

# Лекция № 11. Көмірсулардың метаболизмі. Гликолиз: түзілетін аралық өнімдері мен энергия мөлшері.



**Лектор, д.х.н., профессор  
Шоинбекова  
Сабина Алимжановна**

# Негізгі сұрақтар:

1. Клетка ішіндегі көмірсулардың қорытылуы;
- 2. Гликолиз;**
3. Гликогенолиз;
4. Ашу;

# Көмірсулардың катаболизмі

Көмірсулар (крахмал, басқа көмірсулар)



Сілекей (сулану)

**$\alpha$ -амилаза (ыдырау)**

**Олигосахаридтер**



Ашшы ішек

**Ұйқы безі  $\alpha$ -амилаза**

**Дисахаридтер, моносахаридтер  
(мальтоза, изомальтозы, глюкоза)**



$\alpha$ -амилаза

(ашшы ішек кілегейлі қабатында –амилопектин- **амило- $\alpha$ -(1→6)-глюкозидаза** көмегімен ыдырайды)

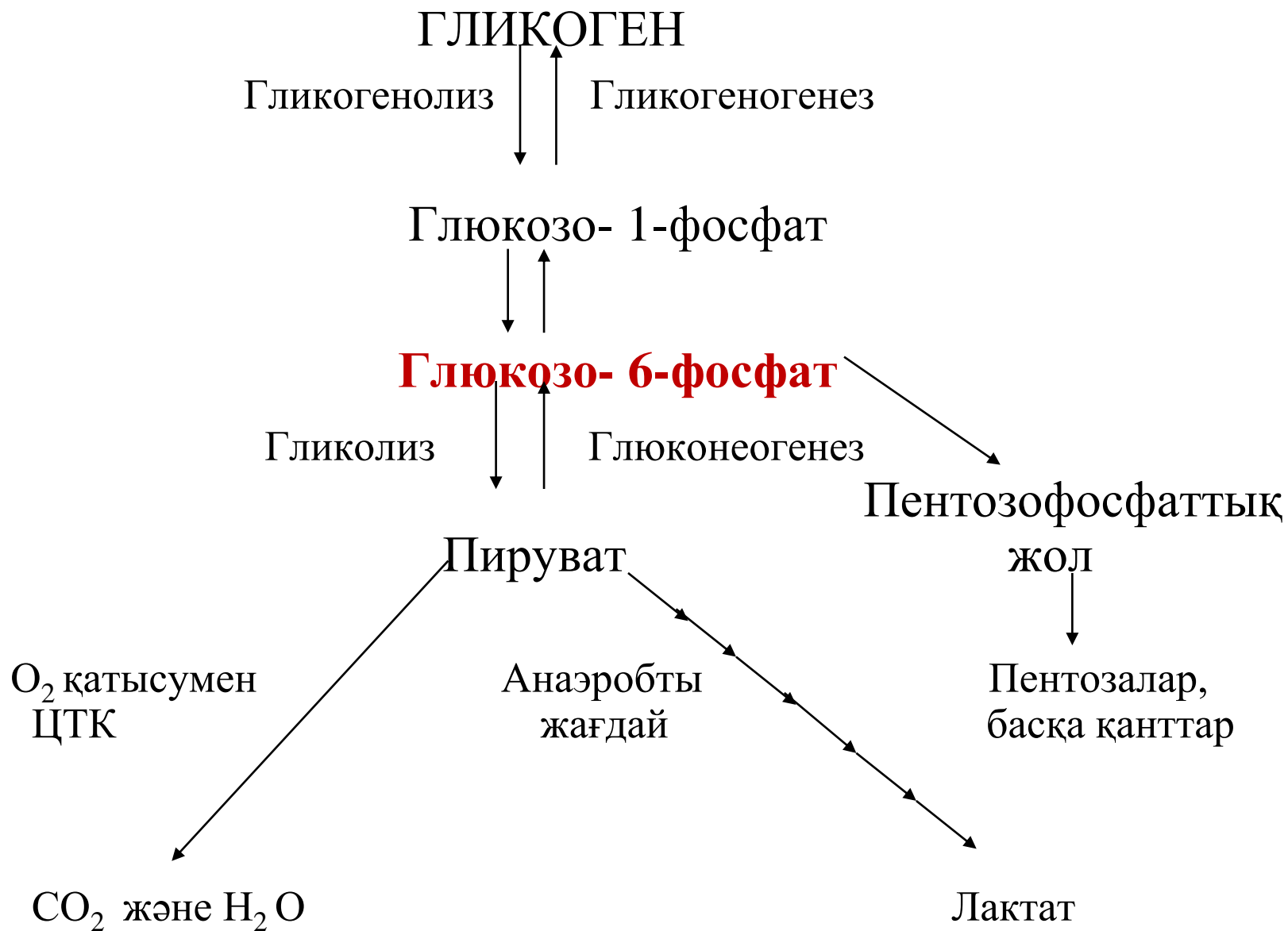
**Моносахаридтер  
(глюкоза, галактоза, фруктоза, т.б.)**



Ішектің эпителий клеткасының  
мембранасы арқылы сінеді де  
клеткаларға түседі

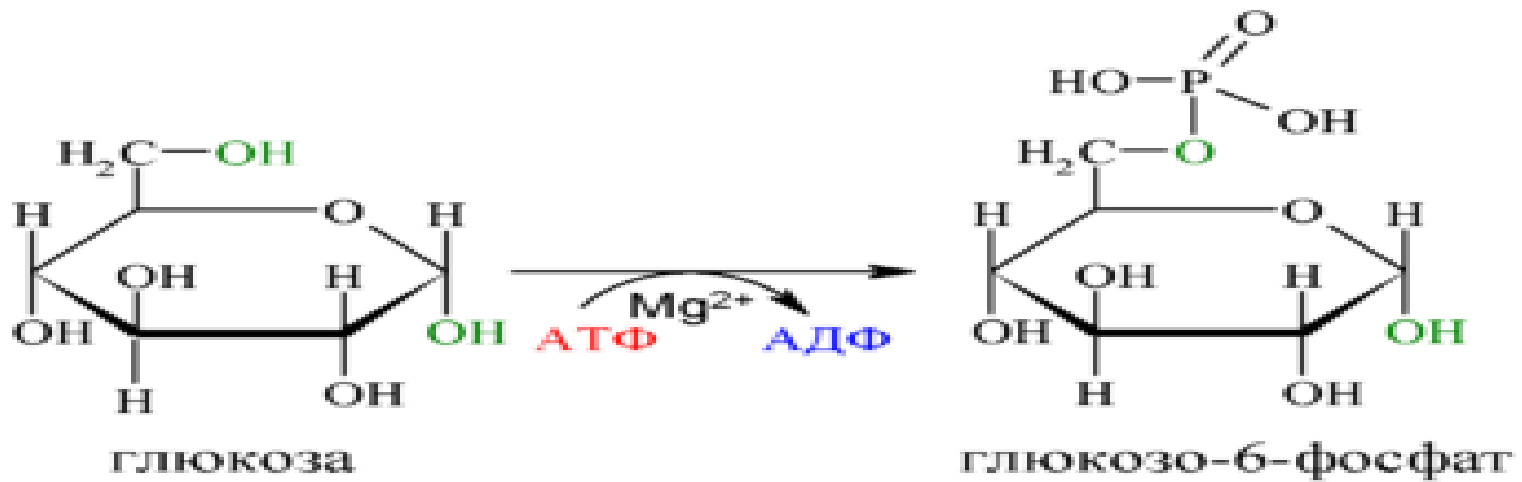
**Гликолиз**

(моносахаридтердің ыдырауы)



Глюкозаның метаболизмінің бірінші реакциясы – *глюкозо-6-фосфаттың* түзілуі, реакцияны **гексокиназа** ферменті жүргізеді, реакция қайтымсыз.

Фосфорланған глюкоза цитоплазмалық мембранадан өте алмайды, метаболизм жолдарында (гликолиз, глюконеогенез, пентозофосфатты жол, гликогенолиз) процестерінде ерекше орын алады.

