

## **№3 Тақырып: Ферменттер. Ферменттердің активтілігін реттеу.**

**Мақсаты: Ферменттердің құрылысы мен функциялары туралы түсінік беру.**

- **Лекцияның басты сұрақтары:**
  1. Ферменттердің құрылысы мен қасиеттері. Фермент құрамындағы мүше (орган) және тін айырмашылықтары. Изоферменттер. Мүшелікспецификалық ферменттер. Мультиферментті қосылыстар
  2. Ферменттердің қосымша факторлары: металл иондары және коферменттер. Дәрумендердің коферменттік функциялары.
  3. Ферменттердің жіктелуі және атауы.
  4. Әрекет механизмі және ферментативті катализдің ерекшеліктері. Дәрілік препараттар – ингибаторлар және фермент белсендіргіші.
  5. Активтілік және фермент мөлшерін өлшейтін бірлік. Фермент активтілігін реттеу.

# Ферментативті катализдың ерекшеліктері

- Ферментативті катализ көптеген белгілерге байланысты ерекшеленеді:
- **1. Ферменттер бейорганикалық катализаторларға қарағанда белсендірек болады.** Химотрипсин ақуыздың сілтілік және қышқылдық гидролизіне қарағанда 1 млн есе тез жүреді. Бір каталаза молекуласы 1 минут ішінде 18 млн. сутек тотығын (перекиси водорода) ыдыратады.
- **2. Ферментативті реакция көбінесе «таза» күйінде жүреді, себебі ол бір реакцияны ғана катализдейді.**
- **Бұл ферменттердің қасиеті олардың өзіндік қабілетіне байланысты.**
- **Өзіндік қабілет абсолютті және салыстырмалы болады.**
- **Абсолютті өзіндік қабілет - фермент тек бір субстраттың реакциясын катализдейді.**
- Мысалы, уреаза тек несепнәр(мочевина) гидролизін катализдейді.
- Абсолютті өзіндік қабілет көбінесе стериохимиялық субстраттар ие. Бұл фермент тек бір субстрат стериоизомер айналуын катализдейді.
- Мысалы, фумараза тек фумаралық қышқылға әсер етеді, ал оның стериоизомері- малеин қышқылына әсер етпейді.

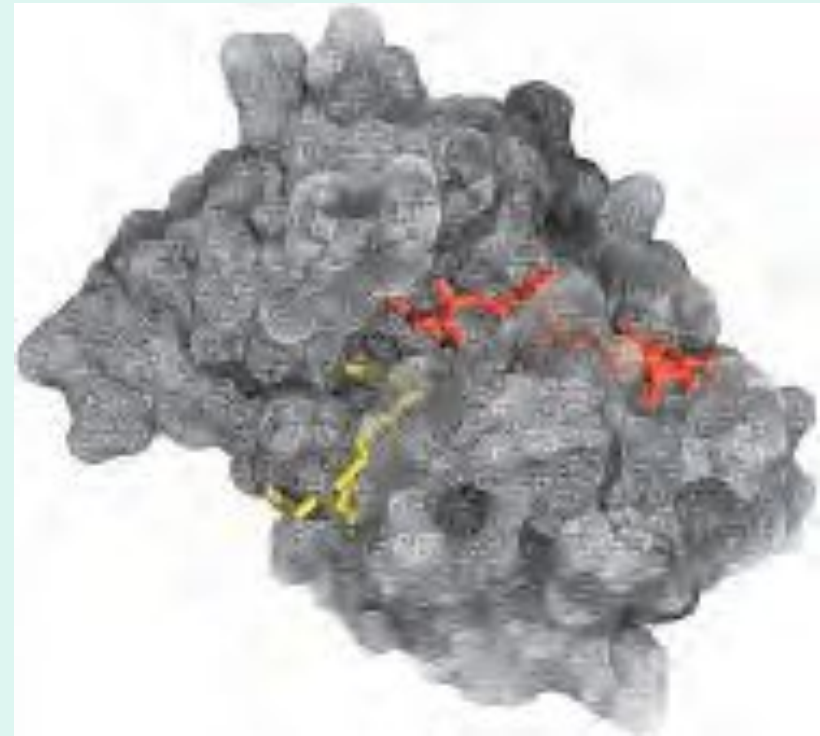
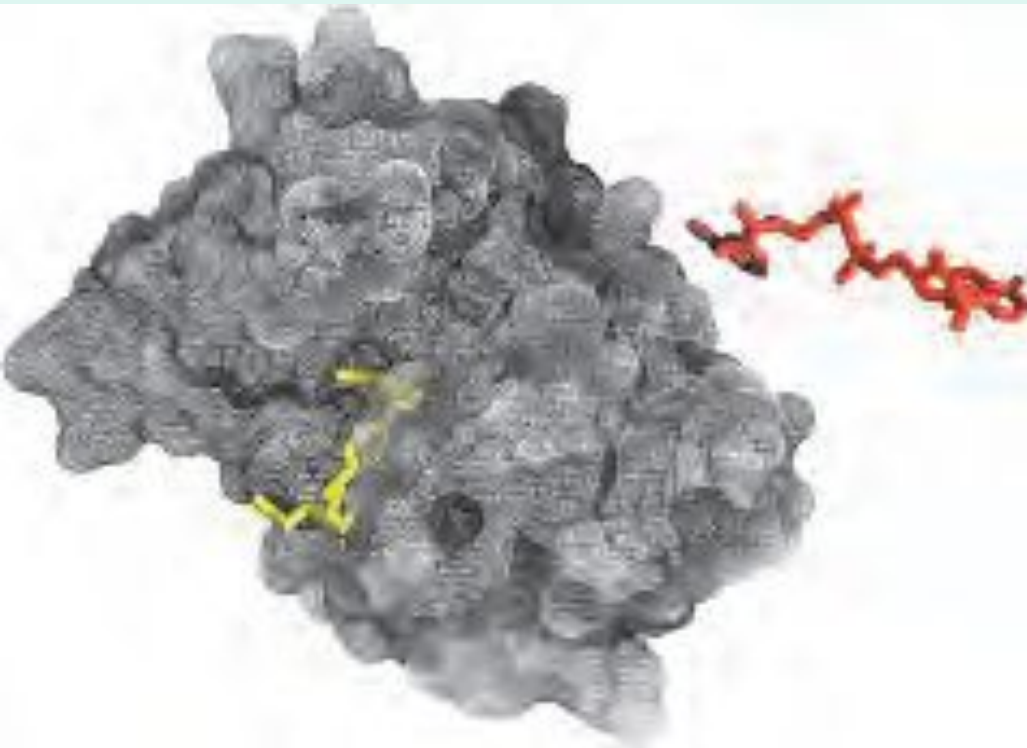
- Кейбір ферменттер **абсолютті топтық өзіндік қабілет тудырады.**
- Мысалы, алкогольдегидрогеназа тек этил спиртінің айналуын катализдеп қоймай, басқа да алифатикалық спирттердің айналуын қамтамасыз етеді.
- **Салыстырмалы спецификалық қабілет екі түрге бөлінеді:** салыстырмалы топ түрінде және салыстырмалы субстратты спецификалық қабілет түрінде.
- Асқазан-ішектің протеолитикалық ферменттері (пепсин, трипсин, химотрипсин және т.б.) әртүрлі ақуыз молекулаларының полипептидті тізбегіндегі пептидті байланыстың гидролизін тудырып, салыстырмалы өзіндік қабілеттер көрсетеді.
- Цитохром Р450 ферменті әр-түрлі қосылыстардың гидроксилдеу реакциясына қатысып, салыстырмалы субстратты өзіндік қабілеттер көрсетеді.

# Ферменттердің әсер ету механизмі.

- ✓ Субстраттың (S) ферментпен әсерін бірінші рет неміс ғалымы Эмиль Фишер зерттеген. Оның гипотезасы (1880) бойынша, субстрат ферменттің активті орталығына «кілт пен құлып» сияқты келеді
- ✓ Фермент реакцияны катализдеу үшін ол бір немесе бірнеше субстратпен қосылуы керек. Ферменттің белок тізбегі глобула үстінде саңылау пайда болатындай бұрылады  
ДА ОҒАН СУБСТРАТ КЕЛІП ҚОСЫЛАДЫ

# Ферменты

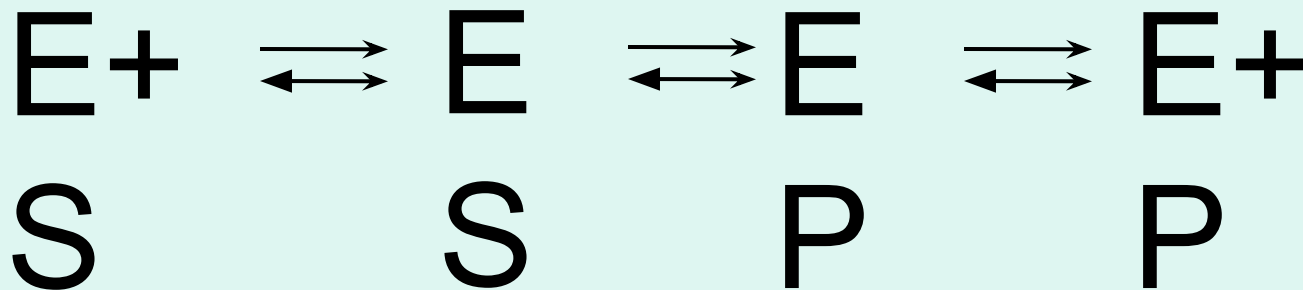
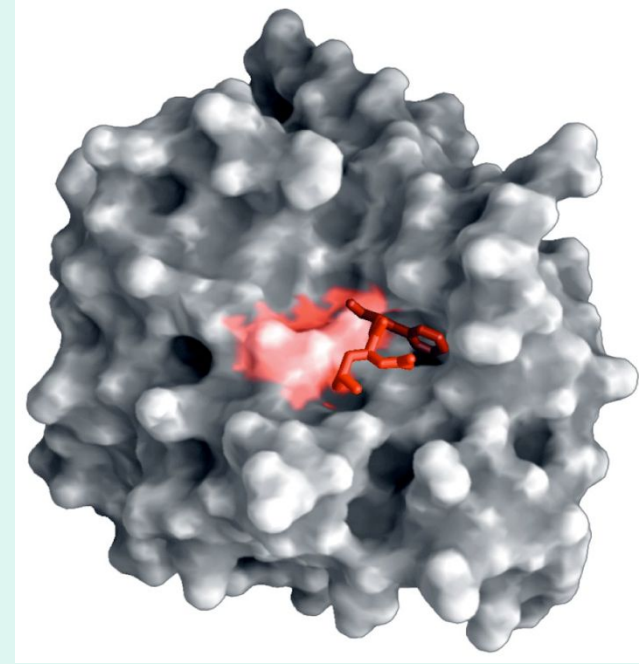
Фишер теориясы : Фермент субстратқа  
құрылымдық комплементарлы



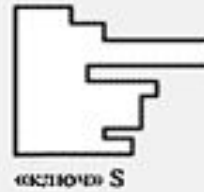
Бұл аудан субстрат қосылу сайты деп аталады.

