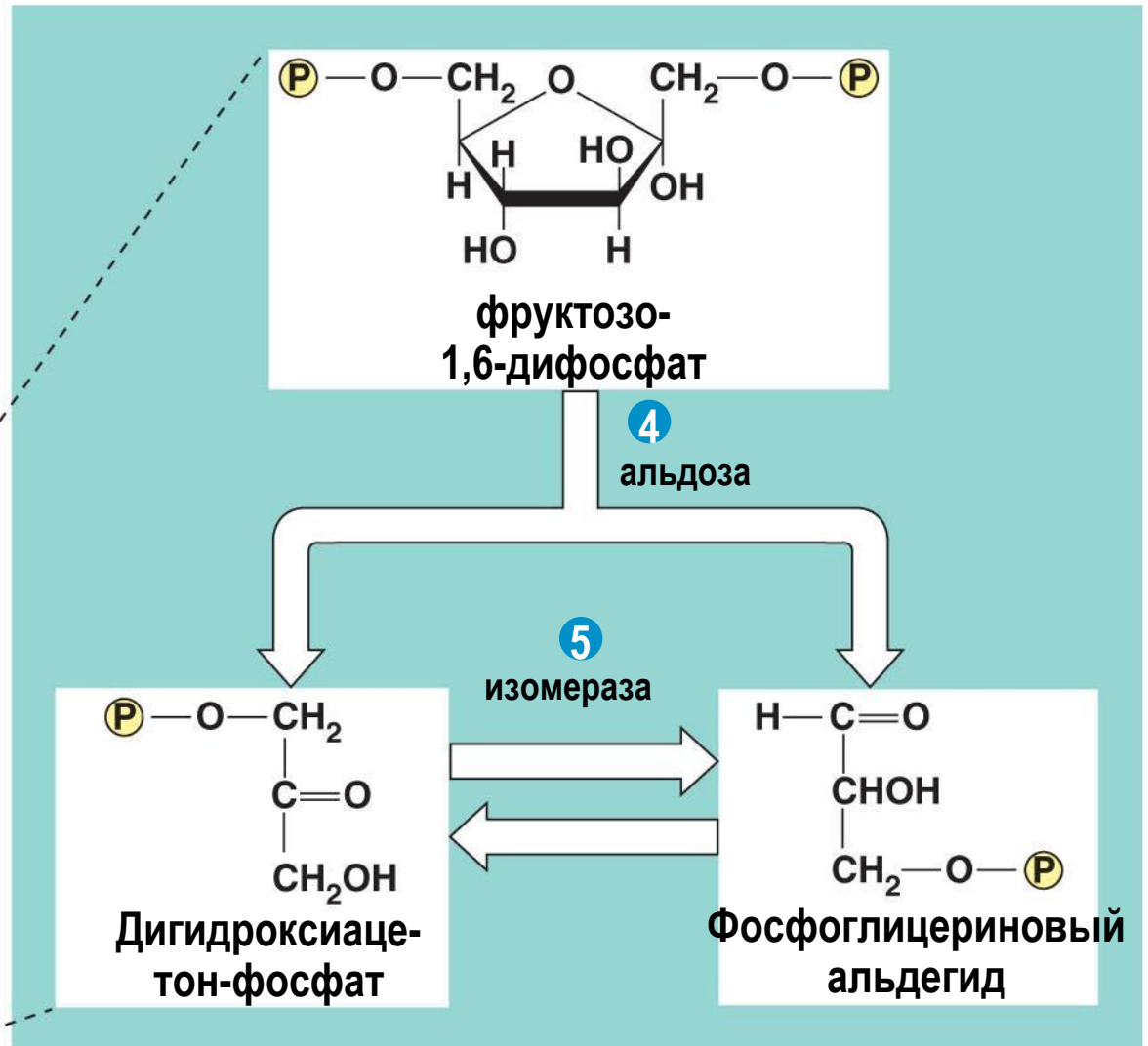
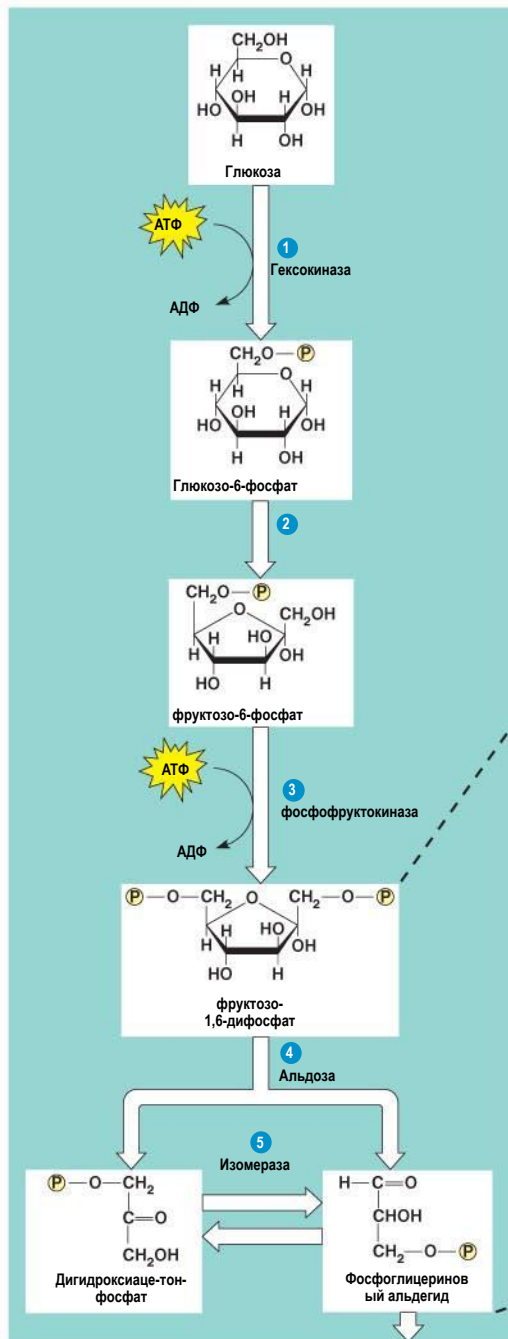
Основные реакции гликолиза:



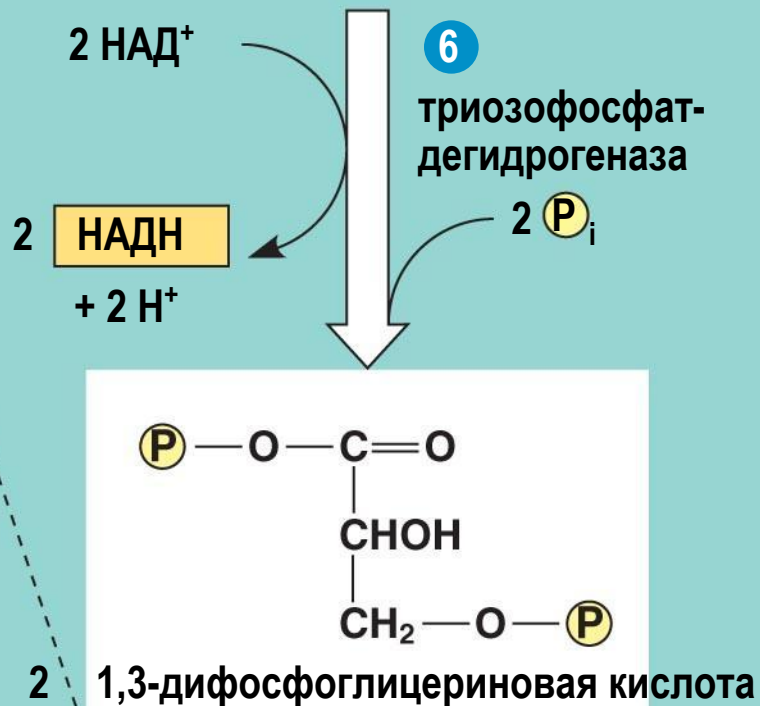
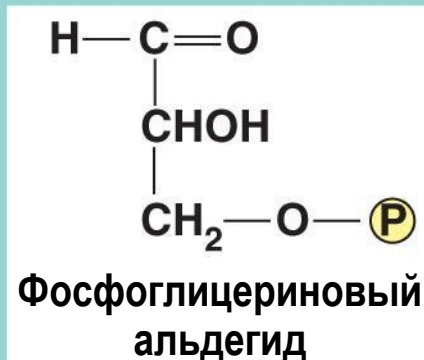
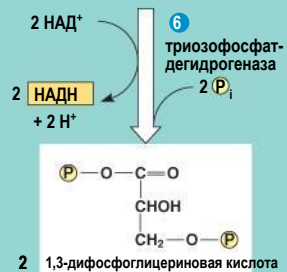
Основные реакции гликолиза:



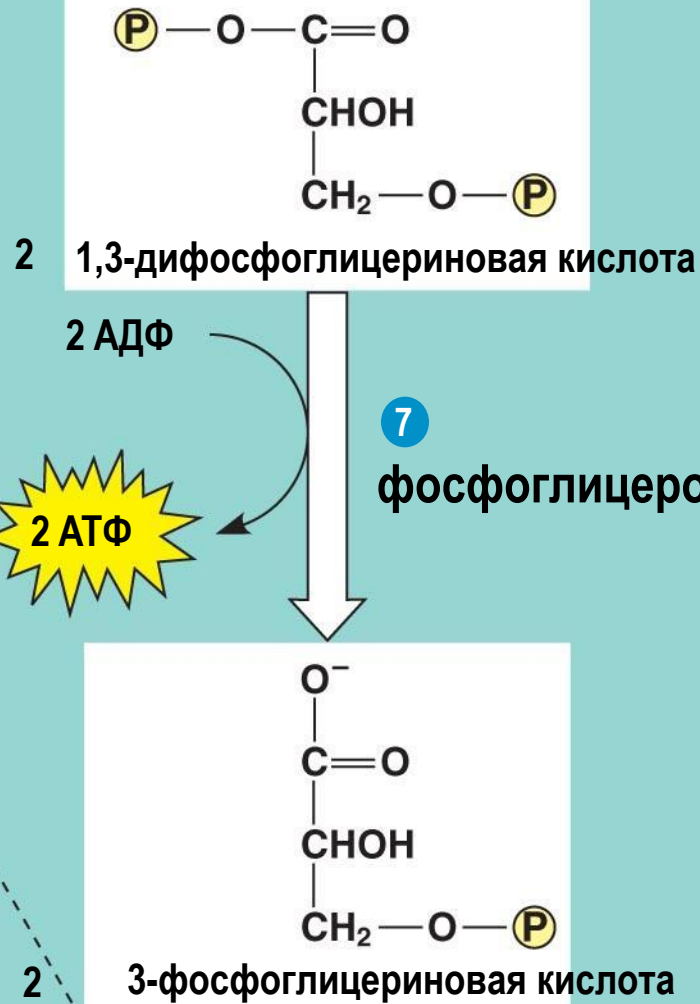
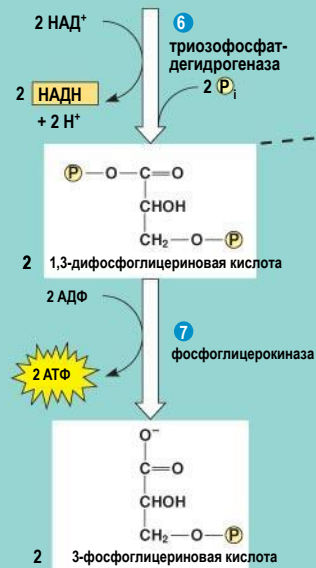
Основные реакции гликолиза:



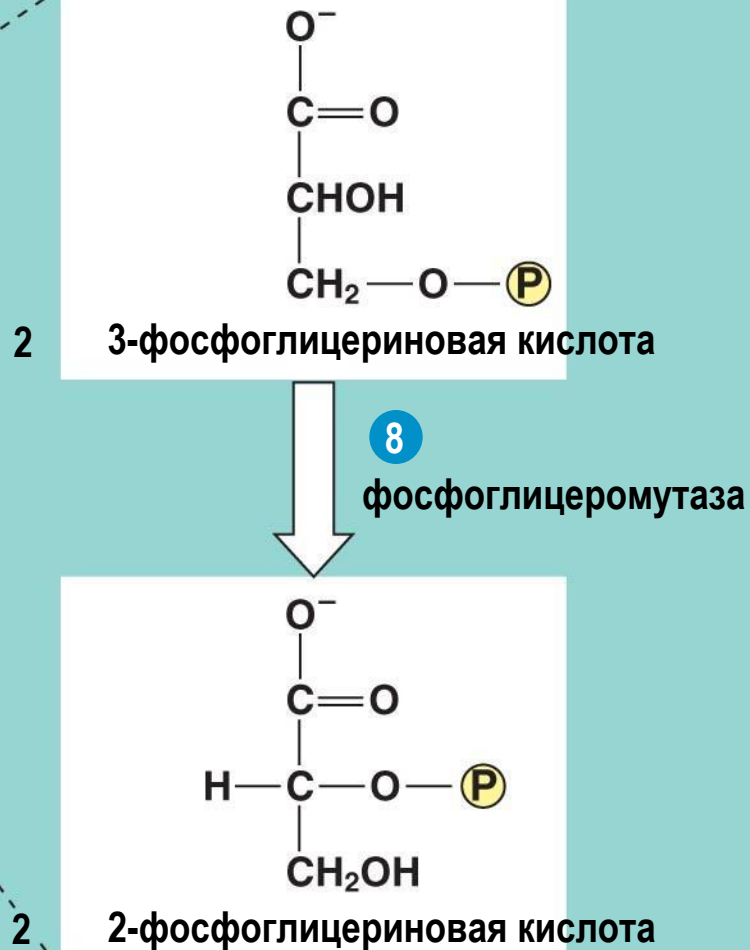
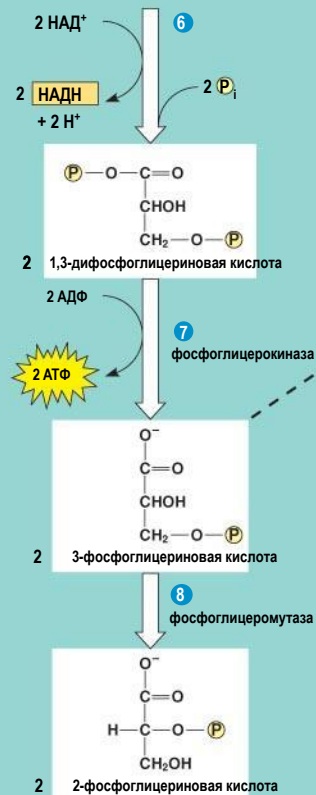
Основные реакции гликолиза:



Основные реакции гликолиза:



Основные реакции гликолиза:



2 НАД⁺ → 2 НАДН + 2 Н⁺

2 **6**

OP(=O)(O)CC(=O)O

2 1,3-дифосфоглицериновая кислота

2 АДФ → 2 АТФ

7 фосфоглицерокиназа

[O-]C(=O)CC(=O)OP(=O)(O)O

2 3-фосфоглицериновая кислота

8 фосфоглицеромутаза

[O-]C(=O)COP(=O)(O)O

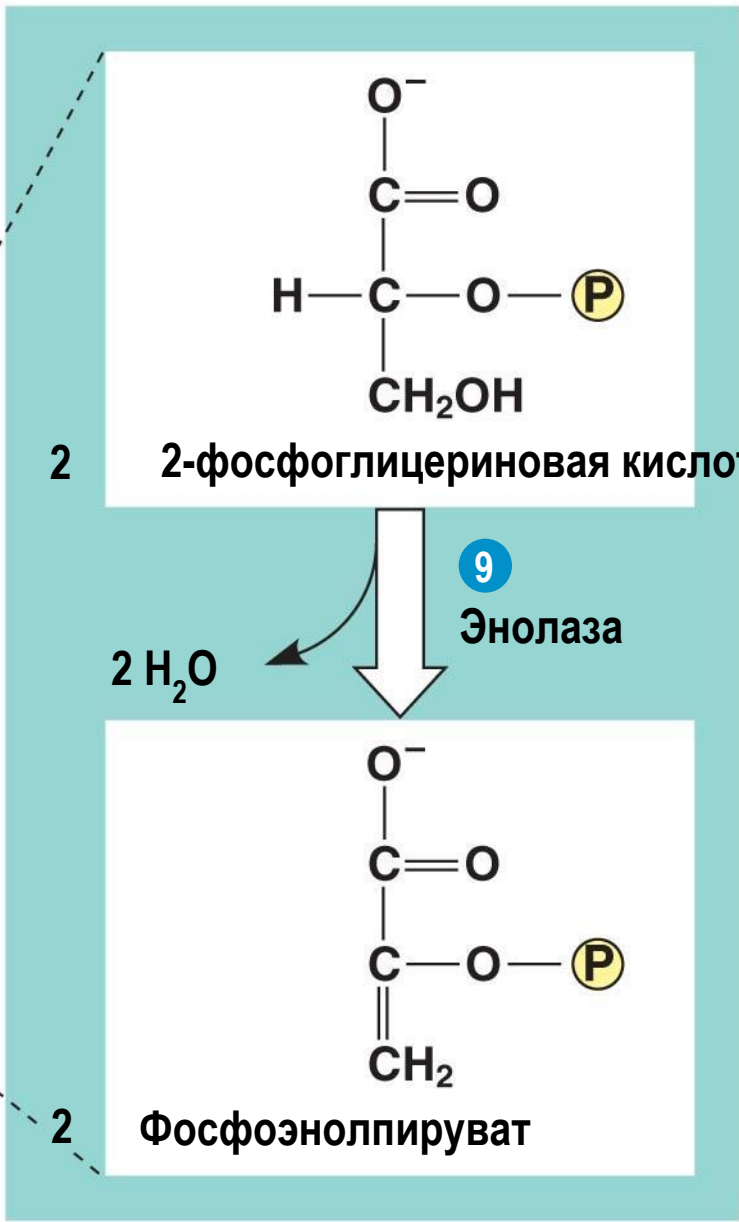
2 2-фосфоглицериновая кислота

2 H₂O

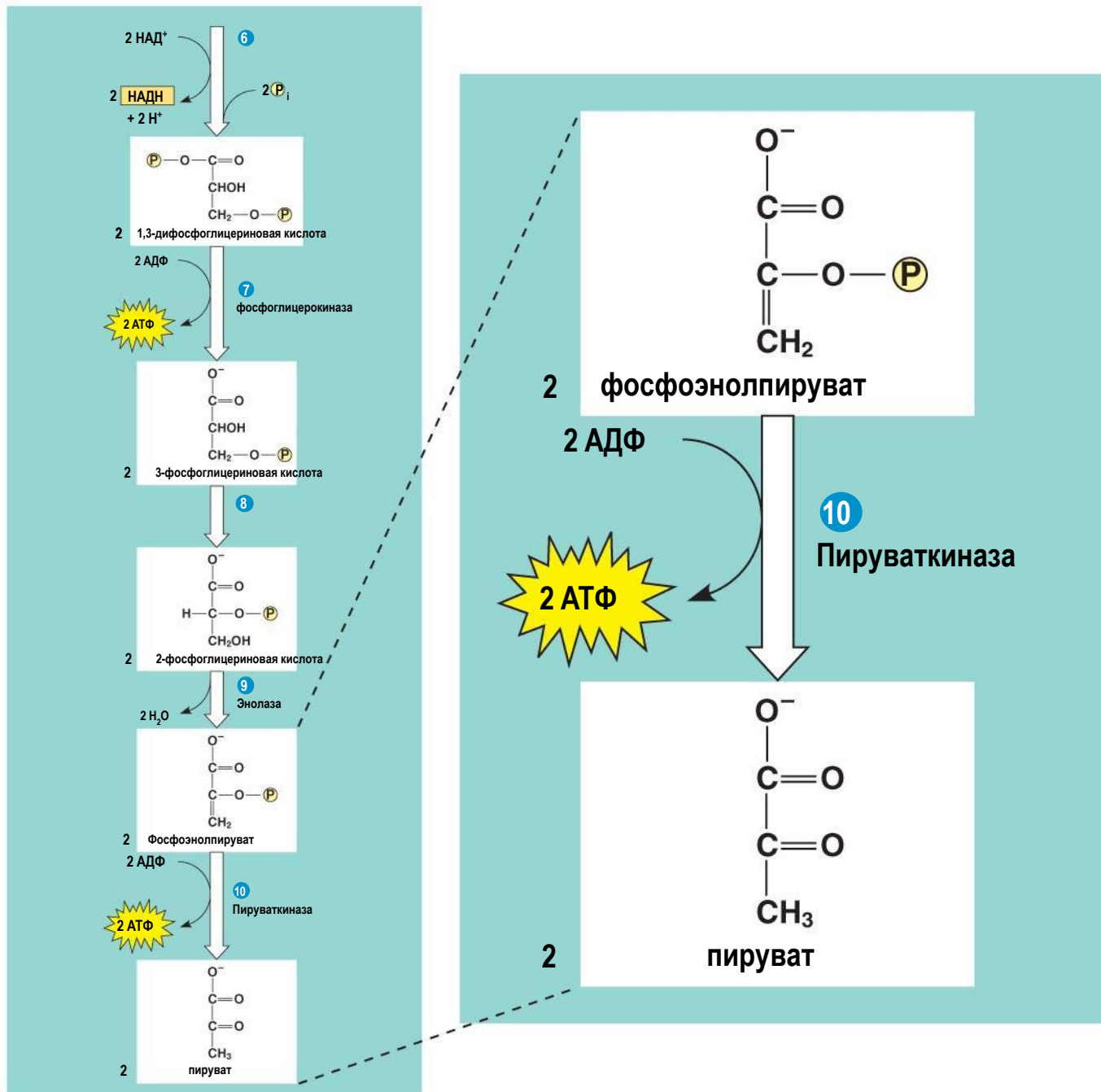
9 Энолаза

[O-]C(=O)C(=O)OP(=O)(O)O

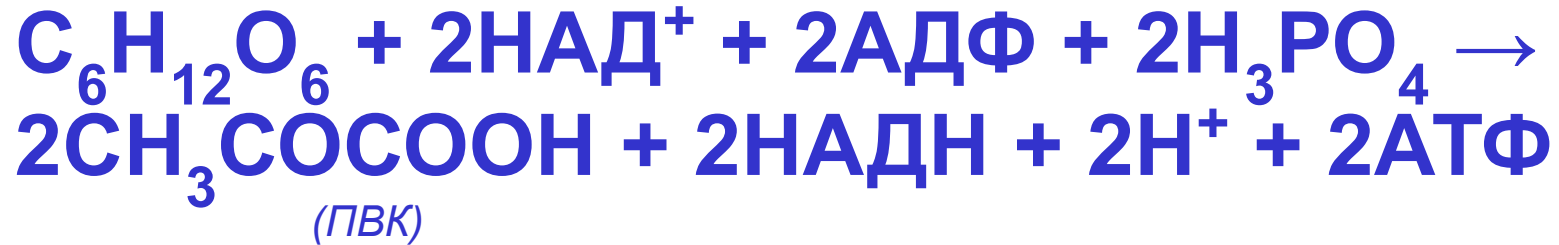
2 Фосфоэнолпируват



Основные реакции гликолиза:



Все реакции, происходящие при гликолизе, можно представить в следующем виде:



Во время гликолиза – первой фазы дыхания – при распаде молекулы глюкозы на две молекулы пирувата (ПВК) образуется четыре молекулы АТФ. Однако две молекулы АТФ используются вначале процесса для активации глюкозы, таким образом, в клетке запасаются только две молекулы АТФ. Одновременно на этой фазе дыхания при активации ФГА до ФГК образуются две молекулы НАДН.

Гликолиз происходит в гиалоплазме и ядре. Для него не нужен O_2 . Это анаэробная стадия дыхания.

Физиологический смысл гликолиза связан с тем, что у аэробных организмов гликолиз является первым, подготовительным этапом дыхания.

В процессе гликолиза происходит медленное выделение энергии, часть которой запасается в макроэргических связях синтезируемых молекул АТФ и может использоваться для работы клетки.

Гликолиз обеспечивает клетку промежуточными метаболитами, из которых могут синтезироваться нуклеиновые кислоты, белки, жиры и углеводы. Например, пировиноградная кислота может аминироваться с образованием аланина – аминокислоты, необходимой для синтеза белков.

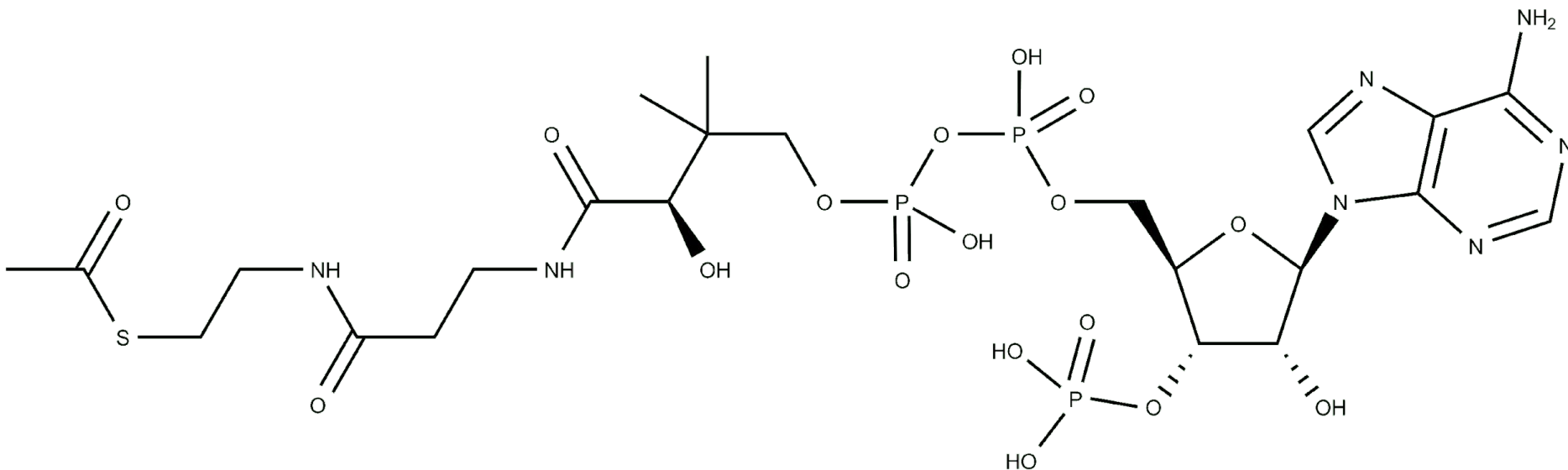
ПВК или пируват – важнейший продукт гликолиза, который является в дальнейшем ключевым субстратом биохимических превращений в клетке.

В аэробных условиях основной путь превращения ПВК – окислительное декарбоксилирование при помощи пируватдегидрогеназного мультиферментного комплекса, составной частью которого является коэнзим А (CoA или CoA-SH).

В результате образуется ацетил-CoA. Суммарное выражение этих реакций следующее:



Тиоэфирная связь высокоэнергетична.

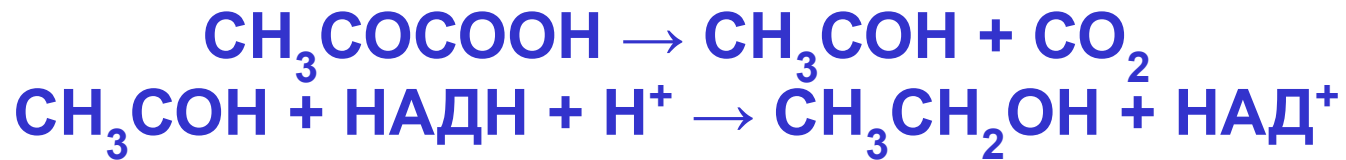


Ацетил-СоА также образуется при окислении аминокислот и жирных кислот.

Т.е. у высших растений роль дыхательного субстрата могут выполнять все три основных запасенных вещества:
- углеводы, - белки, - жиры.

В анаэробных условиях пируват может участвовать в реакциях брожения.

При брожении, например, спиртовом, пируват декарбоксилируется с образованием уксусного альдегида при участии карбоксилазы, а затем восстанавливается до этилового спирта ферментом алкогольдегидрогеназой:



В этих реакциях не синтезируется АТФ и не восстанавливаются коферменты. Образовавшийся во время гликолиза НАДН используется на восстановление уксусного альдегида.

ЦИКЛ ТРИКАРБОНОВЫХ КИСЛОТ (он же ЛИМОННОКИСЛЫЙ ЦИКЛ, ЦИКЛ КРЕБСА)

Цикл Кребса одинаков у основных царств, что показывает его древнее происхождение, высокий консерватизм и важность для метаболизма и физиологии клетки.

