

Лекция №3Б. **Ферменты.**

Доц., к.х.н. Г.А.Урванцева

- Биохимические реакции в живых организмах протекают очень быстро: от нескольких миллисекунд до нескольких микросекунд. Это объясняется наличием во всех организмах и всех клетках биокатализаторов или **ферментов**. **Ферменты=энзимы**. Наука о ферментах называется **энзимология**.

Определение

- **Ферменты (энзимы)**- биокатализаторы, как правило, белки(**в редких случаях РНК**), они характеризуются исключительной специфичностью, обладают высокой каталитической активностью, универсальностью для биохимических реакций.
- Ферменты-биокатализаторы. Следовательно, они, как и неорганические катализаторы, не создают реакций, а **ускоряют существующие, возможные по термодинамическим законам.**

- Как и неорганические катализаторы, ферменты **не изменяются в процессе реакции.**
- Ферменты одинаково ускоряют обратимые реакции в обоих направлениях, не смещая равновесия. **Они ускоряют достижение равновесия.**

Чтобы понять другие особенности ферментов, надо дать определение субстрата. **Субстрат** – это то химическое соединение, на которое действует фермент. Так как с помощью ферментов создаются и разрываются все **ковалентные связи** в клетках, то и все химические соединения в живых организмах являются субстратами для тех или иных ферментов.

2. Для ферментов характерны:

- **специфичность.** Биологическая функция фермента, как и любого белка, обусловлена наличием в его структуре активного центра с которым взаимодействует определенный лиганд. Лиганд, взаимодействующий с активным центром фермента, называется **субстратом**.
- **каталитическая эффективность.** Большинство катализируемых ферментами реакций высокоэффективны, они протекают в 10^8 — 10^{14} раз быстрее, чем некатализируемые реакции. Каждая молекула фермента способна за секунду трансформировать от 100 до 1000 молекул субстрата в продукт.
- **конформационная лабильность.** Каталитическая эффективность фермента, как и любой белковой молекулы, зависит от его конформации и, в частности, от конформации активного центра. В клетках имеются вещества, которые могут вызывать незначительные изменения конформации молекулы фермента за счет разрыва одних и образования других слабых связей; это может вызывать как повышение, так и снижение активности фермента.

3. Активность ферментов может регулироваться. Действие ферментов в клетке, как правило, строго упорядочено: продукт одной ферментативной реакции является субстратом другой; таким образом образуются **метаболические пути**. Среди множества ферментов практически каждого метаболического пути имеются ключевые, или **регуляторные**, ферменты, активность которых может изменяться в зависимости от потребности клетки в конечном продукте метаболического пути.

4. Оптимальные условия протекания ферментативных реакций: температура 37—38 °С; нормальное атмосферное давление, рН 6,9—7,7, характерное для большинства тканей. В отличие от этого для эффективного химического катализа часто требуются высокие температура и давление, а также экстремальные значения рН.

1. Активный центр ферментов — это определенный участок белковой молекулы, способный комплементарно связываться с субстратом и обеспечивающий его каталитическое превращение. Структура активного центра сформирована радикалами аминокислот, так же как и в случае активного центра любого белка. В активном центре фермента имеются аминокислотные остатки, функциональные группы которых обеспечивают комплементарное связывание субстрата (участок связывания), и аминокислотные остатки, функциональные группы которых осуществляют химическое превращение субстрата (каталитический участок) (рис. 2.1).

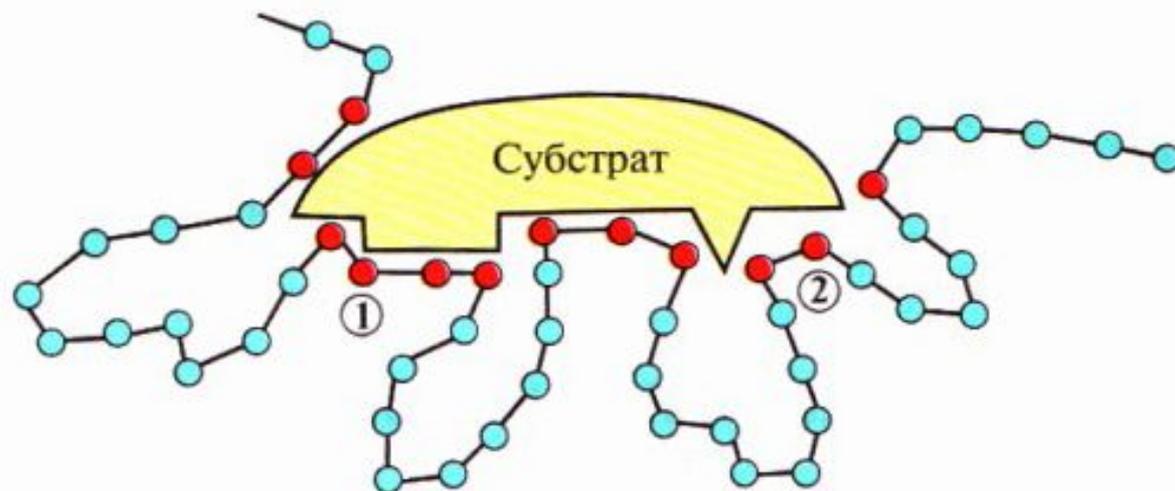


Рис. 2.1. Схема строения активного центра фермента.

Красным цветом отмечены аминокислоты, образующие активный центр фермента: 1 — участок связывания; 2 — каталитический участок

Механизм действия ферментов

- Изучить механизм действия конкретного фермента- задача сложная. Так, в настоящее время подробно изучен механизм действия химотрипсина, гексокиназы и лизоцима.
- Понимание механизмов действия ферментов позволяет создавать лекарства, являющиеся ингибиторами этих ферментов.

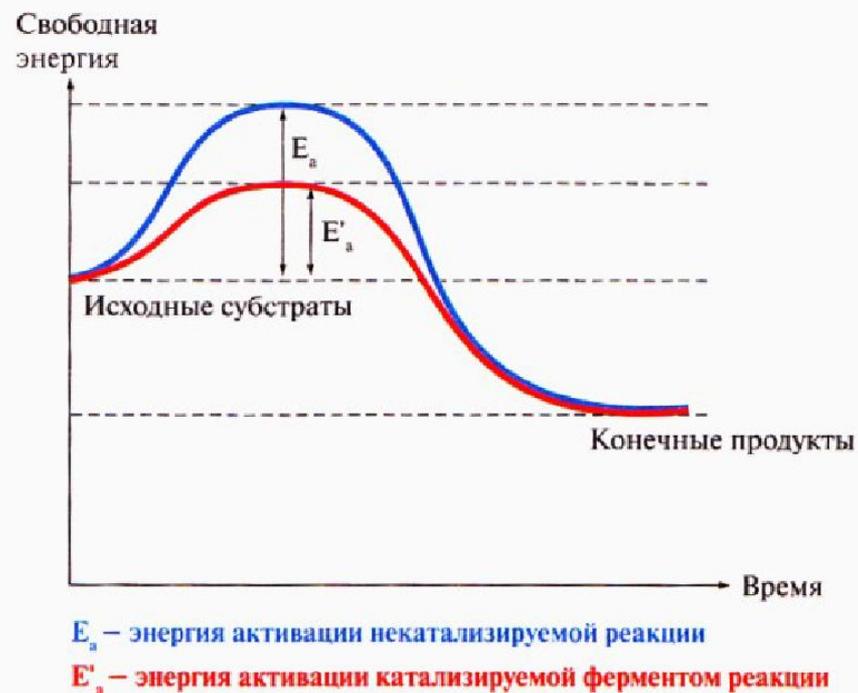


Рис. 2.4. Изменение свободной энергии в ходе химической реакции, некатализируемой и катализируемой ферментами.

