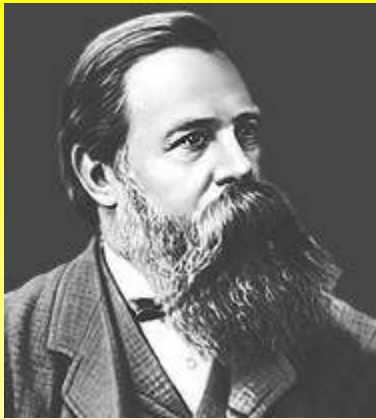


# Тема: «Биополимеры. Белки. Строение, свойства и функции белков»

## Задачи:

Изучить особенности строения белков, их свойства и функции.



«Жизнь есть способ существования белковых тел, существенным моментом которого является постоянный обмен веществ с окружающей их внешней природой, причем с прекращением этого обмена веществ прекращается и жизнь, что приводит к разложению белка». Ф. Энгельс

«Живые тела, существующие на Земле, представляют собой открытые, саморегулирующиеся и самовоспроизводящиеся системы, построенными из биополимеров – белков и нуклеиновых кислот».  
М. В. Волькенштейн

***Содержание в клетках химических соединений***  
*(в % от сырой массы)*

Неорганические соединения		Органические соединения	
Вода	75 - 85 %	Белки	10 - 15 %
Неорганические вещества	1,0 - 1,5 %	Жиры	1 - 5 %
		Углеводы	0,2 - 2,0 %
		Нуклеиновые кислоты	1 - 2 %
		Низкомолекулярные органические соединения	0,1 - 0,5 %

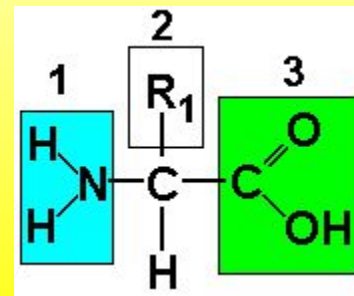
## Общая характеристика белков

Из органических веществ клетки по количеству и значению на первом месте стоят белки (10-20% от массы клетки).

В состав простых белков входят: C, H, O, N, S. Часть белков образует комплексы с другими молекулами, содержащими фосфор, железо, цинк и медь.

Белки обладают огромной молекулярной массой: молекулярная масса альбумина (одного из белков яйца) — 36000, гемоглобина — 152000, миозина (одного из белков мышц) — 500000. Для сравнения: молекулярная масса спирта — 46, уксусной кислоты — 60, бензола — 78.

Белки являются *непериодическими полимерами*, мономерами которых являются 20 видов  $\alpha$ -аминокислот.



## Общая характеристика белков

В зависимости от того, могут ли аминокислоты синтезироваться в организме, различают: *заменяемые аминокислоты* — десять аминокислот, синтезируемых в организме; *незаменимые аминокислоты*, которые в организме не синтезируются. Незаменимые аминокислоты должны поступать в организм вместе с пищей.

В зависимости от аминокислотного состава, белки бывают: *полноценными*, если содержат весь набор незаменимых аминокислот; *неполноценными*, если в их составе отсутствует хотя бы одна незаменимая аминокислота.

Различают *простые белки* — белки, состоящие только из аминокислот (фибрин, трипсин) и *сложные* — белки, содержащие помимо аминокислот еще и небелковую — *простетическую группу*.

Она может быть представлена ионами металлов (*металлопротеины* — гемоглобин), углеводами (*гликопротеины*), липидами (*липопротеины*), нуклеиновыми кислотами (*нуклеопротеины*).

# Аминокислоты

Все аминокислоты содержат хотя бы одну карбоксильную группу (-COOH) и одну аминогруппу (-NH<sub>2</sub>). Остальная часть молекулы представлена R-группой.

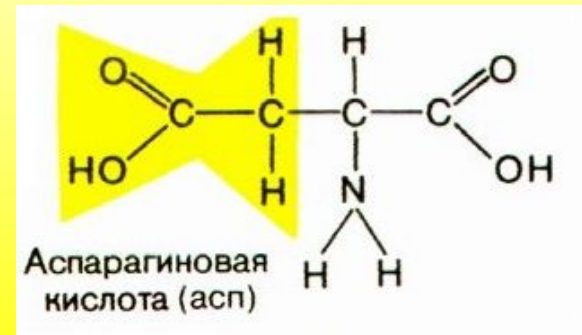
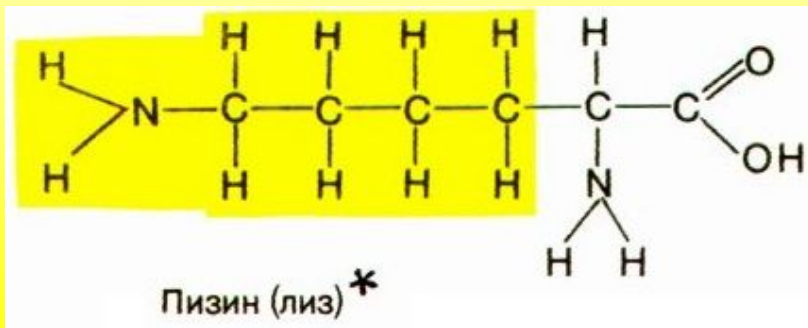
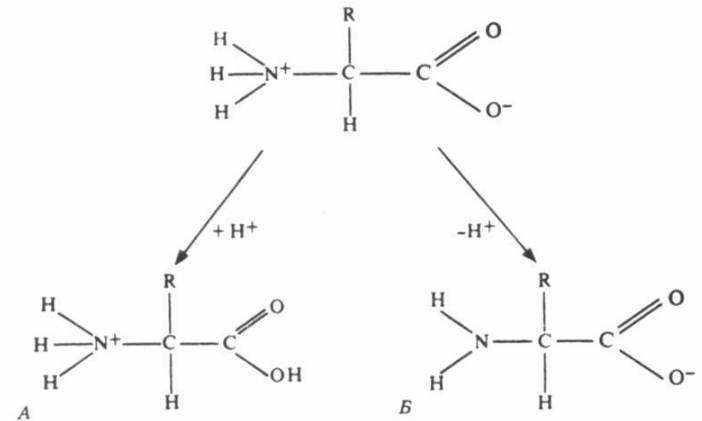
В зависимости от количества аминогрупп и карбоксильных групп, входящих в состав аминокислот, различают:

**нейтральные аминокислоты**, имеющие одну карбоксильную группу и одну аминогруппу;

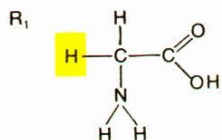
**основные аминокислоты**, имеющие более одной аминогруппы;

**кислые аминокислоты**, имеющие более одной карбоксильной группы.

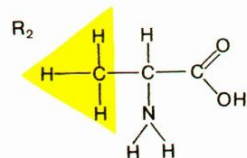
Рис. 5.24. Нейтральная цвиттерионная форма аминокислоты.