**Этот цикл происходит в
строме митохондрий.**

В википедии дана хорошая схема по регуляции цикла Кребса:
http://en.wikipedia.org/wiki/Citric_acid_cycle#Interactive_pathway_map

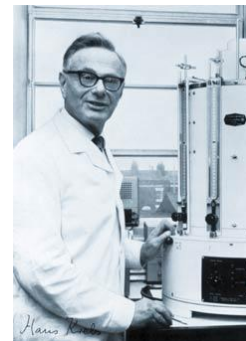
*По-английски:
tricarboxylic acid cycle (TCA cycle), the Krebs cycle, or the Szent-Györgyi-Krebs cycle*



Ганс Адольф Кребс
Нобелевский
лауреат по
физиологии 1953 г.

Цикл Кребса

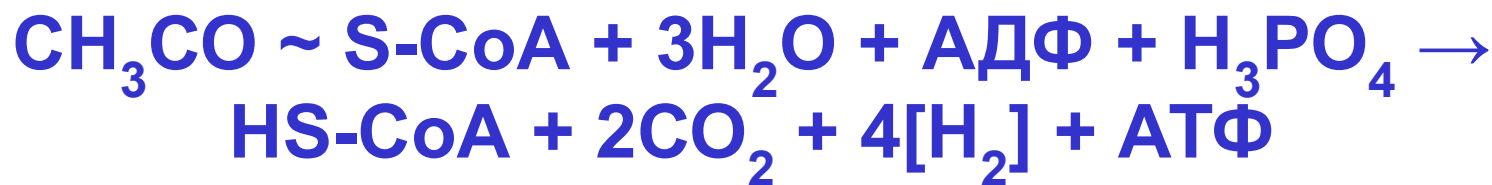
Ганс Адольф Кребс
Нобелевский
лауреат по
физиологии 1953 г.



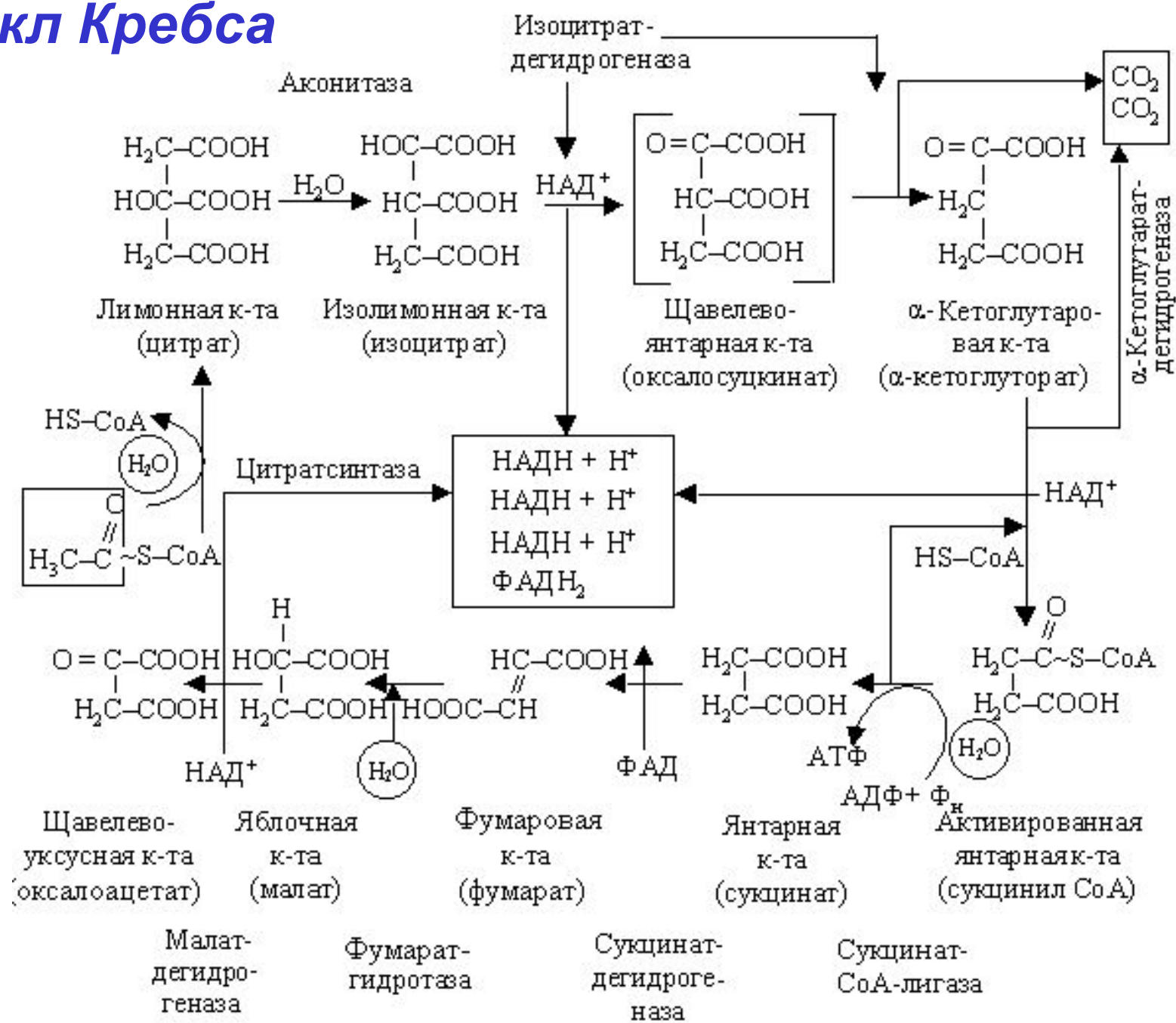
Образовавшийся в аэробных условиях ацетил-СоА вступает в цикл Кребса.

В цикле Кребса после реакций отнятия и присоединения воды, декарбоксилирования и дегидрирования ацетильный остаток, поступивший в цикл в виде ацетил-СоА, полностью расщепляется.

Суммарная реакция записывается в следующем виде:



Цикл Кребса



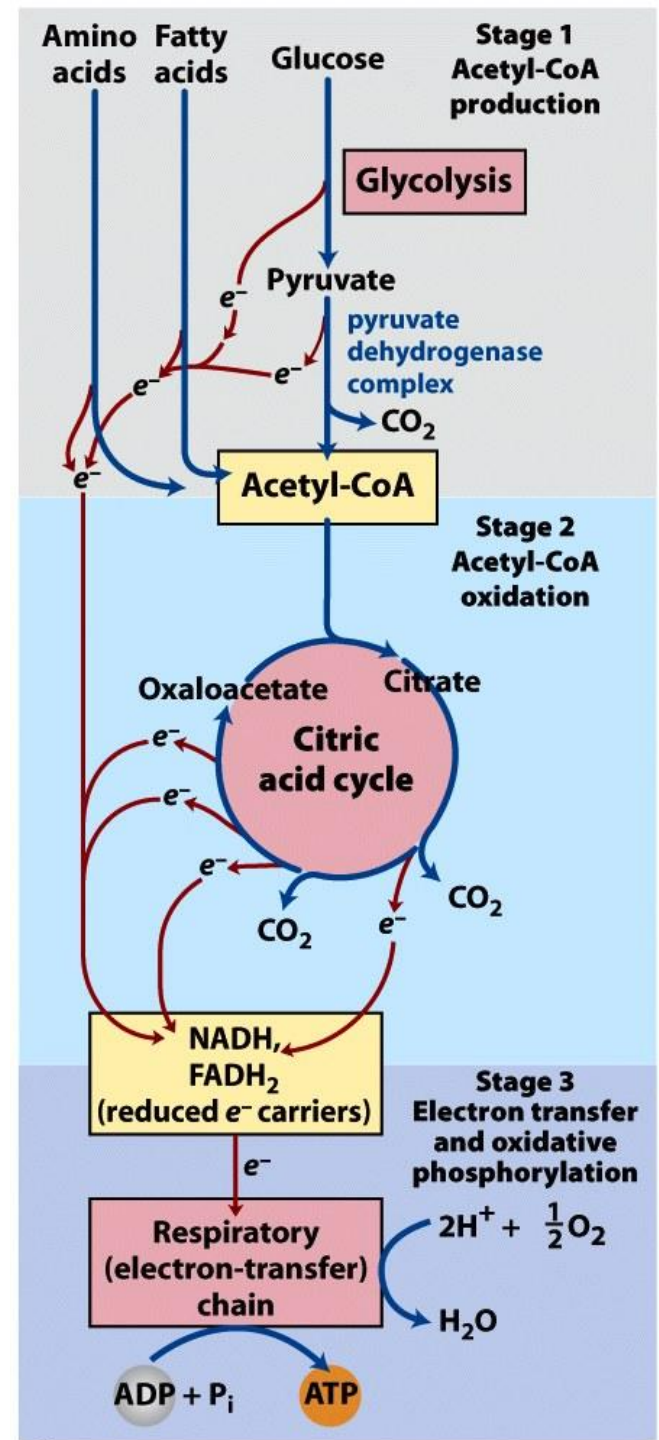
Общая схема Цикла Кребса

Для катаболизма углеводов, жиров и белков цикл Кребса имеет первостепенное значение!

Стадия 1 – окисление глюкозы, жирных кислот и некоторых аминокислот приводит к синтезу ацетил коэнзима А.

