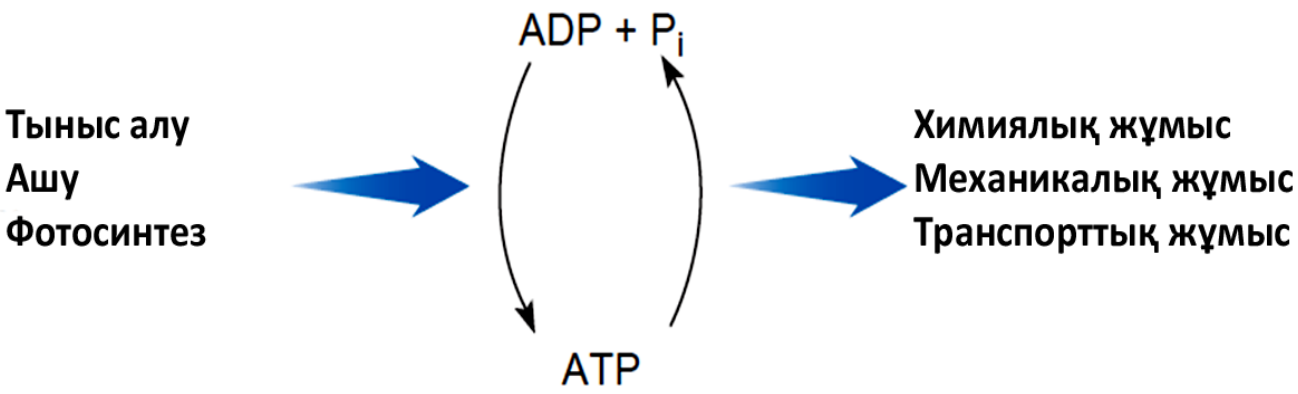
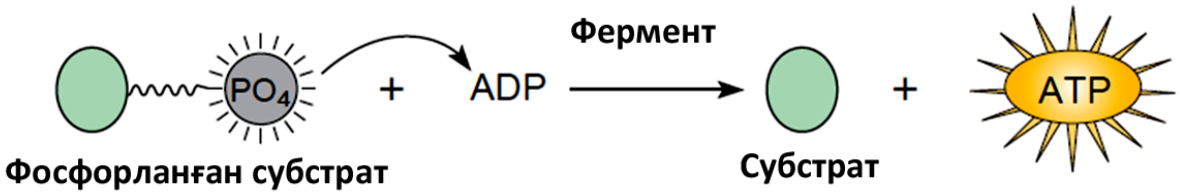
Тыныс алудың электрон тасымалдау тізбегі