Фермент понижает энергию активации E_a , т.е. снижает высоту энергетического барьера; в результате возрастает доля реакционно-способных молекул и повышается скорость реакции

Механизм действия ферментов

1. В ходе катализа субстрат, связанный с активным центром фермента в фермент-субстратный (ES) комплекс, претерпевает химическое превращение в продукт, который затем высвобождается. Схематично процесс катализа можно представить следующим образом:



где E — фермент (энзим), S — субстрат, P — продукт.

Процесс ферментативного катализа условно можно разделить на этапы (рис. 2.3). На этапе I происходит сближение и ориентация субстрата в области активного центра фермента. На этапе II в результате **индуцированного соответствия** [изменение конформации субстрата (S) и активного центра фермента] образуется фермент-субстратный комплекс (ES). На этапе III происходит дестабилизация связей в субстрате и образование неустойчивого комплекса фермент—продукт (EP). На этапе IV происходит распад комплекса (EP) с высвобождением продуктов реакции из активного центра и освобождением фермента.

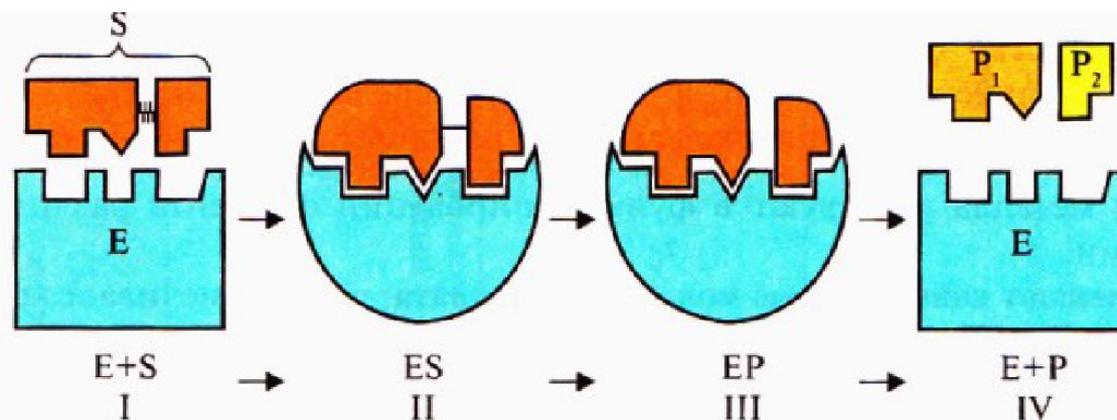
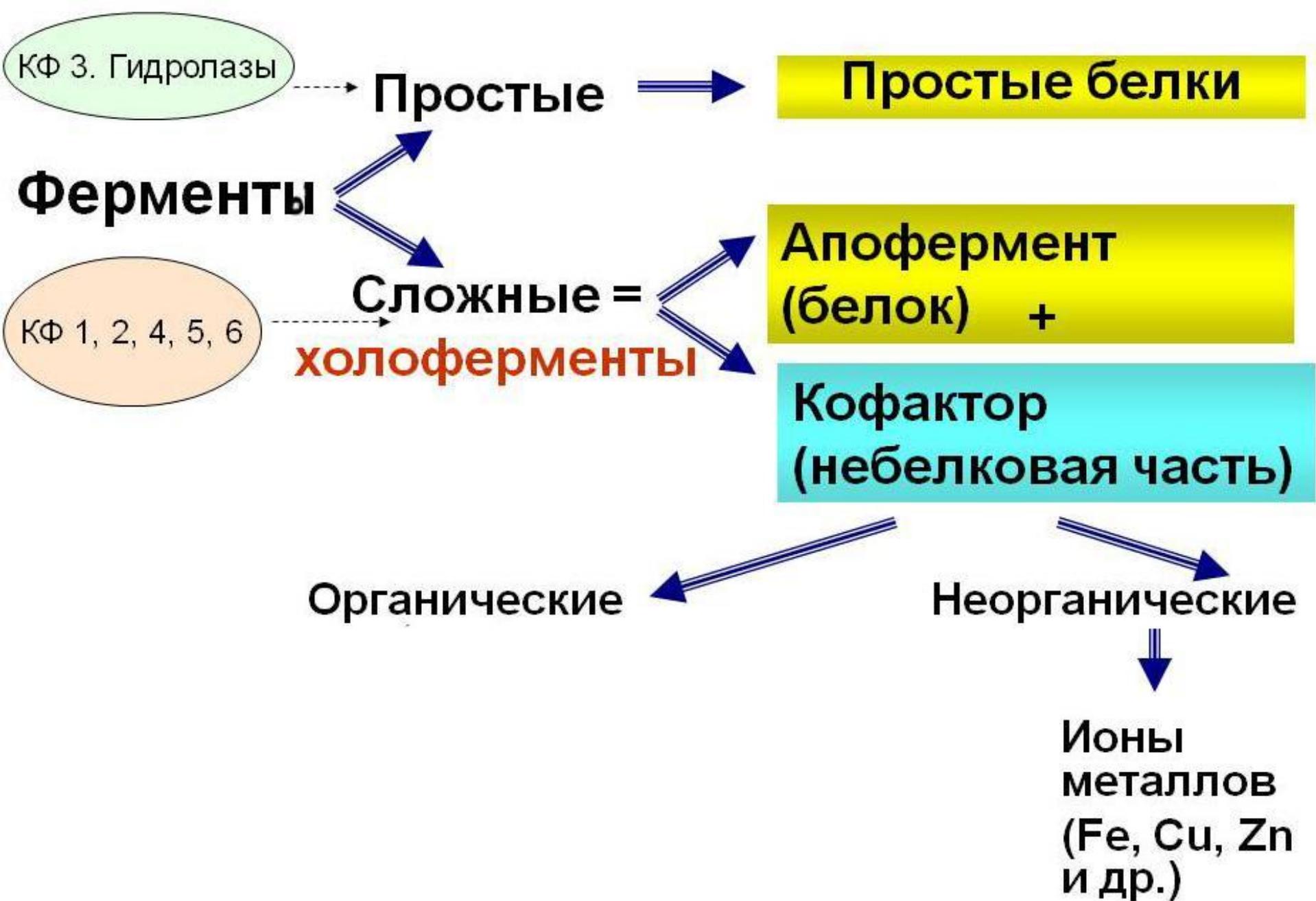
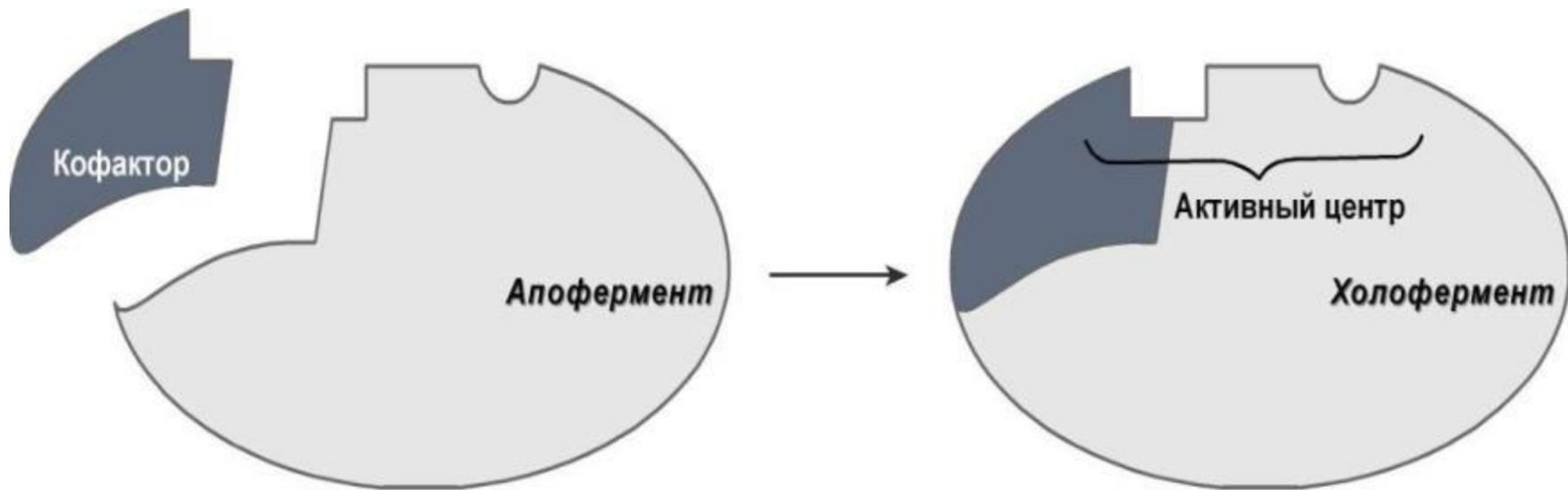