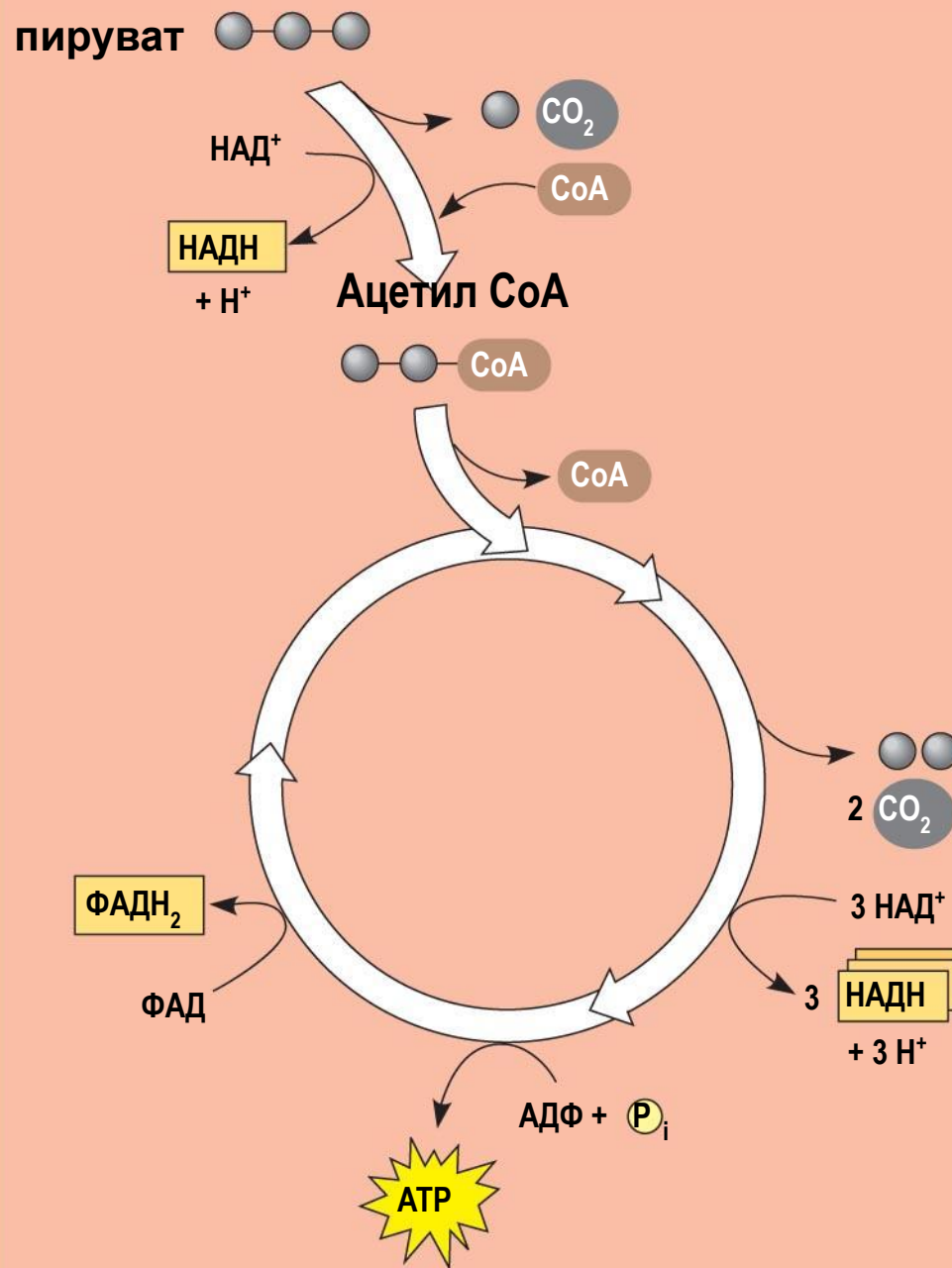
Стадия 2 – окисление ацетильных групп в цитрате (анион лимонной кислоты) имеет 4 шага «отделения» электронов.

Стадия 3 – электроны, переносимые НАДН и ФАДН₂ попадают в ЭТЦ митохондрий, приводя к восстановлению О₂ до Н₂О. Этот поток электронов энергизирует продукцию АТФ (фермент АТФ-синтаза).



Цикл лимонной кислоты

P – фосфат
P_i – фосфат неорганический



Ферменты:

1 – цитратсинтаза

2 – аконитаза

3 – изоцитратдегидрогеназа

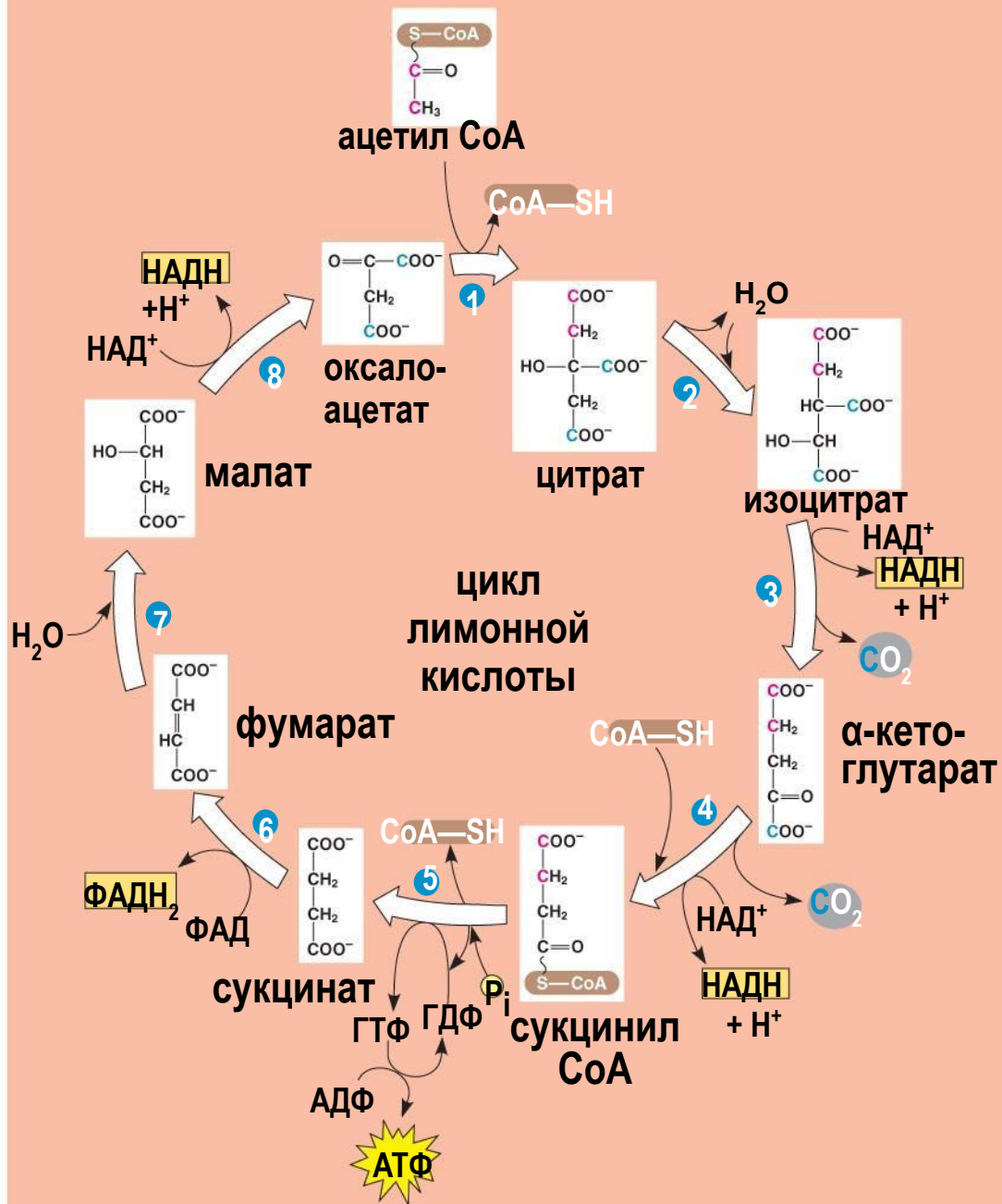
4 – α -кетоглутарат-дегидрогеназный комплекс