**Ферменттің активті орталығы** – реакция жүру орыны

**Субстрат** – Ферменттің активті орталығымен байланыс түзетін молекула



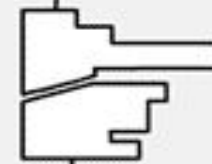
1. Внедрение молекулы субстрата S по активному центру фермента



активный центр фермента

«ключ»

2. Образование фермент-субстратного комплекса (здесь происходит перестройка молекул, приводящая к образованию новых продуктов)

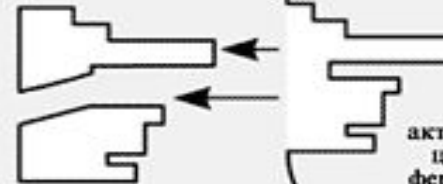


«ключ в замке»

3. Выделение продуктов A и B реакции и освобождение активного центра фермента

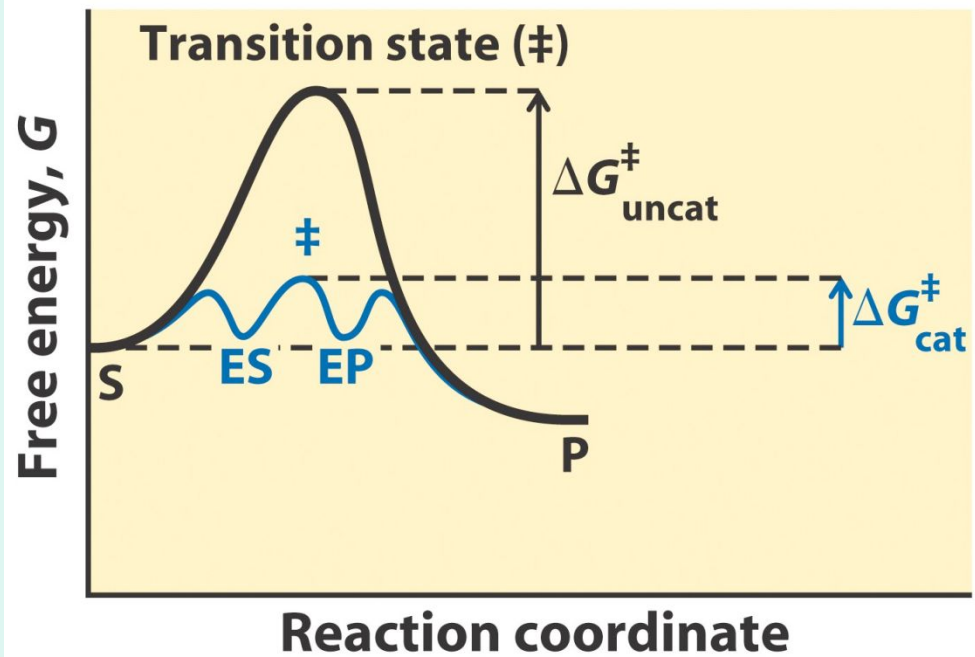
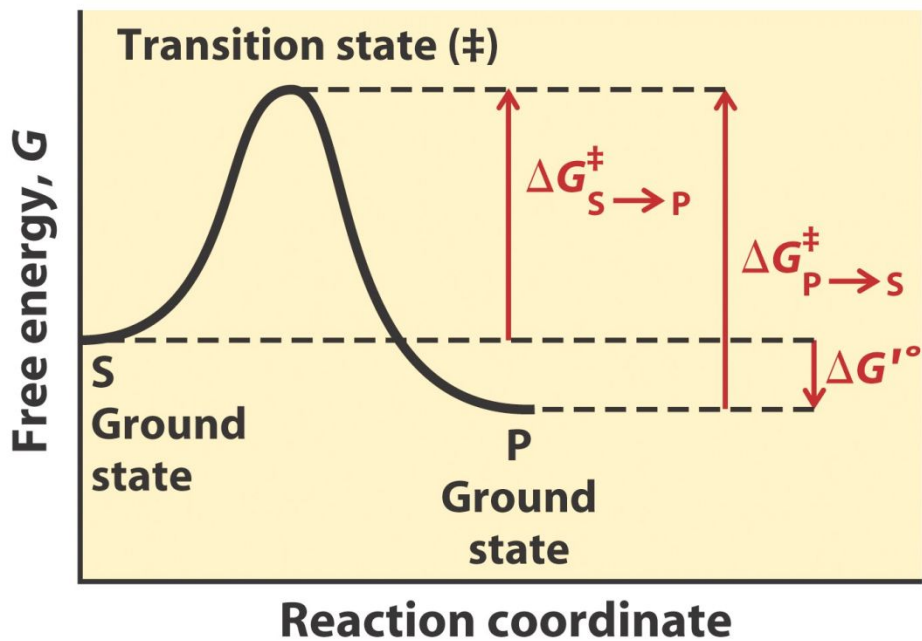
продукт A

продукт B



активный центр фермента

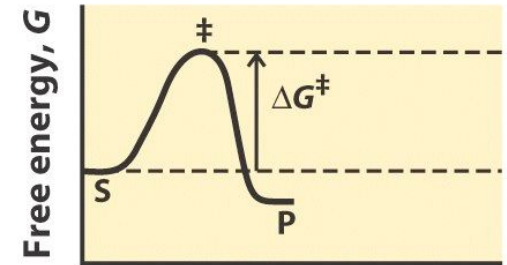
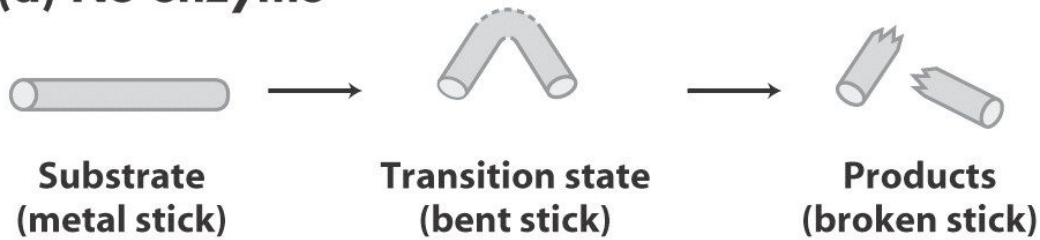
Схема каталитического действия фермента с образованием фермент-субстратного комплекса



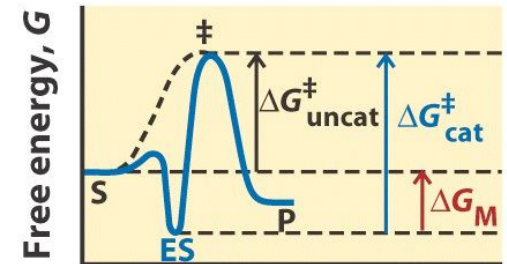
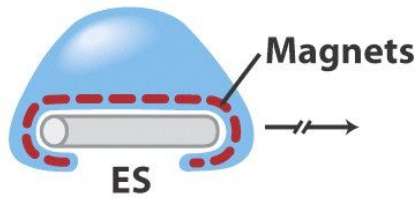
Энергия активации понижается в присутствии ферме



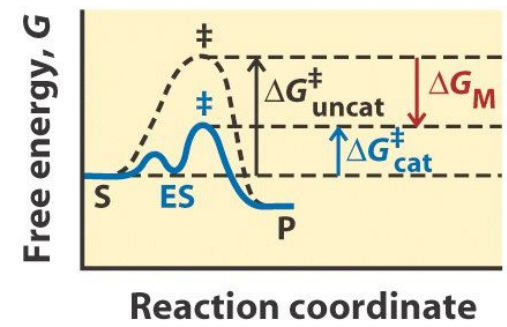
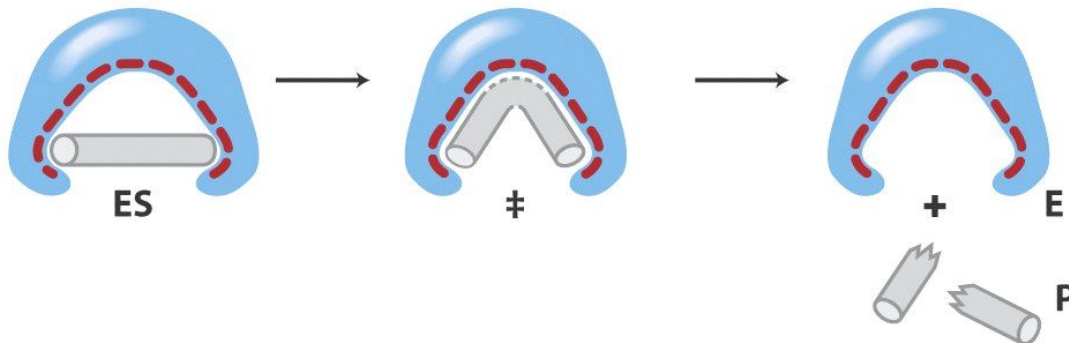
### (a) No enzyme



### (b) Enzyme complementary to substrate



### (c) Enzyme complementary to transition state



# Ферменты

Ферменттермен реакцияларды катализдеу мысалдары

**TABLE 6-5** Some Rate Enhancements  
Produced by Enzymes

Cyclophilin	$10^5$
Carbonic anhydrase	$10^7$
Triose phosphate isomerase	$10^9$
Carboxypeptidase A	$10^{11}$
Phosphoglucomutase	$10^{12}$
Succinyl-CoA transferase	$10^{13}$
Urease	$10^{14}$
Orotidine monophosphate decarboxylase	$10^{17}$

---

# Сыртқы ортаның фермент активтілігіне әсері



✓ Қысым, орта  
РН,  
температура,  
тұздар  
концентрация  
сы.

