



# ФЕРМЕНТЫ

Дисциплина: «Статическая биохимия»  
Лекция № 5 для студентов 2 курса, обучающихся  
по специальности 31.05.02 - Педиатрия

к.б.н. Пожиленкова Елена Анатольевна  
(Кафедра биологической химии с курсом медицинской,  
фармацевтической и токсикологической химии)

# Определение

ФЕРМЕНТЫ (от лат. fermentum - закваска) (энзимы), белки, выполняющие роль катализаторов в живых организмах.

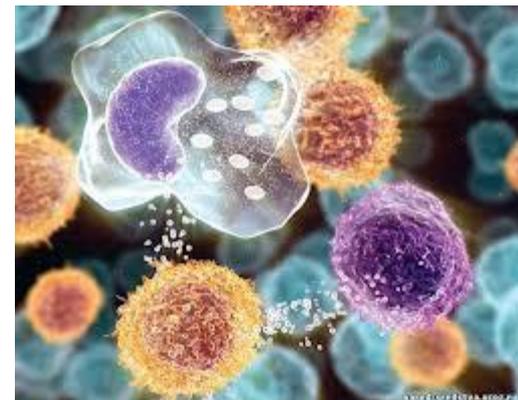
E (Enzyme) — ферменты

# ЭНЗИМОЛОГИЯ

- **1814 К. Кирхгоф** описал превращение крахмала в сахар под действием водных вытяжек из проростков ячменя.
- **1833 А. Пайен и Ж. Персо** выделили фермент амилазу.
- **1836 Т. Шванн** обнаружил и описал пепсин
- **1836 Пуркин и И. Паппенгей** охарактеризовали трипсин.

# ЭНЗИМОЛОГИЯ

- **1897** братья **Г. и Э. Бухнеры** выделили из дрожжей растворимый препарат (зимазу), вызывавший спиртовое брожение.
- спор **Л. Пастера** и **Ю. Либиха**



# ЭНЗИМОЛОГИЯ

- **В кон. 19 в. Э. Фишер** предложил первую теорию специфичности ферментов.
- **В 1913 Л. Михаэлис** сформулировал общую теорию кинетики ферментативных реакций.
- **В 1926** впервые были получены ферменты в кристаллическом виде: Дж. Самнером (уреаза) и Дж. Нортропом в 1930 (пепсин).

# ЭНЗИМОЛОГИЯ

**В 1960 У. Стейн и С. Мур** установили первичную структуру (аминокислотную последовательность) ферментов для рибонуклеазы А

**В 1969 Р. Меррифилд** осуществил химический синтез этого фермента.

**В 1965 Д. Филлипс** впервые установил пространственное строение (третичную структуру) фермента лизоцима.



# Особенности ферментов

- Ферменты — значительно эффективней (в  $10^{14}$  –  $10^{15}$  раз) небиологических катализаторов.
- Высокоспецифичны — действуют на определенный тип связи
- Действуют в мягких условиях pH и t
- Регулируются