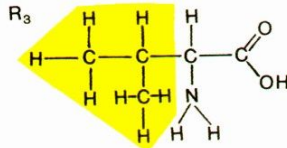
# Аминокислоты



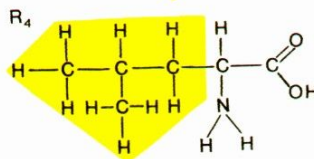
Глицин (гли)



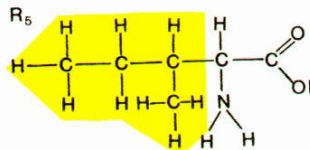
Аланин (ала)



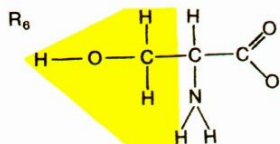
Валин (вал) \*



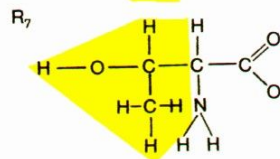
Лейцин (лей) \*



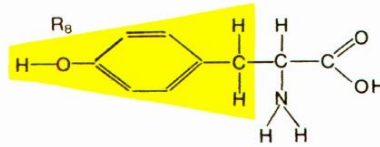
Изолейцин (илей) \*



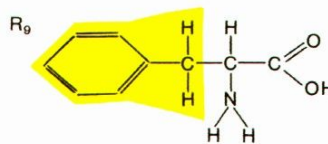
Серин (сер)



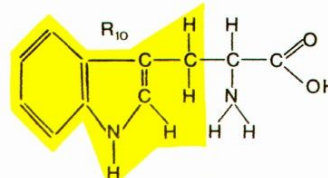
Треонин (тре) \*



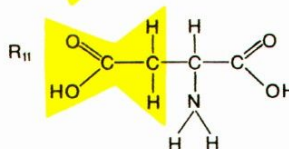
Тирозин (тир)



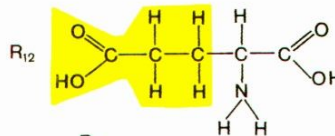
Фенилаланин (Фен) \*



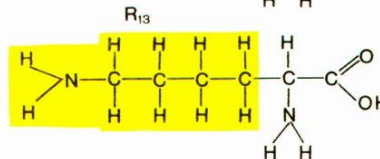
Триптофан (трп) \*



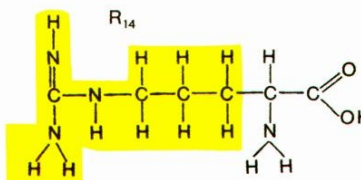
Аспарагиновая кислота (асп)



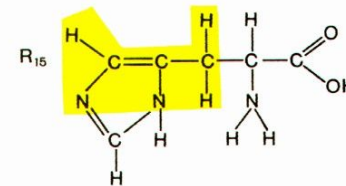
Глутаминовая кислота (глу)



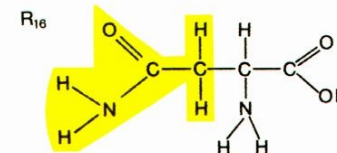
Лизин (лиз) \*



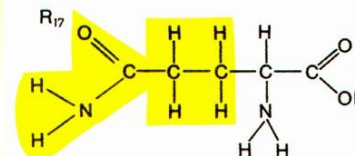
Аргинин (арг) \*



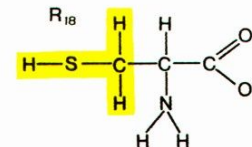
Гистидин (гис) \*



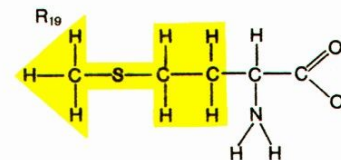
Аспарагин (асн)



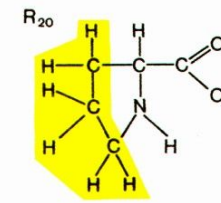
Глутамин (гln)



Цистеин (цис)

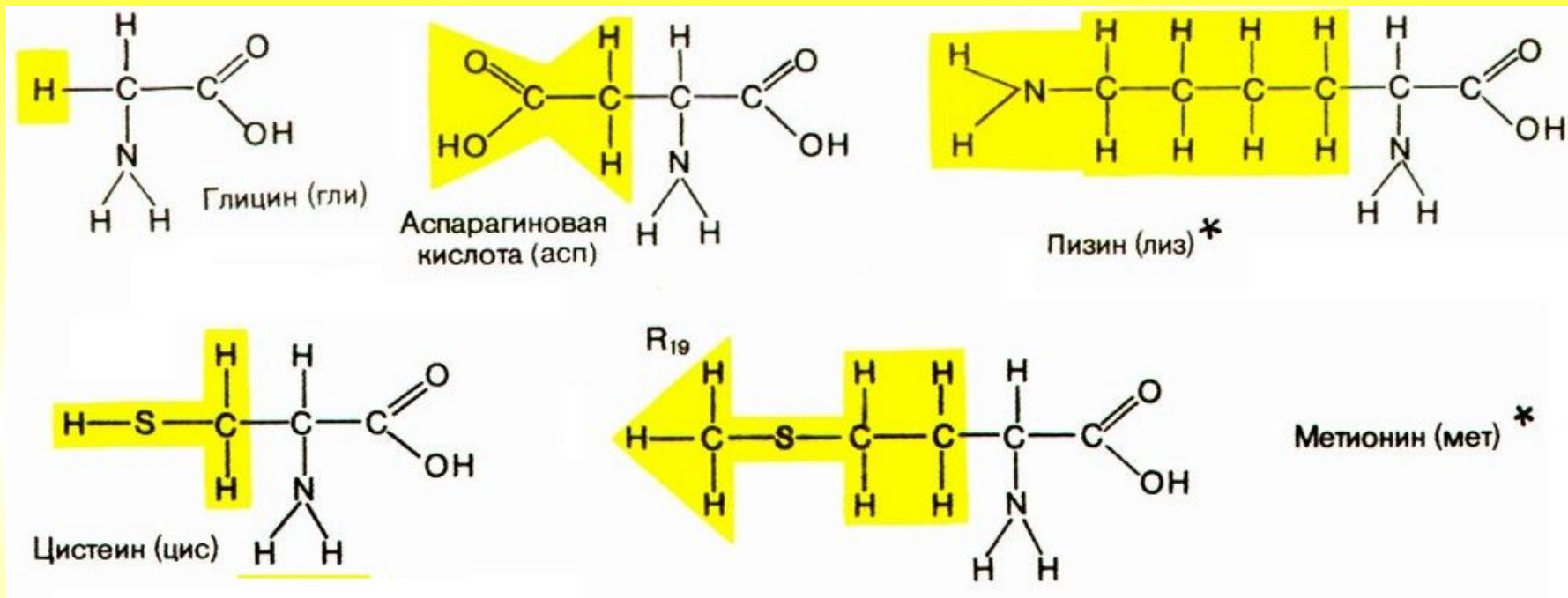


Метионин (мет) \*



Пролин (про)

# Аминокислоты



Нейтральные аминокислоты?