# Ферменттер белсенділігінің регуляциясы

- **Жасушадағы ферменттер белсенділігінің ең басты факторлары:**
  - - ферменттер саны,
  - - жасушадағы ферменттердің орналасуы (орны, атқаратын қызметі),
  - - рН деңгейінің өзгеруі, температура
  - - субстраттар саны,
  - - аллостерикалық эффекторлар, активаторлар мен ингибиторлар

# Ферментативті катализдың жылдамдығы температураға тәуелді.

- **Температураның әсері:**

- Ферментативті реакцияның жылдамдығына температураның әсерін температуралық коэффициент ( $Q_{10}$ ) арқылы белгілейді :

- $$Q_{10} = \frac{\text{Реакцияның жылдамдығы ( X + 10) град С}}{\text{Реакцияның жылдамдығы X град С}}$$

- 0-40С шамасында коэффициент  $Q_{10}$  ферментативті реакцияның коэффициенті екіге тең.

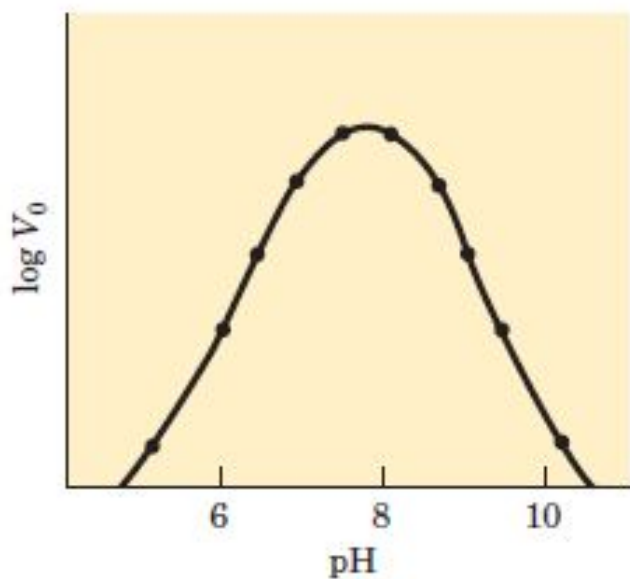
- Басқаша сөздермен айтқанда, неғұрлым температураны 10 градусқа көтерген сайын, соғұрлым ферментативті реакцияның жылдамдығы еселенеді.

- Ферментативті реакцияның қарқынды белсенді қабілеттің қамтамасыз ететін температура - оптималды температура деп аталады.
- Денатурация кезеңінің басталысымен реакцияның жылдамдығы нөлге дейін төмендейді.

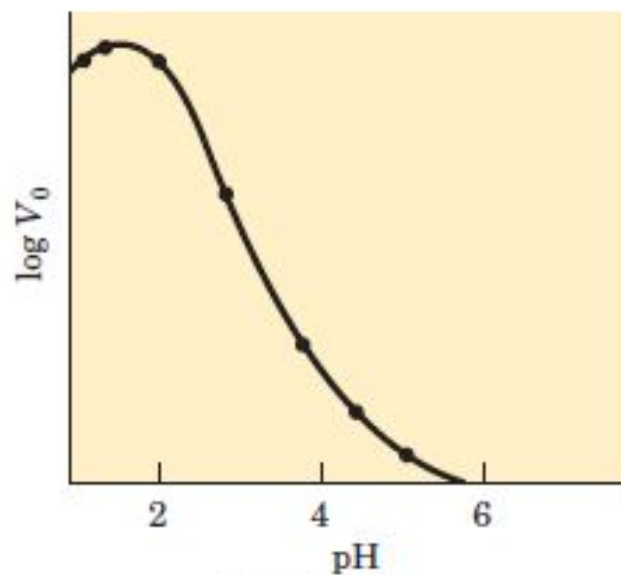
- рН-ортаның әсері:

- Қалыпты температура барысында кез-келген фермент, рН ортаның белгілі диапазонында қарқынды белсенділікке ие болады.
- рН-орта мағынасы – реакцияның максималды жылдамдықта жүруін білдіреді.
- рН-ортасының төмен немесе жоғары деңгейінде ферменттердің белсенділігі төмендейді.
- Мысалы, оптимум рН орта пепсин үшін = 2,00; сахароза үшін = 4,5; амилаза сілекейі үшін = 6,8; каталаза үшін = 7,6; липаза үшін = 9,0.

# Фермент активтілігі рН-қа тәуелді



(b) Glucose 6-phosphatase



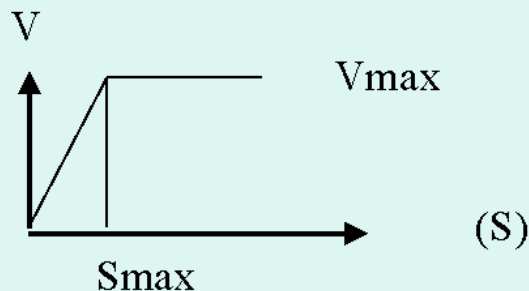
(a) Pepsin



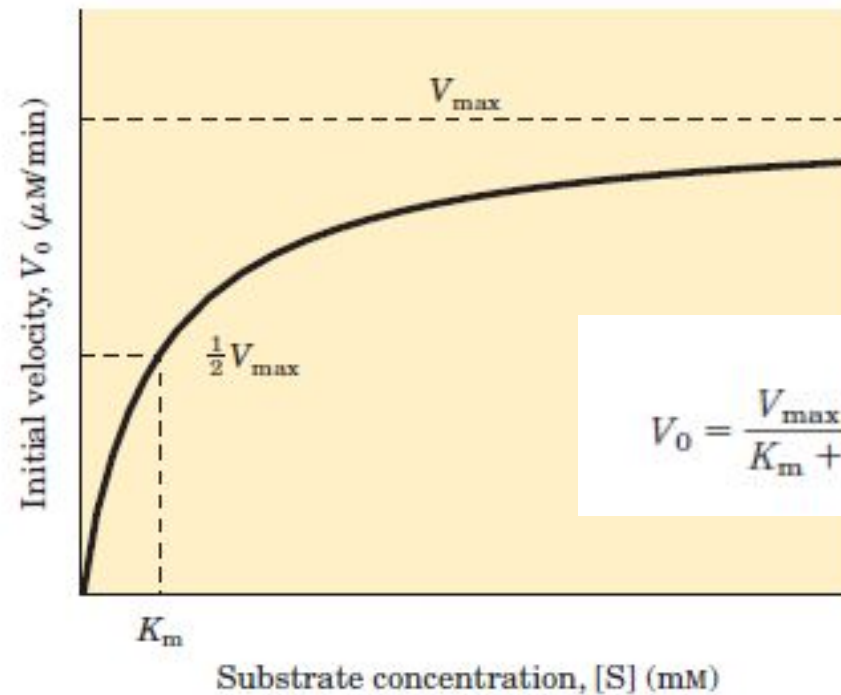
# Субстрат концентрациясының фермент белсенділігіне әсері

*Субстрат концентрациясының фермент белсенділігіне әсері:*

- Субстрат концентрациясын ұлғайтқан сайын ферментативті катализдың жылдамдығы ұлғайып, максимум ( $V_{max}$ ) деңгейіне дейін жетеді және өзгермейді.



# Ферментативті катализ кинетикасы



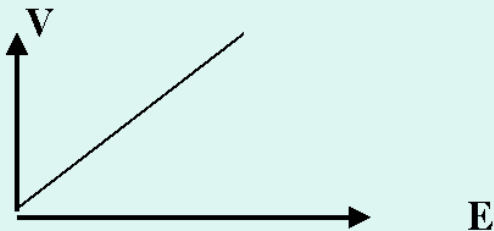
$$V_0 = \frac{V_{\text{max}} [S]}{K_m + [S]}$$

Michaelis and Menten

# Фермент концентрациясының әсері

## Фермент концентрациясының әсері:

- Жоғары субстрат концентрациясы және тұрақты температура кезінде, рН орта, ферментативті реакциялардың жылдамдығы (E) фермент концентрациясына пропорционал болады. Фермент концентрациясы неғұрлым ұзарған сайын, соғұрлым реакция жылдамдығы ұлғаяды.



## Активаторлар мен ингибиторлар әсері

- Ферменттердің белсенділігін ұлғайтатын, сәйкесінше, ферментативті реакцияның жылдамдығын белсендіретін заттар – *активаторлар* деп аталады.
- Металл иондары, ферменттер кофакторлары, субстраттар ферменттердің белсенділігін арттыра алады.
- Ферменттердің белсенділігін төмендететін заттар *ингибиторлар* деп аталады.