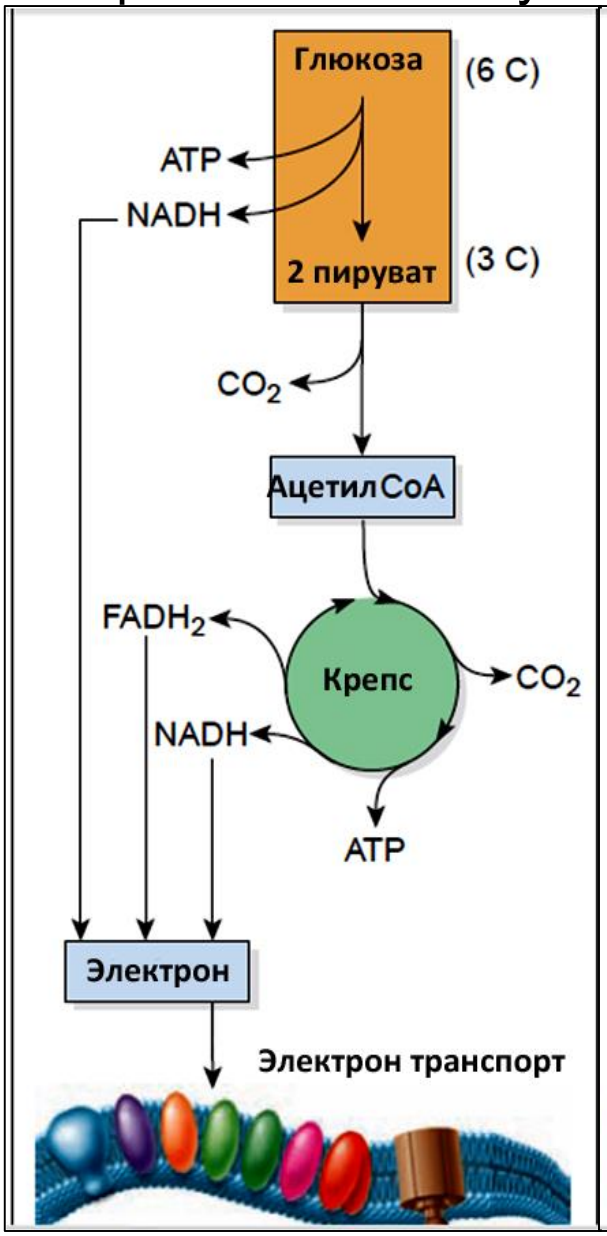
АТР түзілу және жұмсалу



Субстратты фосфорлану барысында АТР түзілу

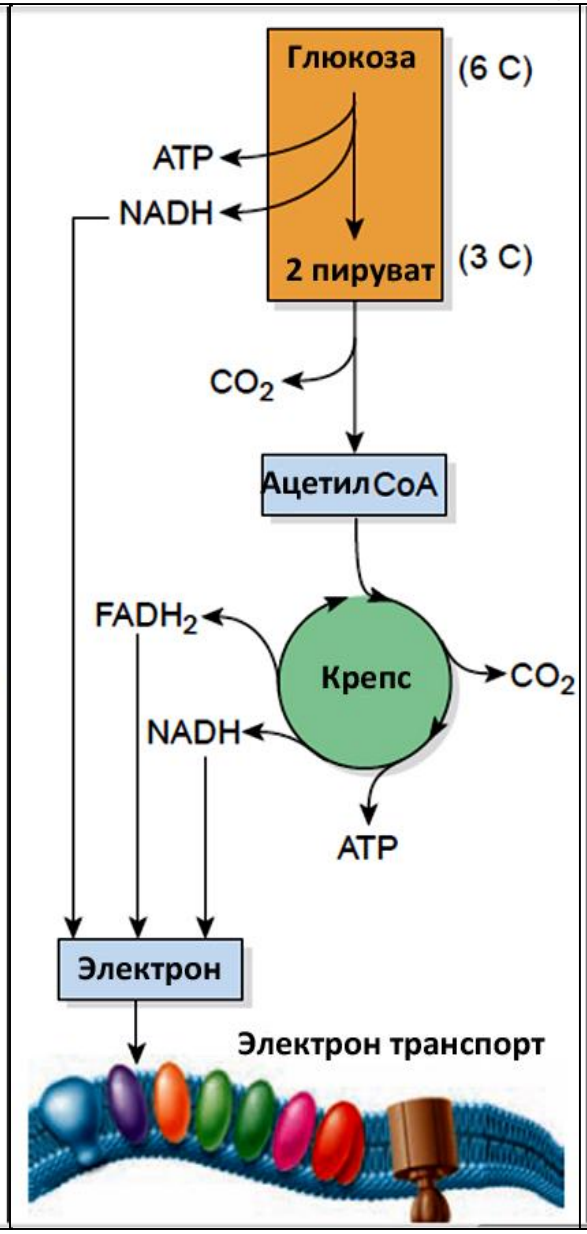


Аэробты тыныс алу



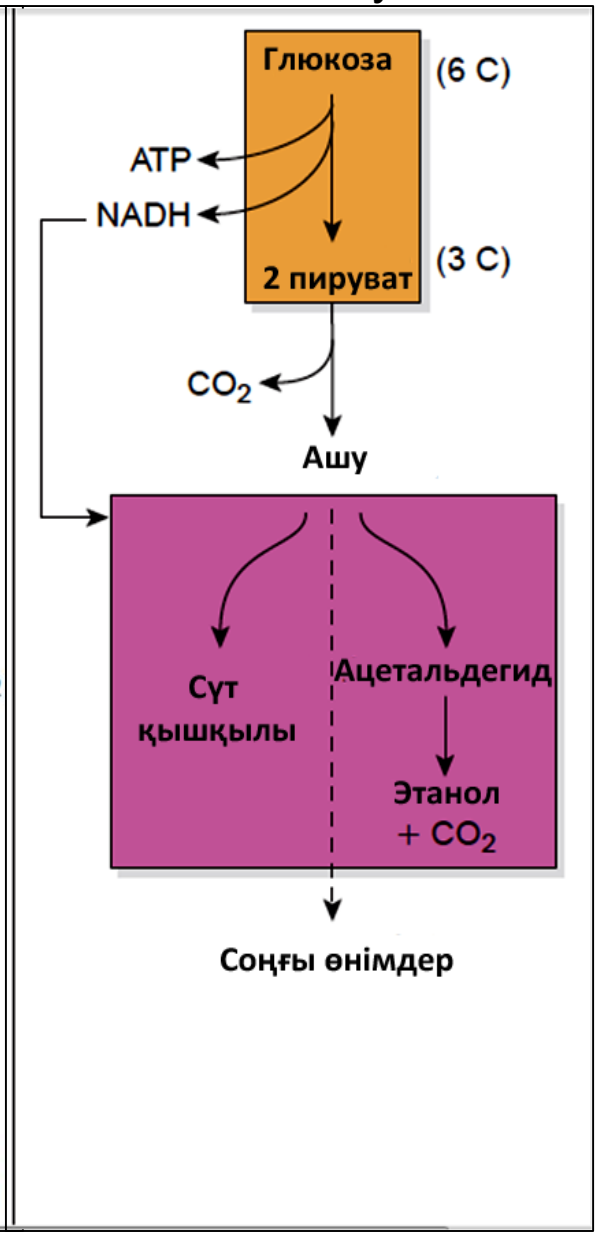
O_2 соңғы электрон акцепторы

Анаэробты тыныс алу



SO_4, NO_3, CO_3 соңғы электрон акцепторлары

Ашу

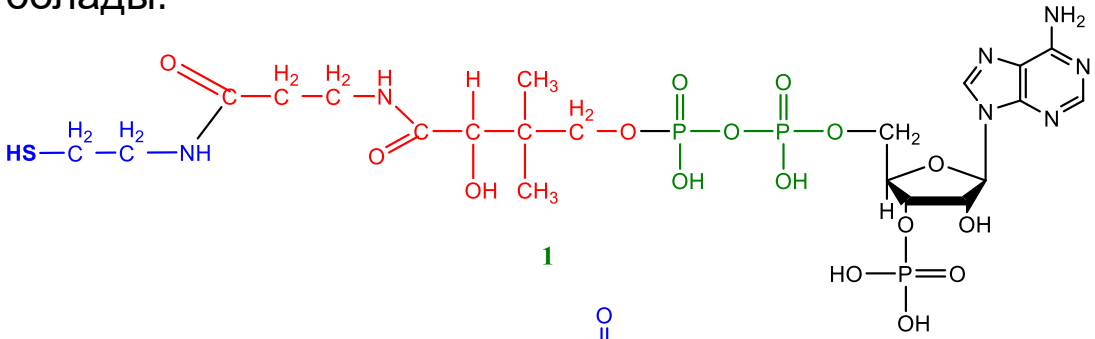


Органикалық қосылыстар соңғы электрон акцепторлары

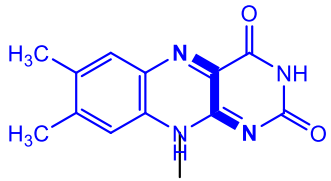
Тыныс алудың электрон тасмалдау тізбегі (ЭТТ, ЭТЦ, Electron transport chain) – трансмембранды протеиндер мен электрон тасмалдаушылардың құрылымдық және функциональды байланысқан жүйесі. ЭТТ-де NAD*H және FADH молекулалық оттегі (аэробты) және басқа заттардың (анаэробты) қатысында тотығуы барысында **трансмембраналық протондар потенциалы** формасында энергияның жинақталуы.

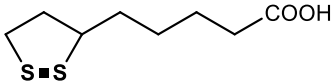
ЭТТ прокариоттарда цитоплазмалық мембранада, эукариоттарда митохондрияның ішкі мембранасында орналасқан.

Сутегі немесе электрондарды тасымалдау тізбегінде әртүрлі молекулалардан құралған тотықтырушы-тотықсыздандырушы **тасымалдаушылар –** флавопротеиндер, хинондар және цитохромдардан болады.