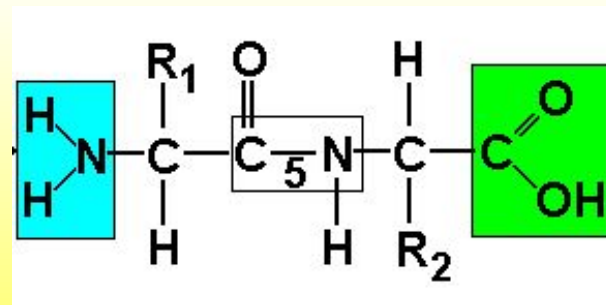
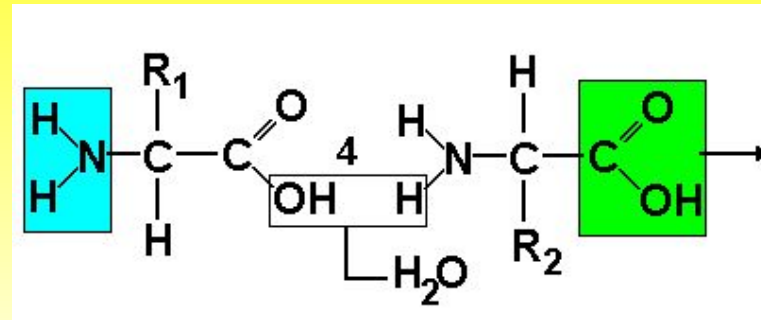
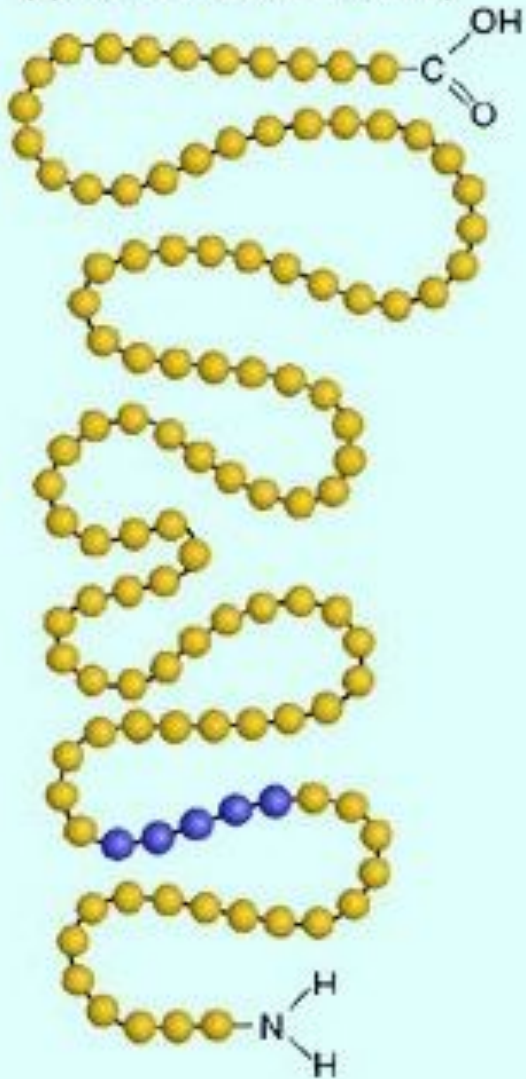
Основные аминокислоты?

Кислые аминокислоты?

Серусодержащие аминокислоты?

# Структуры белковых молекул

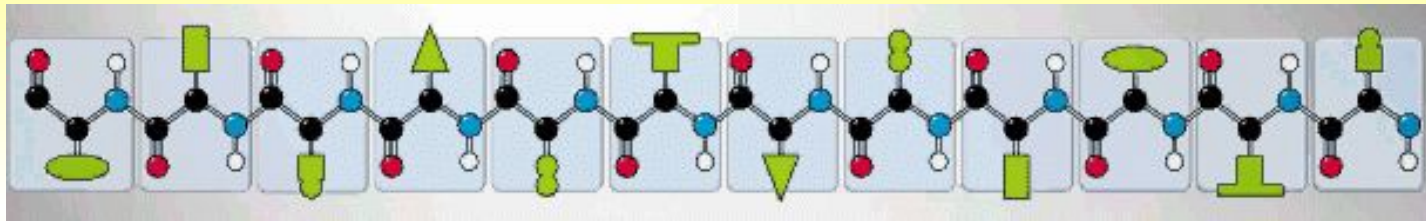
Первичная структура  
(цепочка аминокислот)





# Структуры белковых молекул

Выделяют 4 уровня пространственной организации белков. Под *первичной структурой* белка понимают последовательность расположения аминокислотных остатков в одной или нескольких полипептидных цепях, составляющих молекулу белка.



Первым белком, у которого была выявлена аминокислотная последовательность, стал гормон **инсулин**. Исследования проводились в Кембриджском университете Ф.Сэнгером с 1944 по 1954 год.

Было выявлено, что молекула инсулина состоит из двух полипептидных цепей (21 и 30 аминокислотных остатков), удерживаемых около друг друга дисульфидными мостиками. За свой кропотливый труд Ф.Сэнгер был удостоен Нобелевской премии.

## Структуры белковых молекул

В организме человека обнаружено порядка 10 тыс. различных белков. Имея всего лишь 20 аминокислот, можно составить из них огромное количество самых разнообразных комбинаций. Так, если молекула белка состоит всего из 10 аминокислотных остатков, то число теоретически возможных вариантов белковых молекул, отличающихся порядком чередования аминокислот, —  $20^{10}$ . Белки же, выделенные из живых организмов, образованы сотнями, а иногда и тысячами аминокислотных остатков.

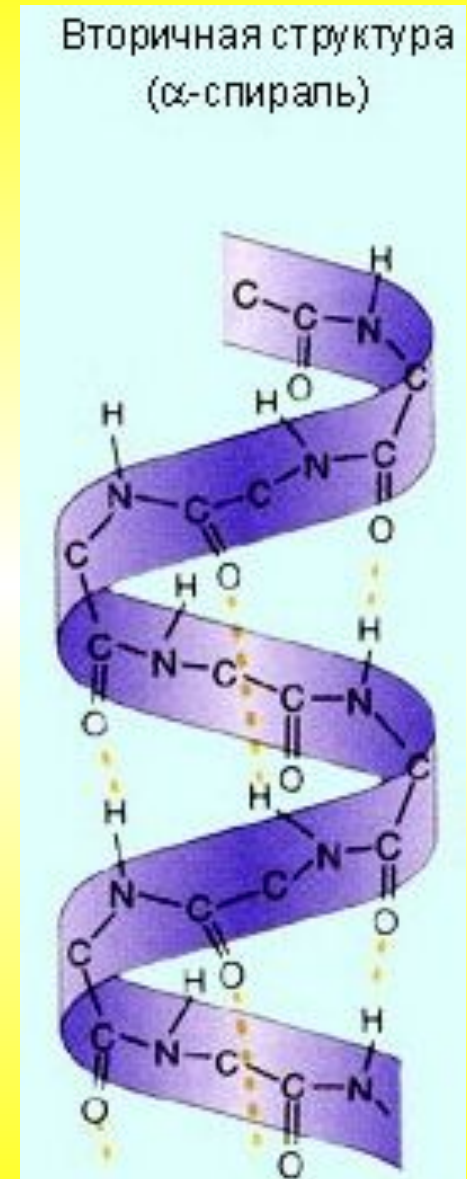
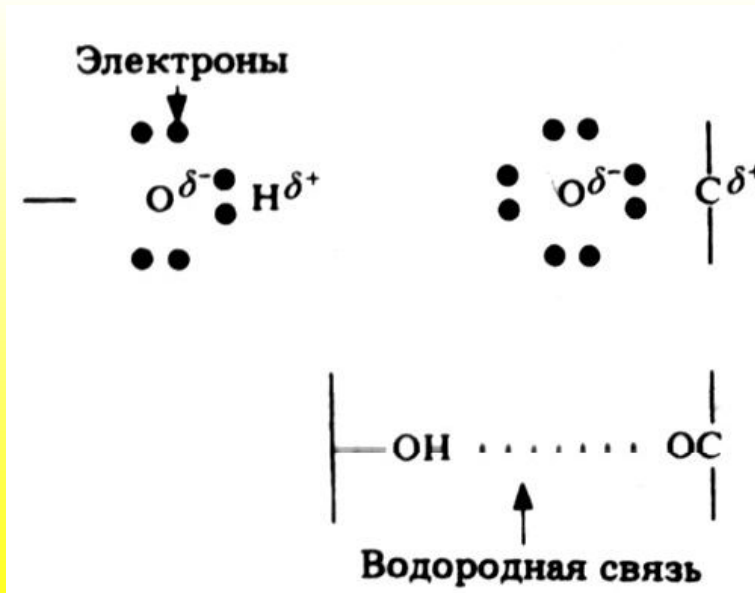
**Первичная структура** белковой молекулы определяет свойства молекул белка и ее пространственную конфигурацию. Замена всего лишь одной аминокислоты на другую в полипептидной цепочке может привести к изменению свойств и функций белка.