5 – сукцинил-КоА-лигаза

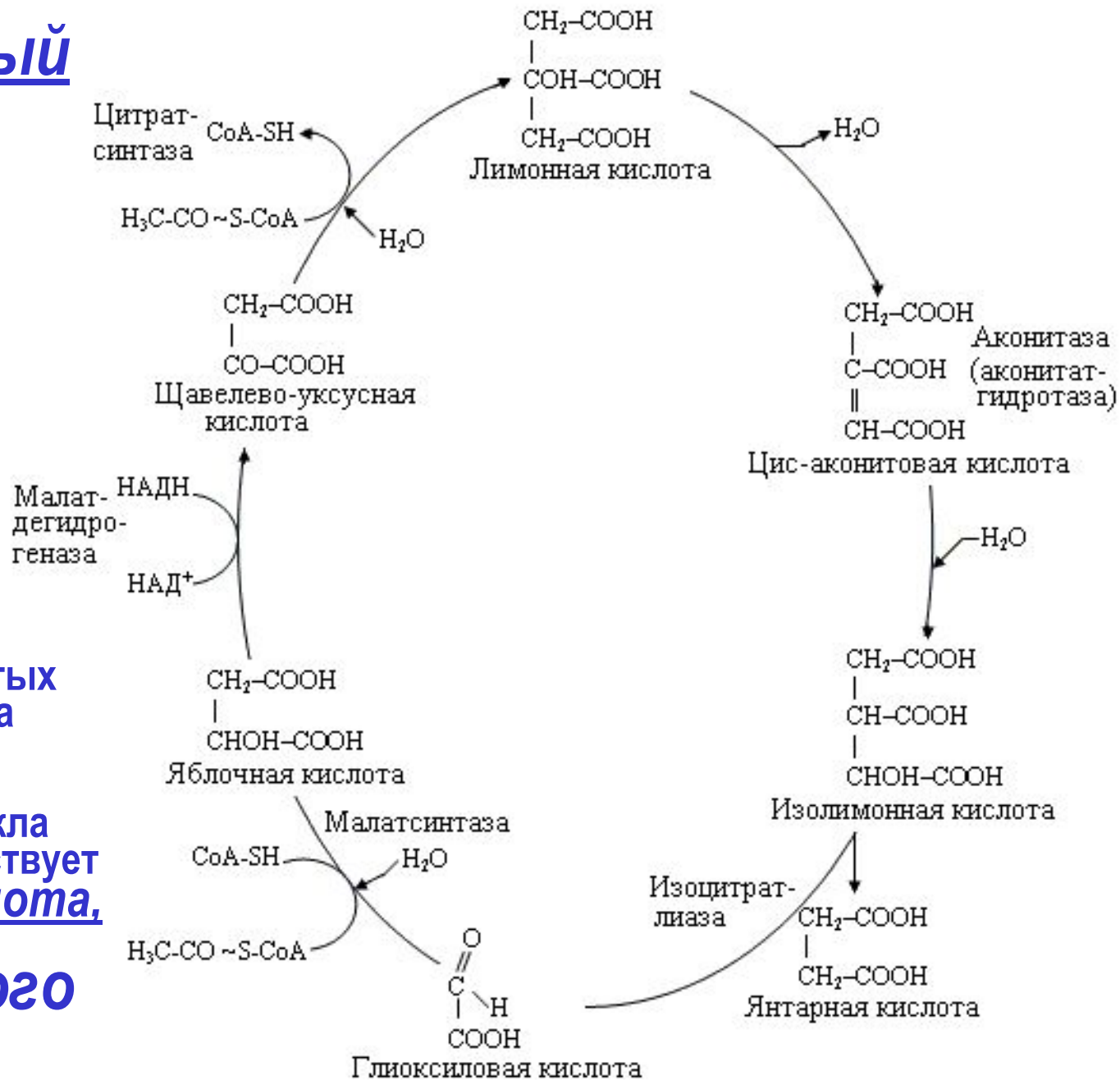
6 – сукцинатдегидрогеназа

7 – фумаратгидратаза

8 – малатдегидрогеназа



Глиоксилатный путь (цикл)

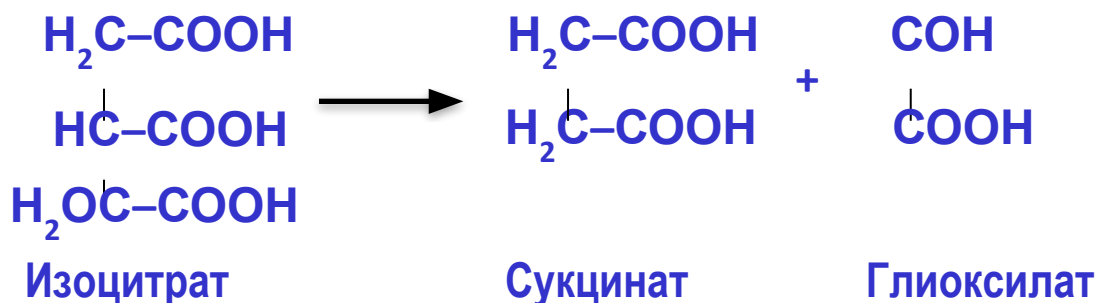


При прорастании богатых
жиром семян ход цикла
Кребса изменяется.

Эта разновидность цикла
Кребса, в которой участвует
глиоксиловая кислота,
получила название
**глиоксилатного
цикла**

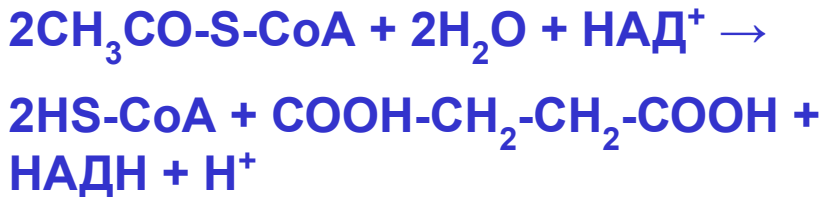
Первые этапы до образования изоцитрата (изолимонной кислоты) идут подобно циклу Кребса. Затем ход реакций изменяется.

Изоцитрат при участии изоцитратлиазы расщепляется на янтарную и глиоксиковую кислоты:



Сукцинат (янтарная кислота) выходит из цикла, а глиоксилат связывается с ацетил-СоА, и образуется малат. Реакция катализируется малатсинтазой. Малат окисляется до ЩУК, и цикл заканчивается.

Кроме двух ферментов – изоцитратазы (изоцитратлиазы) и малатсинтазы, – все остальные такие же, что и в цикле Кребса. При окислении малата восстанавливается молекула НАД⁺. Источником ацетил-СоА для этого цикла служат жирные кислоты, образующиеся при разрушении жиров. Суммарное уравнение цикла можно записать в виде:



Глиоксилатный цикл происходит в специальных органеллах – **глиоксисомах**



Значение глиоксилатного цикла

- НАДН может окисляться с образованием трех молекул АТФ.
- сукцинат (янтарная кислота) выходит из глиоксисомы и поступает в митохондрию, где включается в цикл Кребса. Тут он преобразуется в ЩУК, затем в пируват, фосфоенолпируват и дальше в сахар.

Таким образом, с помощью глиоксилатного цикла жиры могут преобразовываться в углеводы.

Это очень важно особенно при прорастании семян, так как сахара могут транспортироваться из одной части растения в другую, а жиры лишены такой возможности.

Глиоксилат может служить материалом для синтеза порфиринов, а это значит и хлорофилла.

Помимо гликолиза и цикла Кребса, существует и другой универсальный, присущий всем организмам путь полного окисления глюкозы – **пентозофосфатный**.

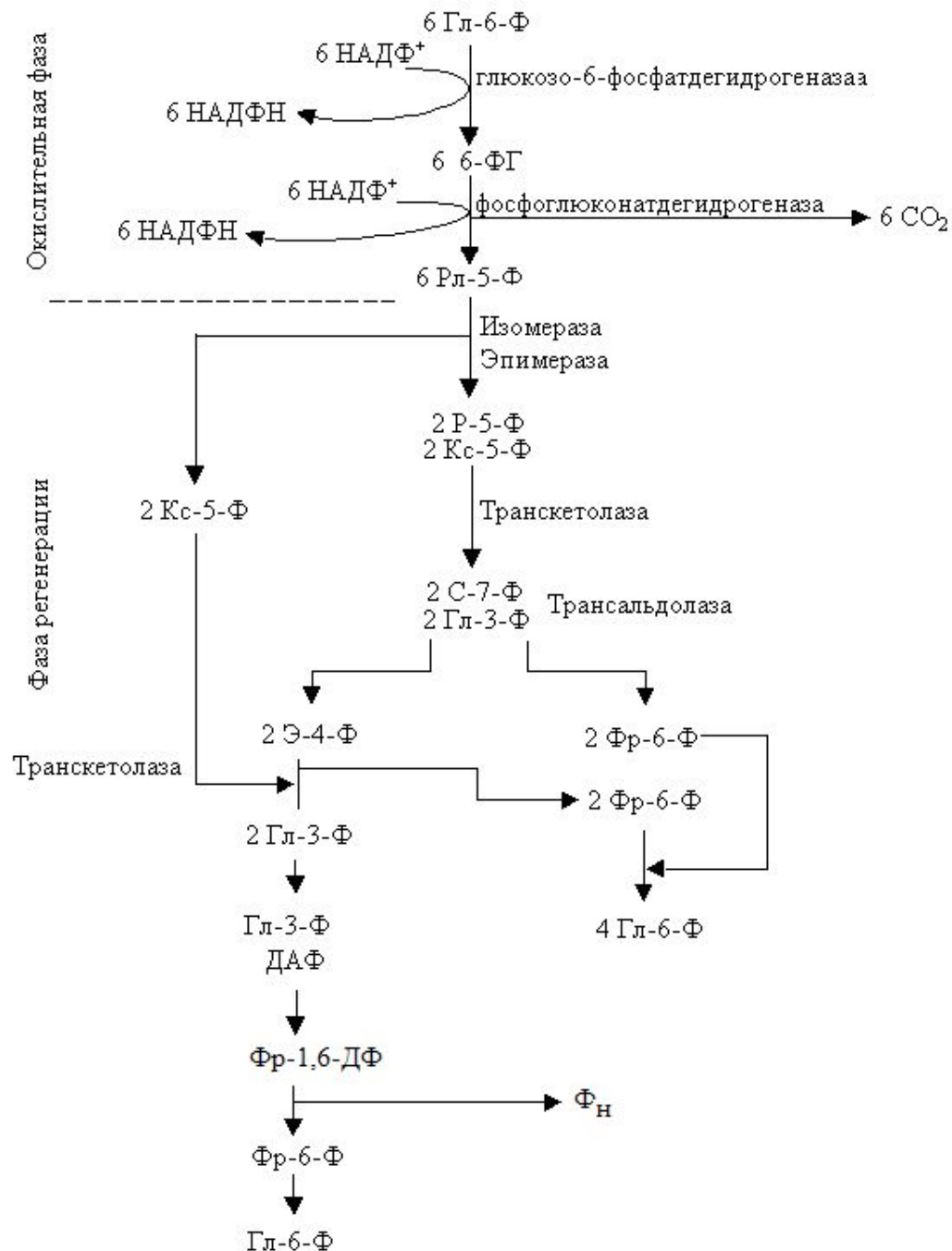
Ферменты, которые участвуют в этом процессе, локализованы в цитоплазме (гиалоплазме).

Исходным веществом для этого цикла является глюкозо-6-фосфат (Гл-6-Ф), который принимает участие и в гликолизе.

Пентозофосфатный путь, как и гликолиз, разделяют на две фазы: фазу окисления глюкозо-6-фосфата и фазу его регенерации.

При окислении глюкозо-6-фосфата образуется 6-фосфоглюколактон. Последний неустойчив и преобразуется в 6-фосфоглюконат (6-ФГ). В процессе окисления глюкозо-6-фосфата участвует фермент глюкозо-6-фосфатдегидрогеназа, коферментом которой выступает НАДФ^+ ; последний в результате окисления глюкозо-6-фосфата восстанавливается.