# Свойства ферментов

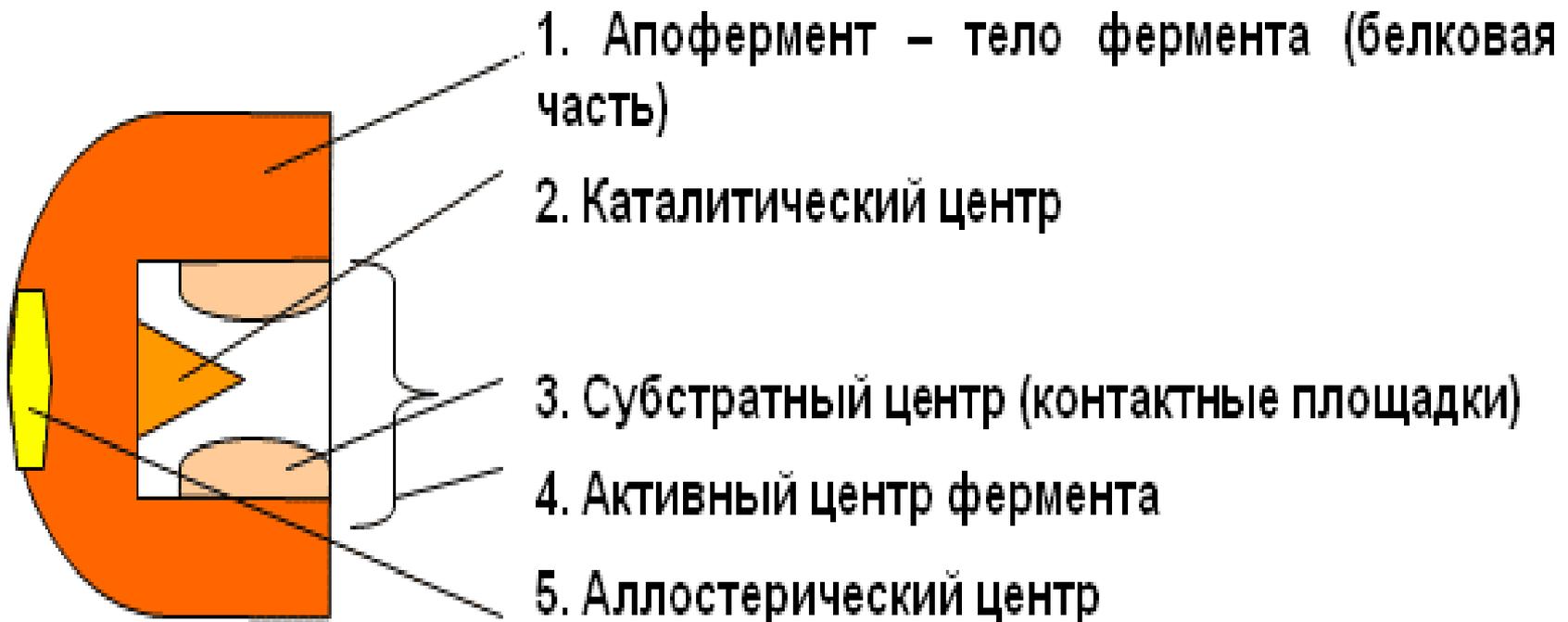
- Ферменты — катализаторы химических реакций в живых клетках
- Ферменты действуют на определенные субстраты
- Ферменты - белки

# Строение ферментов

# Строение ферментов



# Строение ферментов

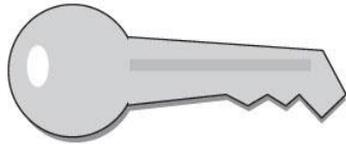


# Теория «жесткой матрицы»

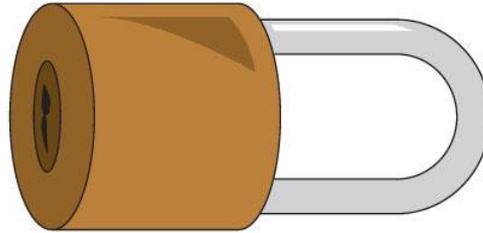
Теория Фишера



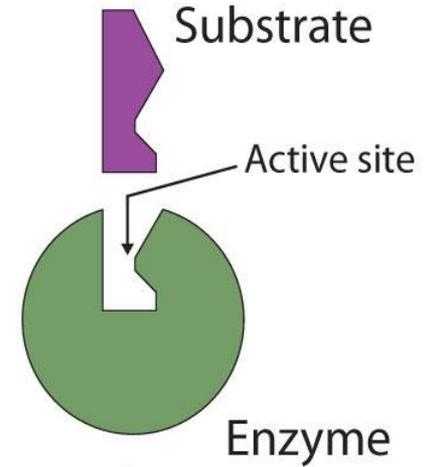
(a)



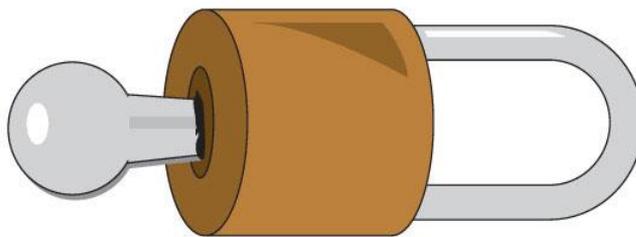
Key (substrate)