Лишь незначительное количество белков имеет строго линейную структуру. Основная масса белков подвергается дальнейшей укладке, что приводит к образованию *вторичной структуры* белковой молекулы.

# Структуры белковых молекул

## Вторичная структура.

Основным вариантом вторичной структуры является  $\alpha$ -спираль, имеющая вид растянутой пружины. Она образована одной полипептидной цепью в результате возникновения внутримолекулярных водородных связей между карбоксильными группами и аминогруппами, расположенными на соседних витках спирали.

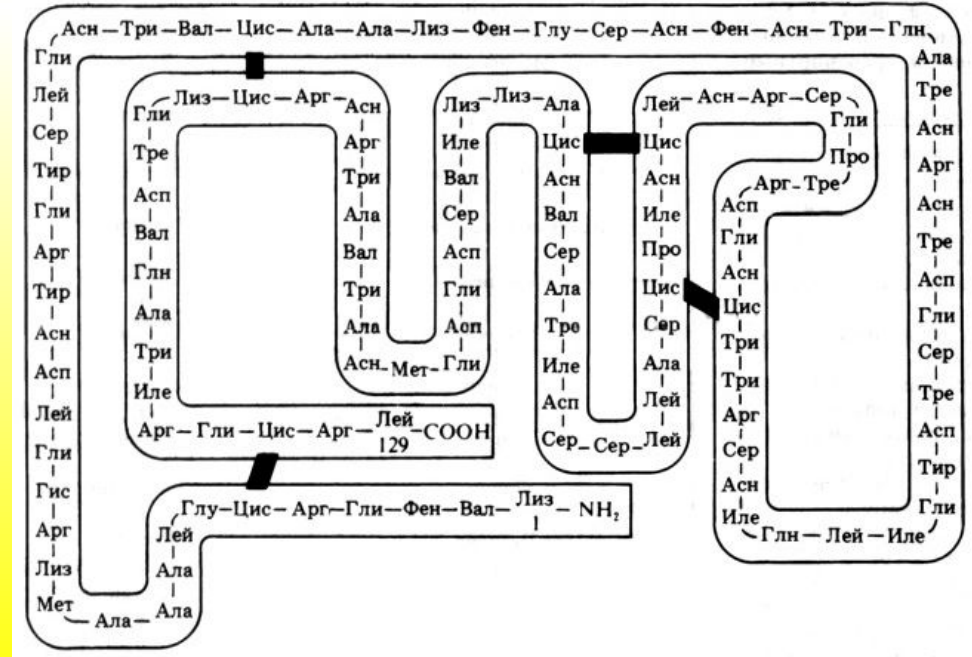


# Структуры белковых молекул

## Третичная структура.

Глобула, возникающая в результате возникновения химических связей (водородных, ионных, дисульфидных) и установления гидрофильно-гидрофобных взаимодействий. Гидрофобные боковые цепи стремятся спрятаться от воды, группируясь внутри, в то время как гидрофильные цепи в результате гидратации (взаимодействие с диполями воды) стремятся оказаться на поверхности молекулы. У некоторых белков третичная структура стабилизируется дисульфидными ковалентными связями.

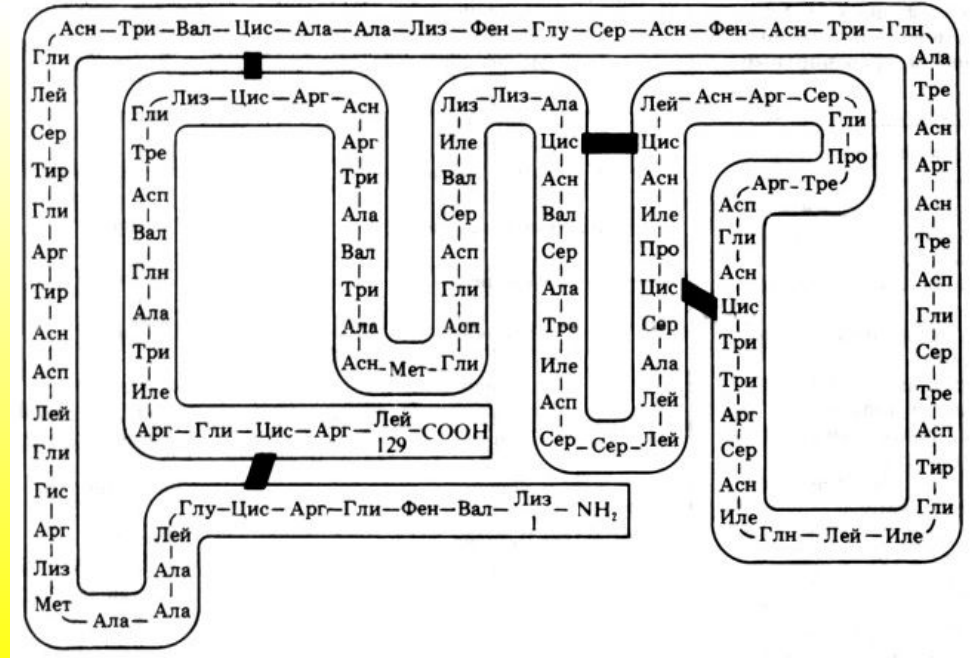
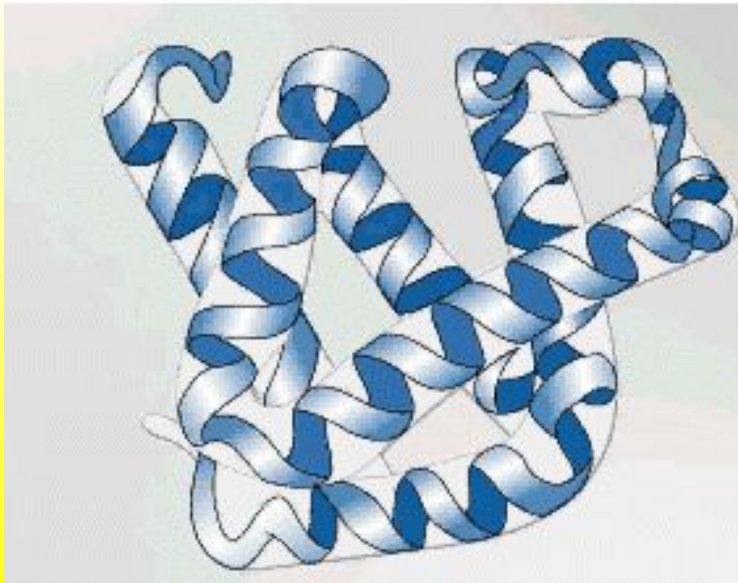
### Третичная структура белка