6-фосфоглюконат, в свою очередь, подвергается окислительному декарбоксилированию, образуется рибулозо-5-фосфат (Рл-5-Ф), и восстанавливается НАДФ^+ , который является коферментом фосфоглюконатдегидрогеназы.

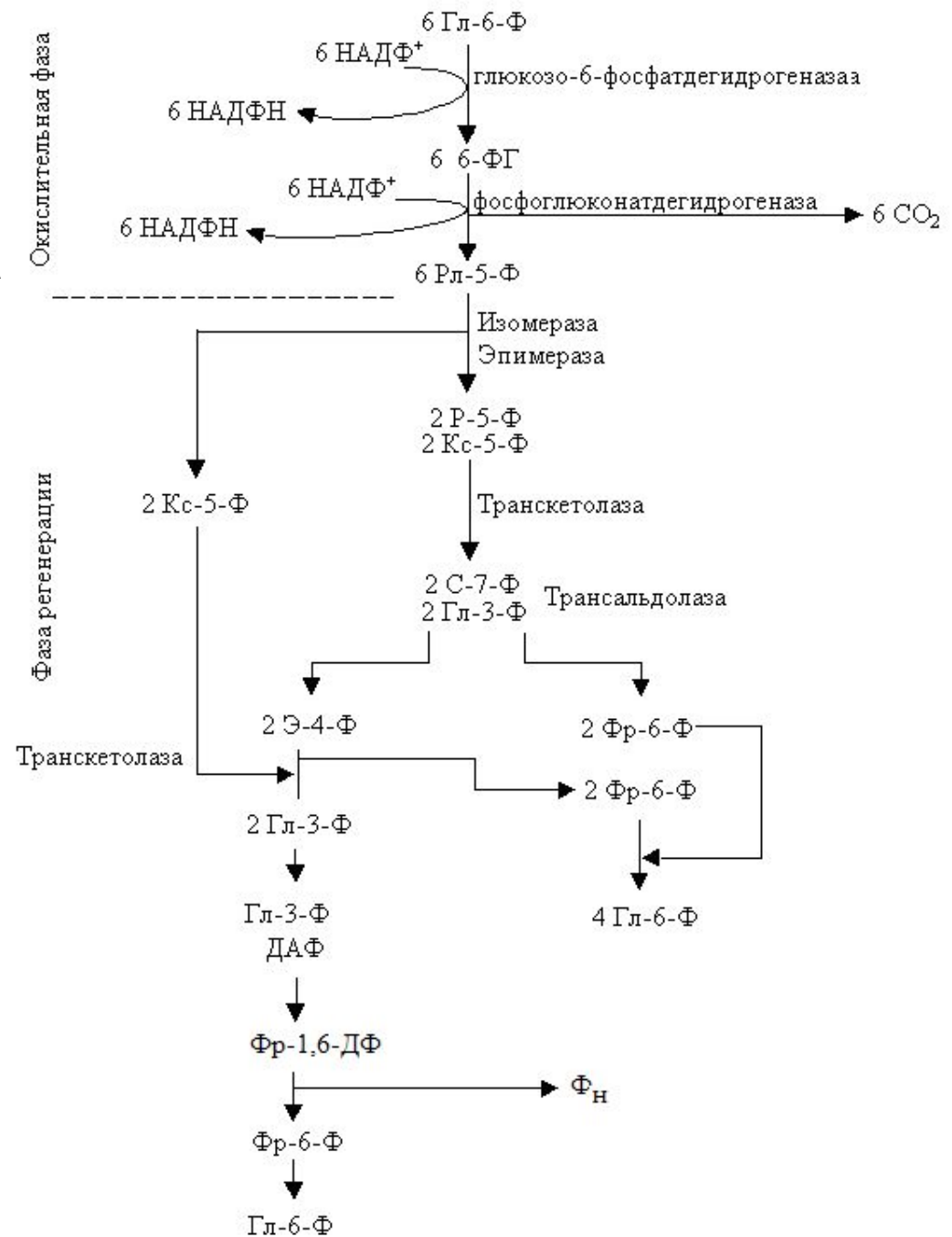


Если во время гликолиза одна молекула преобразуется в две триозы, то в пентозофосфатном цикле от глюкозо-6-фосфата отщепляется один атом углерода и образуется **пентоза**.

Отсюда и другое название пентозофосфатного цикла – *апотомический*, в отличие от гликолиза, называемого дихотомическим.

Образованием **рибулозо-5-фосфата** окислительная фаза цикла заканчивается.

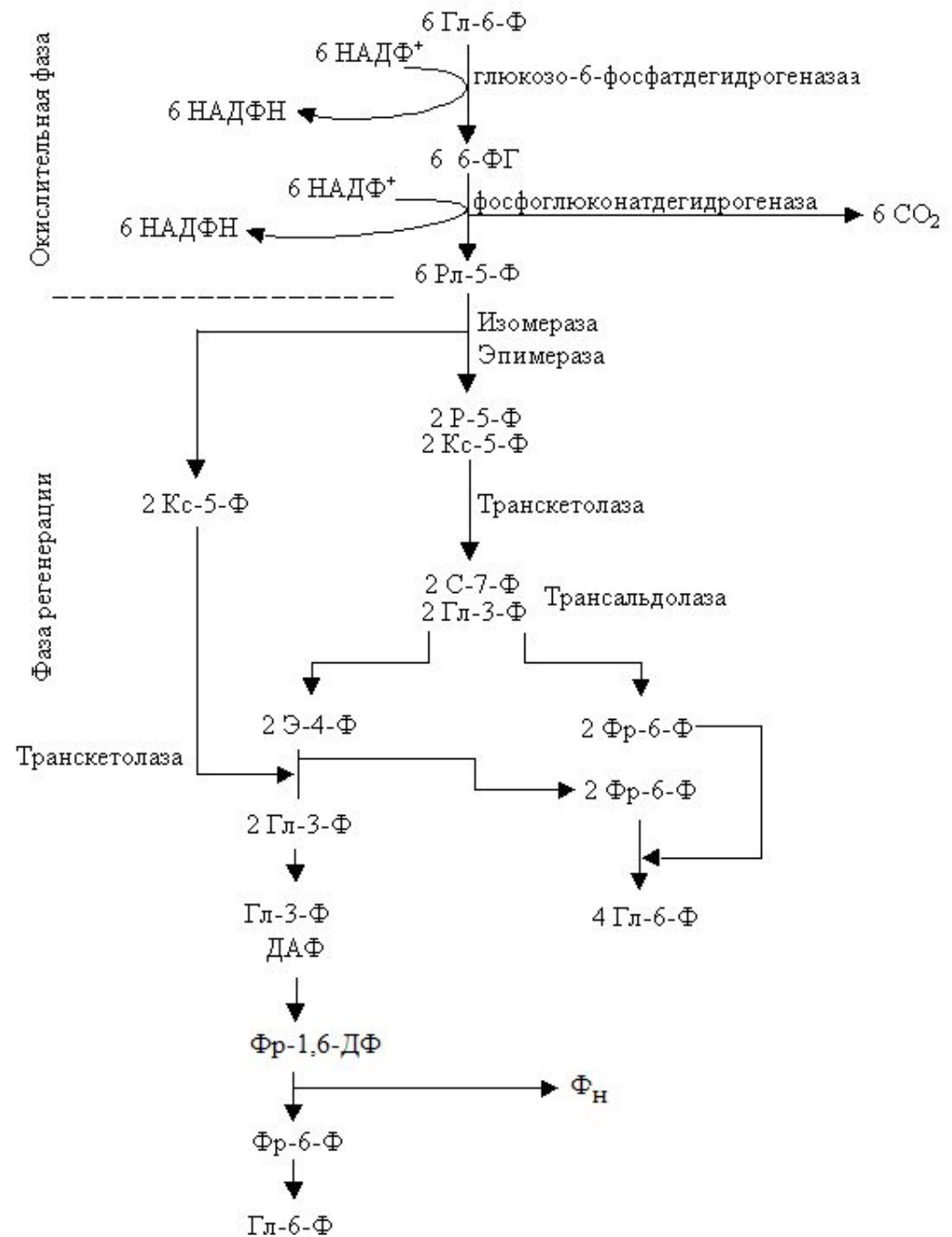
Затем рибулозо-5-фосфат изомеризуется в рибозу-5-фосфат (Р-5-Ф) и ксилулозу-5-фосфат (Кс-5-Ф) при участии соответственно рибозо-фосфат-изомеразы и рибозофосфат-эпимеразы.



Рибозо-5-фосфат и ксилулозо-5-фосфат взаимодействуют между собой (реакция катализируется *транскеталазой*) и образуют глицеральдегид-3-фосфат (ГА-3-Ф) и седагептулозо-7-фосфат (С-7-Ф).

Эти соединения в свою очередь взаимодействуют в присутствии трансальдолазы и образуют фруктозо-6-фосфат (Фр-6-Ф) и эритрозо-4-фосфат (Э-4-Ф).

В присутствии транскаталазы, Э-4-Ф и Кс-5-Ф образуется ГА-3-Ф и фруктозо-6-фосфат, которые в дальнейшем могут быть метаболизированы по гликолитическому пути.



В фазе регенерации участвуют только фосфорные эфиры сахаров.