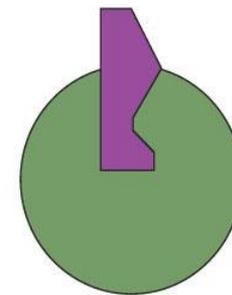
Lock (enzyme)



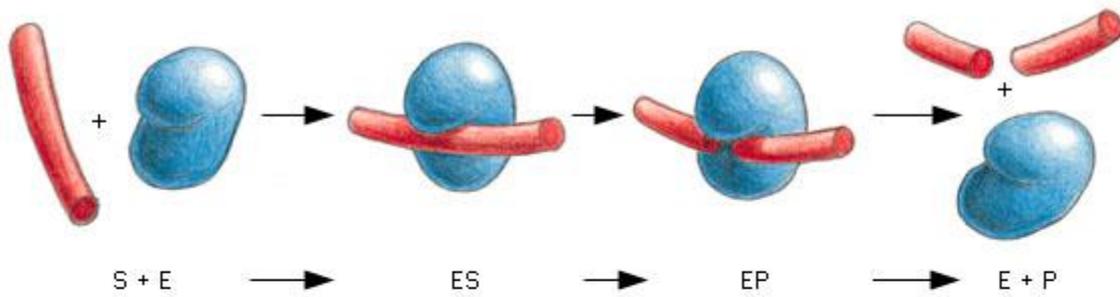
(b)



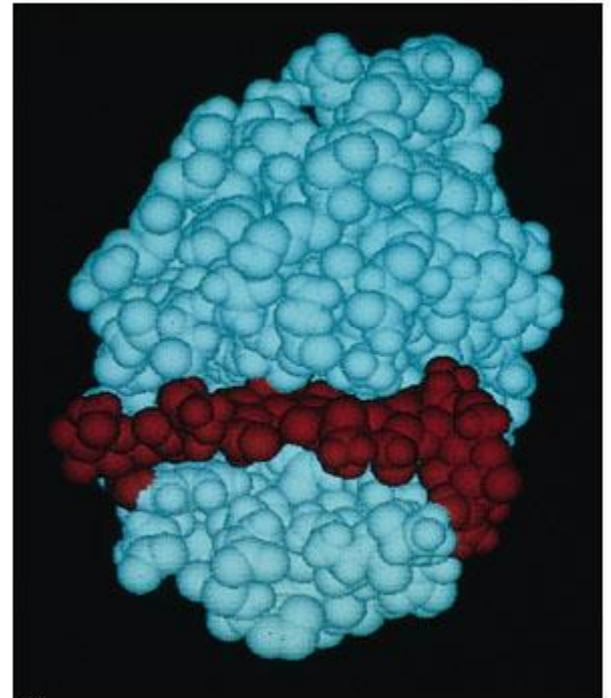
Lock-Key Complex



Enzyme-Substrate Complex



(A)



(B)