Рис. 2.3. Этапы ферментативного катализа:

I — этап сближения и ориентации субстрата в активном центре фермента; **II** — образование фермент-субстратного комплекса (ES); **III** — образование нестабильного комплекса фермент—продукт (EP); **IV** — высвобождение продуктов реакции из активного центра фермента

Химическая природа ферментов





Неорганические молекулы
(например, ионы металлов)

Органические молекулы
(например, NAD⁺, АТР)

Кофакторы

Коферменты способны
диссоциировать от фермента
(например, АТР и GTP в реакциях,
катализируемых синтетазами)

Простетические группы
связаны с ферментом ковалентно
(например, пиридоксальфосфат
в реакциях трансаминирования и
декарбоксилирования
аминокислот)

Кофактор

небелковая молекула в активном центре,
необходимая для работы фермента

Кофермент – органический кофактор



Кофакторы (коферменты, простетические группы)

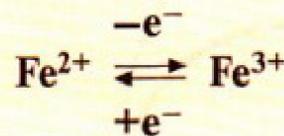
Большинство ферментов для проявления каталитической активности нуждается в присутствии некоторых веществ небелковой природы — кофакторов. Различают две группы кофакторов: ионы металлов и коферменты.

1. Ионы металла участвуют в функционировании фермента различными способами.

- **Изменяют конформацию молекулы субстрата**, что обеспечивает комплементарное взаимодействие с активным центром. Например, в качестве субстрата выступает комплекс Mg^{2+} —АТФ.
- **Обеспечивают нативную конформацию активного центра фермента**. Ионы Mg^{2+} , Mn^{2+} , Zn^{2+} , Co^{2+} , Mo^{2+} участвуют в стабилизации активного центра ферментов и способствуют присоединению кофермента.
- **Стабилизируют конформацию белковой молекулы фермента**. Например, для стабилизации четвертичной структуры фермента алкогольдегидрогеназы, катализирующей реакцию окисления этанола, необходимы ионы цинка.

ПОСРЕДСТВОМ.

- **Непосредственно участвуют в ферментативном катализе.** Ионы Zn^{2+} , Fe^{2+} , Mn^{2+} , Cu^{2+} принимают участие в электрофильном катализе. Ионы металлов с переменной валентностью могут также участвовать в переносе электронов. Например, в цитохромах (гемсодержащих белках) ион железа способен присоединять и отдавать один электрон. Благодаря этому свойству цитохромы участвуют в окислительно-восстановительных реакциях:



Свойства ферментов

Влияние температуры на активность фермента

18



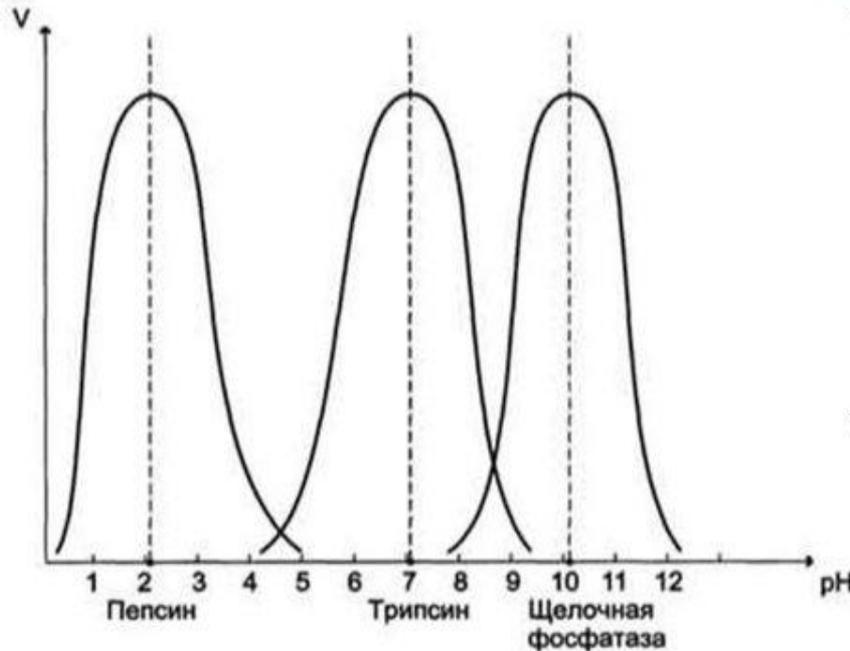
Зависимость скорости ферментативной реакции (V) от температуры

- ✓ С повышением температуры ускоряется движение молекул, что приводит к повышению вероятности взаимодействия реагирующих веществ.
- ✓ Кроме того, температура может повышать энергию реагирующих молекул, что также приводит к ускорению реакции.
- ✓ Однако скорость химической реакции, катализируемая ферментами, имеет свой температурный оптимум, превышение которого сопровождается понижением ферментативной активности, возникающим из-за термической денатурации белковой молекулы

Для большинства ферментов человека оптимальна температура **37-38 °C**. Однако в природе существуют и термостабильные ферменты. Например, **Taq-полимераза**, выделенная из микроорганизмов, живущих в горячих источниках, не инактивируется при повышении температуры до **95 °C**.

Влияние pH на активность фермента

19



Зависимость скорости ферментативной реакции (V) от pH среды

- ✓ Влияние pH на активность ферментов связано с ионизацией функциональных групп аминокислотных остатков данного белка, обеспечивающих оптимальную конформацию активного центра фермента.
- ✓ При отклонении pH от оптимальных значений происходит изменение ионизации функциональных групп молекулы белка. Это приводит к изменению конформации молекулы фермента и конформации активного центра; следовательно, нарушается присоединение субстрата, кофакторов и коферментов к активному центру.

Специфичность ферментов

- Различают два вида специфичности ферментов: специфичность действия и **субстратную специфичность**;
- Специфичность действия – это способность фермента катализировать только строго определенный тип химической реакции;
- Если субстрат может вступать в разные реакции, то для каждой реакции нужен свой фермент.

Субстратная специфичность ферментов

- **Абсолютная** (фермент катализирует реакцию только с одним субстратом): аргиназа, уреаза, ДНК-полимераза, аденилатциклаза
- **Относительная или групповая** (катализируют реакцию с группой субстратов, с одним типом связи: протеиназы, фосфатазы, липазы. (однако и у них есть определенная **сайт-специфичность**))
- **Стереоспецифичность** – фермент «узнает» стереоизомеры субстратов (L- и D-аминокислоты, α – и β -сахара).

Специфичность действия – способность фермента ускорять реакцию определенного типа

• Тип реакции	Класс фермента
• ОВР	оксидоредуктазы
• Гидролиз	гидролазы
• Изомеризация	изомеразы
• распад	лиазы
(негидролитический)	
• синтез (при участии АТФ)	лигазы
• транспорт функциональных групп	трансферазы

Влияние активаторов и ингибиторов

- Вещества, повышающие активность ферментов и, следовательно, скорость ферментативной реакции называются активаторами.
- Ионы металлов, кофакторы ферментов, субстраты могут повышать активность ферментов.
- Активация ферментов может осуществляться путем химической модификации структуры фермента, т.е. путем превращения неактивного профермента в фермент, путем присоединения какой-либо специфической модифицирующей группы к молекуле фермента, или путем диссоциации неактивного комплекса на активный фермент и связывающий комплекс.
- Вещества, снижающие активность фермента называются ингибиторами.