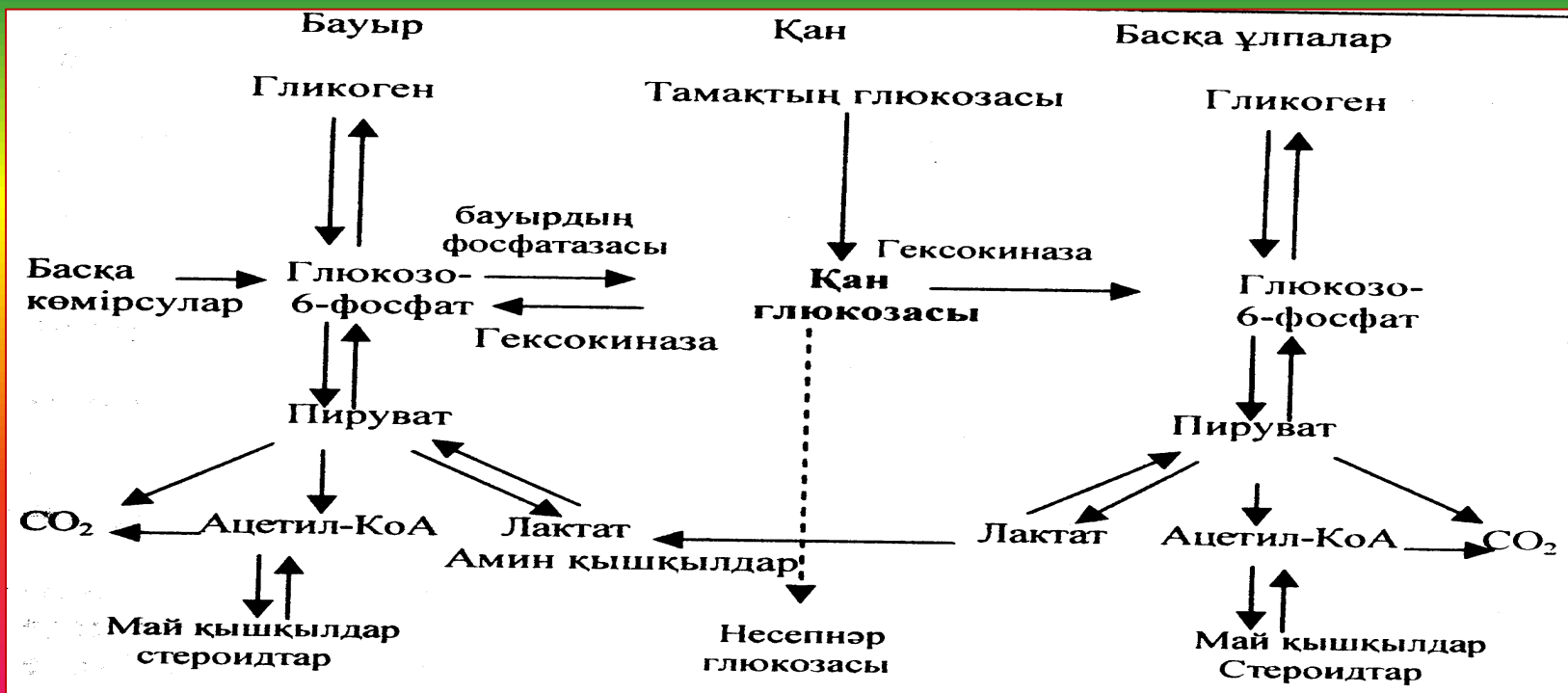


# Глюкозаның алмасуы

Көмірсулардың қорытылуы нәтижесінде түзілген глюкоза тамыр арқылы бауырға түседі. Глюкозаның бір бөлігі бауырда қалады, бір бөлігі жалпы қан ағымы арқылы басқа мүшелердің және ұлпалардың клеткаларына жеткізіледі.

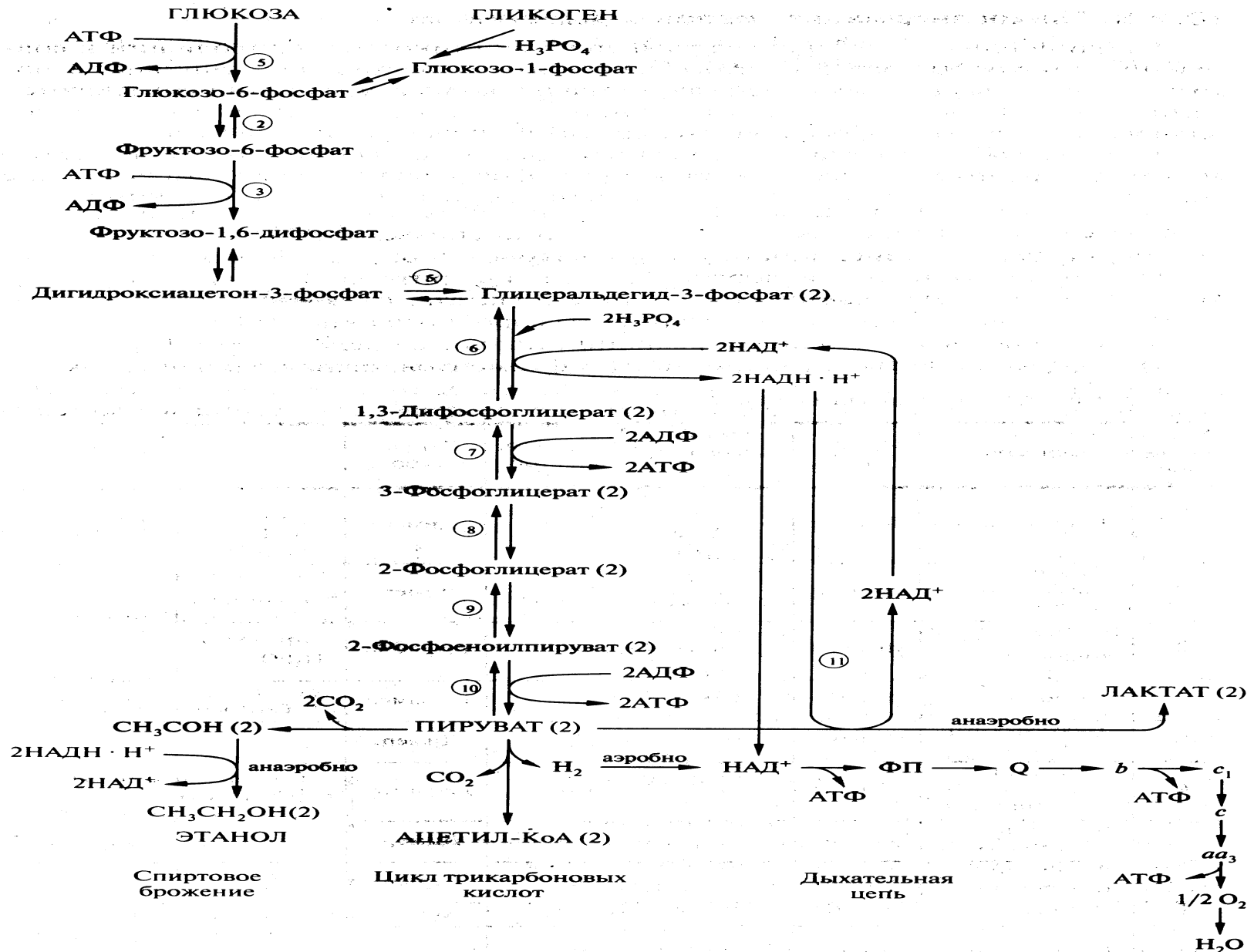
Бауырдағы глюкозаның: 3%-ы гликогенге айналады, 30%-ға жуығы – майларға, 67%-ға жуығы ақырғы өнімдерге дейін тотығып ыдырайды.

Глюкоза ыдырағанда түзілетін ақырғы өнімдер –  $\text{CO}_2$  мен  $\text{H}_2\text{O}$ .



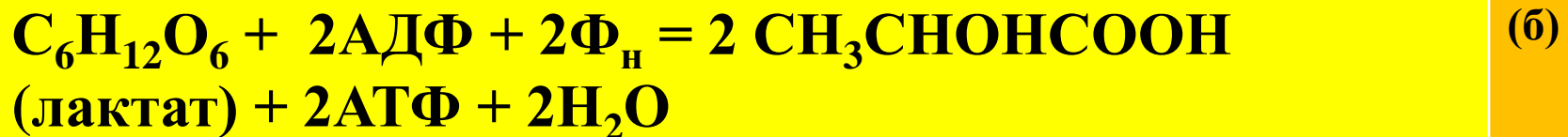
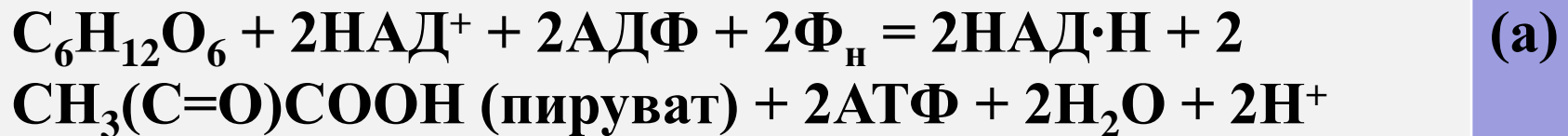
Глюкозаның өзгеріске ұшырау жолдары

# Глюкоза катаболизм реакциялардың бірізділігі



Гликолиз грек тілінен  $\gamma\lambda\upsilon\kappa\acute{o}\varsigma$ , *glykos* — тәтті және  $\lambda\acute{\upsilon}\sigma\eta\varsigma$ , *lysis* — еру.

*Гликолиз* – ол АТФ синтезделетін, 10 ферменттік реакциялардан тұратын глюкозаның ыдырау жолы, нәтижесінде: *аэробты* (а) жағдайда - глюкоза екі *пируват* молекуласына, ал *анаэробты* (б) жағдайда – екі *лактат* (сүт қышқылы) молекуласына ыдырайды.





# Гликолиздің мағынасы мен маңыздылығы

## 1. Анаэробты жағдайда:

- гликолиз организмде АТФ-тың түзілуін қамтамасыз етеді;
- оттегісіз жағдайда адам мен жануарлар организмінде бұлшық еттің қарқынды жұмысын жүзеге асырады.