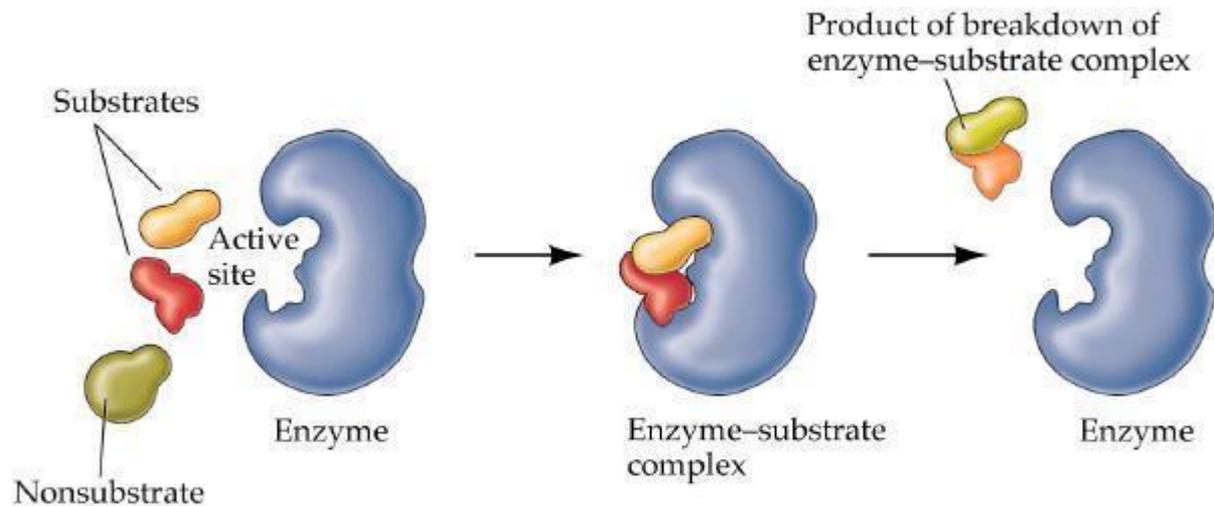
# Теория Кошланда

Фермент-субстратный  
КОМПЛЕКС



# Принцип действия

Образование  
фермент-субстратного  
комплекса



# Механизм действия

Энергия активации



# Теория Михаэлис-Мэнтен

Структурно-функциональная организация ферментов  
Леонор Михаэлис и Мауде Леонора Мэнтен Берлин, 1912 г.

(a)



(b)