Активаторы ферментов

- Повышают ферментативную активность;
- Формируют конформацию активного центра фермента;
- Облегчают образование фермент- субстратного комплекса;
- Стабилизируют нативную структуру фермента;
- Защищают функциональные группы активного центра.

Примеры активаторов

Активирующее влияние на скорость ферментативной реакции оказывают разнообразные вещества органической и неорганической природы, например:

- соляная кислота активирует действие пепсина желудочного сока;
- желчные кислоты повышают активность панкреатической липазы;
- соединения, содержащие свободные SH-группы (глутатион, цистеин), активируют некоторые тканевые ферменты (оксидоредуктазы, катепсины, аргиназу), растительную протеиназу и др.
- ионы металлов особенно часто выступают активаторами. Около четверти всех известных ферментов для проявления полной каталитической активности нуждаются в присутствии металлов.

Ингибиторы и активаторы ферментов

- Ингибиторы – химические соединения, которые, находясь в низких концентрациях, избирательно тормозят определенные ферментативные реакции.

Необратимые (за счет прочных связей с ферментом).

ФОС (табун, зарин, дихлофос, карбофос) – необратимо угнетающие ХЭ.

Обратимые (за счет слабых связей с ферментом).

Конкурентные

Присоединяются к активному центру. Между ингибитором и субстратом идет конкуренция за присоединение а активному центру. Препятствуют присоединению субстрата.

Неконкурентные

Присоединяются к аллостерическому центру. Вызывают изменение конформации всей молекулы фермента, в том числе активного центра и снижают каталитическую активность фермента.

Номенклатура и классификация ферментов

1. В названии большинства ферментов содержится суффикс «аза», присоединенный к названию субстрата реакции (например: уреаза, сахараза, липаза, нуклеаза) или к названию химического превращения определенного субстрата (например: лактатдегидрогеназа, аденилатциклаза, фосфоглюкомутаза, пируваткарбоксилаза). Однако в употреблении сохранился ряд тривиальных, исторически закрепленных названий ферментов, которые не дают представления ни о субстрате, ни о типе химического превращения (например трипсин, пепсин, ренин, тромбин и др.).

2. Для того чтобы систематизировать имеющиеся в природе ферменты, Международный союз биохимии и молекулярной биологии (IUBMB) в 1961 г. разработал номенклатуру, согласно которой все ферменты делятся на шесть основных классов в зависимости от типа катализируемой химической реакции. Каждый класс состоит из многочисленных подклассов и подподклассов, в зависимости от преобразуемой химической группы субстрата, донора и акцептора преобразуемых группировок, наличия дополнительных молекул и т.д. Каждый из шести классов имеет свой порядковый номер, строго закрепленный за ним: 1-й класс — **оксидоредуктазы**; 2-й класс — **трансферазы**; 3-й класс — **гидролазы**; 4-й класс — **лиазы**; 5-й класс — **изомеразы**; 6-й класс — **лигазы**.

Эта классификация необходима для точного определения фермента: для каждого фермента имеется кодовое число. Например, фермент маладегидрогеназа имеет систематическое название L-малат: NAD-оксидоредуктаза и кодовое число — 1.1.1.38. Первая цифра означает номер класса ферментов (в данном случае цифра 1 свидетельствует, что фермент относится к классу оксидоредуктаз); вторая цифра указывает на тип катализируемой реакции (в данном примере окислению подвергается гидроксильная группа); третья цифра означает наличие кофермента (в данном случае — кофермент NAD⁺), последняя цифра — это порядковый номер фермента в данной подгруппе.

3. Характеристика основных классов ферментов с примерами катализируемых ими реакций.

1. Оксидоредуктазы катализируют различные окислительно-восстановительные реакции. Класс делится на подклассы:

а) **дегидрогеназы** катализируют реакции дегидрирования (отщепления водорода с переносом электронов от дегидрируемого субстрата на другой акцептор). В качестве акцепторов электронов используются коферменты NAD⁺, NADP⁺, FAD, FMN. К этому подклассу относятся ферменты маладегидрогеназа (рис. 2.5), изоцитратдегидрогеназа, сукцинатдегидрогеназа, α -кетобутиратдегидрогеназа и др.;



Рис. 2.5. Реакция дегидрирования малата

б) **оксидазы** — катализируют реакции окисления с участием молекулярного кислорода (рис. 2.6);



Рис. 2.6. Реакция, катализируемая ферментом цитохромоксидазой

в) **оксигеназы** (гидроксилазы) катализируют реакции окисления путем включения атома кислорода в гидроксильную группу молекулы субстрата. Реакция протекает с участием молекулярного кислорода, один атом которого присоединяется к субстрату, а второй участвует в образовании молекулы воды (рис. 2.7).

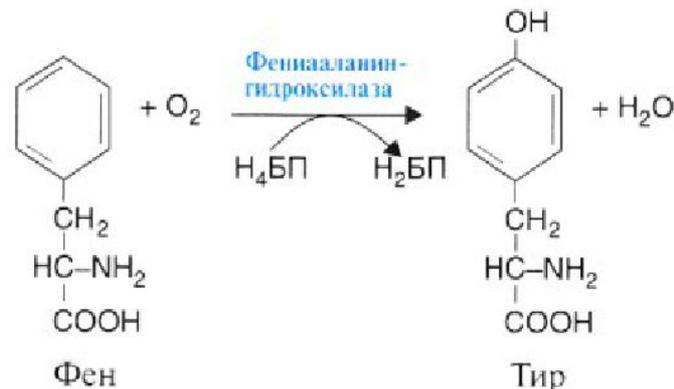


Рис. 2.7. Реакция гидроксилирования фенилаланина.

Коферменты реакции: тетрагидробиоптерин (H₄БП) и дигидробиоптерин (H₂БП)

2. **Трансферазы** — катализируют реакции переноса функциональных групп. В зависимости от переносимой группы подразделяются на подклассы: аминотрансферазы (рис. 2.8), ацилтрансферазы, метилтрансферазы, гликозилтрансферазы, киназы (фосфотрансферазы) (рис. 2.9).



Рис. 2.8. Реакция, катализируемая ферментом АЛТ (Аланин- α -кетоглутарат-амино-трансфераза), относящимся к классу трансфераз, подклассу аминотрансфераз. ПФ — кофермент пиридоксальфосфат



Рис. 2.9. Реакция, катализируемая ферментом протеинкиназа, относящимся к классу трансфераз, подклассу фосфотрансфераз.

АТФ является донором остатка фосфорной кислоты

3. Гидролазы катализируют реакции гидролиза (расщепления ковалентной связи с присоединением молекулы воды по месту разрыва). Разделяются на подклассы в зависимости от субстрата. Названия образуются в зависимости от молекулы субстрата или конкретной гидролизуемой химической связи: протеазы, амилазы, гликозидазы, нуклеазы, эстеразы, фосфатазы и др. Пример схемы реакции гидролиза молекулы белка приведен на рис. 2.10.



Рис. 2.10. Реакция гидролиза молекулы белка

4. **Лиазы** — к лиазам относятся ферменты, отщепляющие от субстратов негидролитическим путем определенные группы, такие, как CO_2 , H_2O , NH_2 , SH_2 и др., или присоединяющие (например, молекулу воды) по двойной связи. Реакция декарбоксилирования (отщепления молекулы CO_2) приведена на рис. 2.11, а реакция присоединения молекулы воды (гидратазная реакция) — на рис. 2.12.



Рис. 2.11. Реакция декарбоксилирования (отщепления молекулы CO_2)
ПФ-кофермент пиридоксальфосфат



Рис. 2.12. Реакция присоединения молекулы воды к фумарату

5. **Изомеразы** катализируют различные внутримолекулярные превращения (рис. 2.13).