## 2. Аэробты жағдайда:

- гликолиз реакциялары (пируваттың түзілуі) көмірсулардың ыдырауының бірінші кезені болып табылады;
- одан ары қарай пируваттан түзілген ацетил-КоА Кребс циклына түседі;
- гликолиз және Кребс циклы глюкозаның  $\text{CO}_2$ -ге дейін толық тотығуын, сонымен қатар, метаболиттік энергияның көп мөлшерде бөлінуін (АТФ) қамтамасыз етеді.

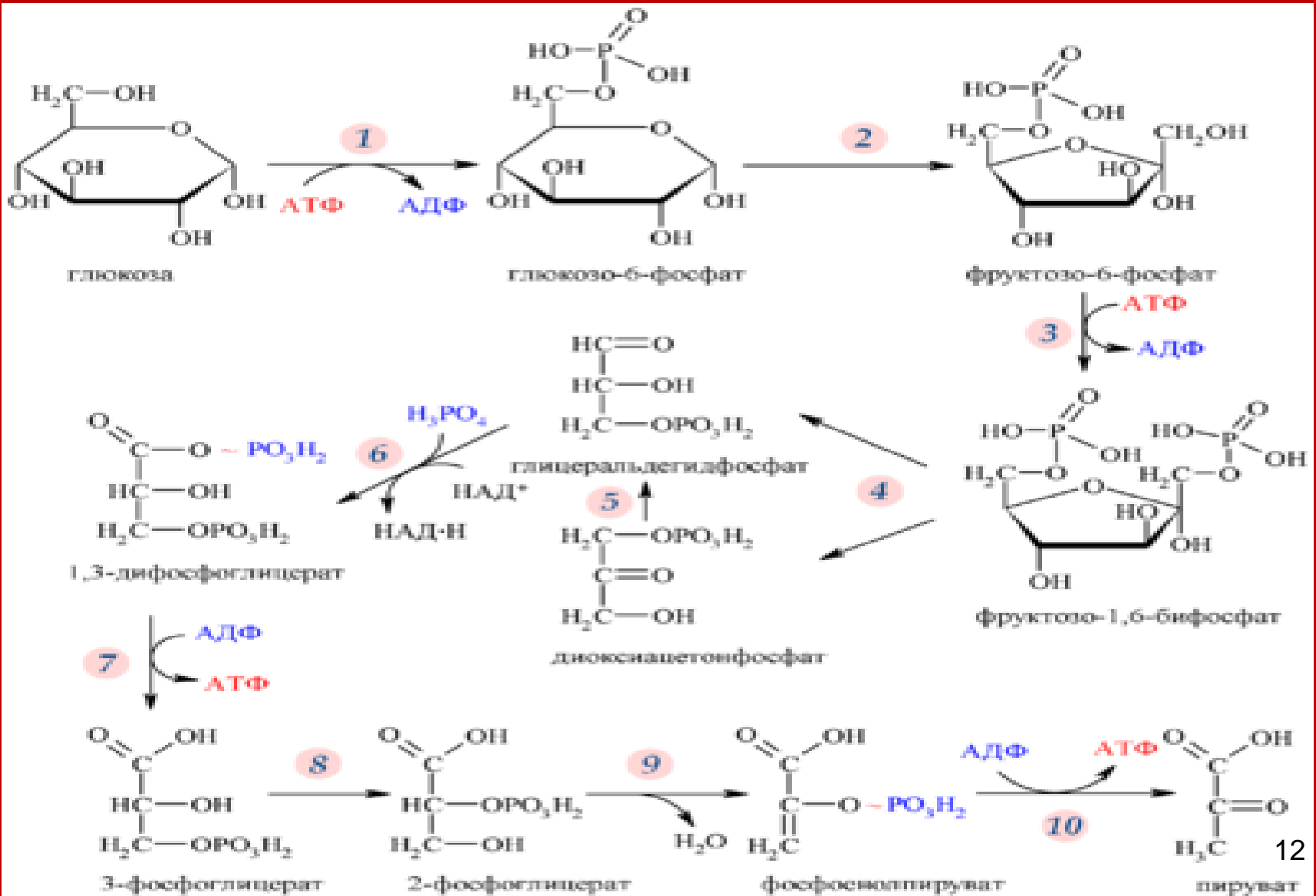
Глюкозаның аэробты жағдайда толық ыдырауының нәтижесінде 38 моль АТФ түзіледі.

## Гликолиздің жалпы сипаттамалары:

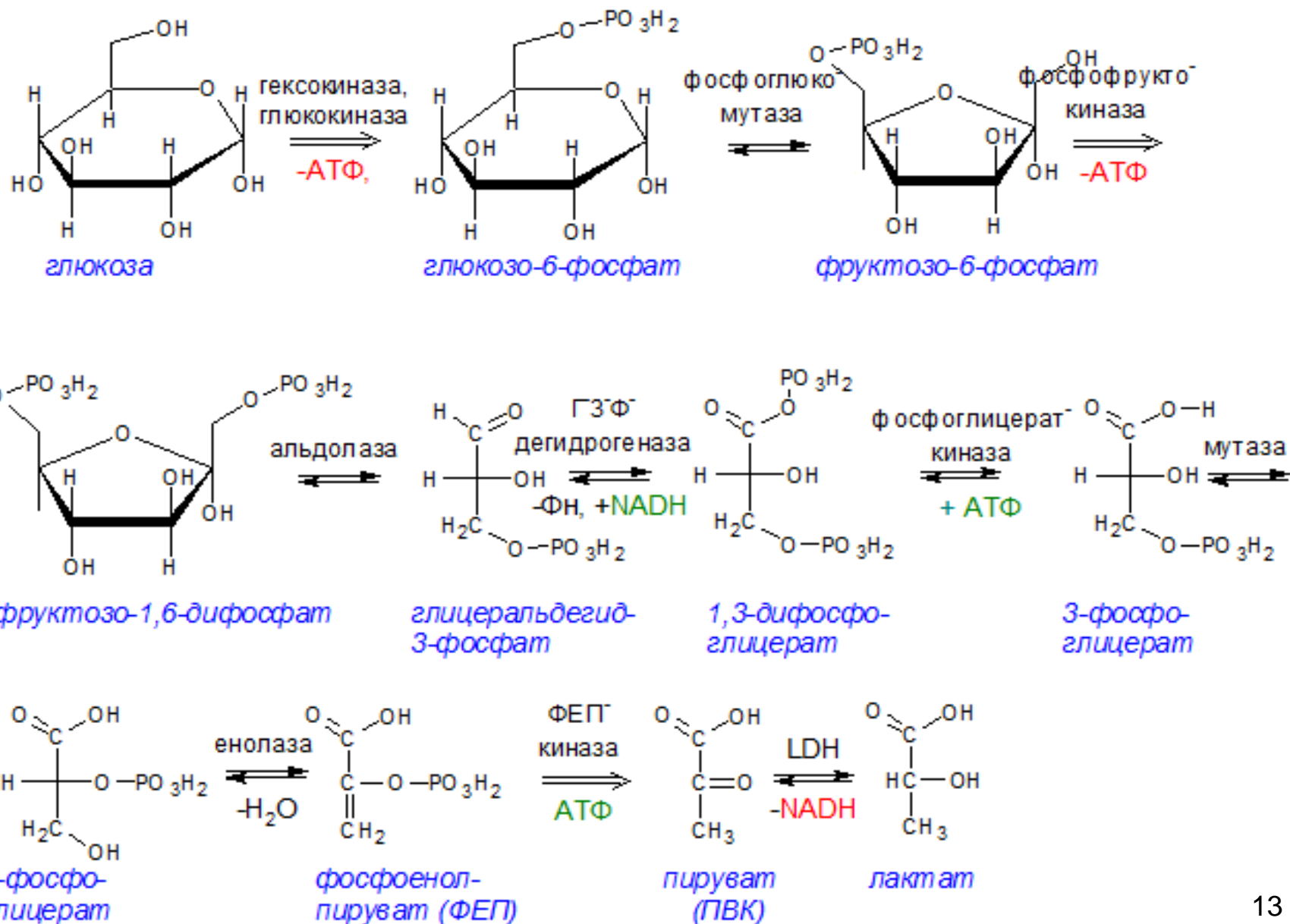
- Гликолиз клетканың *цитозолінде* жүреді, пируватқа дейін глюкозаның ыдырауын катализдейтін ферменттер цитозольда орналасады;
- Гликолизге қатысатын ферменттер: *гексокиназа (глюкокиназа), глюкозофосфатизомераза, фосфофруктокиназа, альдолаза, фосфоглицеромутаза, енолаза, пируваткиназа;*
- Гликолиздің қайтымсыз реакцияларын (1, 3, 10), оларды: гексокиназа, (глюкокиназа), фосфофруктокиназа, пируваткиназа катализдейді.

- Фосфорлану реакциялары үшін фосфат тобының көзі ретінде АТФ (1 мен 3-реакциялары) немесе бейорганикалық фосфат (6-реакция) қатысады.
- Гликолизге қатысатын метаболиттердің барлығы фосфорланған түрінде болады.
- Аэробты гликолизде НАД<sup>+</sup> тыныс алу тізбегі қатысуымен түзіледі.
- Анаэробты гликолизде пируват тотықсызданғанда НАДН тотығады да НАД<sup>+</sup> түзіледі.
- Гликолиз процесі жүзеге асу үшін НАД<sup>+</sup> қажет.