# Термодинамика

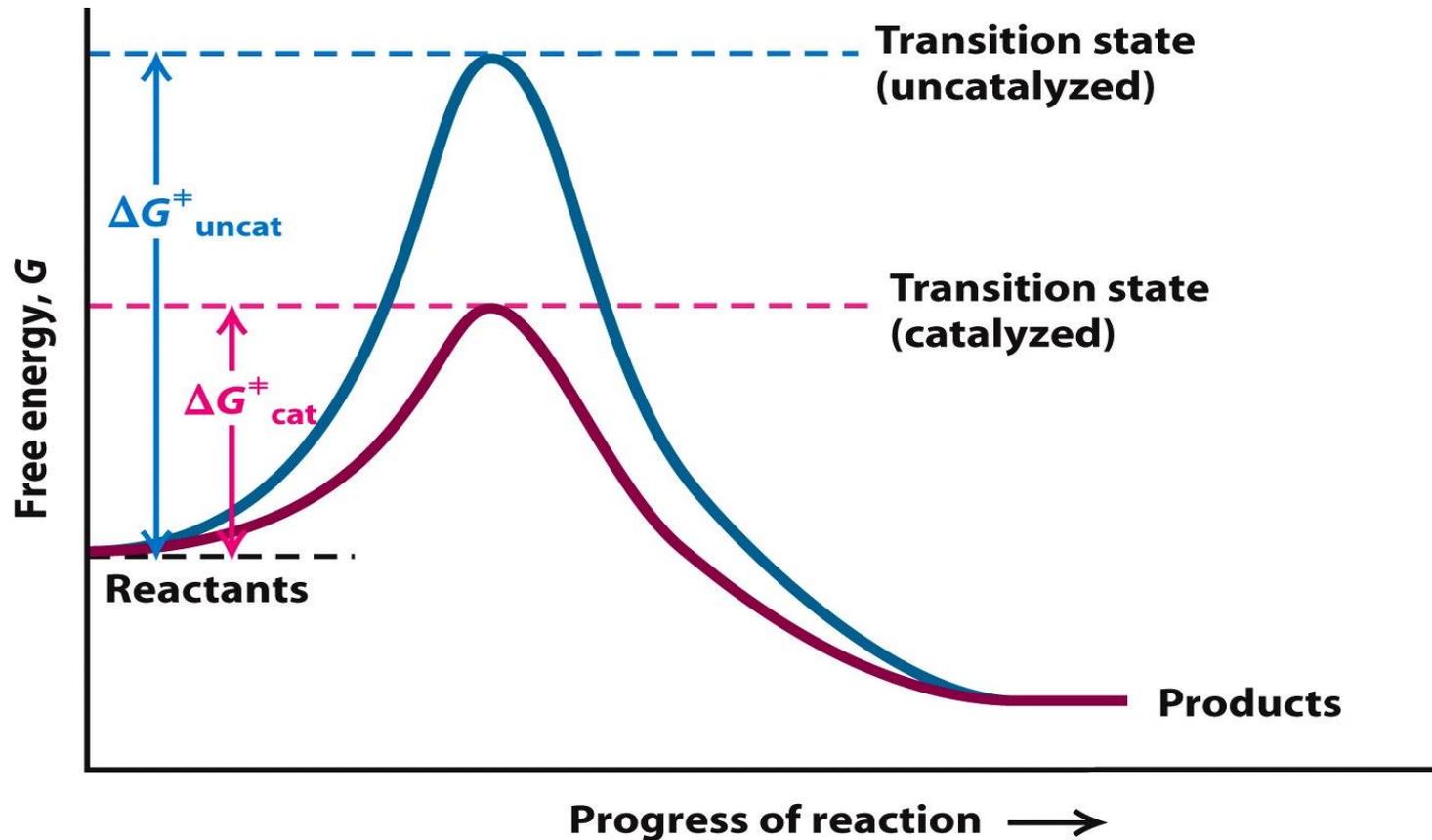


Figure 3-20  
*Molecular Cell Biology, Sixth Edition*  
© 2008 W. H. Freeman and Company