Рис. 2.13. Реакция, катализируемая ферментом фосфоглюкоизомераза

6. **Лигазы** (синтетазы) катализируют реакции усложнения молекулы за счет присоединения друг к другу двух молекул с образованием ковалентной связи; при этом используется энергия АТФ или других макроэргических соединений (рис. 2.14).



Рис. 2.14. Реакция, катализируемая ферментом глутаминсинтетазой

Номенклатура ферментов

Ферменты, как правило, имеют два названия: систематическое и рабочее.

Систематическое название состоит из двух частей. Первая часть содержит название субстрата или субстратов, вторая часть - с окончанием «аза» указывает на природу катализируемой реакции. Систематическое название присваивается только тем ферментам, каталитическое действие которых полностью изучено.

Рабочее название фермента должно быть достаточно коротким. Конкретные примеры будут рассмотрены ниже.

В НАУЧНЫХ ПУБЛИКАЦИЯХ ПРИ ПЕРВОМ УПОМИНАНИИ О ФЕРМЕНТЕ ПРИНЯТО УКАЗЫВАТЬ ЕГО СИСТЕМАТИЧЕСКОЕ НАЗВАНИЕ И КОДОВЫЙ НОМЕР, А В ДАЛЬНЕЙШЕМ ПОЛЬЗОВАТЬСЯ РАБОЧИМ НАЗВАНИЕМ.

Систематическое название

субстрат
(субстрат)

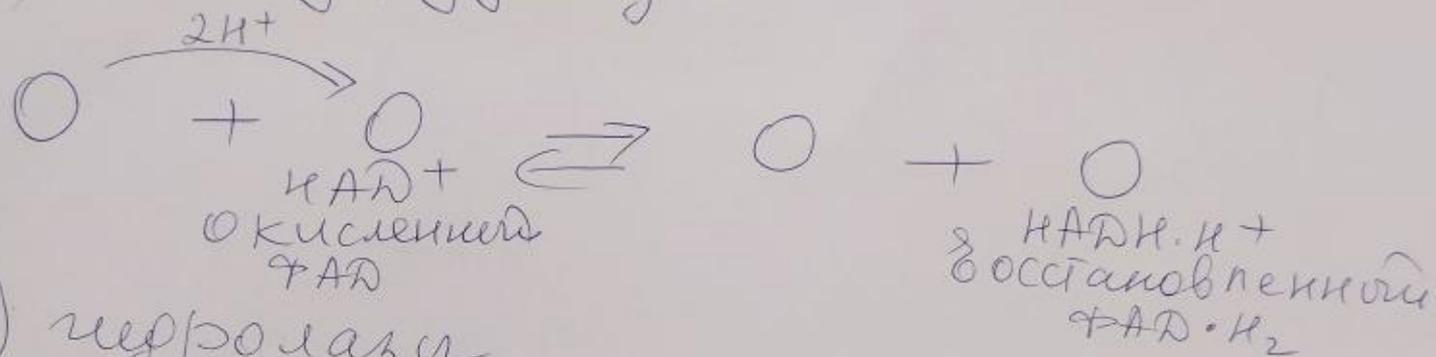
(.....) класс
↑ фермента

в зависимости
от класса

Грачева Е.Л.: Далее я расположила классы ферментов в той последовательности, как в вашей таблице в пособии

Для удобства определения класса фермента рекомендую использовать схемы, приведенные на слайдах далее