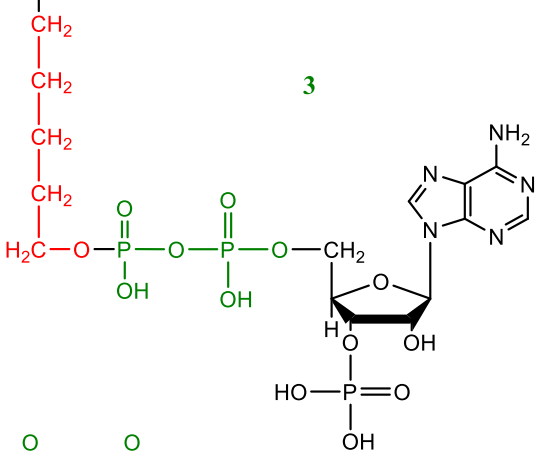


1

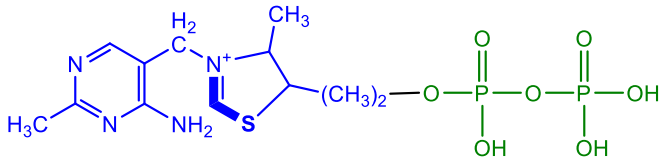




2



3



4

1 Кофермент А
2 Липой қышқылы
3 Флавинаденин динуклеотид (FAD)
4 Тиаминпирофосфат (TPP)

- **Флавопротеидтер** сутегі атомдарын тотықсызданған пиримидинді нуклеотидтерден тыныс алу тізбегінің келесі тасмалдаушыларына тасымалдайды. Флавопротеиндердің простатикалық топтарына флавинадениндинуклеотид (FAD) немесе флавинмононуклеотид (FMN) болып табылады.
- **Хинондар** (убихинон немесе кофермент Q) молекулалық массасы аз белокты емес тасымалдаушылар, олар сутегі мен электрондарды тасымалдауға қабілетті және флавопротеидтер мен цитохромдардың арасында аралық компоненттері қызметін атқарады.
- **Цитохромдар** – молекулалық массасы салыстырмалы түрде шығын белоктар. Цитохромдардың простетикалық тобы - гем. Бұл ферменттер сутегі атомдарын емес электрондарды тасымалдайды. Цитохромдардың a, a_3, b, c, d және т.б. түрлері бар. Цитохормдарда электрондардың тасымалдаушы рөлін гемдегі темір атқарады. Әдетте гемдегі темірдің тотыққан түрде (Fe^{3+}), электронмен қосылғаннан соң тотықсызданған күйге көшеді.

Коферменттер және простетикалық топтар

Кофермент немесе простетикалық топтар	Тасымалданатын субстраттар	Витаминдер
Никотинаминадениндинуклеотид -NAD(P)$^+$	Сутегі, e^-	Никотин қышқылы
Флавинмононуклеотид – FMN Флавинаденин-динуклеотид - FAD	Сутегі, e^-	Рибофлавин
Убихинон	Сутегі, e^-	Q_{10}
Цитохром	e^-	Гем туындылары
Биотин	Карбоксил топтары	Биотин
Пиридоксальфосфат	Амин топтары	Пиридоксин
Тетрагидрофол қышқылы	Формильді топтар	Фоли қышқылы
Кофермент А	Ацильді топтар	Пантотен қышқылы
Липой қышқылы	Ацильді топтар және сутегі	Липой қышқылы
Кофермент В12	Карбоксильді топтар	Кобаламин
Тиаминпирофосфат	Альдегидті топтар	Тиамин

Әрбір сутегі атомы кофермент Q-ға жеткенде сутегі ионы мен электронға ажырайды: $H \rightarrow H^{+} + e^{-}$. Өз кезегінде электрон темір ионына қосылады:

$$Fe^{3+} + e^{-} \leftrightarrow Fe^{2+}$$

Ал сутегі иондары ортаға бөлініп шығады, кейіннен тыныс алу тізбегіне қатысады. Электрон b цитохромынан с цитохромына, сосын aa_3 цитохромына (цитохромоксидаза) ауысады. Цитохромоксидазада темірден басқа мыс болады және оттегіге электрондарды бере отырып оксидаза қызметін атқарады:

$$O_2 + 4Fe^{2+} \rightarrow 2O^{2-} + 4Fe^{3+}$$

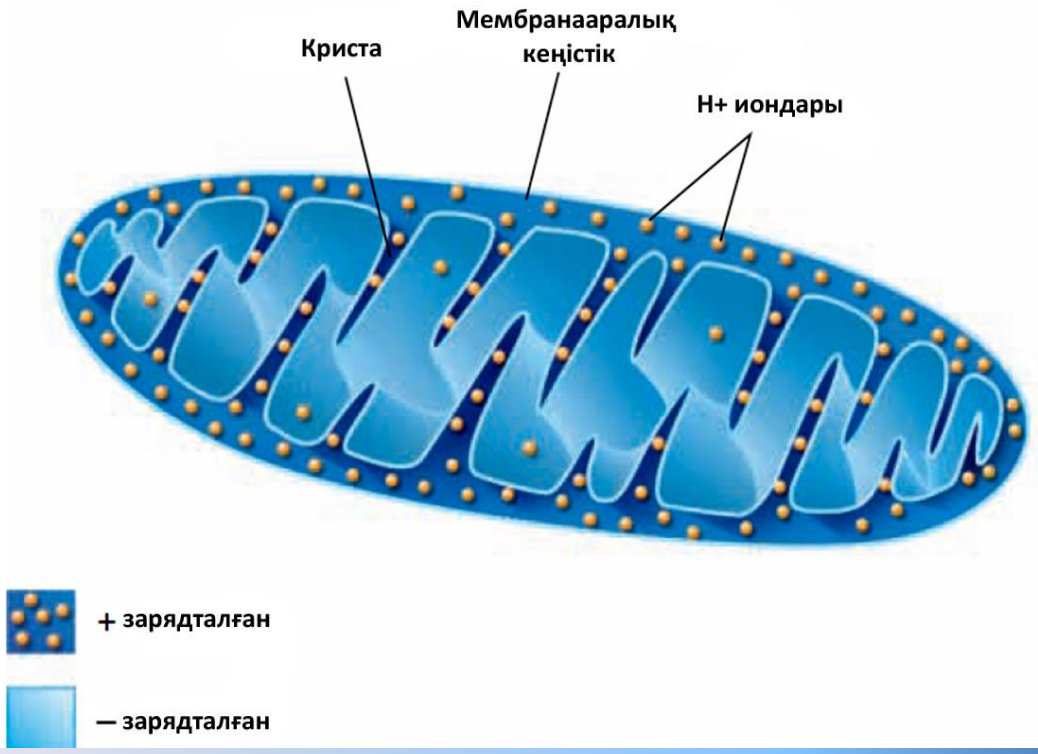
Мұндай қайтымсыз тотығу процесінде барлық электрон тасымалдаушылар тізбегі тотыққан күйге көшеді және молекулалық оттегі суға дейін тотықсызданады.