# Структуры белковых молекул



## Третичная структура белка

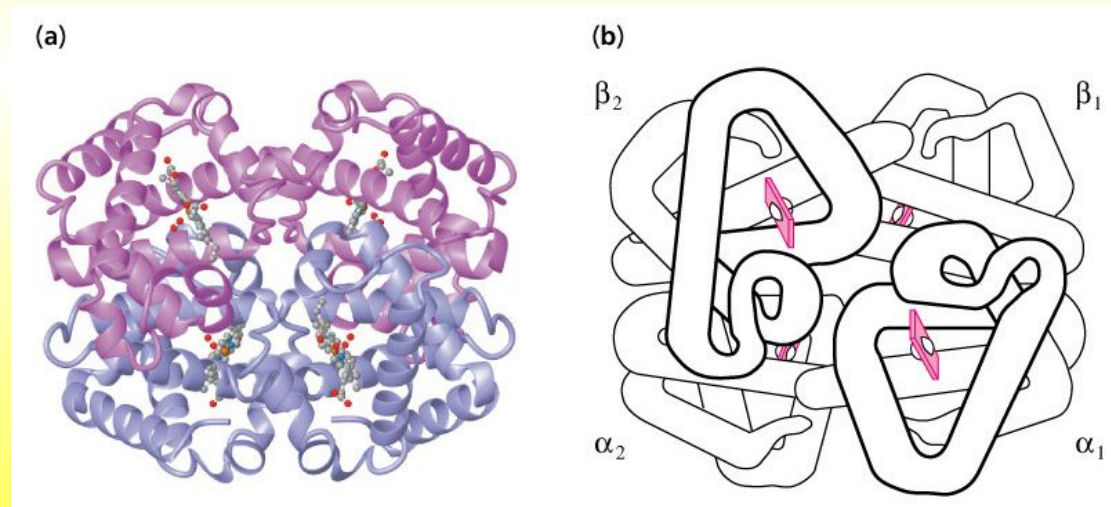


# Структуры белковых молекул

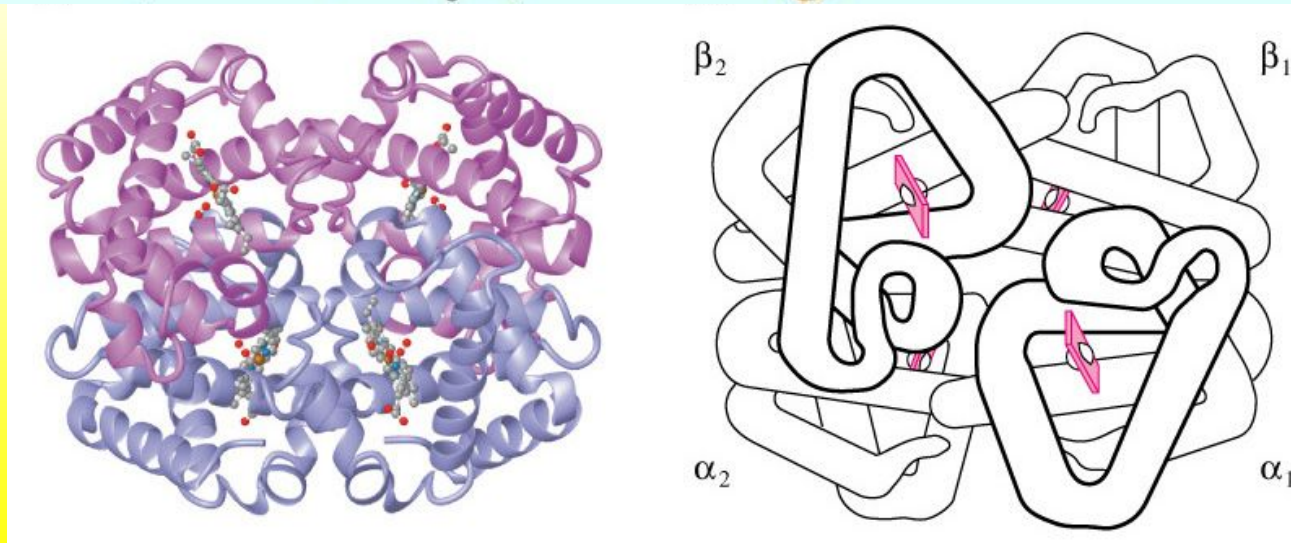
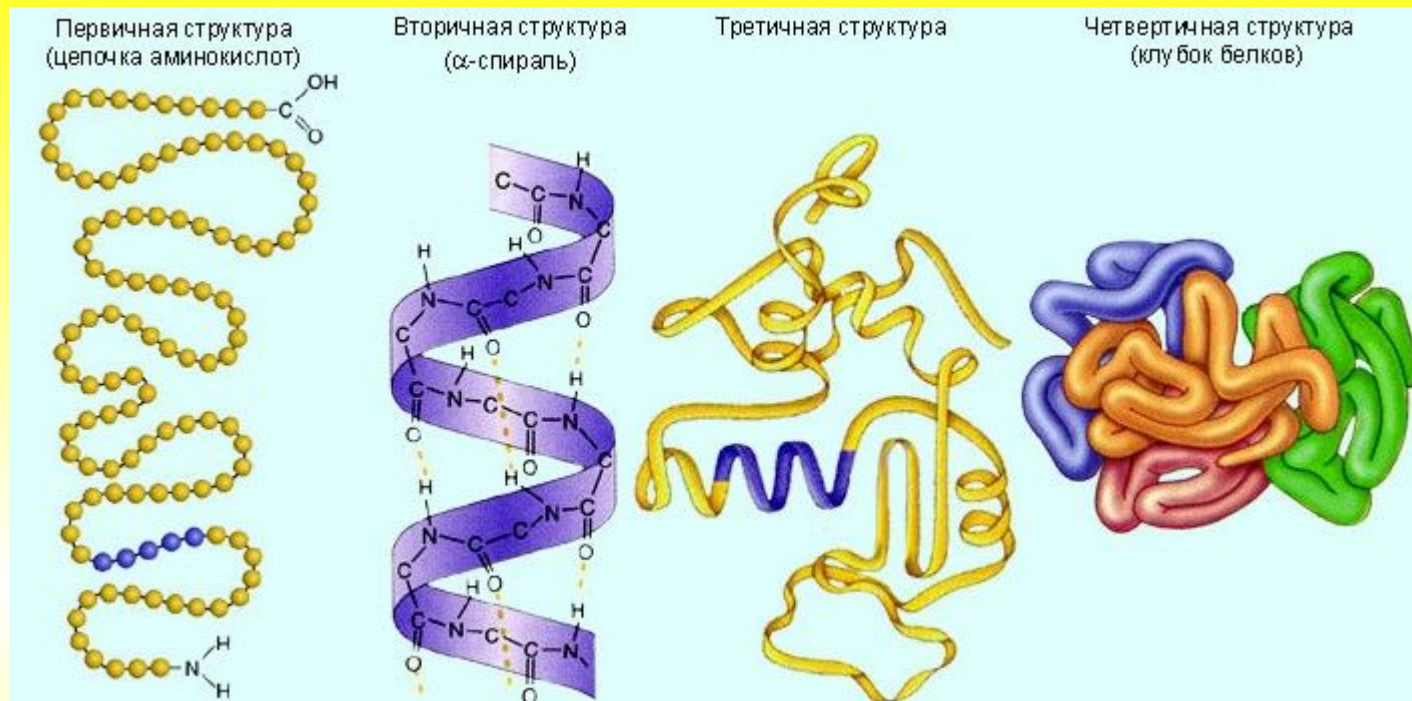
## Четвертичная структура.