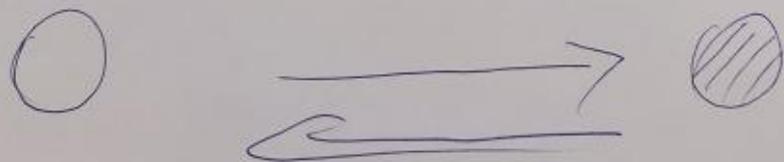
1) Оксидоредуктаза



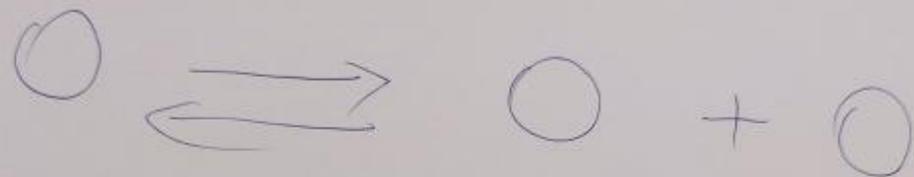
2) гидролаза



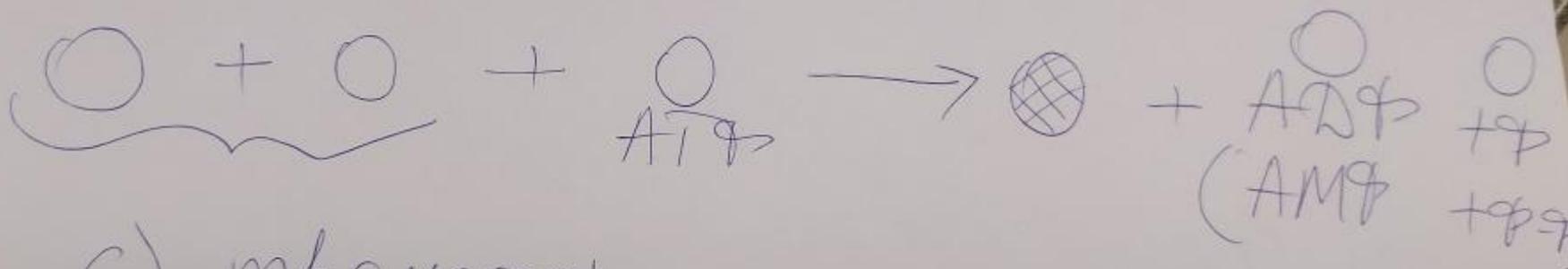
3) изомеразы



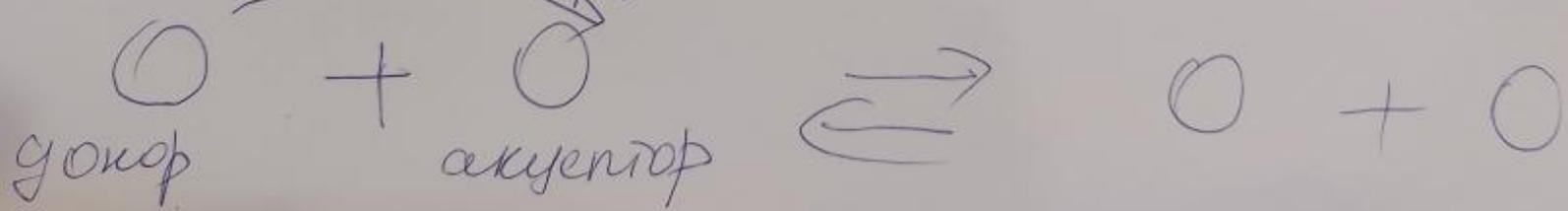
4) мазон



5) мизазон

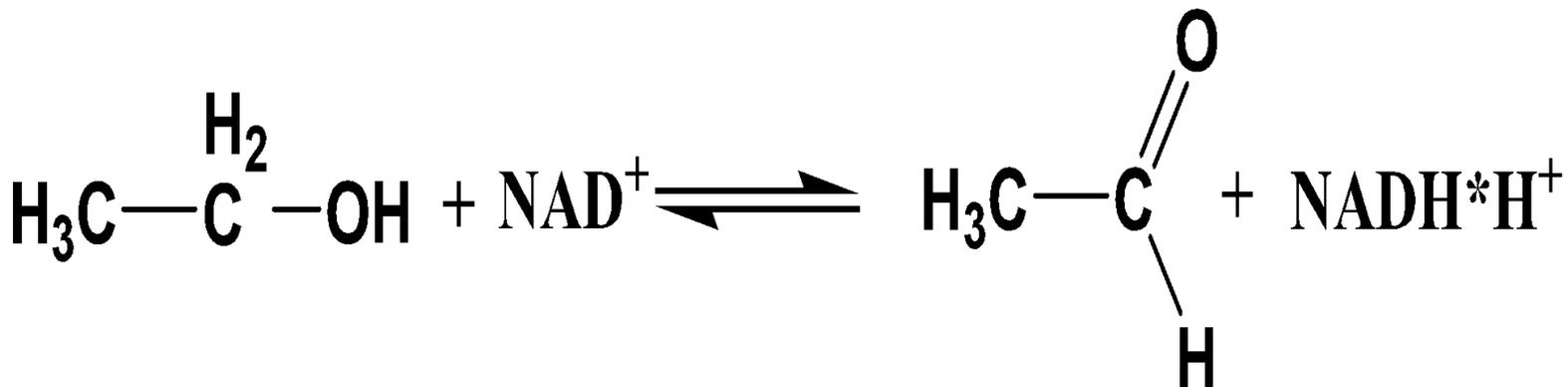


6) трансферазон
ФФикс. група



№ фермента	класс	Тип реакции и ее схема	систематическое название
1	оксидоредуктазы	<p>Окислительно-восстановительная реакция :</p> $AH_2 + B = A + BH_2$ <p>В – акцептор протонов, коферменты НАД⁺;ФАД и др.</p>	<p>Донор:акцептор-оксидоредуктаза</p>

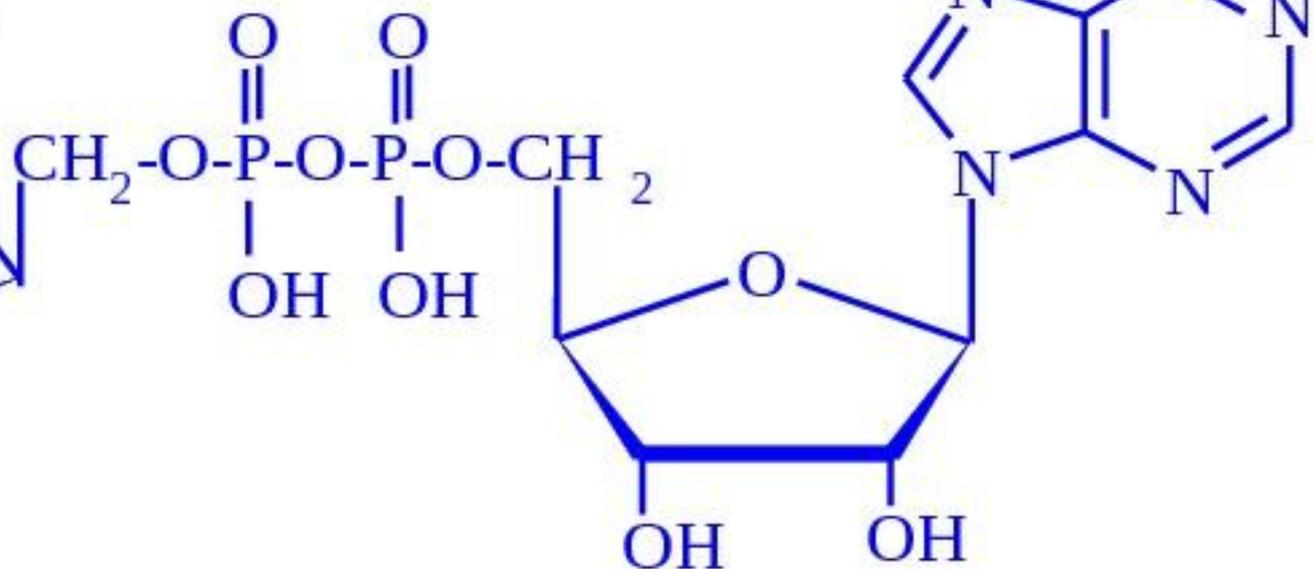
Пример реакции, систематическое название фермента



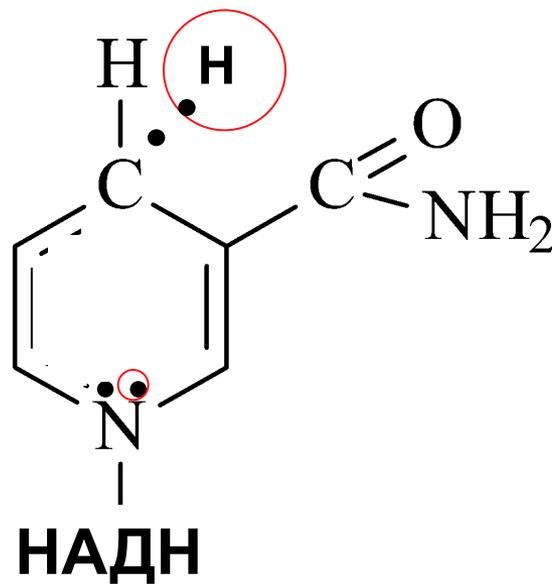
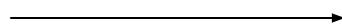
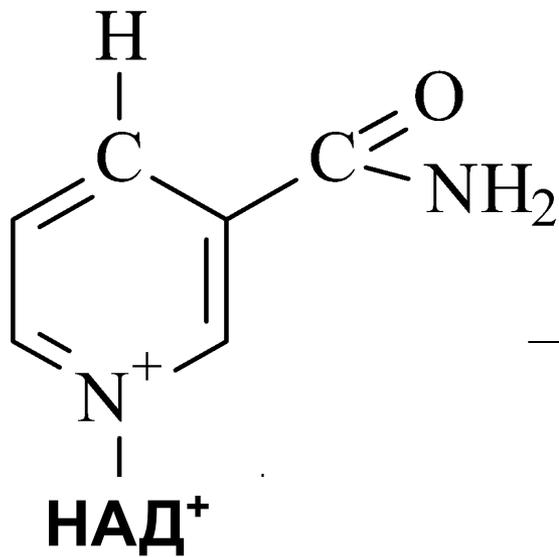
НИКОТИНАМИД