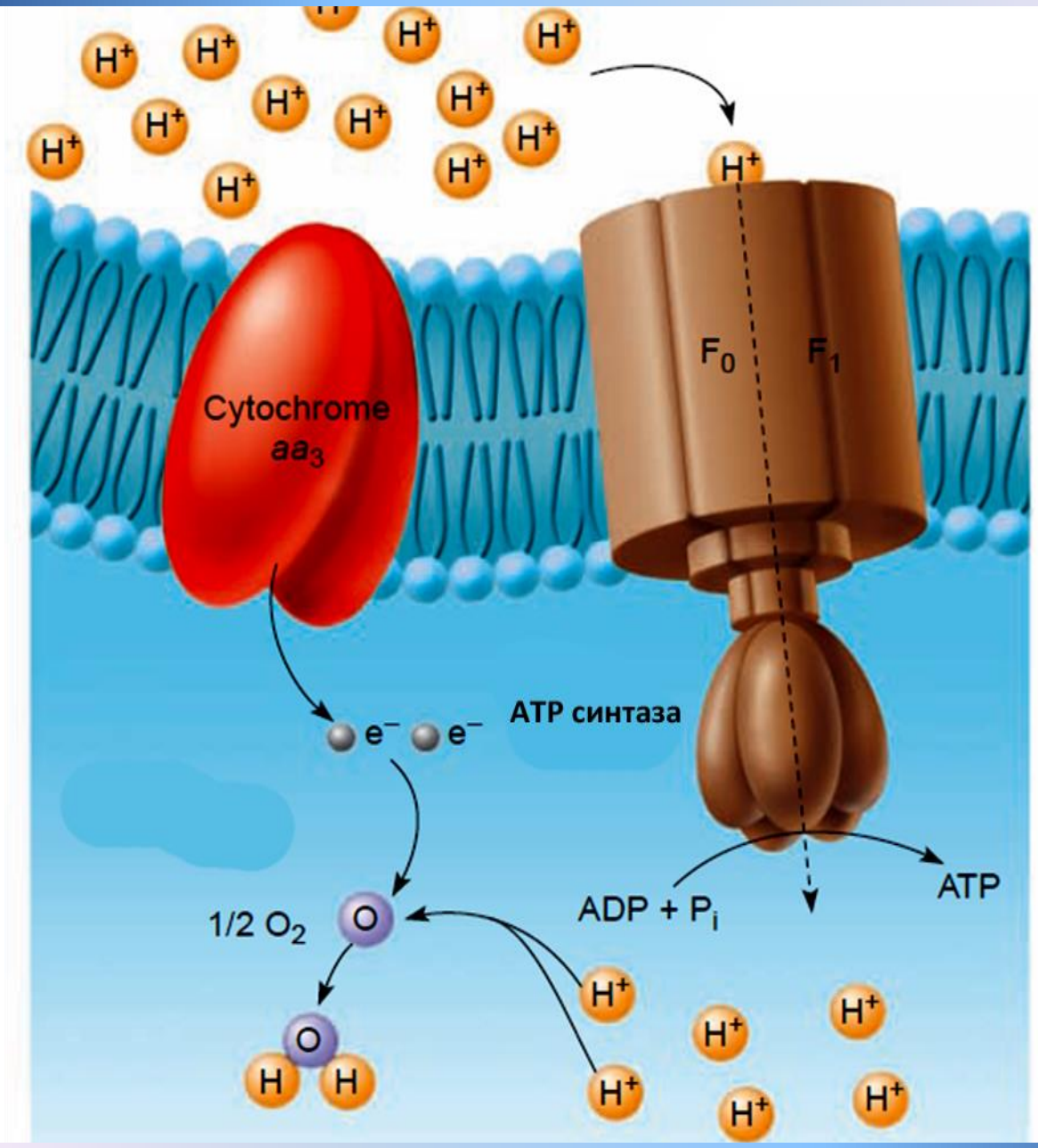
Тыныс алу тізбегінің жекеленген аймақтарына сутегі атомдары мен электрондардың тосымалдануы барысында біраз мөлшерде бос энергия түзіледі. Бұл босаған энергияны тұрақтандыру үшін микробты клеткада энергияның босауы және оның энергияға бай АТФ фосфорлық байланыстарын түзетін механизм бар, ол **тотыға фосфорлану** деп аталады. Тотыға фосфорлану электрон тасмалдау тізбегімен байланысты және осымен субстратты фосфорланумен ерекшелінеді.

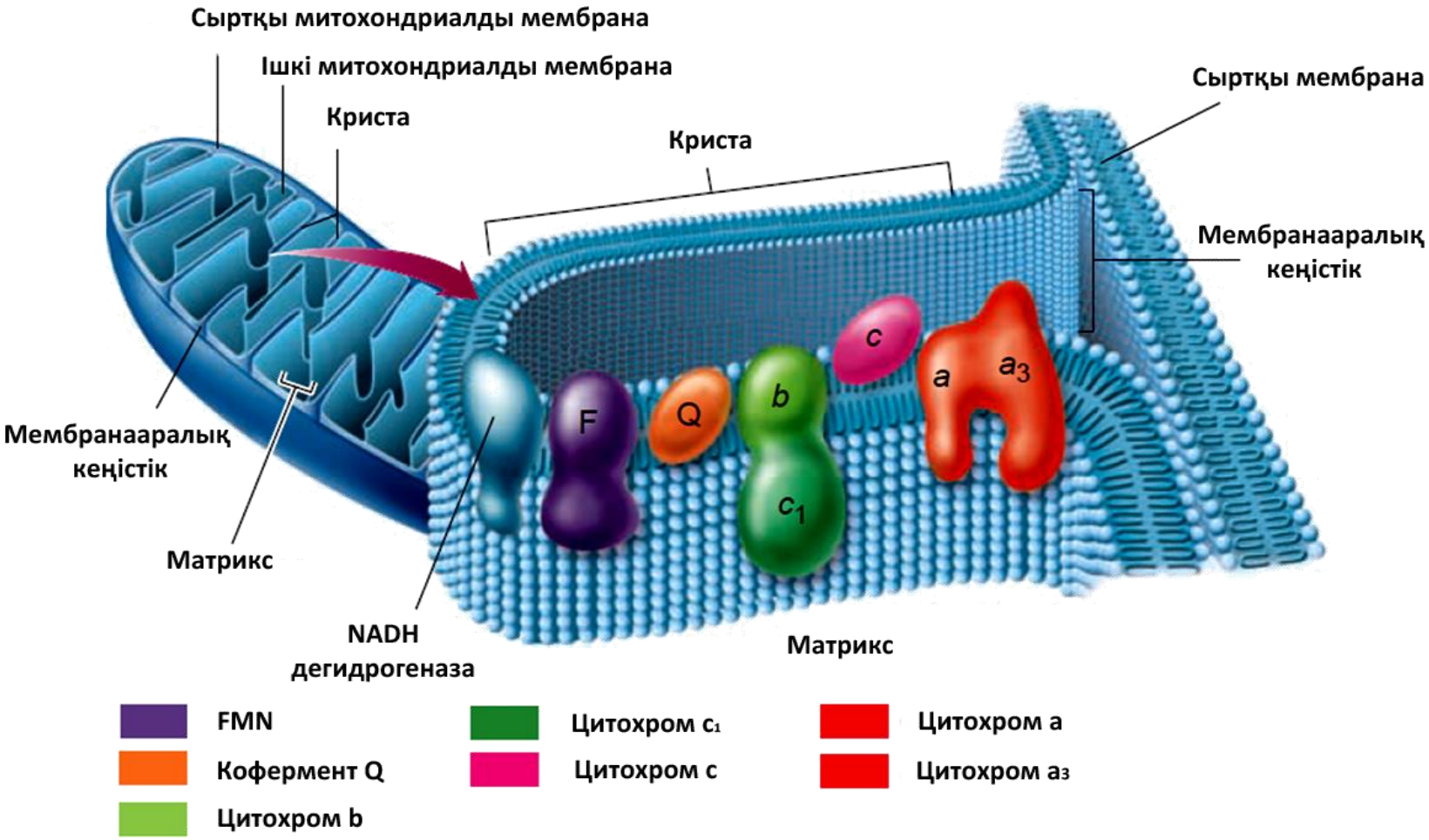
Тыныс алу тізбегінде тотығу мен фосфорлану байланысының үш аймағы белгілі:

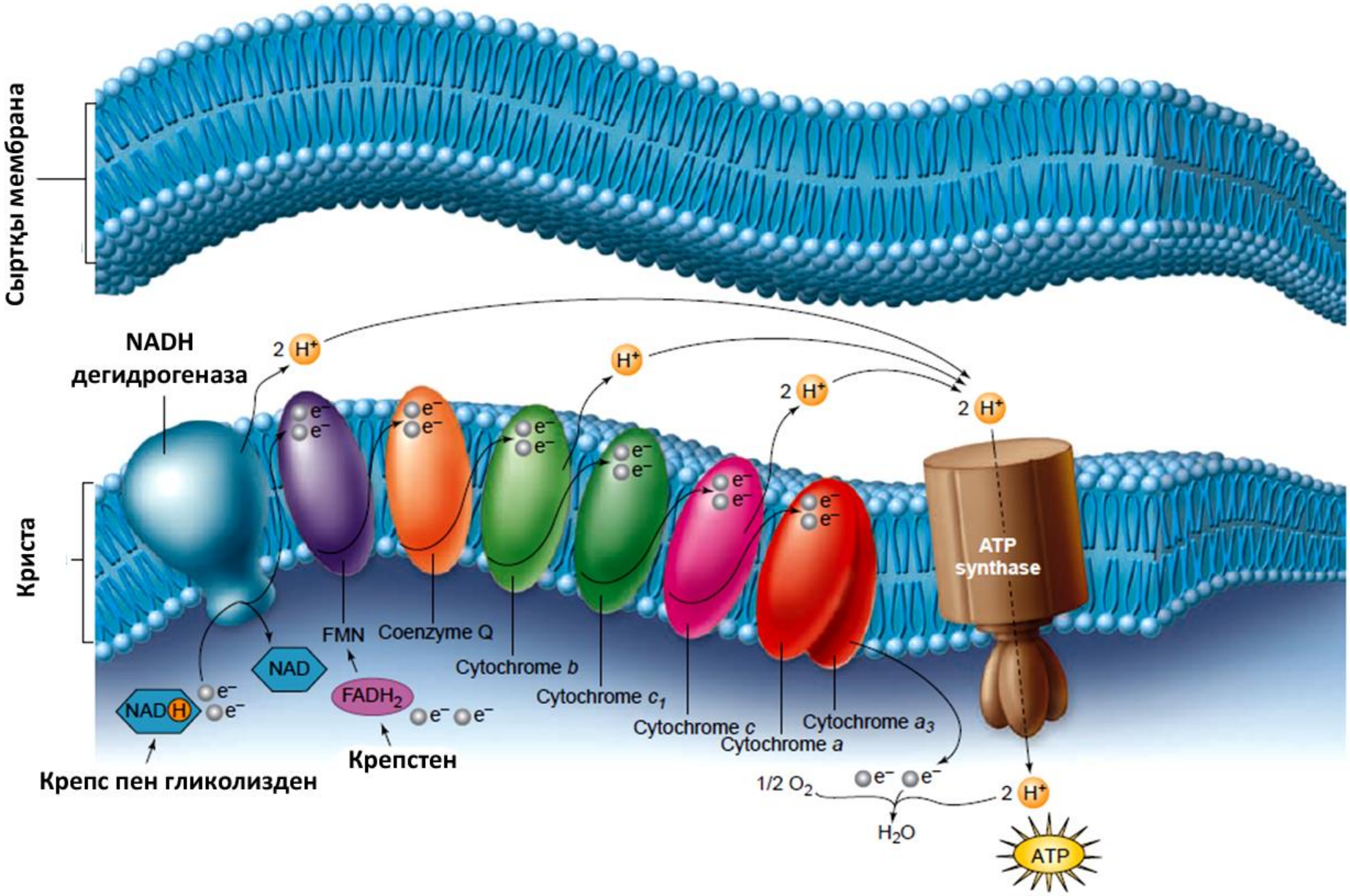
$$\mathbf{NAD \rightarrow FAD,\ b \rightarrow c_1,\ a \rightarrow aa_3}$$

Электрондарды тасымалдау барысында мемебранадан сыртқа сутегі иондары шығарылады. Нәтижесінде мембрана сырты мен ішінде сутегі иондарының концентрациясының градиенті пайда болады, трансмембраналы электрохимиялық градиент немесе протонды потенциал деп аталады, түзілген энергия АТФ синтезіне жұмсалады. Бұл синтез АТФ-синтаза деген ферменттің катализдеуімен жүреді.