Характерна для сложных белков, молекулы которых образованы двумя и более глобулами. Субъединицы удерживаются в молекуле благодаря нековалентным связям. В первую очередь водородным и гидрофобным.

Наиболее изученным белком, имеющим четвертичную структуру, является *гемоглобин*. Он образован двумя  $\alpha$ -субъединицами (141 аминокислотный остаток) и двумя  $\beta$ -субъединицами (146 аминокислотных остатков). С каждой субъединицей связана молекула *гема*, содержащая железо.



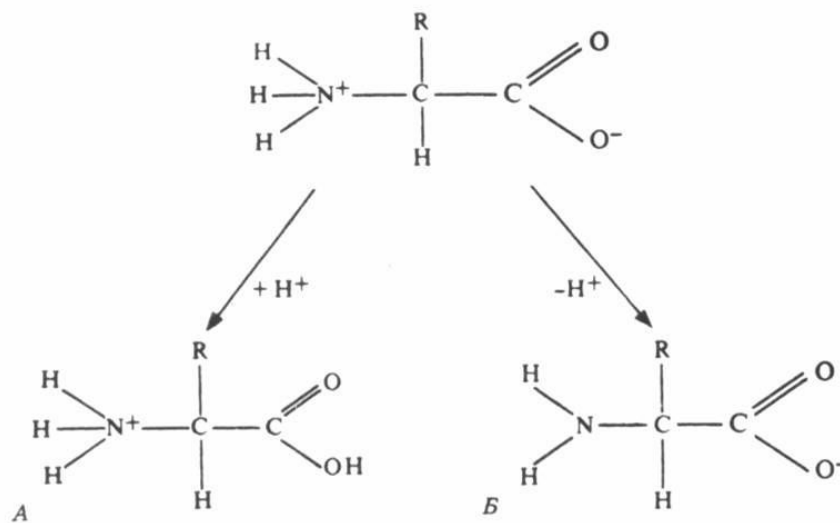
# Структуры белковых молекул



# Свойства белков

1. Белки являются *амфотерными соединениями*, сочетают в себе **основные** и **кислотные** свойства, определяемые радикалами аминокислот. Различают **кислые**, **основные** и **нейтральные** белки. Способность отдавать и присоединять  $H^+$  определяют *буферные свойства* белков, один из самых мощных буферов — гемоглобин в эритроцитах, поддерживающий рН крови на постоянном уровне.

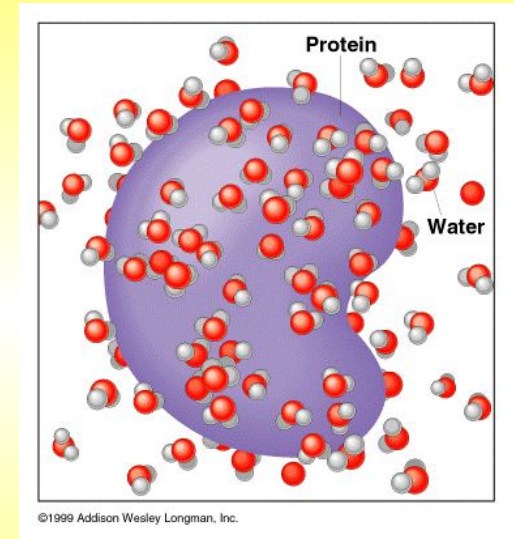
Рис. 5.24. Нейтральная цвиттерионная форма аминокислоты.





# Свойства белков

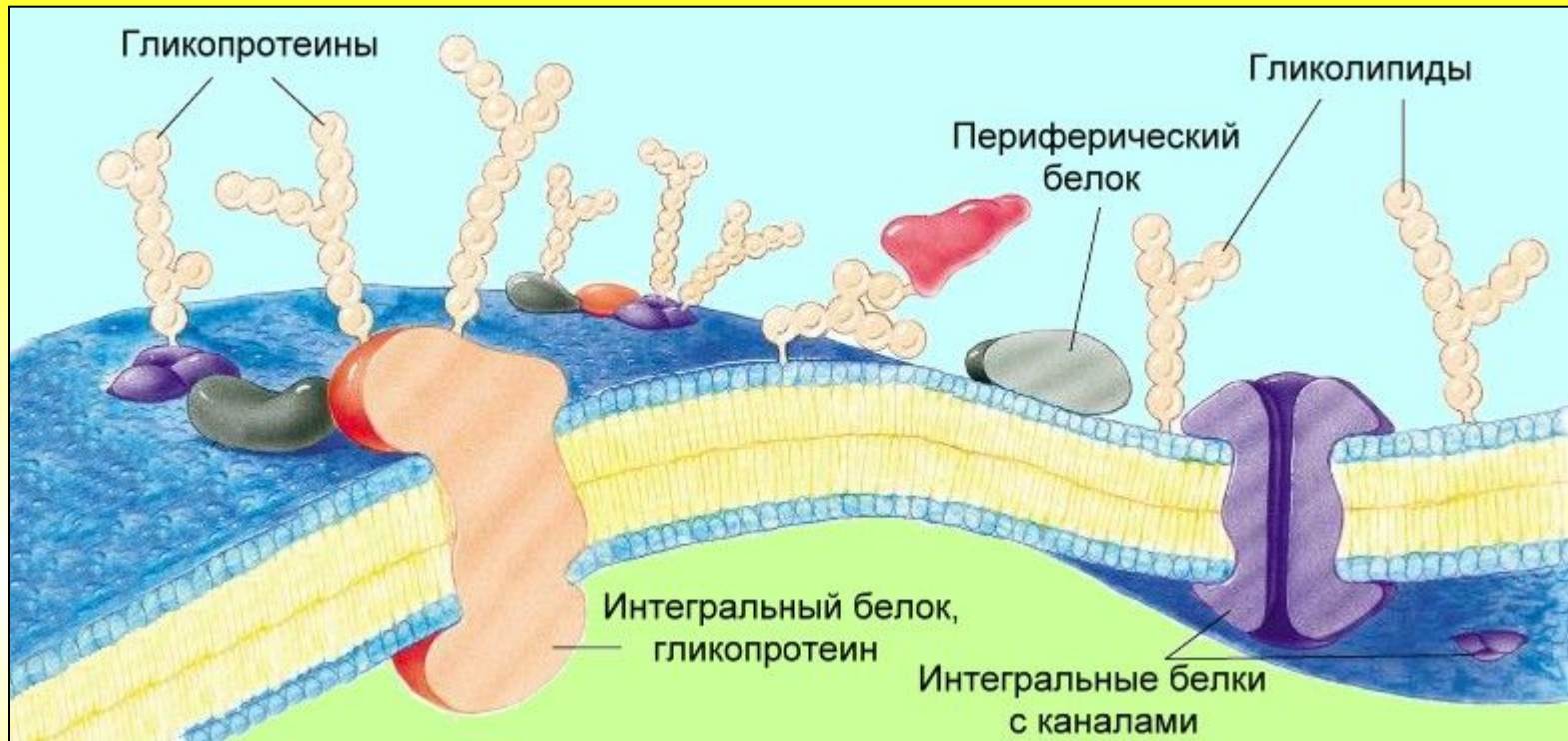
2. Есть белки *растворимые*, есть *нерастворимые* белки, выполняющие механические функции (фибруин, кератин, коллаген).
3. Есть белки необычайно химически *активные* (ферменты), есть химически *неактивные*.
4. Есть *устойчивые* к воздействию различных условий внешней среды и крайне *неустойчивые*. Внешние факторы (изменение температуры, солевого состава среды, pH, радиация) могут вызывать нарушение структурной организации молекулы белка.