## **Ферменттер белсенділігін өлшеу бірліктері**

- **Халықаралық бірліктер жүйесіне ферменттер активтілігі деп стандартты жағдайда 1 мкмоль затты 1 мин ішінде катализдейтін ферменттер мөлшерін атайды**
- **Практикалық биохимияда көбінесе ферменттердің өзіндік активтілігіне 1 мин ішінде 1 мкмоль затты катализдейтін (миллиграмм бойынша) ферменттер массасына тең өлшем бірлігі алынады.**
- ***Халықаралық жүйе бойынша ферменттік белсенділік бір мл немесе литрдегі биологиялық сұйықтықғы мкмоль / мин деп белгіленеді.***

# Ферменттердің құрылысы мен қасиеттері.

- Өздерінің химиялық табиғаты бойынша **ферменттер (энзимдер)** қарапайым және күрделі ақуыздар.
- 1897 жылы Бертран ферменттер құрамынан әртүрлі қосымша факторларды тапты – табиғаты ақуыз емес органикалық заттар, ферменттердің каталитикалық қасиеттердің пайда болуына қажет және кейін нәтижесінде кофермент (коэнзим) деп аталды.
- Кейін айқындалғандай, ферменттердің қосымша факторы ретінде металл иондары мен ерекше құрылымды **кофермент (коэнзим)** деп аталатын органикалық заттар болуы мүмкін.
- Фермент құрылымында қандай да бір қосымша фактордың болуына байланысты, ферменттер бір немесе екікомпоненттік бола алады.
- Екікомпонентті ферменттер (**холоферменттер**), күрделі ақуыздардың түрлері сияқты ақуыздық бөліктен (**апофермент**) және простетикалық топ (**коферменттен**) тұрады.

# Ферменттердің құрылымдық ұйымдастырылуының ерекшеліктері.

- Ферменттерге ақуыздардың құрылымдық ұйымдастырылуының барлық ерекшеліктері тән. Молекулалық ұйымдастырылудың 4 деңгейі бар: **біріншілік, екіншілік, үшіншілік және төртіншілік.**
- **Үшіншілік құрылым** деңгейінде, яғни суббірлікте ферментте каталитикалық активті центрі қалыптасады, ол қандай да бір нақты субстраттың катализін қамтамасыз етеді, таниды және байланыстырады.
- Ферменттің активті центрі әртүрлі жердегі полипептидтік байланыстағы 12-16 аминқышқыл қалдықтарынан, бірақ доменнің (активті центр) функционалдық бірлігін қамтамасыз етеді.
- Екіншілік ферменттердің активті центрінің қалыптасуына қосымша факторлар – коферменттер қатысады.

- Активті центрінен басқа (E) ферменттердің регуляторлық центрі бар. Осы центр арқылы активті центрдің реттелуі активатор мен ингибитордың көмегі арқылы жүзеге асады.
- Регуляторлық центрдің өзге түрі болып ферменттер қатарындағы аллостеритикалық центр болып табылады.
- Аллостерикалық деп аталу себебі – құрылысы бойынша осы центрмен байланыстыратын молекулалар субстратқа (S) ұқсамайды. Бірақ активті центрдің конфигурациясын өзгерте, субстрат катализі мен байланысына ықпал етеді.
- Аллостерикалық центрге ықпал ететін заттарды – аллостерикалық эффекторлар деп атайды. Сәйкесінше, осы эффекторлар өздерін активатор немесе ингибитор сияқты көрсетуі мүмкін.



# Ферменттің төртіншілік құрылымы

- Төрт деңгейлі құрылымдық ұйымдастырылуы бар көпшілік ферменттер **бірнеше суббірліктен (протомер) тұрады.**
- Осының нәтижесінде ферменттерге көп түрлі суббірліктік және молекулалық ұйымдастыру тән.
- Бір фермент әртүрлі суббірліктен құралуы мүмкін, олар **изоэнзимді (изоферментті)** қатарды құрайды.
- **Изоферменттер** – бір реакцияны катализдейтін генетикалық тұрғыда детерминирленген физико-химиялық молекулалық фермент түрінің түр өзгешелігі.
- Мысалы, лактатдегидрогеназаның бес түрлі изоформасы бар (**ЛДГ<sub>1-5</sub>**)
- Көбірек зерттелген лактатдегидрогеназа изоферменті (ЛГД). Оларға тіндер мен мүшелерден әртүрлі шектеулері бар, яғни **изоферменттер мүшелікспецификалық.** Оларға жататындар ЛДГ1, ЛДГ2, ЛДГ3, ЛДГ4, ЛДГ5

- Әрбір мүше өзіне қажет ферменттерді құрайды, олар осы мүшеде патологиялық процесстің жетілу барысында қанға шығады.
- Мысалы жүректе ең көп активті изофермент ЛДГ1 және ЛДГ2. Бауырда, қанқа бұлшық еттерінде ЛДГ5 және ЛДГ4 көбірек.
- Бір мүшеге, тінге тән диагностика мақсатында қан сарысуында бірнеше мүшелікспецификалық ферменттердің активтілігін (ферменттік спектр)анықтайды.

# Ферменттердің қосымша факторлары

Ферменттердің қосымша факторлары екі типті болады:

- металл иондары

-коферменттер

Келесі ферменттерге каталитикалық функцияларын көрсету үшін металлдар ферменттердің қосымша факторы сияқты қажет:

Fe <sup>++</sup> и Fe <sup>+++</sup>	-	Цитохромоксидаза	Каталаза	Пероксидаза
Cu <sup>++</sup>	-	Цитохромоксидаза	Тирозиназа	
Zn <sup>++</sup>	-	Карбангидраза	ДНК-полимераза, алкоголь-дегидрогеназа, Альдолаза	
Mg <sup>++</sup>	-	Гексокиназа	АТФ-аза	Пируваткиназа
			Фосфатаза	
		Mn <sup>++</sup>	-	Аргиназа
K <sup>+</sup>	-	Пируваткиназа	АТФ-аза	
		Ni <sup>++</sup>	-	Уреаза
		Mo	-	Нитратредуктаза
Se	-	Глутатионпероксидаза		

# Кофермент типтері

- Олар химиялық табиғаты бойынша бөлінеді
- - алифаттық тізбектің коферменті;
- - ароматтық тізбектің коферменті;
- - гетероциклдық тізбектің коферменті;
- - нуклеотид коферменті;
- - металлокоферменттер.

# Алифаттық тізбектің коферменті

- Бұл коферменттер тобына **глутатион** и **липоевті қышқылы** жатады.
- **Глутатион** – ол глиоксилаза, фосфоглицерин қышқылының дегидрогеназасы, оксидаз сияқты ферменттердің коферменті. Химиялық табиғаты бойынша глутатион трипептид: **гамма-глутаминил-цистеинил- глицин**.
- **Липоев қышқылы** – полиферментті комплекстің декарбоксилаз тотықтандырғышы альфа-кетоқышқыл коферменті (пирувата және альфа-кетоглутарата). Липоев қышқылын кейде N дәрумені сияқты белгілейді:
- $$\begin{array}{c} \text{CH}_2\text{--CH}_2\text{--CH--}(\text{--CH}_2)_4\text{--COOH} \\ | \qquad \qquad \qquad | \\ \text{S} \text{-----} \text{S} \end{array}$$

- **КОЭНЗИМ Q10 (убихинон) лат. ubiquitous – барлық жерде**
- Коэнзим Q10 (убихинон) құрылысы мен тотығу-тотықсыздану қасиеттеріне байланысты нафтохинондар (К витамині) мен токоферолдарға (Е витамині) ұқсас.
- бұл бензохинондар класының майеріткіш қосылысы жасушалардың энергетикалық метаболизміне қатысады;
- Коэнзим Q10 – адамдікімен қоса әрбір ағзаның бауырында пайда болатын витаминтәрізді қосылыс (жас кезінде күніне 300мг);
- ол сонымен қатар адам ағзасына жануар текті өнімдермен келіп түседі;
- жас келе – әдетте 30 жастан бастап - Коэнзим Q10-ның ағзадағы мөлшері төмендейді. Ол нағыз «жастық эликсирі» бола алады;

## Коэнзим Q (убихинон)

*Убихинон (коэнзим Q)*



## Гетероциклдық тізбектің коферменті

- гетероциклдық тізбектің коферментіне судаерігіш дәруменнің туындылары жатады:
- В1 дәрумені - тиаминпирофосфат (ТПФ),
- В6 дәрумені - фосфопиридоксаль (ФП-СН=О)
- Н дәрумені - N-карбоксибиотин
- В9 дәрумені- тетрагидрофольді қышқыл (ТГФҚ)

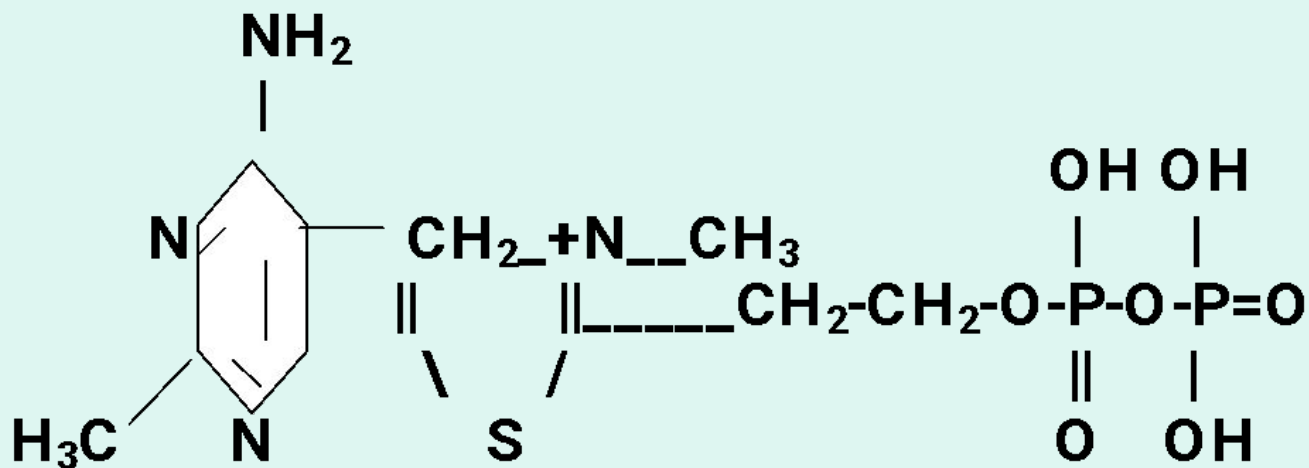


# Тиаминпирофосфат

- **Тиаминпирофосфат (ТПФ)**  
декарбоксилаздың тотықтандырғышы  
альфа-кетокышқыл (пирувата, альфа-кетоглутарата) және транскетолаздың коферменті.
- ТПФ тікелей немесе жанама түрде нерв импульстерінің синаптикалық түрде берілуіне қатысады.
- ТПФ ДНҚ синтезіне қатысады.