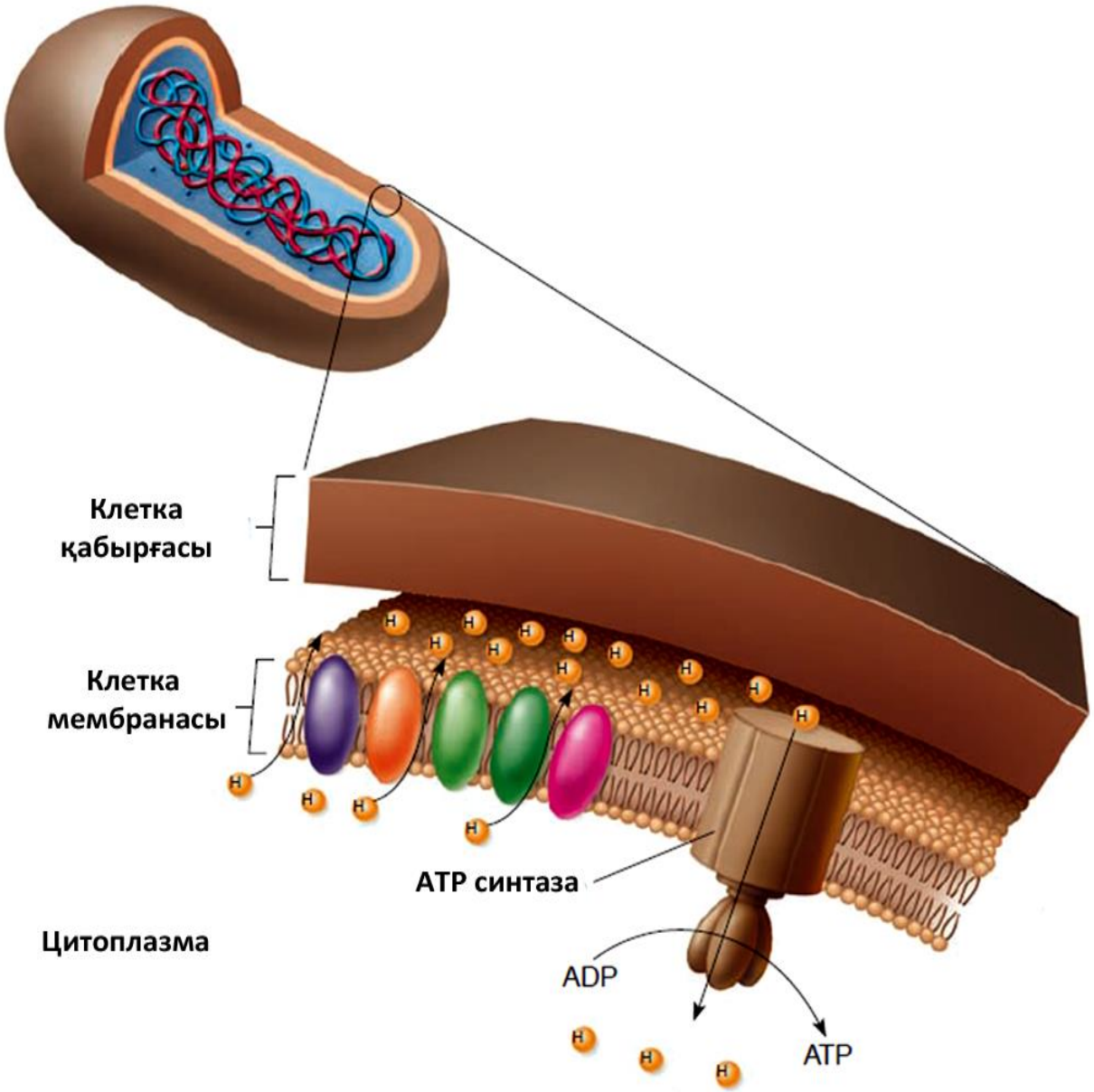

H+
Cytochrome
aa3
F0
F1
e−
e−
ATP синтаза
1/2 O2
O
H
ADP + Pi
ATP

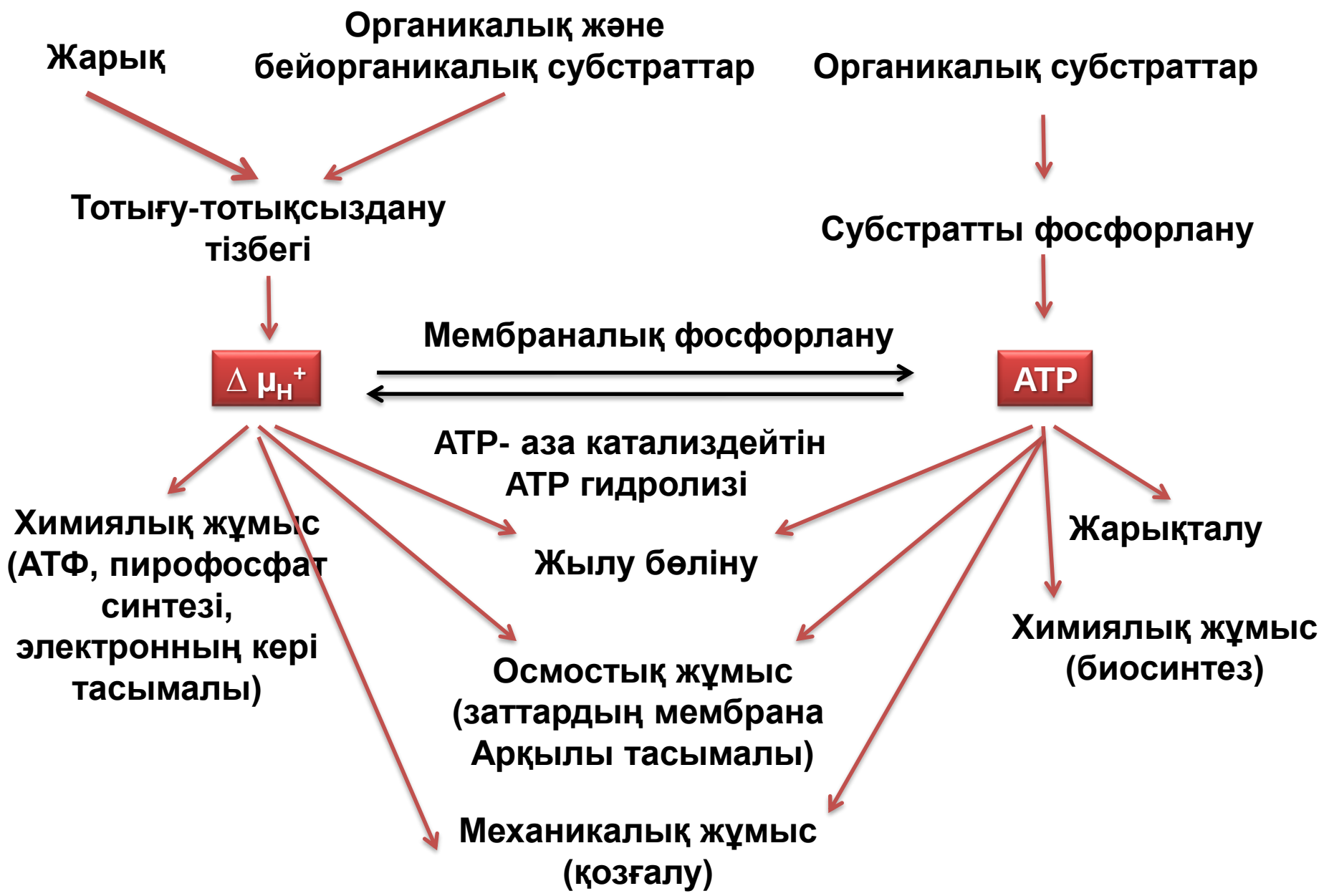

Сыртқы митохондриалды мембрана
Ішкі митохондриалды мембрана
Криста
Криста
Сыртқы мембрана
Мембранааралық кеңістік
Мембранааралық кеңістік
Матрикс
NADH дегидрогеназа
Матрикс
F
Q
b
c
c1
a
a3
FMN
Кофермент Q
Цитохром b
Цитохром c1
Цитохром c
Цитохром a
Цитохром a3

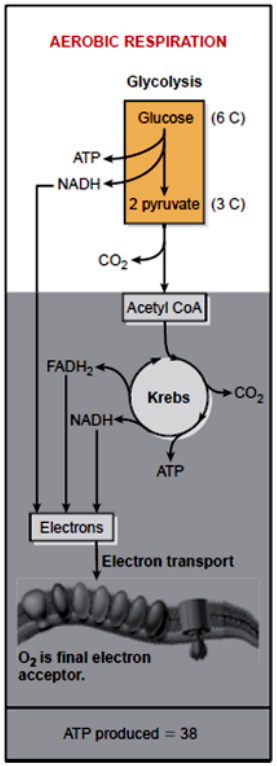

Сыртқы мембрана
Криста
NADH дегидрогеназа
2 H+
H+
2 H+
2 H+
e−
ATP synthase
FMN
Coenzyme Q
Cytochrome b
Cytochrome c1
Cytochrome c
Cytochrome a
Cytochrome a3
NAD
NADH
FADH2
Крепстен
Крепс пен гликолизден
1/2 O2
H2O
ATP