# Термодинамика

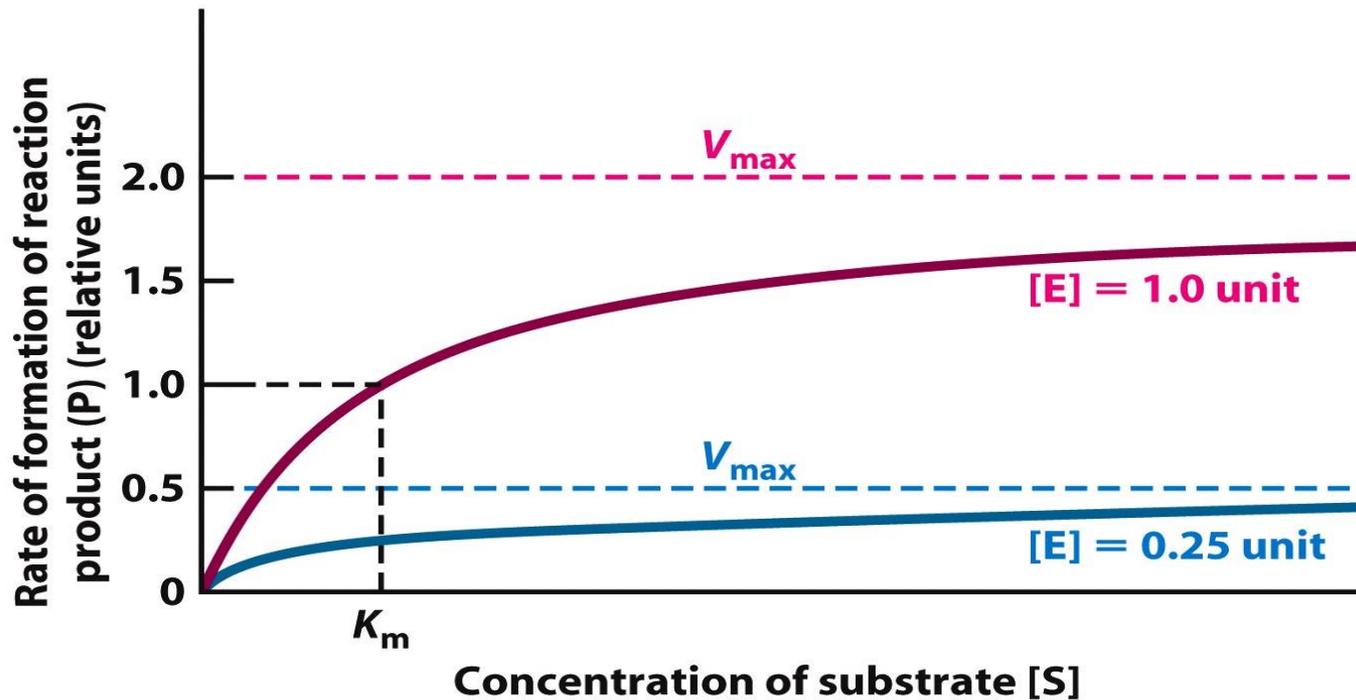


Figure 3-22a  
*Molecular Cell Biology, Sixth Edition*  
© 2008 W. H. Freeman and Company

# Термодинамика

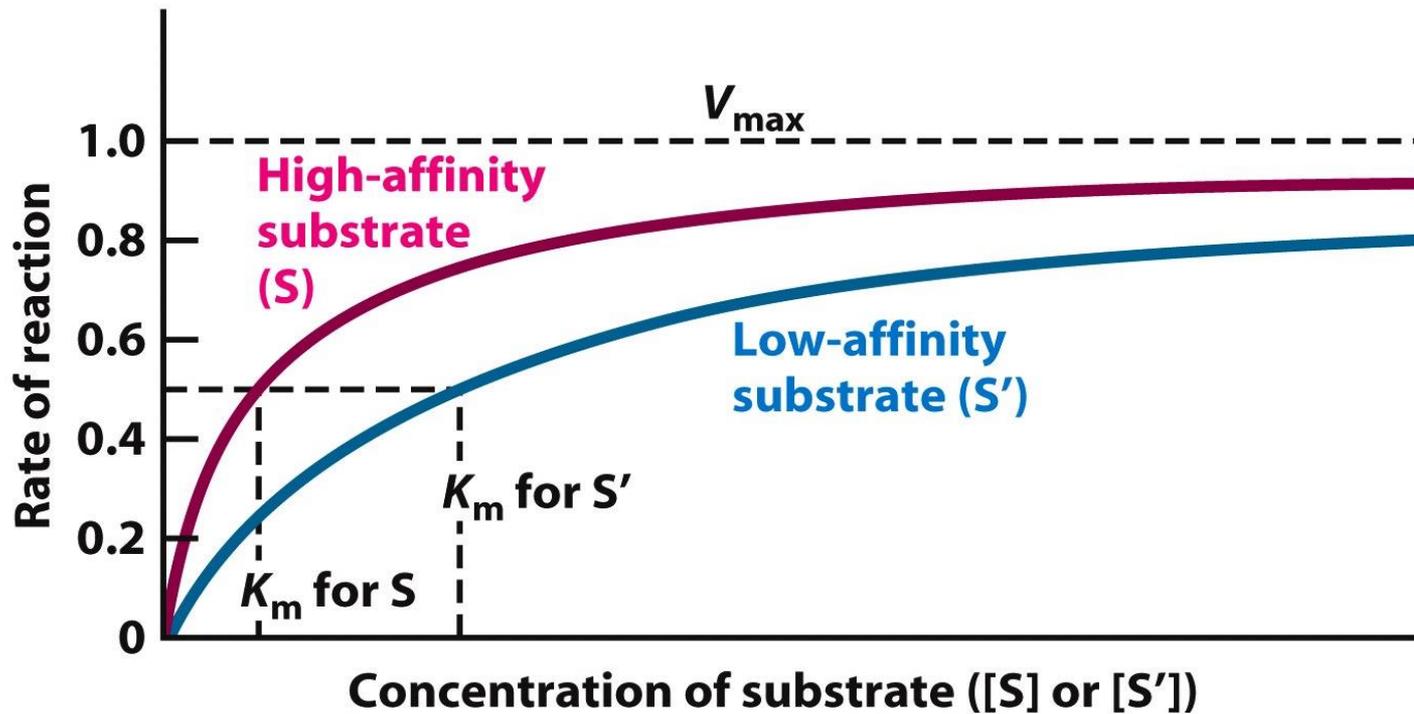


Figure 3-22b  
*Molecular Cell Biology, Sixth Edition*  
© 2008 W.H. Freeman and Company

# Термодинамика



# Термодинамика

Уравнение Михаэлиса-Ментен описывает зависимость скорости реакции от концентрации субстрата и, в частности, демонстрирует явление насыщения

$$v = \frac{V_m S}{S + K_M}$$

# Ферментативная активность

Скорость реакции указывают как изменение концентрации субстрата или продукта за единицу времени (моль/(л·с))

1 кат — это количество фермента, которое превращает 1 моль субстрата за 1 с.