# Гликолиз

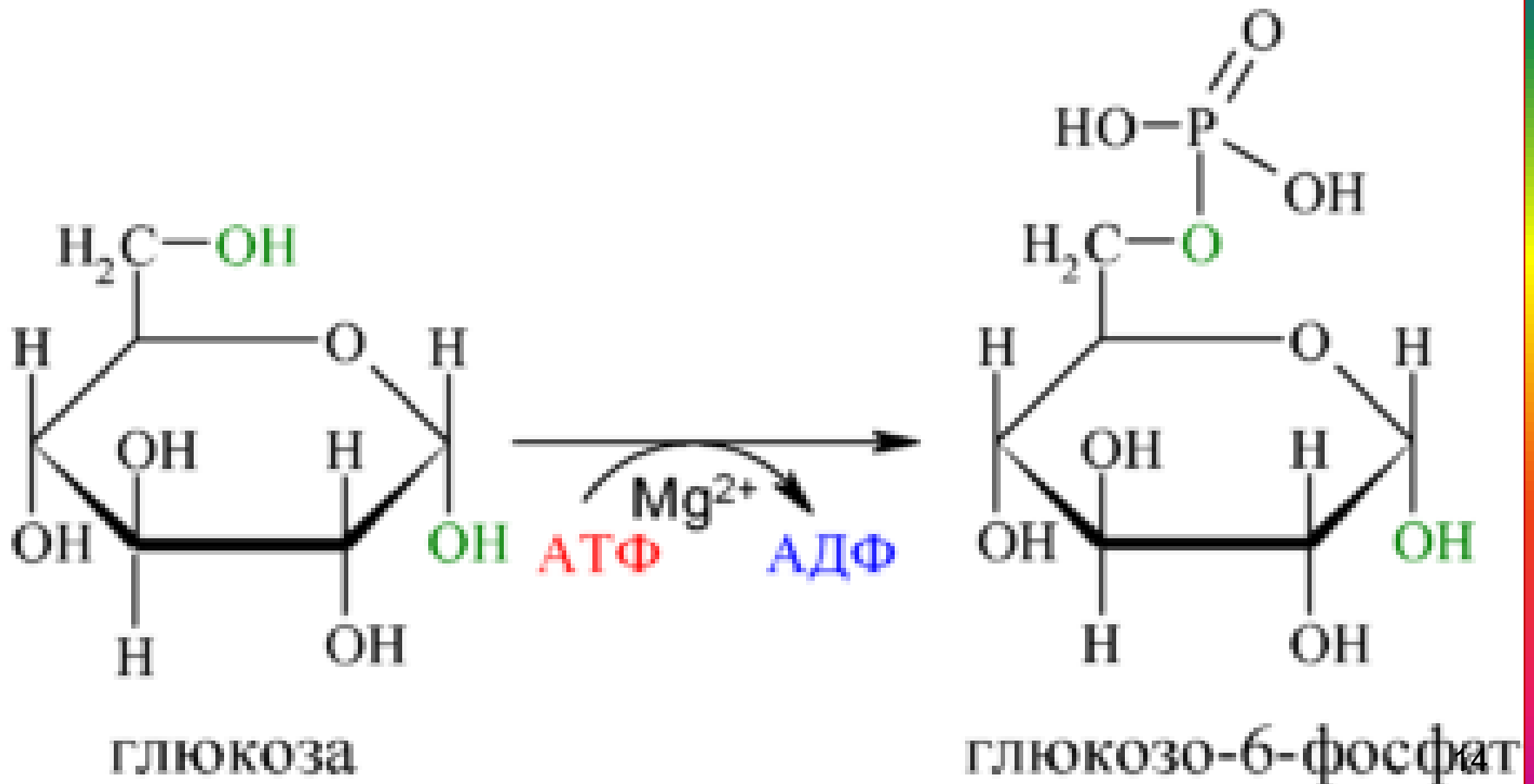


## СХЕМА ГЛИКОЛИЗА

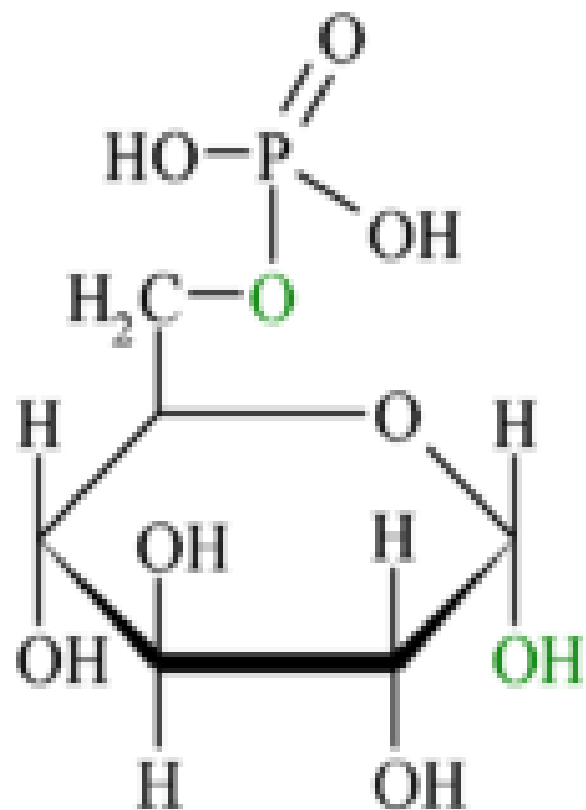


# Гликолиздің сатылары:

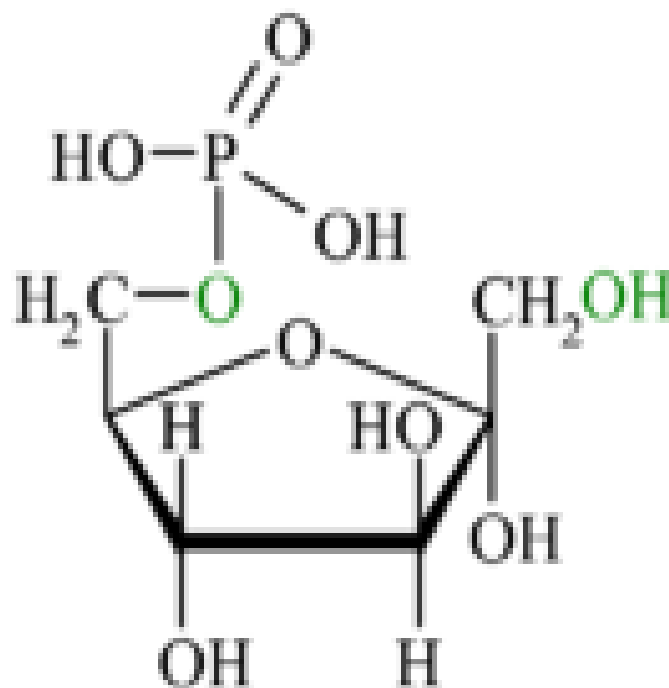
1) Глюкозаның *фосфорлануы* - глюкозо-6-фосфаттың түзілуі (Г-6-Ф): *гексокиназа ферменті* —