Прокариоттардың энергетикалық процесіне қатысатын заттардың тотығу-тотықсыздану потенциалы

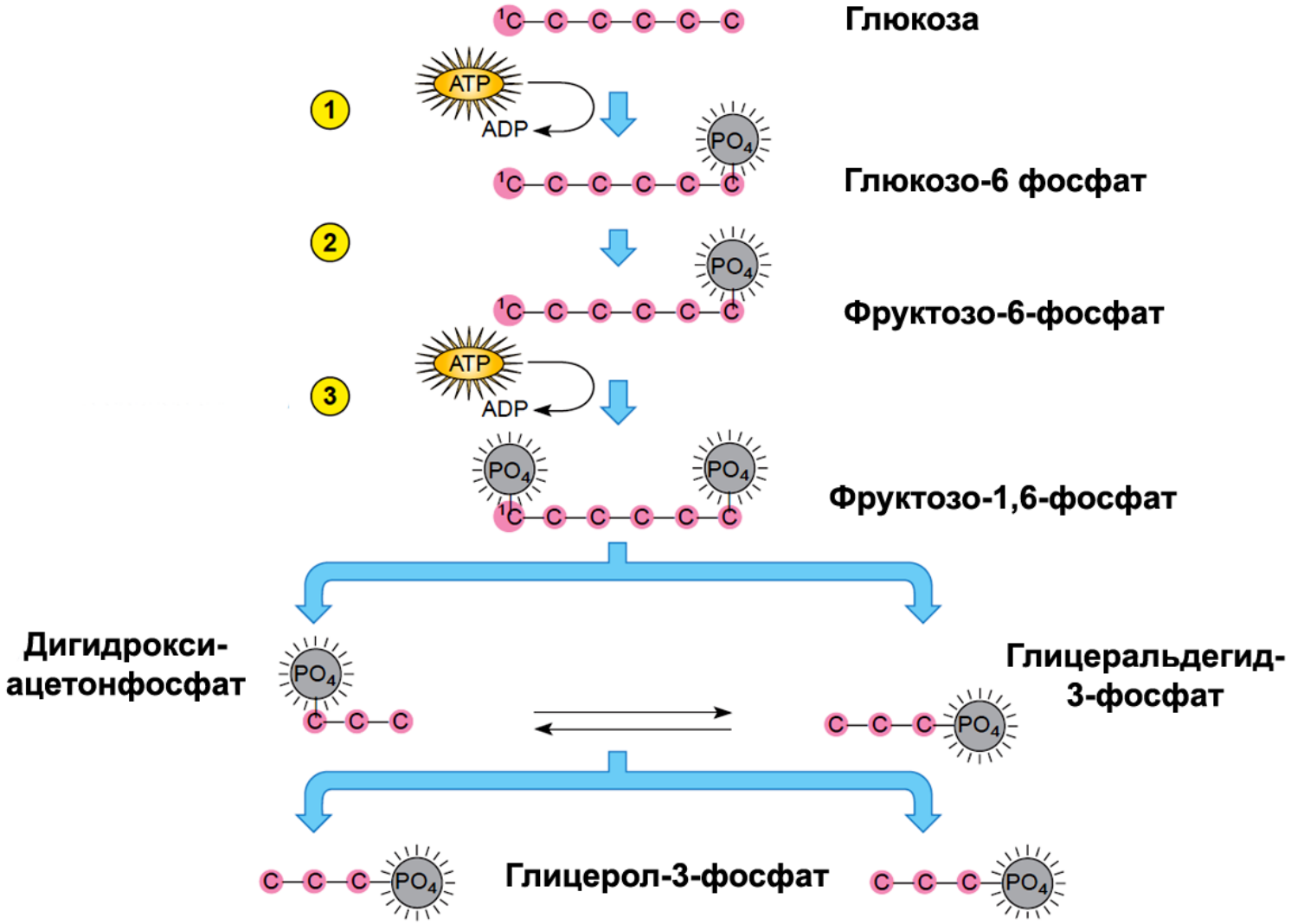
Тотығу-тотықсыздану жүйесі	E_0, Вольт
$2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2$	-0.42
Пируват$^-$ + $2H^+ + 2e^-$ → лактат$^{2-}$	-0.18
Ферредоксин (Fe^{3+}) + e^- → ферредоксин (Fe^{2+})	-0.47
NAD $(P)^+ + H^+ + 2e^-$ → NAD (P)H	-0.32
$S + 2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2S$	-0.27
$FAD + 2H^+ + 2e^- \rightarrow FADH_2$	-0.18
Цитохром b тотыққан/тотықсызданған	0.075
Убихинон тотыққан/тотықсызданған	0.10
Цитохром с тотыққан/тотықсызданған	0.25
Цитохром а тотыққан/тотықсызданған	0.29
$NO_3^- + 2H^+ + 2e^- \rightarrow NO_2^- + H_2O$	0.42