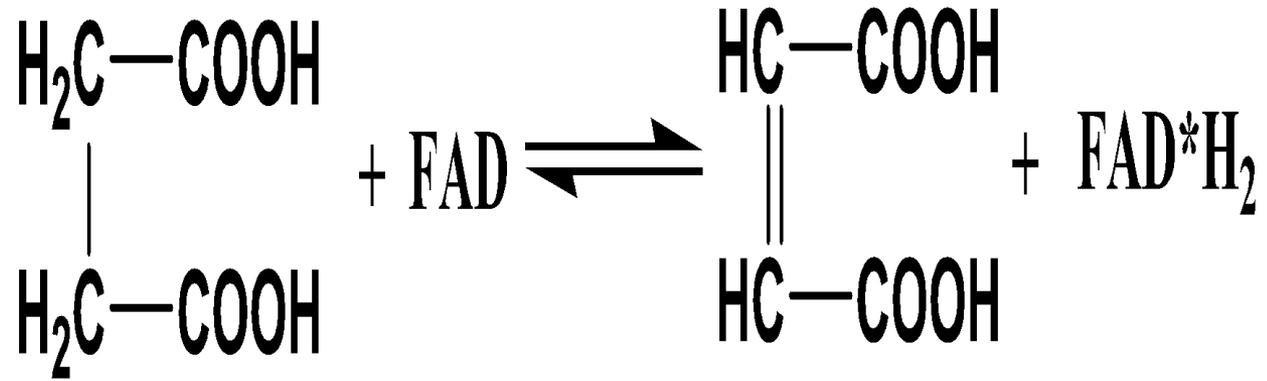


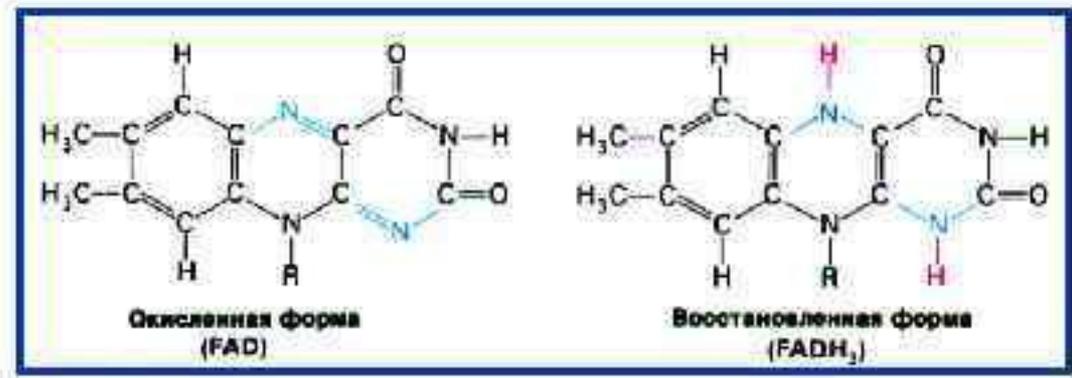
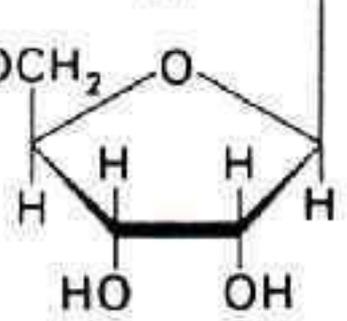
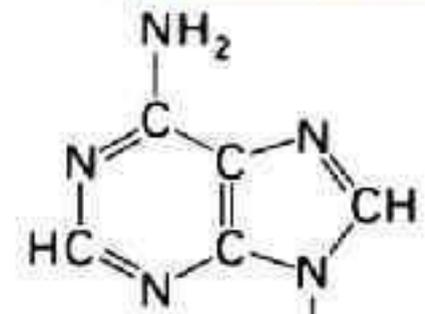
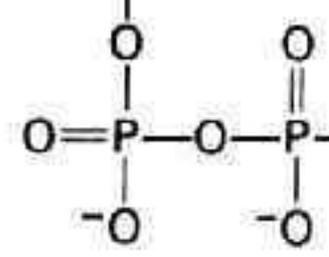
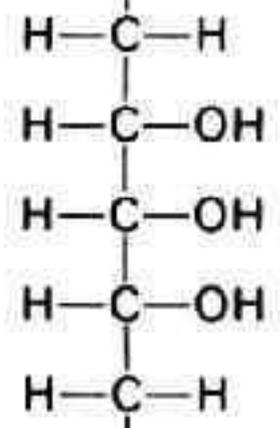
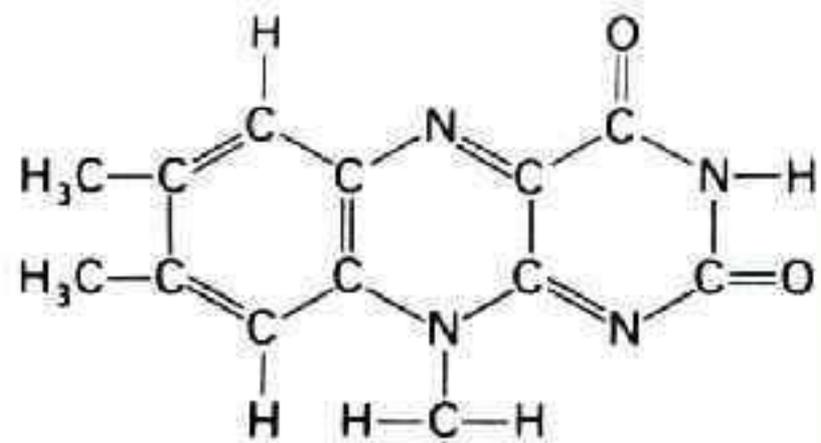
аденин



Никотинамидадениндинуклеотид (НАД⁺)





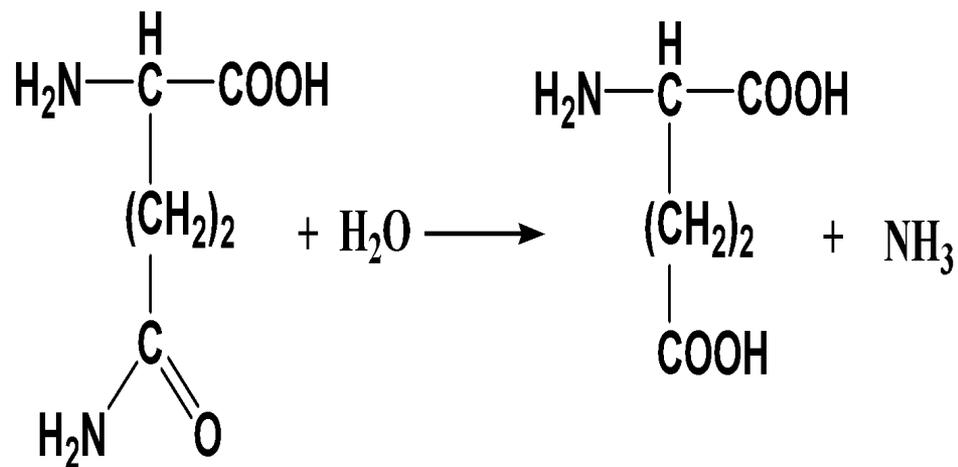


ФАД⁺

- **1.Алкоголь:НАД+- оксидоредуктаза;**
- **2.Сукцинат: ФАД-оксидоредуктаза**

- **1Кл.Оксидоредуктазы.** Рабочее название оксидоредуктаз, отщепляющих от субстрата атомы водорода или электроны и переносящие их на любой акцептор, кроме кислорода-**дегидрогеназы.**
Оксидоредуктазы, использующие кислород в качестве акцептора атомов водорода или электронов, называются **оксидазами.**
Например, фермент цикла Кребса сукцинат: ФАД- оксидоредуктаза имеет рабочее название: **сукцинатдегидрогеназа.**

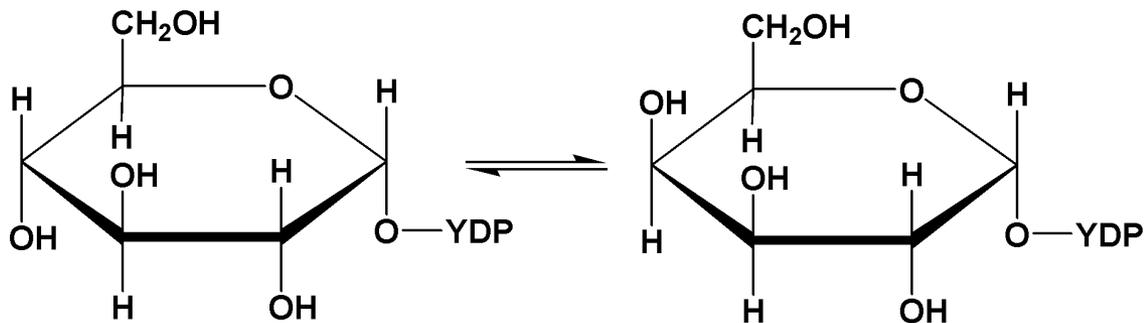
№ фермента	класс	Тип реакции и ее схема	систематическое название
2 кл.	Гидролазы	Реакция гидролиза: $A-B+H_2O=A-H + B-OH$	субстрат-отщепляемая группа-гидролаза



Систематическое название:**L-
глутаминамидогидролаза**

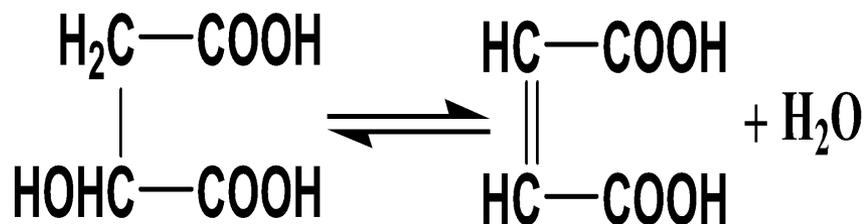
2кл. Гидролазы. Рабочее название составляется из названия гидролизуемого субстрата с добавлением окончания **–аза**. Например, фермент с систематическим названием **L-глутаминамидогидролаза** имеет рабочее название **глутаминаза**. Не имеют систематического названия такие гидролазы как **пепсин, папаин, тромбин и др.**