2) Г-6-Ф фруктозо-6-фосфатқа (Ф-6-Ф)  
айналуы; *фосфоглюкоизомераза ферменті.*



ГЛЮКОЗО-6-ФОСФАТ

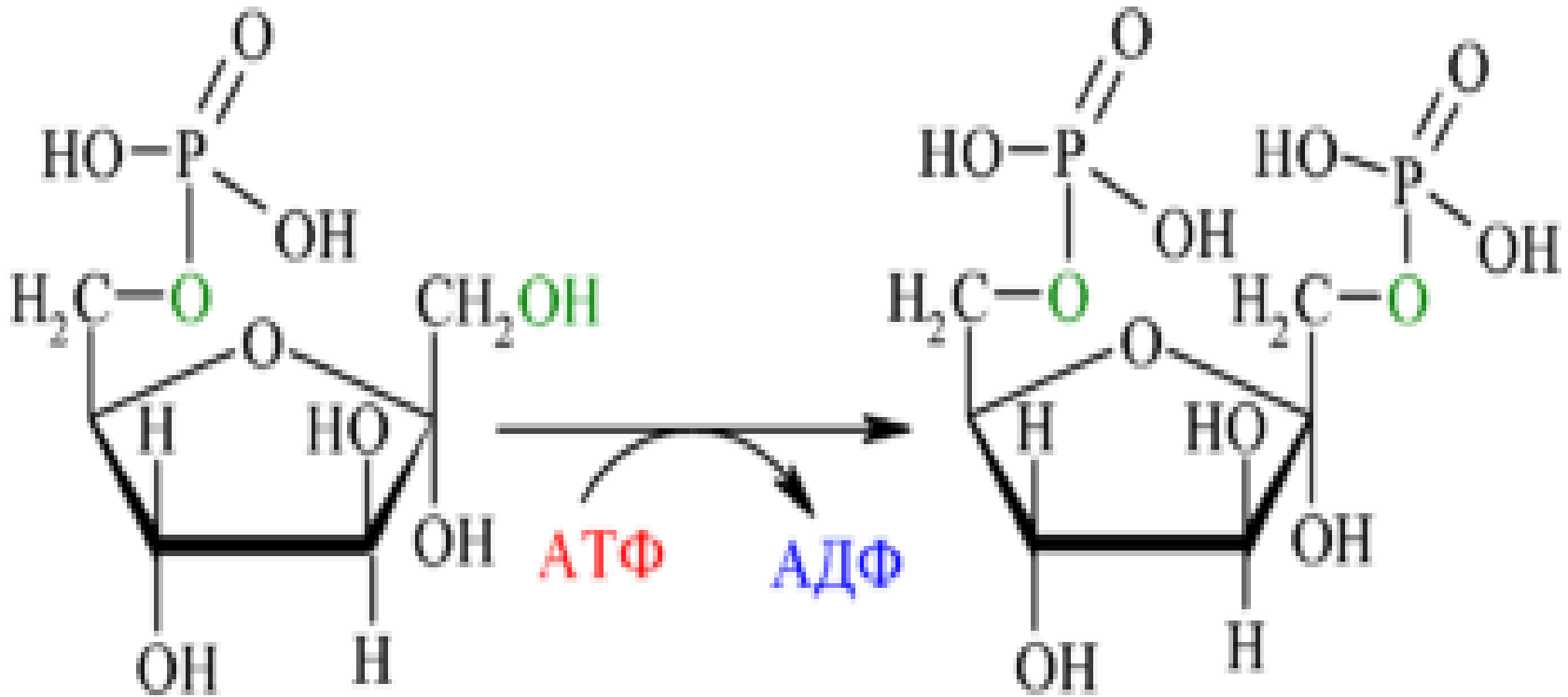


ФРУКТОЗО-6-ФОСФАТ

3) қайтымсыз фруктозо-6-фосфаттың фосфорлануы (3);

*фосфофруктокиназа; бір молекула АТФ жұмсалады;*

4) қайтымды фруктозо-1,6-бифосфаттың (Ф-1,6-бФ) екі триозаға альдольді ыдырауы (4).

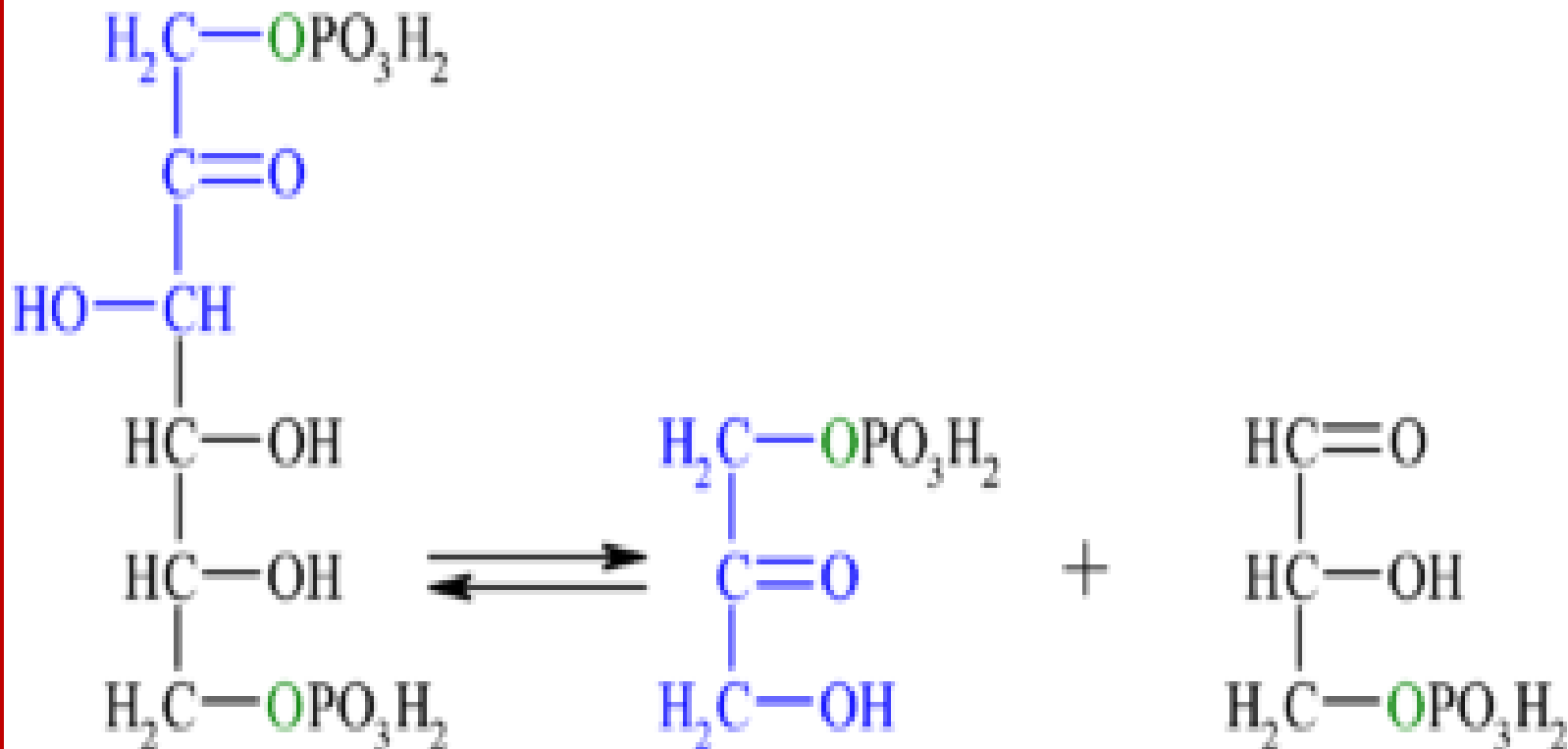


фруктозо-6-фосфат

фруктозо-1,6-бифосфат



**Ф-1,6-бФ-тың альдольді ыдырауы *фруктозо-1,6-бифосфат-альдолаза* ферментінің көмегімен жүреді:**

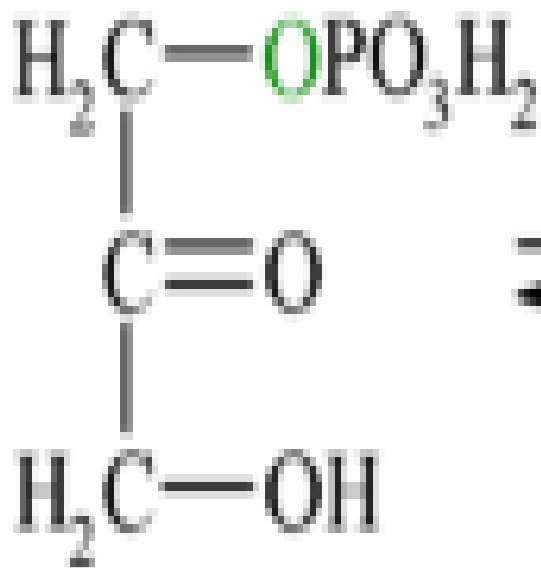


фруктозо-1,6-  
бифосфат

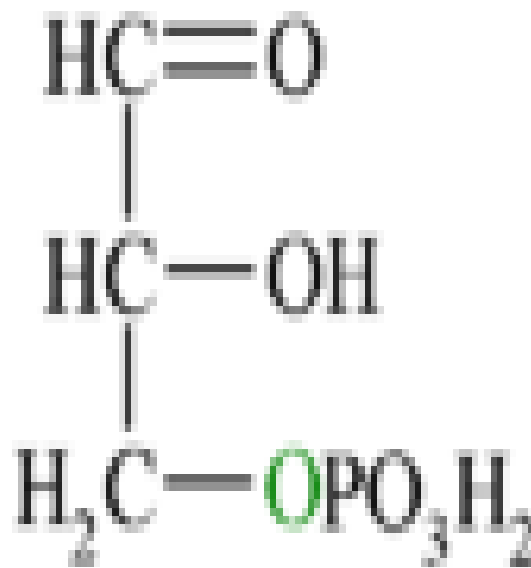
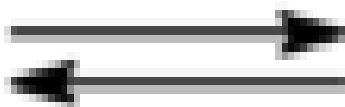
диоксиацетон-  
фосфат

глицеральдегид-3-  
фосфат

4 -ші реакцияда *дигидроксиацетонфосфат және глицеральдегид-3-фосфат* түзіледі, біріншісі - *фосфотриозоизомераза* әсерінен екіншісіне алмасады (5):