## Свойства белков

5. Процесс утраты трехмерной конформации, присущей данной молекуле белка, называют *денатурацией*. Причиной денатурации является разрыв связей, стабилизирующих определенную структуру белка. Вместе с тем, *денатурация не сопровождается разрушением полипептидной цепи*. Изменение пространственной конфигурации приводит к изменению свойств белка и, как следствие, *делает невозможным выполнение белком свойственных ему биологических функций*.
- Денатурация может быть: *обратимой*, процесс восстановления структуры белка после денатурации называется *ренатурацией*. Если восстановление пространственной конфигурации белка невозможно, то денатурация называется *необратимой*.
6. Разрушение первичной структуры белковой молекулы называется *деградацией*.

# Функции белков



Благодаря сложности, разнообразию форм и состава, белки играют важную роль в жизнедеятельности клетки и организма в целом.

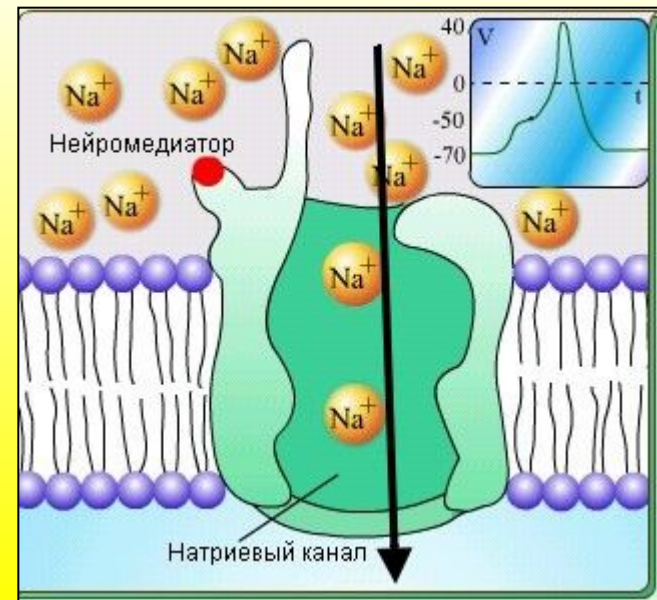
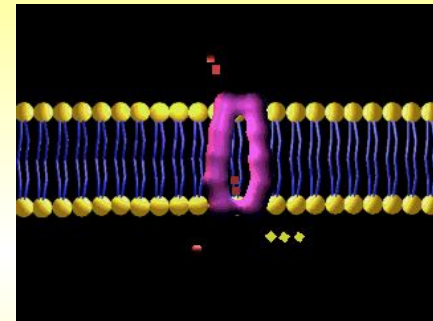
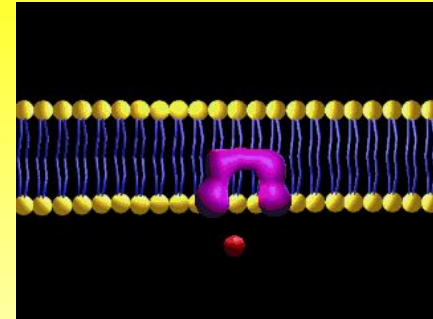
1. Одна из важнейших — *строительная*. Белки участвуют в образовании клеточных и внеклеточных структур: входят в состав клеточных мембран, шерсти, волос, сухожилий, стенок сосудов и т.д.

# Функции белков

2. *Транспортная*. Некоторые белки способны присоединять различные вещества и переносить их к различным тканям и органам тела, из одного места клетки в другое.

Например, белок крови *гемоглобин транспортирует  $O_2$  и  $CO_2$* ;

в состав клеточных мембран входят особые *белки, обеспечивают активный и строго избирательный перенос некоторых веществ и ионов* из клетки во внешнюю среду и обратно.

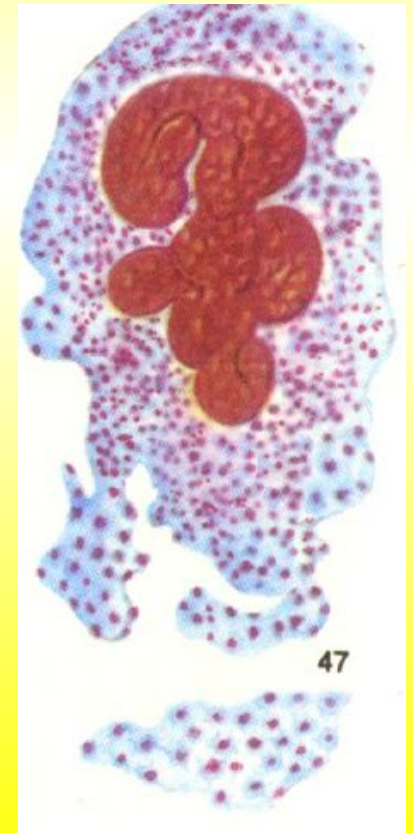
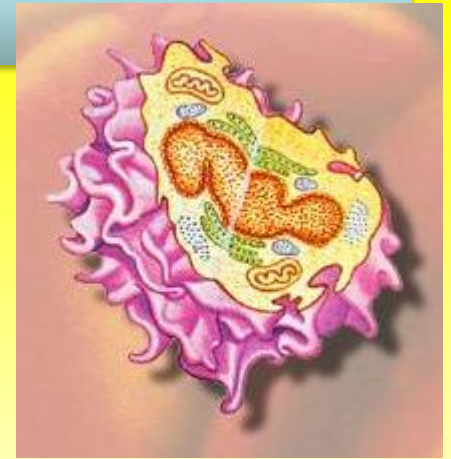


# Функции белков

3. **Регуляторная.** Большая группа белков организма принимает участие в регуляции процессов обмена веществ. Такими белками являются **гормоны** — биологически активные вещества, выделяющиеся в кровь железами внутренней секреции (гормоны гипофиза, поджелудочной железы).