№ класс фермента	Тип реакции и ее схема	систематическое название
Зкл. Изомеразы	Реакции изомеризации	название субстрата и слово изомеразы ,
	A=A1	перед которым указание типа реакции изомеризации



№ фермента	класс	Тип реакции и ее схема	систематическое название
4.	Лиазы	негидролитический распад субстратов с обр. двойной связи или присоединение по дв.	субстрат-отщепл. группа-лиаза

СВЯЗИ



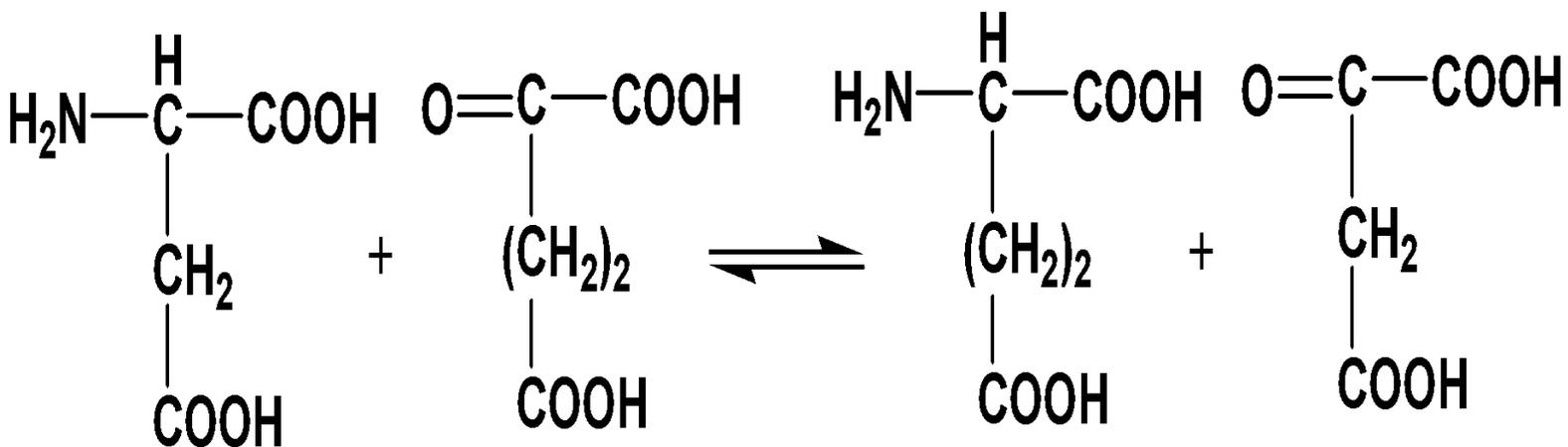
Систематическое название:

L-малат –гидро-лиаза

4 Кл. Лиазы. В качестве рабочего названия ферментов сохраняются тривиальные названия типа **«декарбоксилаза», «альдолаза», «дегидратаза»**

Фумаратгидратаза-раб. Название фермента, взятого в качестве примера.

№ фермента	класс	Тип реакции и ее схема	систематическое название
6	ТРАНСФЕРАЗЫ	ПЕРЕНОС ФУНКЦ. ГРУППЫ ОТ ОДНОГО ВЕЩЕСТВА К ДРУГОМУ	ДОНОР:АКЦЕПТОР ПЕРЕНОСИМАЯ ГРУППА ТРАНСФЕРАЗА



Систематическое название:

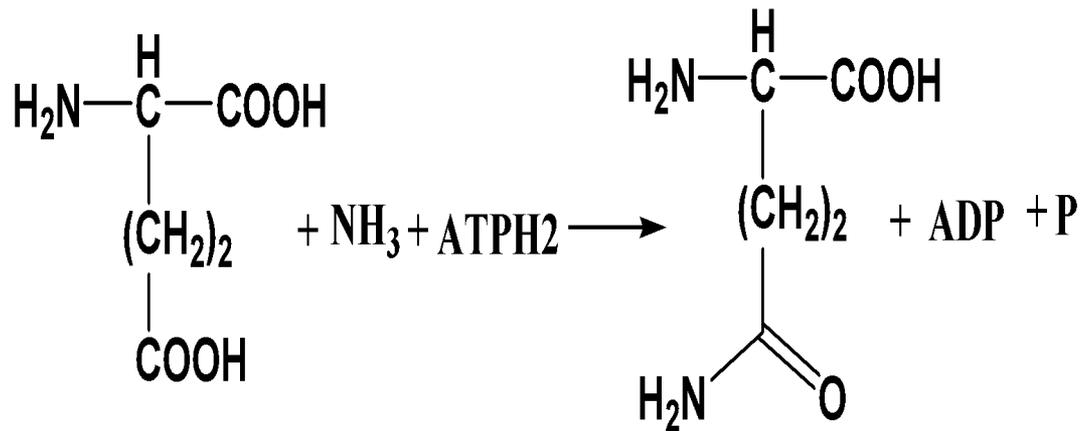
L-аспартат: α -кетоглутарат- аминотрансфераза

2 Кл. Трансферазы. В рабочем названии
обычно указывается только один
специфический субстрат или продукт и
название транспортируемой группировки.
Например, фермент , имеющий
систематическое название L-аспартат: α -
кетоглутарат- аминотрансфераза имеет
рабочее название
аспартатаминотрансфераза.

Систематическое название: ydp-глюкозо-4-эпимераза. (тип изомеризации-эпимеризация)

Рабочие названия изомераз подобны систематическим с некоторыми упрощениями систематических названий. Например, фермент с систематическим названием **УДФ-глюкозо-4-эпимераза** имеет рабочее название **УДФ-глюкозо-эпимераза**. **Изомеразы**- сравнительно немногочисленный класс ферментов.

№ фермента	класс	Тип реакции и ее схема	систематическое название
6 кл.	Лигазы	реакции синтеза орг. соедин. за счет распада АТФ: $A+B+ATP=A-B+ADP+P$ или $A+B+ATP=A-B+AMP+P-P$	Субстрат1:субстрат2-лигаза (АДФ или АМФ)



Систематическое название: L-
глутамат:NH₃- лигаза (ADP)

- Для ферментов этого класса сохраняются тривиальные названия: **синтетазы**. Рабочее название ферментов этого класса составляется, как правило, из названия продукта реакции в сочетании со словом **синтетаза**. Так, фермент с систематическим названием :L-глутамат-аммиак-лигаза (АДФ) имеет рабочее название **глутаминсинтетаза**.

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!!

Сколько веществ вступает в реакцию?

Один

нет

Два

нет

три и более

да

Сколько продуктов образуется в ходе Реакции?

да

Сколько продуктов образуется в ходе Реакции?

да

Один из субстратов-АТФ (ГТФ, УТФ, ЦТФ)?

да

VI. ЛИГАЗЫ
Определяйте Подкласс.

нет

Один

Два

да

V. ИЗОМЕРАЗЫ
Определяйте Подкласс

нет

Один

Два

да

субстратов кислорода?

да

IV. ЛИАЗЫ
Определяйте Подкласс

нет

да

Один из субстратов вода?

да

ГИДРОЛАЗЫ
Определяйте Подкласс

нет

В реакции участвуют НАД⁺(НАДН), ФАД(ФАДН₂) или НАДФ⁺(НАДФН)?

да

I. ОКСИДОРЕДУКТАЗЫ
Определяйте Подкласс

нет

II. ТРАНСФЕРАЗЫ
Определяйте Подкласс