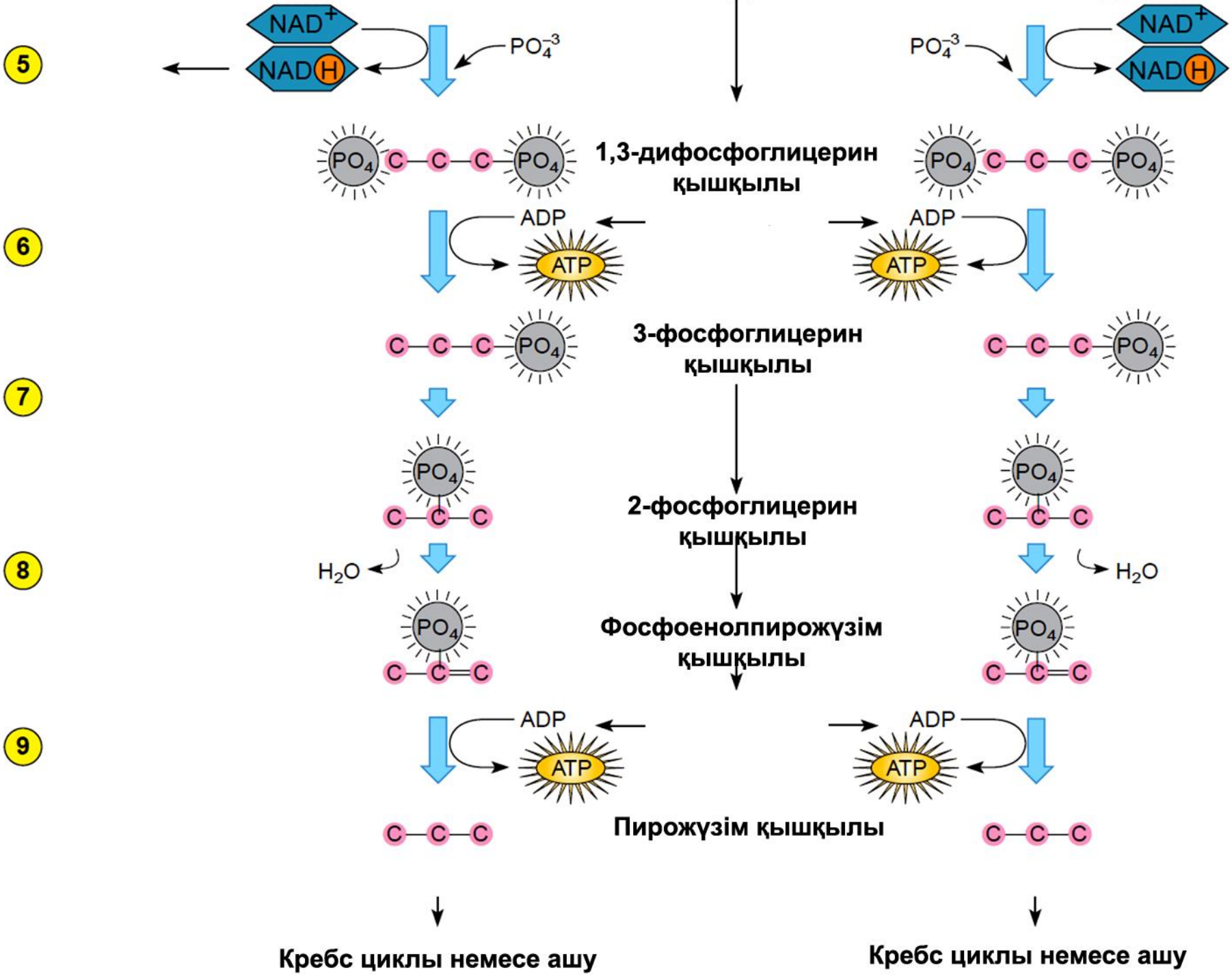

Клетка
қабырғасы
Клетка
мембранасы
ATP синтаза
Цитоплазма
ADP
ATP


Жарық
Органикалық және бейорганикалық субстраттар
Органикалық субстраттар
Тотығу-тотықсыздану тізбегі
Субстратты фосфорлану
Мембраналық фосфорлану
Δ μH+
ATP
ATP- аза катализдейтін ATP гидролизі
Химиялық жұмыс (АТФ, пирофосфат синтезі, электронның кері тасымалы)
Жылу бөліну
Жарықталу
Химиялық жұмыс (биосинтез)
Осмостық жұмыс (заттардың мембрана Арқылы тасымалы)
Механикалық жұмыс (қозғалу)


AEROBIC RESPIRATION
Glycolysis
Glucose
(6 C)
ATP
NADH
2 pyruvate
(3 C)
CO_2
Acetyl CoA
$FADH_2$
Krebs
CO_2
NADH
ATP
Electrons
Electron transport
O_2 is final electron acceptor.
ATP produced = 38

4


Глюкоза
1
ATP
ADP
PO_4
Глюкозо-6 фосфат
2
PO_4
Фруктозо-6-фосфат
3
ATP
ADP
PO_4
PO_4
Фруктозо-1,6-фосфат
Дигидрокси-ацетонфосфат
PO_4
Глицеральдегид-3-фосфат
PO_4
Глицерол-3-фосфат
PO_4
PO_4


5
NAD+
NADH
PO4-3
1,3-дифосфоглицерин
қышқылы
6
ADP
ATP
3-фосфоглицерин
қышқылы
7
2-фосфоглицерин
қышқылы
8
H2O
Фосфоенолпирожүзім
қышқылы
9
Пирожүзім қышқылы
Кребс циклы немесе ашу
Кребс циклы немесе ашу