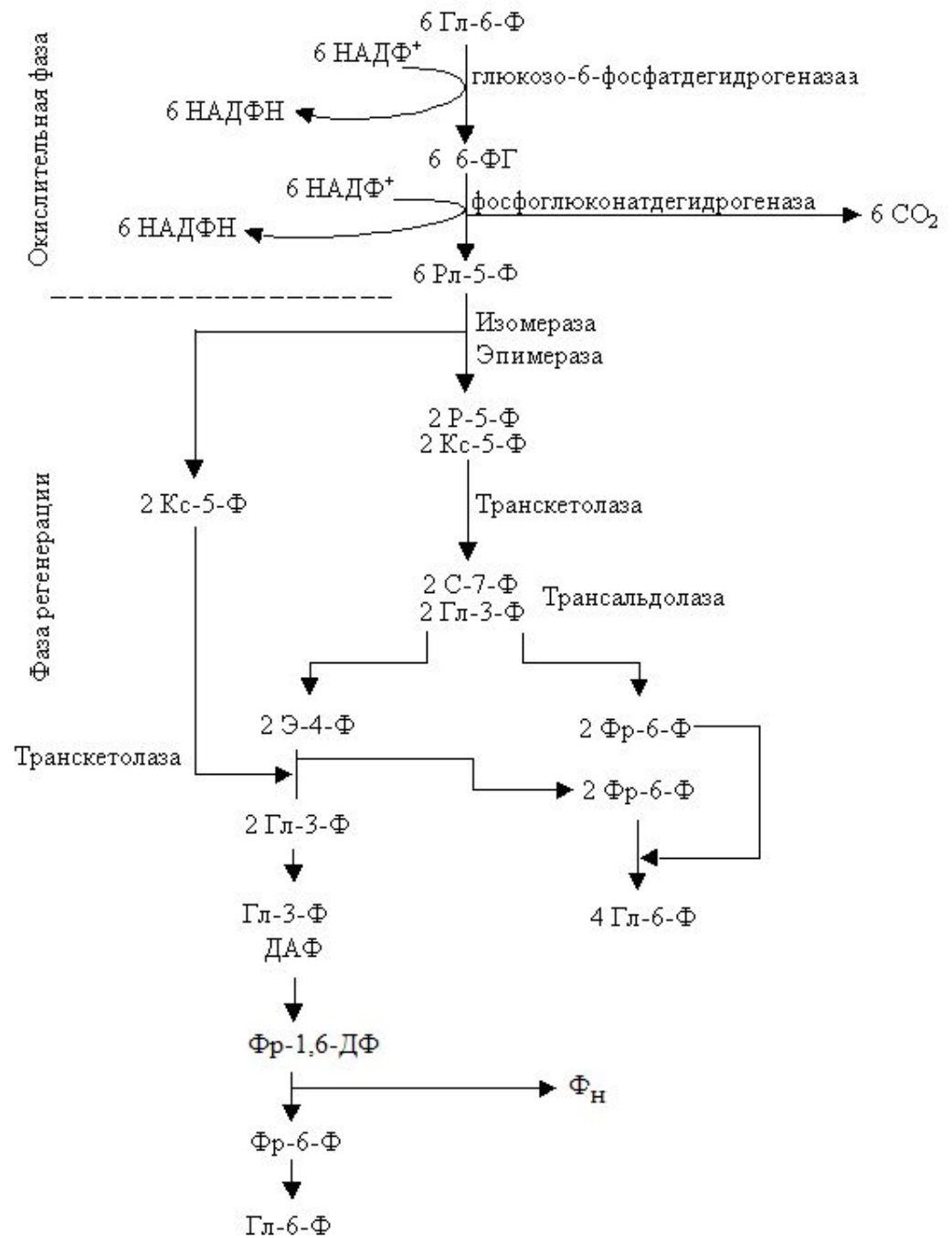
Процесс идет от пентоз через образование **седагептулозо-7-фосфата, эритрозо-4-фосфата, фруктозо-6-фосфата** и фосфоглицеринового альдегида.

**Триозы могут
конденсироваться до гексоз!**

В результате альдольной конденсации двух триоз образуется фруктозо-1,6-дифосфат (Фр-1,6-ДФ).

Гидролиз фосфатной связи приводит к образованию фосфорной кислоты и глюкозо-6-фосфата.

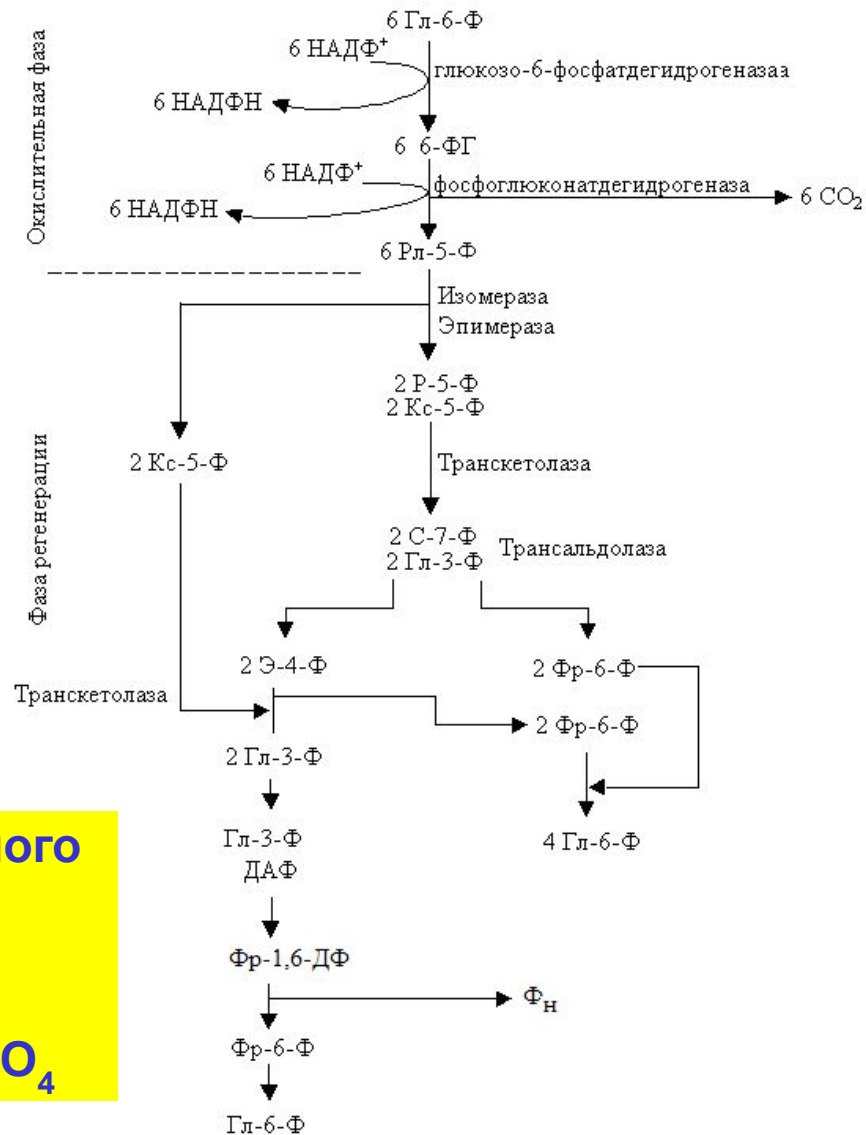
Цикл заканчивается.



В результате этого цикла из шести молекул глюкозо-6-фосфата одна молекула окисляется до CO_2 , а пять молекул регенерируют вновь и выходят из цикла.

При этом восстанавливается 12 молекул НАДФ^+ .

Суммарное уравнение пентозофосфатного цикла можно записать в виде:



В реакциях пентозофосфатного цикла участвуют те же фосфорные эфиры сахаров, что и в фотосинтетическом цикле Кальвина. Последний в связи с этим называют восстановительным пентозофосфатным циклом в отличие от окислительного.

Образование одинаковых промежуточных продуктов в разных циклах говорит о том, что продукты одного цикла могут использоваться в случае необходимости в реакциях другого. Таким образом, каждый цикл не обязательно должен идти до конца, а возможны переходы с одного в другой.

ФГА, образующийся во время пентозофосфатного окислительного цикла, превращается в пируват при включении в гликолиз и дальше участвует в цикле Кребса.

Пентозофосфатный цикл – это аэробное окисление углеводов. Он идет в гиалоплазме при высокой концентрации кислорода.

ПФЦ - источник НАДФН, который является донором водорода для восстановительного аминирования и других процессов.

Пентозы, которые появляются в этом цикле, используются для синтеза АТФ, АДФ, АМФ, нуклеиновых кислот, пиридинов и других соединений.

Эритрозо-4-фосфат – промежуточный продукт этого цикла – участвует в образовании шикимовой кислоты, необходимой для синтеза гормонов роста.

Один и тот же дыхательный субстрат, например глюкоза, может преобразовываться в клетке разными путями. Выбор пути, по которому пойдет окисление определяется следующими факторами:

- наличие кислорода. Пентозофосфатный цикл идет только в присутствии O_2 ; анаэробные условия подавляют активность дегидрогеназ этого цикла. В анаэробных условиях идет гликолиз;**
- активность ферментов. Когда активны ферменты гликолиза, тогда ферменты пентозофосфатного цикла не активны;**
- фосфатного баланс, т. е. от отношения неорганического фосфата к АТФ. При низких соотношениях оба пути замедленны.**

ЭЛЕКТРОН-ТРАНСПОРТНАЯ ЦЕПЬ ДЫХАНИЯ

В процессе субстратного фосфорилирования (разрушение органических веществ) происходит синтез АТФ и восстановление НАД⁺, НАДФ⁺, ФАД⁺.

В результате гликолиза в анаэробных условиях образуются две молекулы АТФ и две молекулы НАДН; при последовательном осуществлении гликолиза и цикла Кребса в аэробных условиях – четыре молекулы АТФ, 10 молекул НАДН и две молекулы ФАДН₂.

Во время глиоксилатного цикла восстанавливается одна молекула НАД⁺.

При разрушении глюкозо-6-фосфата в пентозофосфатном окислительном цикле восстанавливается 12 молекул НАДФ⁺.

Таким образом, часть энергии, которая освобождается при разрушении дыхательного субстрата, запасается в макроэргических связях АТФ, а часть, причем большая, содержится в восстановленных коферментах.