# Тиаминпирофосфат

Тиаминпирофосфат (ТПФ)

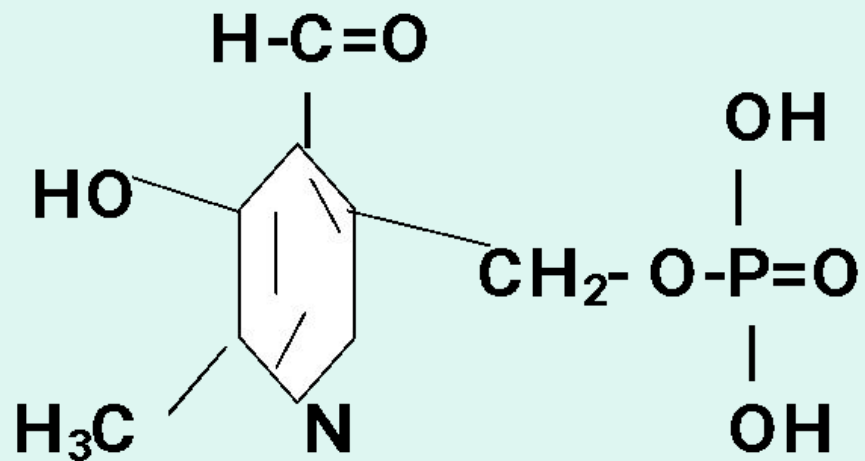


# Фосфопиридоксаль

- Фосфопиридоксаль (ФП-СН=О) трансаминаз, декарбоксилаз және изомераздың коферменті болып табылады.
- Моноаминоксидаз және диаминоксидаздың биогенді аминінің құрамына кіреді.
- Синтетаза дельта-аминолевулинді қышқылдың және 3-кетодигидросфингозиннің коферменті.

# Фосфопиридоксаль

Фосфопиридоксаль (ФП-СН=Н )

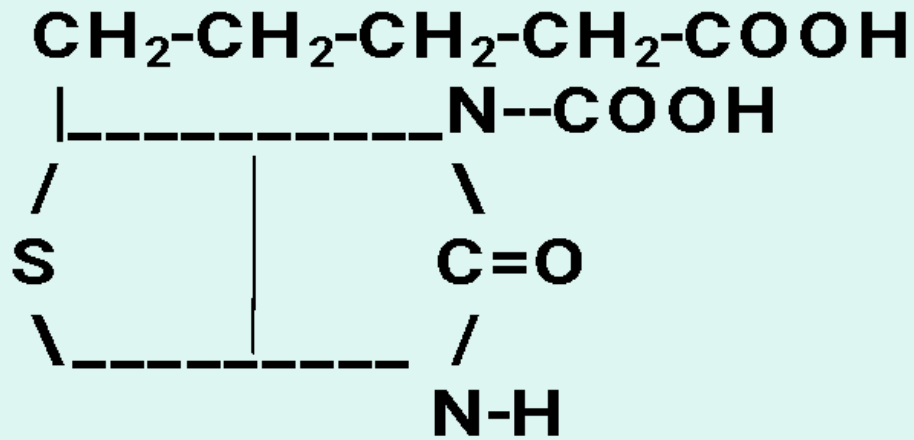


# Карбоксибиотин

- Биотиннің коферментті формасы (H дәрумені) N-карбоксибиотин болады. Ол карбоксилирлеудің ферментінің реакциясын құрайтын құрамға кіреді:
- пируваткарбоксилаза,
- ацетил-КоА-карбоксилаза,
- пропионил-КоА-карбоксилаза.

# Карбоксибиотин

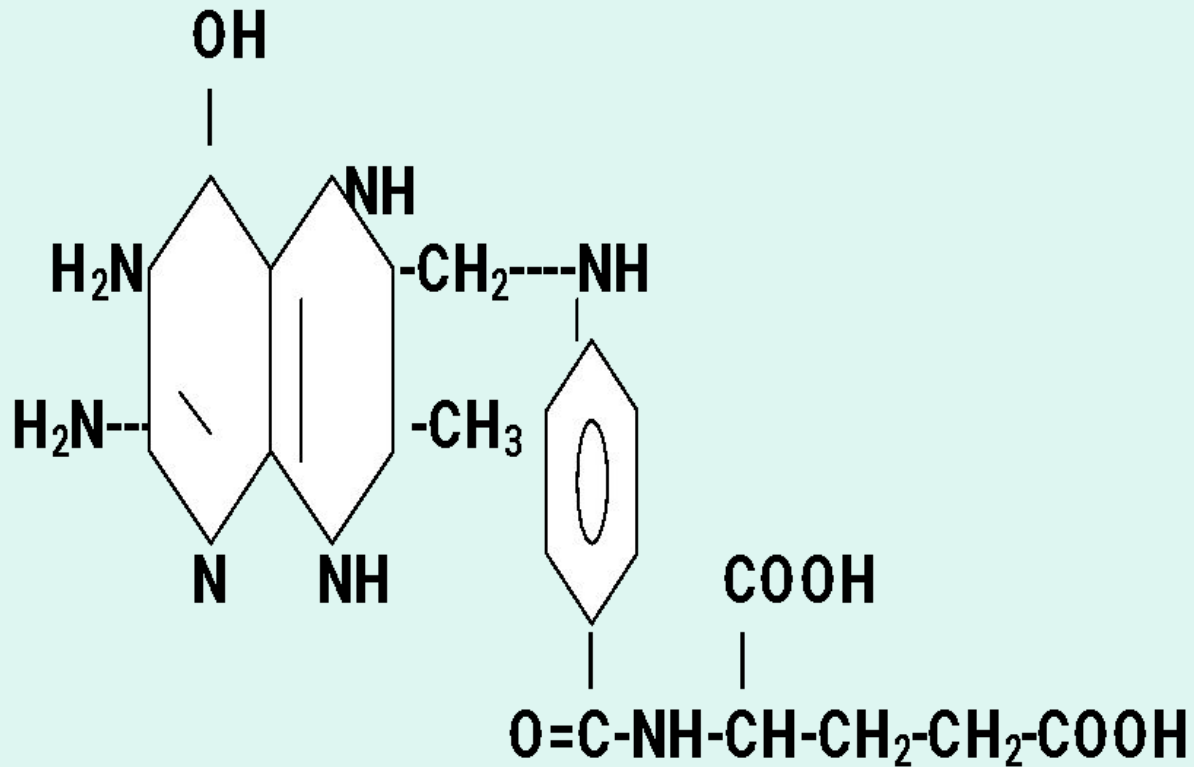
## *N*-Карбоксибиотин



- **Тетрагидрофолий қышқылы (ТГФҚ)**
- 5, 6, 7, 8 – тетрагидрофолий қышқылы (ТГФҚ) пиримидиндік, пуриндік негіздердің синтезіне қажетті біркөміртекті радикалдардың тасымалын қамтамасыз ететін ферменттердің коферменті болып табылады;
- сериннен глициннің және гомоцистеиннен метиониннің синтезінде;
- d-ТМФ-тың d-УМФ-тан алынуында.