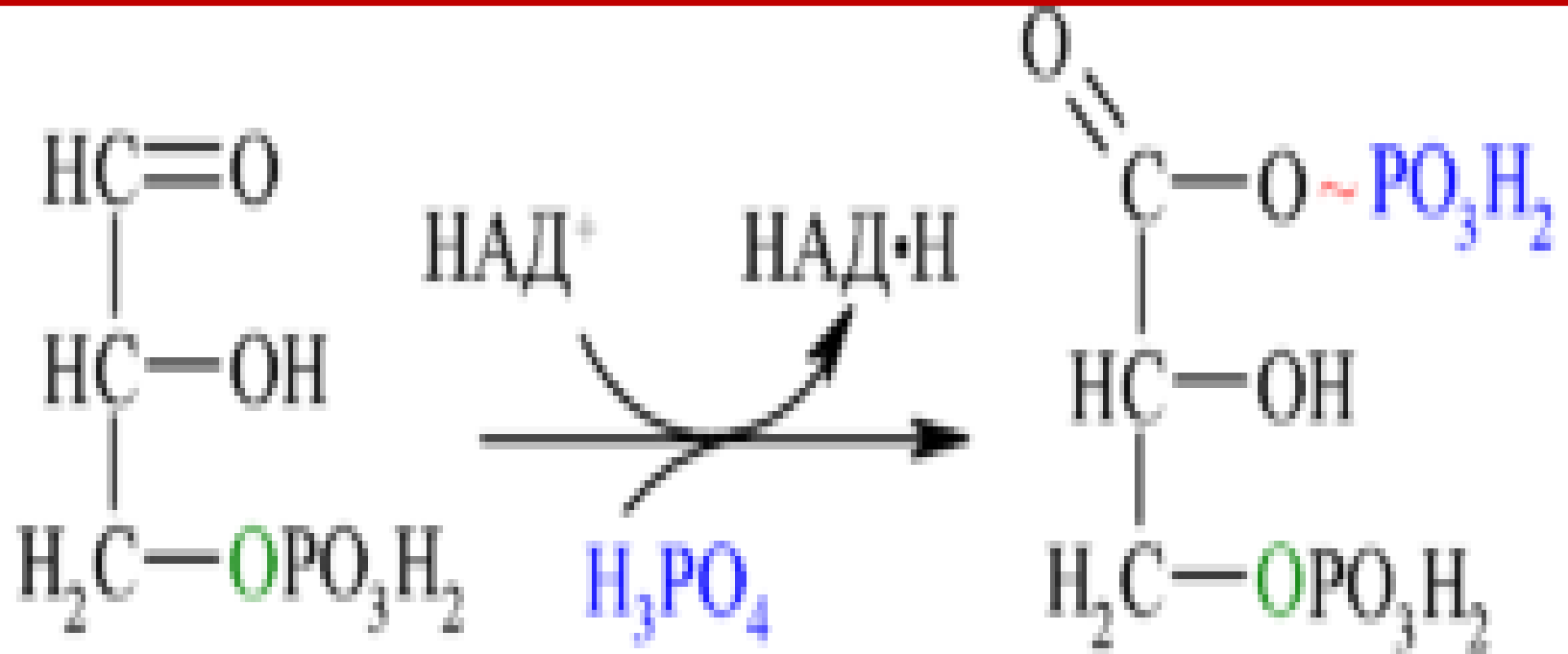


диоксиацетон-  
фосфат



глицеральдегид-3-  
фосфат

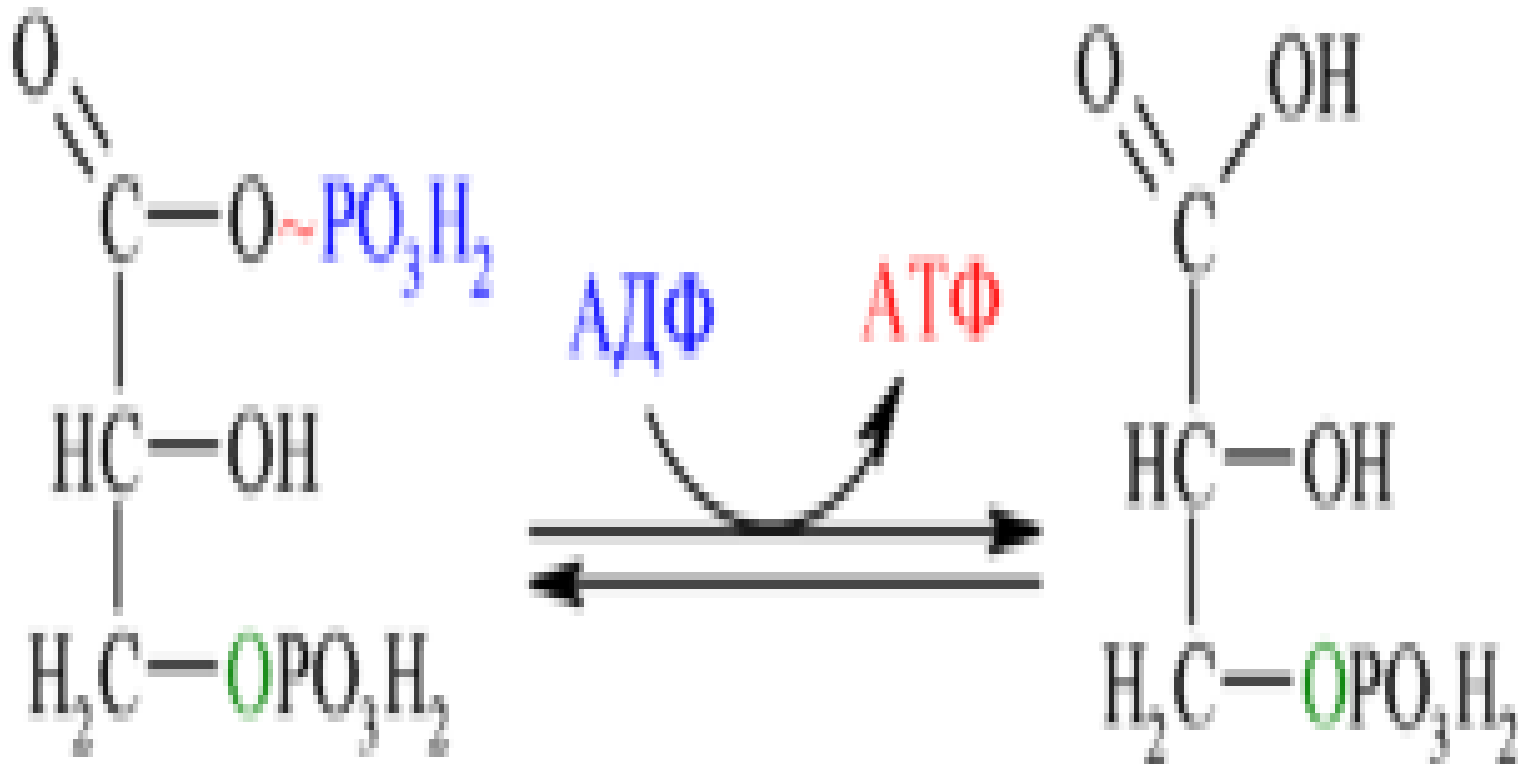
б) Әр *глицеральдегидфосфат* молекуласы *глицеральдегидфосфаттың дегидрогеназа* қатысында НАД<sup>+</sup>-пен *1,3-дифосфоглицератқа дейін* тотығады:



глицеральдегид-3-  
фосфат

1,3-дифосфо-  
глицерат

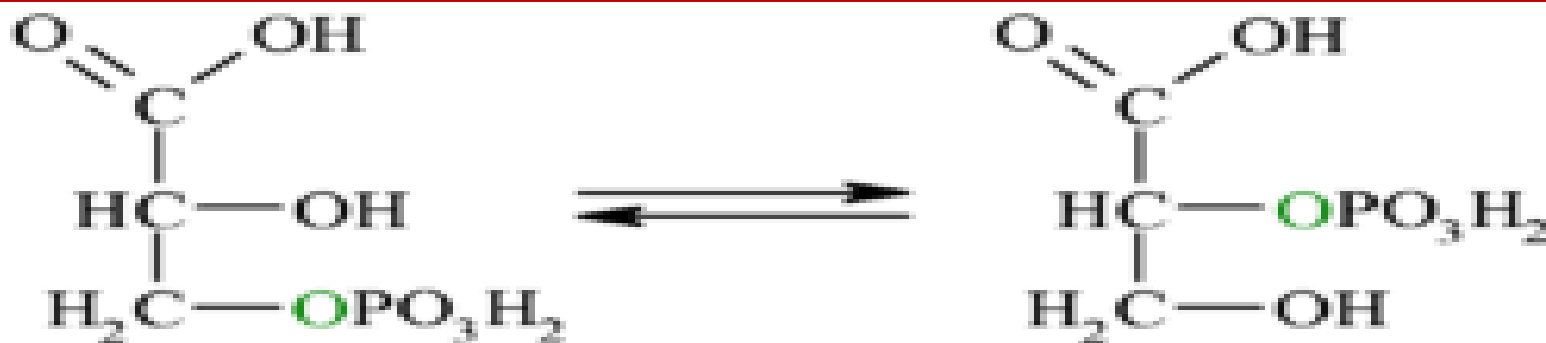
7) *1,3-дифосфоглицераттан* фосфор қышқылының қалдығы *фосфоглицераткиназа* ферментімен АДФ молекуласына тасымалданады — АТФ молекуласы түзіледі:



1,3-дифосфоглицерат

3-фосфоглицерат

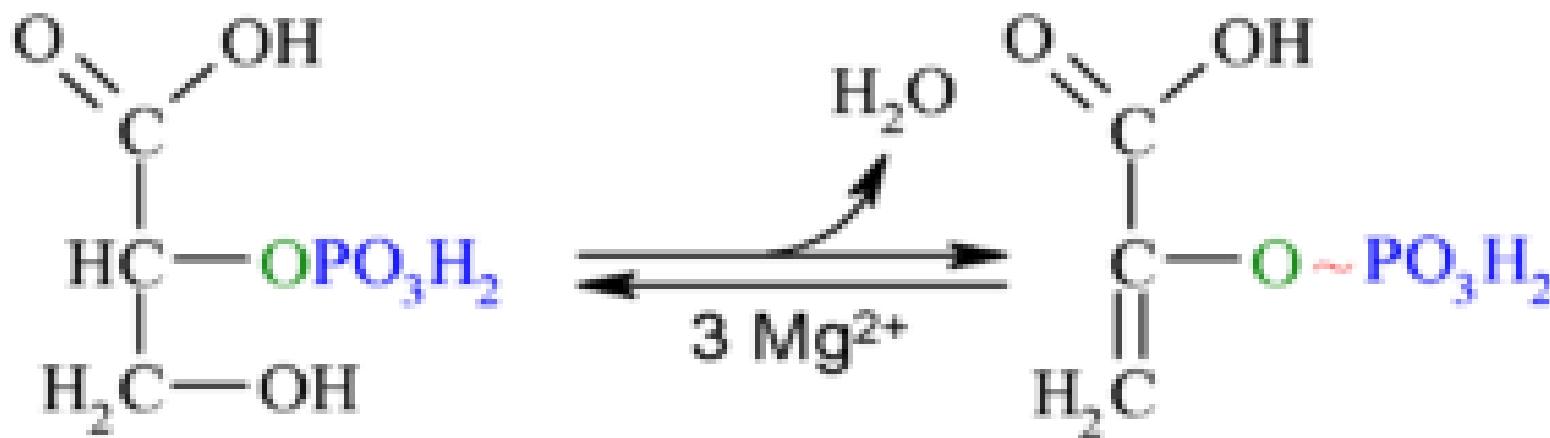
8) *Фосфоглицеролмутаза ферменті* 2-фосфоглицератты түзеді:



3-фосфоглицерат

2-фосфоглицерат

9) *Енолаза ферменті* фосфоенолпируватты түзеді:



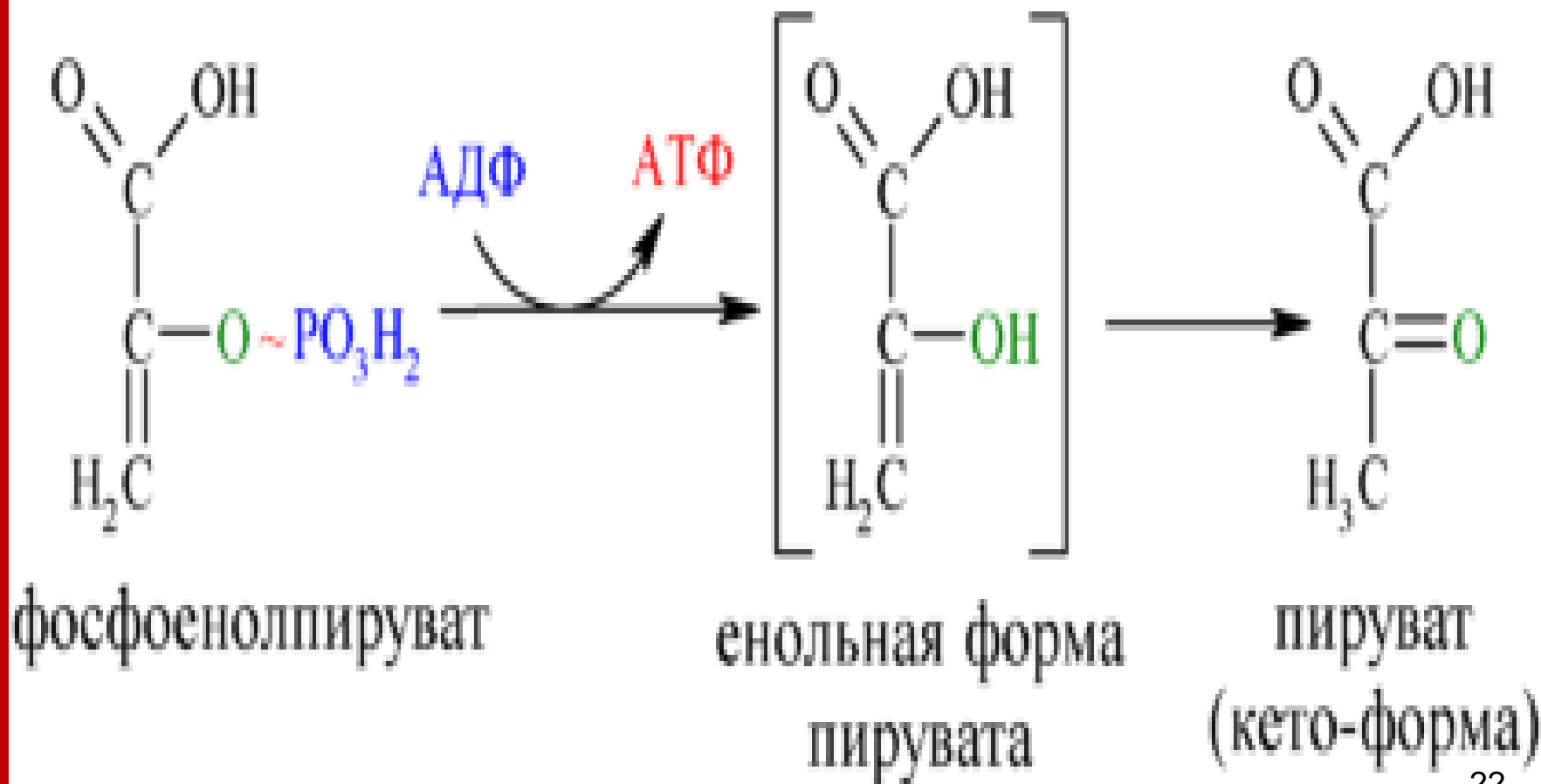
2-фосфоглицерат

фосфоенолпируват

10) АДФ субстраттық фосфорланудың екінші реакциясы жүреді, пируваттың енолды формасы және АТФ түзіледі:

Реакция *пируваткиназа* көмегімен жүреді.

Пируваттың енолды формасының изомеризациясы ферментсіз жүреді:



# Ашу процесі:

Пируват пен НАД·Н жағдайы клеткада оттектің бар немесе жоқтығына тәуелді болады.

**Анаэробты организмдерде пируват пен НАД·Н ашиды.**

**Сүтқышқылды ашу:** мысалы, бактерияда пируват *лактатдегидрогеназа* ферментінің көмегімен сүт қышқылына тотықсызданады.

Ашытқыларды - спирттік ашу байқалады, нәтижесінде *этанол* және *көмірқышқыл газы* түзіледі.

Сонымен қатар, *май қышқылды және лимон-қышқылды ашу* белгілі:

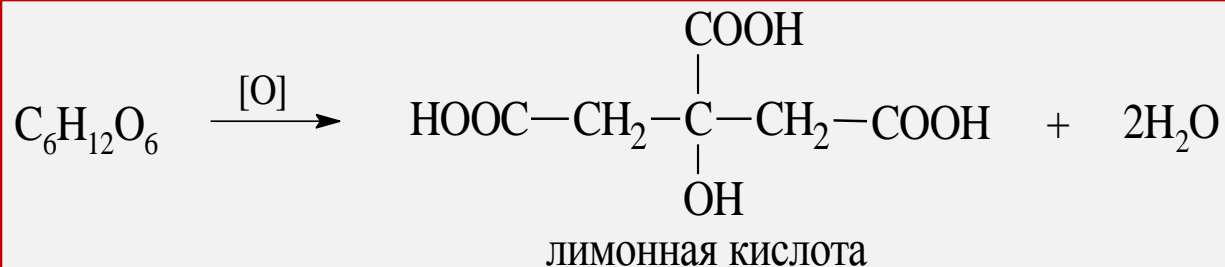
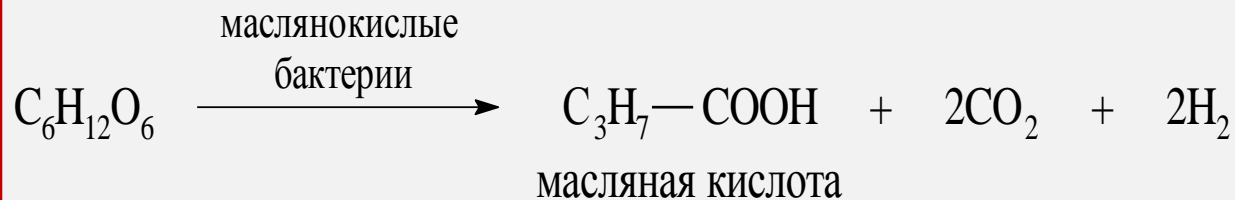
**глюкоза → май қышқылы + 2 CO<sub>2</sub> + 2 H<sub>2</sub>O.**

Спирттік ашу:

**глюкоза → 2 этанол + 2 CO<sub>2</sub>.**

лимон-қышқылды ашу:

**глюкоза → лимон қышқылы + 2 H<sub>2</sub>O.**

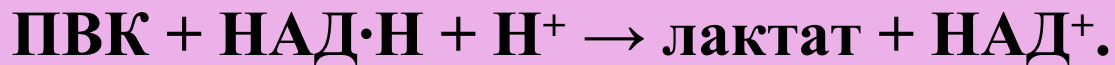




Ашу тағам өндірісінде аса маңызды.