Международная единица (Е) — количество фермента, превращающего 1 мкмоль субстрата в 1 мин (1 Е = 16,7 нкат).

# Ферментативная активность

Число оборотов  $k(\text{cat})$ , равно числу молекул субстрата, превращаемых в продукт одной молекулой фермента в единицу времени при условии насыщения фермента субстратом



# Классификация ферментов

Современные классификация и номенклатура ферментов были разработаны Комиссией по ферментам Международного биохимического союза и утверждены на V Международном биохимическом конгрессе в 1961 г. в Москве.

# Классификация ферментов

За основу классификации взяты 3 принципа:

- **химическая природа фермента**, т.е. принадлежность к флавопротеинам, пиридоксальфосфатпротеинам, гемопротеинам, металлопротеинам и т. д
- **химическая природа субстрата**, на который действует фермент
- **тип катализируемой реакции**, который является специфичным для действия любого фермента



# Классификация ферментов

- 1) оксидоредуктазы;
- 2) трансферазы;
- 3) гидролазы;
- 4) лиазы;
- 5) изомеразы;
- 6) лигазы (синтетазы)

# Оксидоредуктазы

Ферменты, катализирующие с участием двух субстратов окислительно-восстановительные реакции, лежащие в основе биологического окисления.

Систематические названия их составляют по форме «донор: акцептор оксидоредуктаза». Например, лактат: НАД<sup>+</sup> оксидоредуктаза для лактатдегидрогеназы (ЛДГ).

# Оксидоредуктазы

- **Аэробные дегидрогеназы или оксидазы**, катализируют перенос протонов (электронов) непосредственно на кислород;
- **Анаэробные дегидрогеназы**, ускоряющие перенос протонов (электронов) на промежуточный субстрат, но не на кислород;
- **Цитохромы**, катализирующие перенос только электронов. К этому классу относят также гемсодержащие ферменты каталазу и пероксидазу, катализирующие реакции с участием перекиси водорода.

# Трансферазы

Ферменты, катализирующие реакции межмолекулярного переноса различных атомов, групп атомов и радикалов (CH<sub>3</sub>, COOH, NH<sub>2</sub>, CHO и др.).

Наименование их составляется по форме «донор: транспортируемая группа – трансфераза».

# Трансферазы

Различают трансферазы, катализирующие перенос:

- Одноуглеродных остатков - метил- и формилтрансферазы,
- Ацильных - ацетилтрансферазы,
- гликозильных,
- Альдегидных или кетонных,
- Нуклеотидных остатков,
- Азотистых групп - амино-трансферазы,
- Остатков фосфорной и серной кислот — фосфо- и тиотрансферазы

# Гидролазы

Группа ферментов, катализирующих расщепление внутримолекулярных связей органических веществ при участии молекулы воды.

Наименование их составляют по форме «субстрат-гидролаза».

# Гидролазы

К ним относятся:

- **зстеразы** – ферменты, катализирующие реакции гидролиза и синтеза сложных эфиров;
- **гликозидазы**, ускоряющие разрыв гликозидных связей;
- **фосфатазы и пептидгидролазы**, катализирующие гидролиз фосфоангидридных и пептидных связей;
- **амидазы**, ускоряющие разрыв амидных связей, отличных от пептидных, и др.

# Лиазы

Ферменты, катализирующие разрыв связей С—О, С—С, С—N и других, а также обратимые реакции отщепления различных групп от субстратов не гидролитическим путем.

Эти реакции сопровождаются образованием двойной связи или присоединением групп к месту разрыва двойной связи.