# тетрагидрофолиевая кислота (ТГФК)

тетрагидрофолиевая кислота

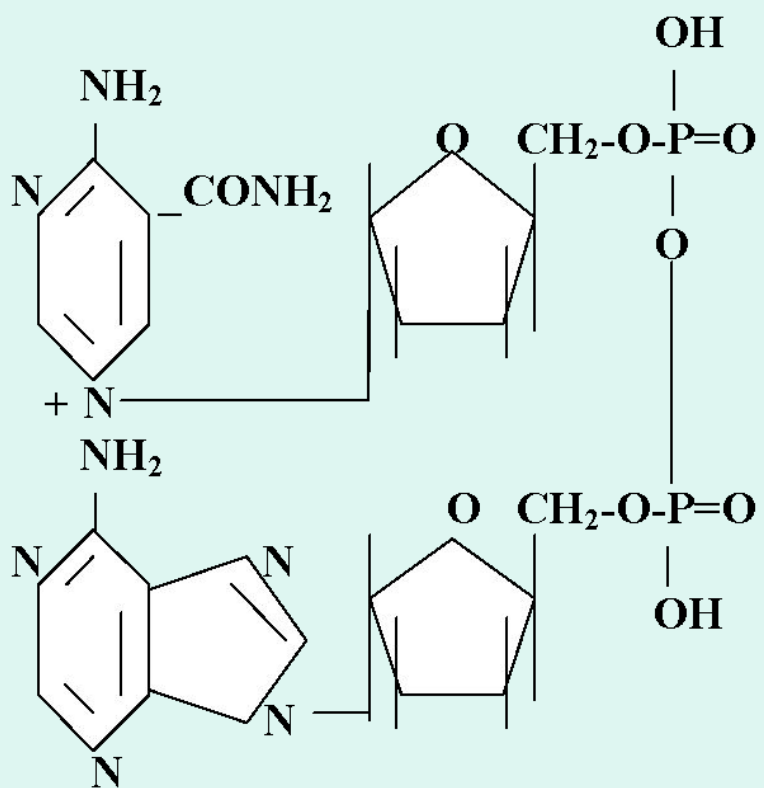




# Нуклеотидтердің коферменттері

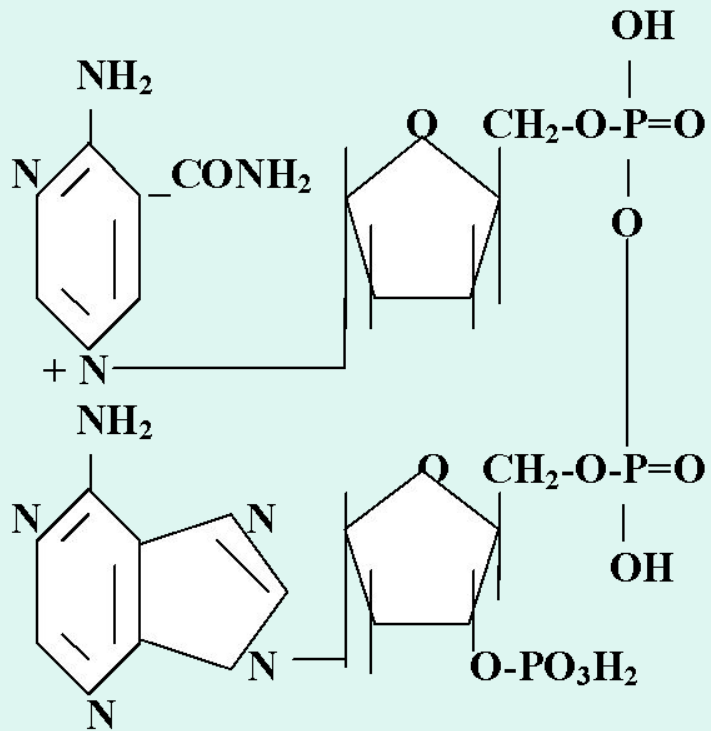
- Нуклеотидтердің коферменттерін судаерігіш дәрумендердің туындысы деп қарастыруға болады:
- Дәрумен РР (В5) - никотинамидадениндинуклеотид (НАД)
- никотинамид адениндинуклеотид фосфат (НАДФ)
- витамина В2 - флавинадениндинуклетид (ФАД) и
- флавинмононуклеотид ( ФМН)
- витамина В3 - коэнзим А.
- витамина В12 - метилкобламин ( метил-В12)
- дезоксиаденозин кобламин (ДА-В12).
- Коферментті функциялар пуринді және пиримидинді нуклеотидтердің қызметін атқарады. Мысалы: УДФ, ЦДФ, ТТФ, АТФ және басқа ұқсастар.

# НАД



- **Никотинамид адениндинуклеотид (НАД) және никотинамид адениндинуклеотид фосфаты (НАДФ)**
- **РР витаминінің (В5, никотинамид) туындылары болып табылады және анаэробты**
- **изоцитрат дегидрогеназа**
- **лактатдегидрогеназа**
- **малатдегидрогеназа**
- **оксидацил Ко-А-дегидрогеназа және басқа да дегидрогеназалардың коферменті ретінде қызмет етеді.**

# НАДФ



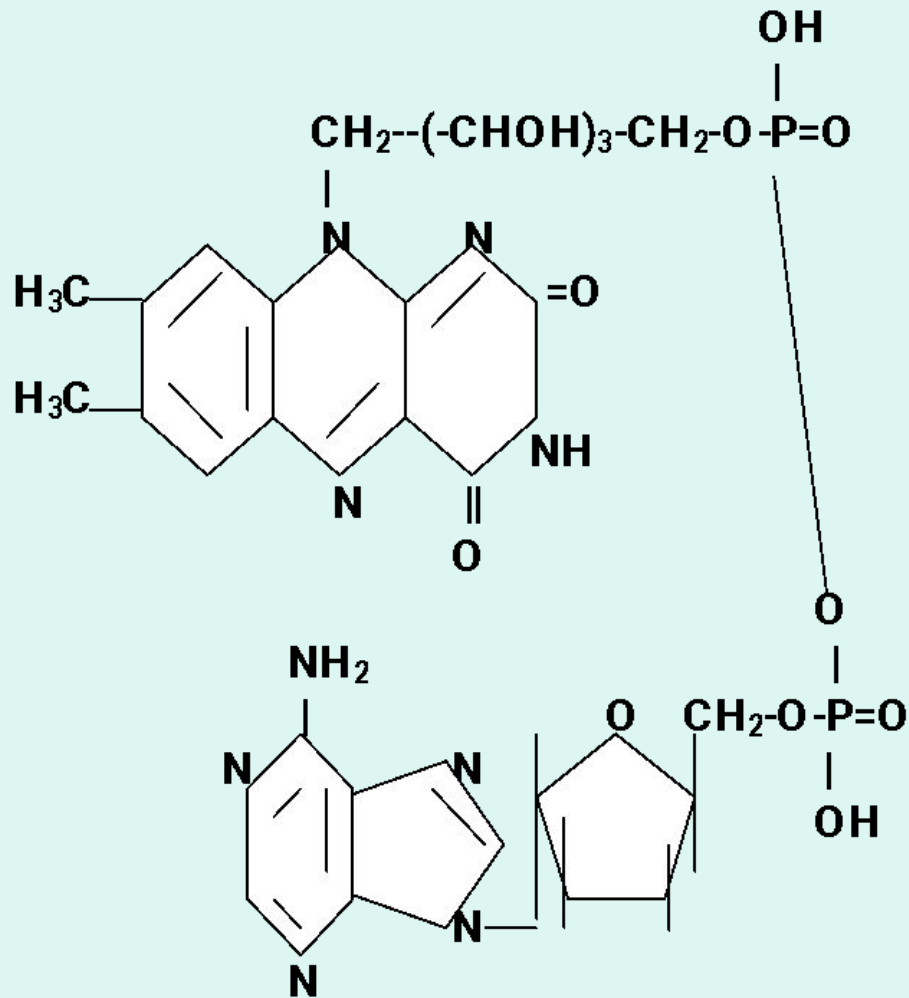
# **ФЛАВИН-АДЕНИН-ДИНУКЛЕОТИД (ФАД)**

## **ФЛАВИН-МОНОНУКЛЕОТИД (ФМН)**

- ФАД және ФМН коферменттері В2 витаминінің (рибофлавин) туындылары болып табылады, аэробты
- Сукцинатдегидрогеназа, ацил-Ко-А-дегидрогеназа және басқа да дегидрогеназалардың коферменттері болып табылады.
- В2 витамині (рибофлавин) және оның туындылары ФАД мен ФМН тотыққан күйде тотықсызданғанда жоғалып кететін сары түсті болады.

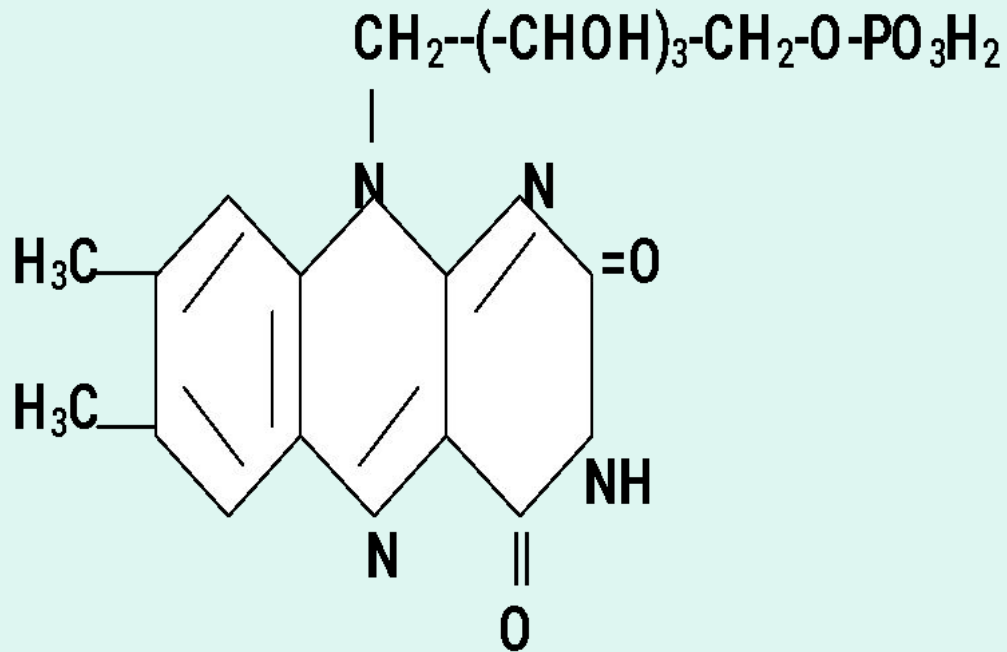
# ФАД

ФЛАВИН-АДЕНИН-ДИНУКЛЕОТИД (ФАД)