Аэробтарда **пируват** үш карбон қышқылдарының циклына түседі (Кребса циклы), ал НАД·Н – митохондрияларда тотыға фосфорлану процесінде тыныс алу жолдарында тотығады

Адам метаболизмі көбінесе аэробты болғанына қарамастан, бұлшық еттерде – анаэробты тотығу байқалады. Оттегі аз болғандықтан пируват сүт қышқылына айналады:



Сүт қышқылы жиналғанда (интенсивті физкультура), бұлшық еттер ауырады.

***Лактатдегидрогеназаның*** әсерінен сүт қышқылы пируватқа дейін тотығады және ары қарай алмасады.

# Энергетикалық баланс:

- 1,3 реакцияларда – 2 АТФ жұмсалды;
- 7, 10 реакцияда – +2 +2 АТФ молекуласы түзіледі, яғни  $4-2=2$  АТФ.
- 1 АТФ = 31,0 кДж/моль
- 2АТФ = 62,0 кДж/моль

Глюкоза → 2 лактат, бос энергия = -196 кДж/моль ⇒ энергетикалық тиімділігі = 32%.

# Суммарное уравнение:

## 1. Гликолиз

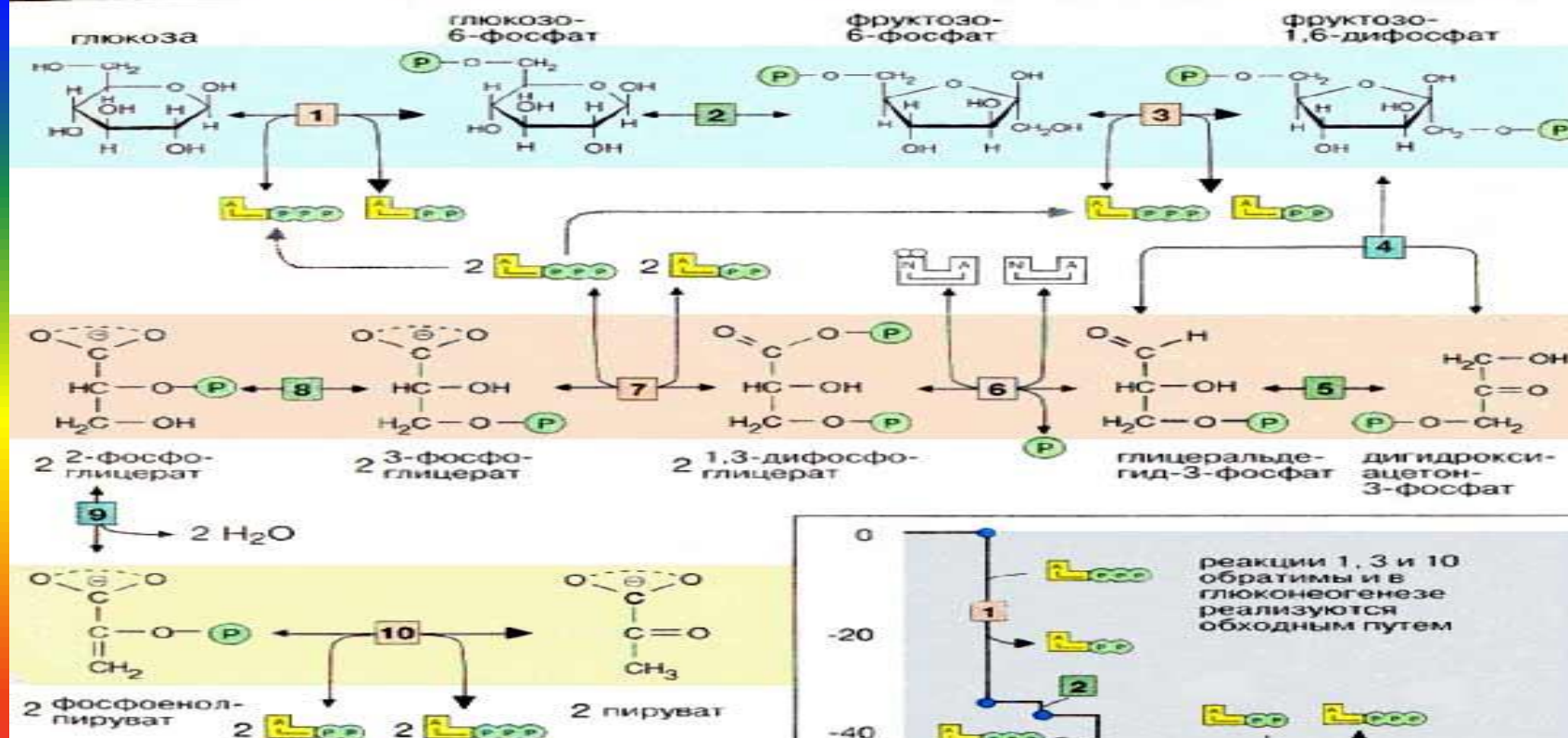


## 2. Дыхание



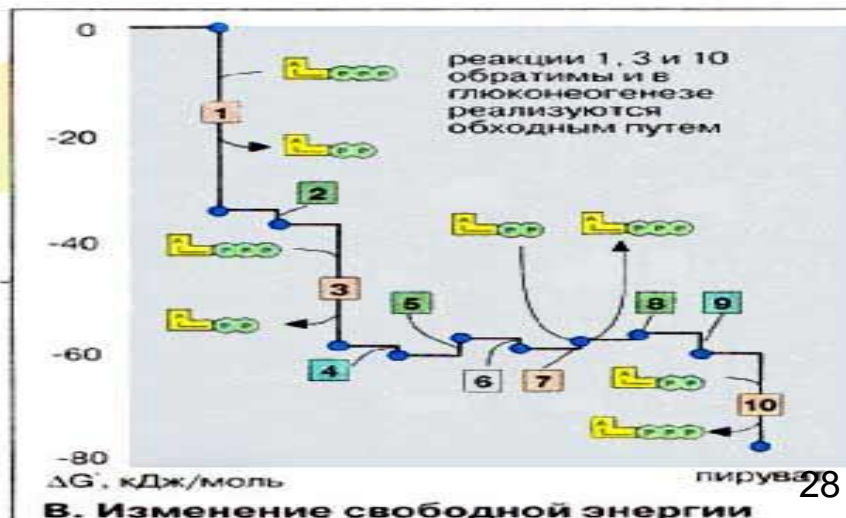


### А. Гликолилиз: баланс



- |  |  |
|--|--|
| <b>1</b> гексокиназа 2.7.1.1                 | <b>6</b> глицеральдегид-3-фосфатдегидрогеназа 1.2.1.12 |
| <b>2</b> глюкозо-6-фосфат-изомераза 5.3.1.9  | <b>7</b> фосфоглицераткиназа 2.7.2.3                   |
| <b>3</b> 6-фосфофруктокиназа 2.7.1.11        | <b>8</b> фосфоглицерат-мутаза 5.4.2.1                  |
| <b>4</b> фруктозодифосфат-альдолаза 4.1.2.13 | <b>9</b> фосфопируват-гидратаза 4.2.1.11               |
| <b>5</b> триозофосфат-изомераза 5.3.1.1      | <b>10</b> пируваткиназа 2.7.1.40                       |

### Б. Реакции гликолиза



### В. Изменение свободной энергии

# Глюконеогенез

**Глюконеогенез - көмірсу емес қосылыстардан глюкозаның синтезі.**

**Жануарларда глюкоза түзілетін алғы заттар:** сүт қышқылы (негізгі алғы зат), пирожүзім қышқылы, глицерин, глюкогенді аминқышқылдар.

Глюкогенді аминқышқылдар - глицин, аланин, серин, цистеин, треонин, аспарагин, аспарагин қышқылы, тирозин, феннилаланин, изолейцин, метионин.

**Жануарларда глюконеогенездің негізгі орны – бауыр.**

Глюконеогенез шамалы мөлшерде бүйректе, ішектің шырышты қабатында, өте аз мөлшерде бұлшық етте, жүрек бұлшық етінде, ми клеткаларында жүзеге асады.

**Глюконеогенез клетканың цитозолінде өтеді.** Бұл процеске қатысатын ферменттер цитоплазмада орналасады.

**Өсімдіктерде глюкозаның алғы заты:**  $\text{CO}_2$  (фотосинтез процесі), сүт қышқылы, пирожүзім қышқылы, глицерин, аминқышқылдар, май қышқылдары.

# Глюконеогенез

Глюконеогенез – глюкоза түзілетін негізгі процесс.

Глюконеогенездің реакцияларын гликолизге қатысатын 7 фермент кері бағытта катализдейді.

**Глюконеогенездің 4 ферменті:**

- пируваткарбоксилаза,
- фосфоенолпируваткарбоксилаза,
- фруктозо-1,6-дифосфатаза,
- глюкозо-6-фосфатаза

гликолизге қатыспайды, бауырда орналасады.