Эти ферменты могут отщеплять  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{NH}_3$ . Ферменты обозначают термином «субстрат-лиазы».

# Лиазы

Ферменты обозначают термином «субстрат-лиазы».

Например, фумарат-гидратаза (систематическое название «L-малат-гидролаза») катализирует обратимое отщепление молекулы воды от яблочной кислоты с образованием фумаровой кислоты. В эту же группу входят декарбоксилазы (карбокси-лиазы), амидин-лиазы и др.

# Изомеразы

Ферменты, катализирующие взаимопревращения оптических и геометрических изомеров.

Систематическое название их составляют с учетом типа реакции: «субстрат – цис-транс-изомераза».

Если изомеризация включает внутримолекулярный перенос группы, фермент получает название «мутаза».

# Изомеразы

К этому же классу относят:

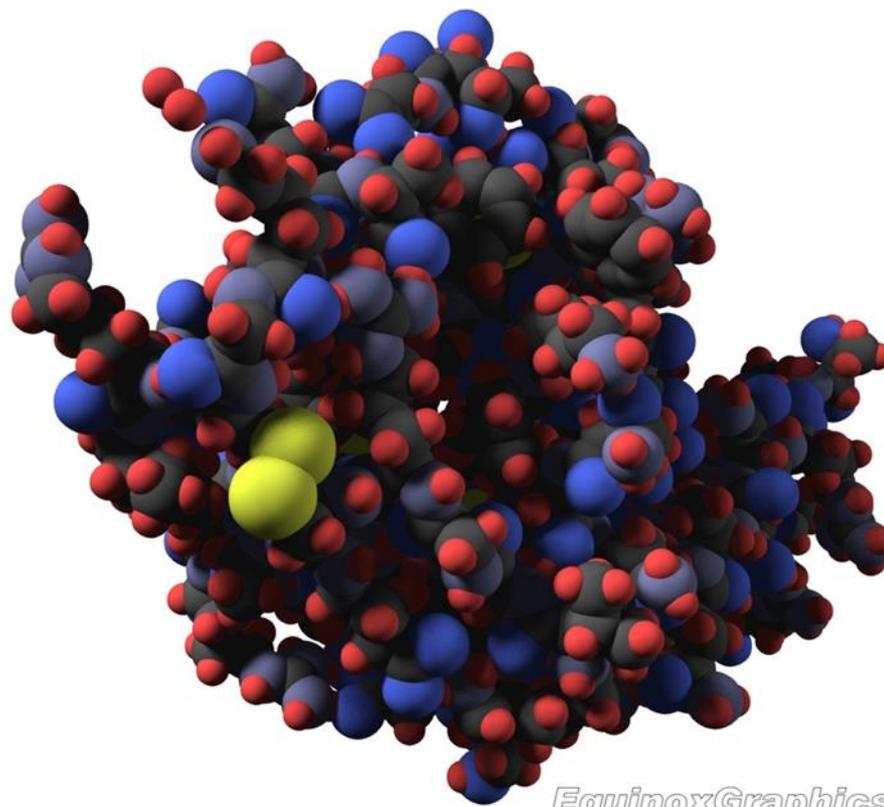
- **рацемазы и эпимеразы**, действующие на аминокислоты и оксикислоты, углеводы и их производные;
- **внутримолекулярные оксидоредуктазы**, катализирующие взаимопревращения альдоз и кетоз;
- **внутримолекулярные трансферазы**, переносящие ацильные, фосфорильные и другие группы, и т.д.

# Лигазы (синтетазы)

Ферменты, катализирующие синтез органических веществ из двух исходных молекул с использованием энергии распада АТФ (или другого нуклеозидтрифосфата).

Систематическое название их составляют по форме «X : Y лигаза», где X и Y обозначают исходные вещества.

Например, L-глутамат: аммиак лигазу (рекомендуемое сокращенное название «глутаминсинтетаза»), при участии которой из глутаминовой кислоты и аммиака в присутствии АТФ синтезируется глутамин.



*EquinoxGraphics.net*

**Благодарю за внимание!**