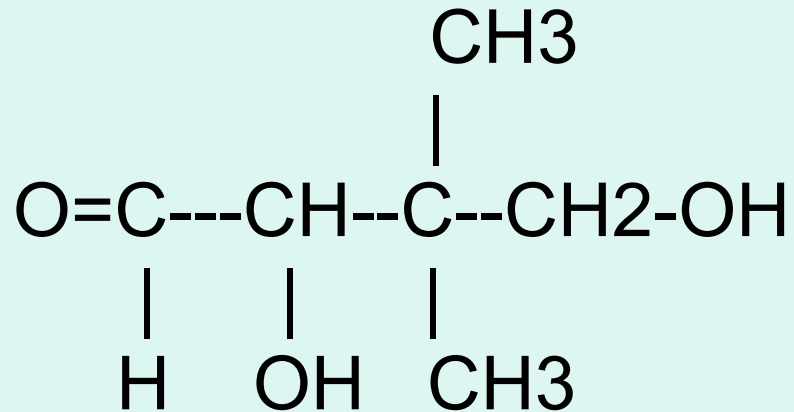
ФМН

**ФЛАВИН-МОНОНУКЛЕОТИД (ФМН)**



# Коэнзим А

- Коэнзим А В3 пантотенді қышқылдың туындысы

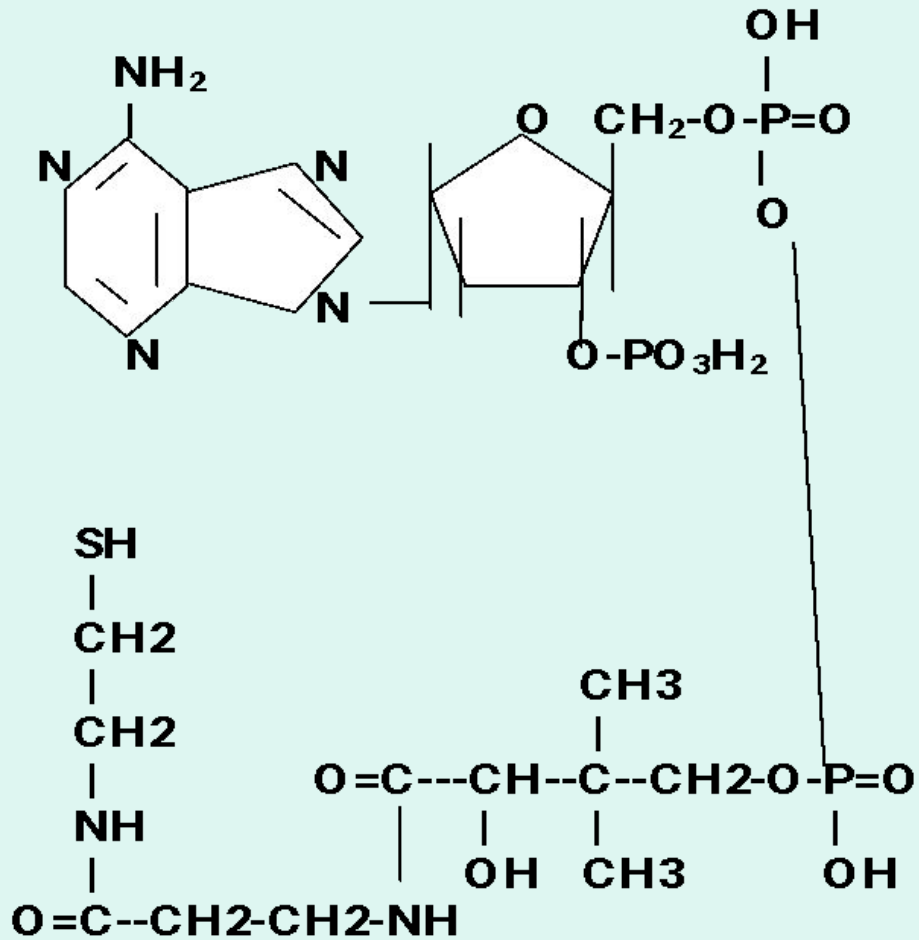


- Коэнзим А ацилтрансферазада (ацилирлеудің катализдеуші реакциясын) коферменттік функцияны атқарады.



# КОЭНЗИМ А

Êî ýí çèì À.



# *Құрамында витаминдері жоқ нуклеотидті коферменттер.*

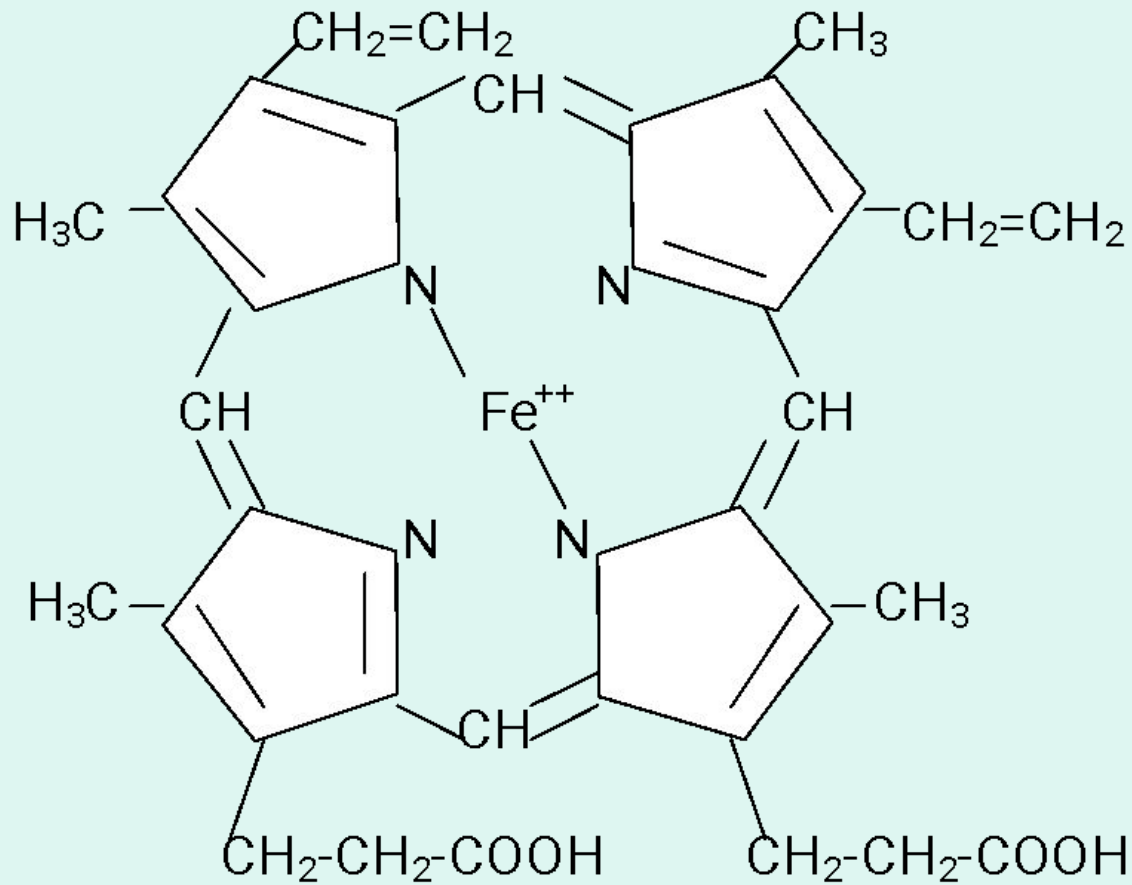
- Нуклеозидтік түріне байланысты коферменттерді 5 топқа бөлуге болады: аденозидті, гуанозидті, уридилді, цитидилды және тимидилді:
- аденозиндифосфат (АДФ),
- гуанозиндифосфат (ГДФ),
- цитидиндифосфат (ЦДФ),
- уридиндифосфат (УДФ).

Аталмыш коферменттер, трансфераза, изомераза және синтетаздың биологиялық белсенділіктерін қамтамасыз етеді.

# *Металлокоферменттер*

- Металлокоферменттер тобына темірпорфиринді және кобамидті коферменттер жатады.
- **Құрамында темірпорфирині бар коферменттер.**
- Цитохромның, цитохромоксидазаның, каталазаның, пероксидазаның және кейбір оксидоредуктазаның коферменттері - темірпорфиринді коферменттерге жатады. Бұл коферменттердің молекулалық деңгейде, ферриформадан ( $Fe^{+++}$ ) ферроформаға ( $Fe^{++}$ ) өту мүмкіндігі бар.
- **Кобамидті коферменттер** құрамында кобальт бар В12 витаминінің құраушысы болып есептеледі.

# Гем



ГЕМ (1,3,5,8-тетраметил 2,4-дивинил 6,7-дипропионқышқылды темірпорфирин

# Ферменттер классификациясы

- Халықаралық классификация бойынша, катализге ұшырайтын реакцияларға байланысты ферменттер 6 классқа бөлінеді:

**1. Оксидоредуктазалар**

**2. Трансферазалар**

**3. Гидролазалар**

**4. Лиазалар**

**5. Изомеразалар**

**6. Лигазалар**

# 1 класс - Оксидоредуктазалар.

- Аталмыш класстың ферменттері сутек, оттект атомдары мен электрондардың тасымалдауын қамтамасыз ететін, биологиялық тотықтандыру процессі негізінде тотығу-тотықсыздандыру реакциясын катализдейді.
- Бұл класстың құрамында 17 подкласс бар:
  - 1.1.  $\text{=CH-OH}$  тобына әсер етеді
  - 1.2.  $\text{=C=O}$  тобына әсер етеді
  - 1.3.  $\text{-CH=CH-}$  тобына әсер етеді
  - 1.4.  $\text{=CH-NH}_2$  тобына әсер етеді
  - 1.5.  $\text{=CH=NH}$  тобына әсер етеді
  - 1.6. НАДН, НАДФН-ға әсер етеді
  - 1.7. донор түріндегі басқа азоттық байланыстарға әсер етеді
  - 1.8. құрамында күкірт бар топтарға әсер етеді
  - 1.9. гемге әсер етеді
  - 1.10. дифенолға әсер етеді
  - 1.11. сутек тотығына (перекись водорода) әсер етеді
  - 1.12. сутекке әсер етеді
  - 1.13. құрамында молекулярлық оттегі (оксигенеза) бар біртекті донорға әсер етеді
  - 1.14. молекулярлық оттегіні катализдей келе бірнеше донорға әсер етеді
  - 1.15. тотықтырғыш (перекисные) радикалына әсер етеді
  - 1.16. металл иондарын тотықтырады
  - 1.17.  $\text{-CH}_2\text{=}$  тобына әсер етеді

# 2 класс - Трансферазалар.

- Бұл класстың ферменттері функционалдық топтардың тасымалын катализдеп 8 подклассқа бөлінеді:
  - 2.1. біртекті көміртек қалдықтарын тасымалдайды (метил-, метенил-)
  - 2.2. альдегидті және кетонды топтарды тасымалдайды
  - 2.3. ацильды (қышқыл) қалдықтарын тасымалдайды
  - 2.4. гликозильді қалдықтарды тасымалдайды
  - 2.5. алкилды және арильды топтарды тасымалдайды
  - 2.6. құрамында азот негіздері бар топтарды тасымалдайды (амино- , амидино- және т.б.)
  - 2.7. құрамында фосфор қалдықтары бар топтарды тасымалдайды
  - 2.8. құрамында күкірт бар топтарды (тиогруппалар) тасымалдайды

# 3 класс - Гидролазалар

- **Бұл класстың ферменттері гидролиз реакцияларын катализдейді және гидролиздеуші түріне байланысты 11 подклассқа бөлінеді:**
- 3.1. күрделі эфирлі байланыс гидролизі
- 3.2. гликозидті байланыс гидролизі
- 3.3. жай эфирлі байланыс гидролизі
- 3.4. пептидті байланыс гидролизі
- 3.5. пептидті емес C-N байланыс гидролизі
- 3.6. қышқыл-ангидридті байланыс гидролизі
- 3.7. C-C байланыс гидролизі
- 3.8. гаплоидты байланыс гидролизі
- 3.9. P-N байланыс гидролизі
- 3.10. S-N байланыс гидролизі
- 3.11. C-P байланыс гидролизі



# 4 класс - Лиазалар

- Бұл класстың ферменттері гидролитикалық емес топтардың молекулалық субстраттарын катализдейді.
- Сонымен қатар екі байланыстың түзілуіне, атомдардың қосылуына немесе екі байланыстың үзілуіне байланысты молекулаларды катализдейді.
- Лиазалар 7 подклассқа бөлінеді:
  - 4.1.  $=C=C=$
  - 4.2.  $=C=O$
  - 4.3.  $=C=N-$
  - 4.4. C-S
  - 4.5. C-P (- C-Cl )
  - 4.6. P-O-
  - 4.99. тағы да басқа лиазалар

# 5 класс - Изомеразалар.

- Бұл класстың ферменттері изомеризация реакциясын катализдейді және 6 подклассқа бөлінеді:
  - 5.1. рацемазалар и эпимеразалар
  - 5.2. цис-транс-изомеразалар
  - 5.3. молекула-ішілік оксидоредуктазалар
  - 5.4. молекула-ішілік трансферазалар
  - 5.5. молекула-ішілік лиазалар
  - 5.99. тағы да басқа изомеразалар

# 6 класс - Лигазалар (синтетазалар).

**Бұл класстың ферменттері АТФ энергиясының синтез байланыстарын және биотин қолданған аналогты макроэргтарды катализдейді.**

• Байланыс түзілуіне байланысты 5 подкласқа бөлінеді:

- 6.1.  $=C=O$  байланыс
- 6.2.  $=C-S-$  байланыс
- 6.3.  $=C=N-$  байланыс
- 6.4.  $-C-C-$  байланыс
- 6.5. фосфоэфирлі байланыс

# Әрбір класста құрылымдық молекулалардың ферменттері үшін арнайы коферменттер (коэнзимдер) тобы қолданылады:

- - **1 класс оксидоредуктазалар** - НАД (НАДФ), ФМН (ФАД), убихинон, темірпорфириндер (гем), липоедті қышқыл, глутатион.
- - **2 класс трансферазалар** - фосфопиридоксаль (ФП-СН=О), коэнзим А (КоА), тетрагидрофолиенді қышқыл (ТГФҚ), цианкобламин, УДФ, ЦДФ.
- - **4 класс лиазалар** - ФП-СН=О, КоА, тиаминпирофосфат (ТПФ), цианкобламин,
- - **5 класс изомеразалар** - ФП-СН=О, цианкобламин, глутатион.
- - **6 класс лигазалар** - УДФ, ЦДФ, биотин, ТГФК
- **Ескертпе, 3 класс (гидролазалар) ферменттерінде коферменттер жоқ**

# Ферменттер номенклатурасы.

- 1961 жылы Халықаралық биохимиялық одақтың қолдауымен ферменттердің систематикалық номенклатурасы ұсынылды.
- Әрбір фермент систематикалық атауға ие болды. Катализдену реакциясын сипаттайтын «аза» жұрнақтары жалғанды.
- Сонымен қатар, классты, подклассты сипаттайтын шифрлар қолданылды.
- Мысалы: Креатинфосфокиназа (КФ 2.7.3.3)
- Осылай аргиназа аргинин гидролизін катализдейді, липаза май гидролизін, фосфатаза фосфор эфирлі гидролизді катализдейді.

# Г.Көмірсулы алмасу ферменттері

- ***Глюкоза катаболизмінің дихотомиялық жолы:***

- гексокиназа (фосфоглюкокиназа)
- фосфорилаза
- фосфоглюкоизомераза
- фосфофруктокиназа
- альдолаза
- фосфотриозоизомераза
- глицеральдегид-дегидрогеназа
- фосфоглицераткиназа
- фосфоглицеромутаза
- енолаза
- пируваткиназа
- лактатдегидрогеназа

- ***Глюкоза катаболизмінің апотомиялық жолы:***

- глюкоза-6-фосфатдегидрогеназа
- лактоназа
- 6-фосфоглюконат дегидрогеназа
- пентозофосфатизомераза
- транскетолаза
- трансальдолаза

## Жалпы катаболизм жолының ферменттері.

- декарбоксилаза пируватының тотығуы
- цитратсинтетаза
- аконитаза
- изоцитратдегидрогеназа
- $\alpha$ -кетоглутарат дегидрогеназа
- сукцинаттиокиназа
- сукцинатдегидрогеназа
- фумараза
- малатдегидрогеназа

# Гликоген метаболізму:

- **Гликоген и глюконеогенездің синтезі:**
- УДФ-глюкозилпирофосфорилаза
- гликогенсинтетаза (гликозилтрансфераза)
- амило-гликозилтрансфераза
- пируваткарбоксилаза
- Фосфоенолпируваткарбоксикиназа
  
- **Гликогеннің мобілізаціясы :**
- аденилатциклаза
- фосфорилазкиназа
- фосфорилаза
- протеинкиназа



# Олигосахаридтердің және гликозамингликанның айналуы

- мальтаза
- лактаза
- сахараза
- амилаза
- глюкуронидаза
- альдозоредуктаза
- сорбитдегирогеназа
- УДФ-глюкозилтрансфераза
- УДФ-глюкуронилтрансфераза

# Митохондрияның тыныс алу тізбегінің ферменттері. Жасуша биоэнергетикасы

- декарбоксилаза пируватының тотығуы
- изоцитратдегидрогеназа
- $\alpha$ -кетоглутарат дегидрогеназа
- сукцинаттиокиназа
- сукцинатдегидрогеназа
- малатдегидрогеназа
- НАДН-дегидрогеназа
- ФМНН-дегидрогеназа
- КоQ -редуктаза
- цитохром-С-оксидаза

# Триациглицеридтердің және май қышқылдарының катаболизмі

- триацилглицеридлипаза
- липопротеидлипаза
- диглицеридлипаза
- моноглицеридлипаза
- липопротеинлипаза
- глицераткиназа
- $\alpha$ -глицерофосфатдегидрогеназа
- ацил КоА-синтетаза
- трансацетилаза
- карнитин-ацилтрансфераза
- ацил-КоА-дегидрогеназа
- еноил-КоА-гидратаза
- гидроксацил-КоА-дегидрогеназа
- ацил-КоА-ацилтрансфераза
- циклооксигеназа
- липооксигеназа

# Липидтердің анаболизмі және холестерин мен кетонды денелердің биосинтезі.

- **Липидтердің анаболизмі:**

- ацетил КоА-карбоксилаза
- малонитрансацетилаза
- цитратлиаза
- $\beta$ -кетоацил-синтетаза
- $\beta$ -кетоацил-редуктаза
- гидроксацил-гидратаза
- еноилредуктаза
- ацилтрансфераза
- фосфатаза

- **Холестерин мен кетонды денелердің биосинтезі:**

- ацетил-КоА-ацетилтрансфераза
- $\beta$ - $\beta$ -гидроксиметилглутарил-КоА-синтетаза
- гидроксиметилглутарил-КоА-лиаза
- гидроксibuтиратдегидрогеназа
- ацетоацета-декарбоксилаза
- $\beta$ - $\beta$ -гидроксиметилглутарил-КоА-редуктаза
- мевалонилфосфокиназа
- мевалонилпирофосфатдекарбоксилаза

# Ақуыздар мен амин қышқылдарының катаболизмі

- Асқорыту сөлінің пептидазалары (пепсин, трипсин, химотрипсин)
- ұлпалы катепсиндер
- трансминазалар
- глутаматдегидрогеназа
- АМФ-аминогидролаза
- гистидаза
- серин (треонин) дегидротаза
- L-амин қышқылдарының оксидазасы
- Амин қышқылдарының декарбоксилазасы
- метионин-аденозилтрансфераза
- метилтрансфераза
- цистатионинсинтетаза
- цистатионинлиаза
- глутаматдекарбоксилаза
- фенилаланингидроксилаза
- тирозиназа
- катехол-О-метилтрансфераза
- моноаминоксидаза
- глутаминилтранспептидаза
- аргиназа
- NO-синтетаза

# Аммиак пен несепнәр синтезін залалсыздандыру

- глутаминсинтетаза
- глутаминаза
- карбомоилфосфат-синтетаза
- карбомоилтрансфераз
- аргининосукцинасинтетаза
- аргининосукциназа
- аргиназа