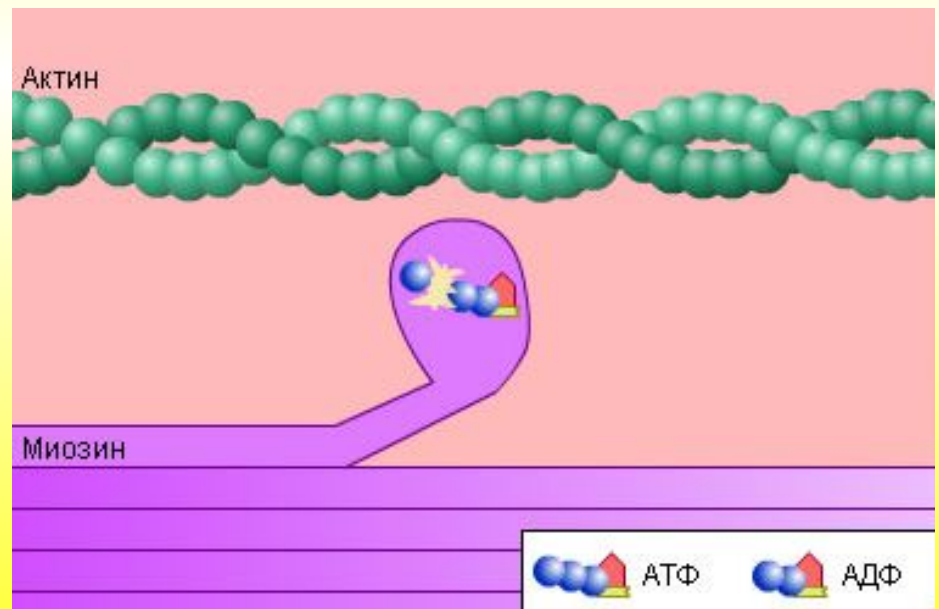
Например, гормон **инсулин** регулирует уровень сахара в крови путем повышения проницаемости клеточных мембран для глюкозы, способствует синтезу гликогена.

4. **Защитная.** В ответ на проникновение в организм чужеродных белков или микроорганизмов (антигенов) образуются особые белки — **антитела**, способные связывать и обезвреживать их. **Фибрин**, образующийся из **фибриногена**, способствует остановке кровотечений.



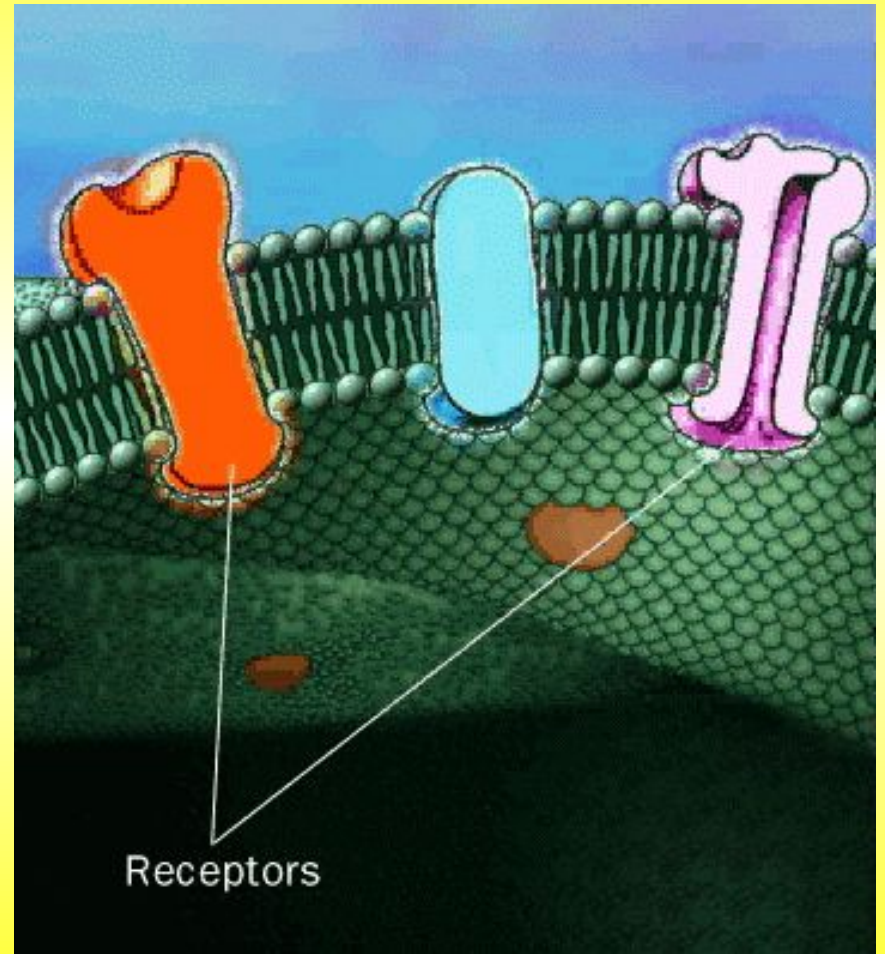
# Функции белков

5. *Двигательная*. Особые сократительные белки (**актин и миозин**) участвуют во всех видах движения клетки и организма: образовании псевдоподий, мерцании ресничек и биении жгутиков у простейших, сокращении мышц у многоклеточных животных, движении листьев у растений и др.



# Функции белков

6. Весьма важна для жизни клетки *сигнальная функция белков*. В поверхностную мембрану клетки встроены молекулы белков, способных изменять свою третичную структуру в ответ на действие факторов внешней среды. Так происходит прием сигналов из внешней среды и передача команд в клетку.

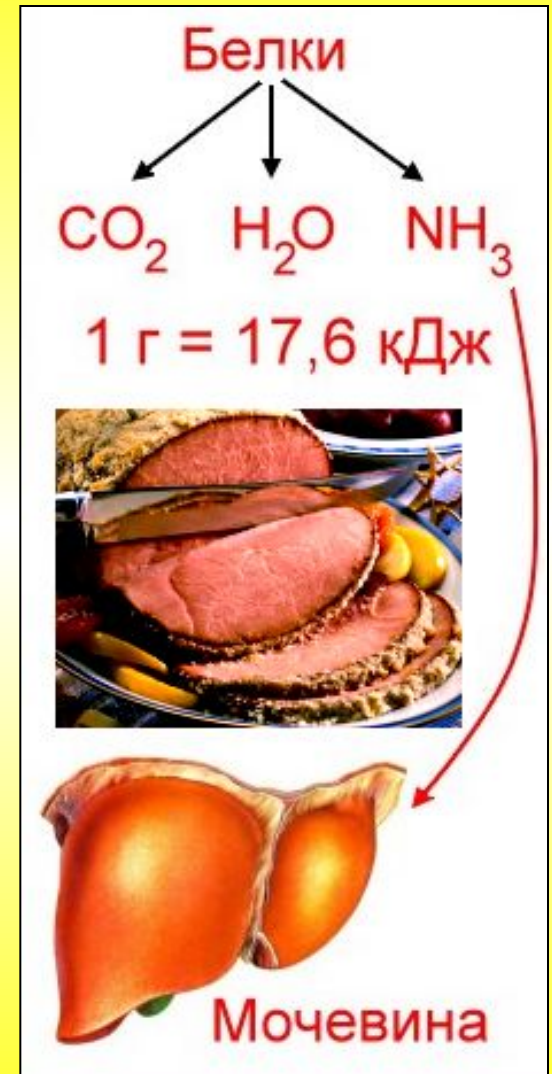


# Функции белков

7. **Запасяющая.** Благодаря белкам в организме могут откладываться про запас некоторые вещества. Например, при распаде гемоглобина железо не выводится из организма, а сохраняется в организме, образуя комплекс с белком **ферритином**. К запасным белкам относятся белки яйца, белки молока.

8. **Энергетическая.** Белки являются одним из источников энергии в клетке. При распаде 1 г белка до конечных продуктов выделяется **17,6 кДж**. Сначала белки распадаются до аминокислот, а затем до конечных продуктов — **воды, углекислого газа и аммиака**.

Однако в качестве источника энергии белки используются тогда, когда другие (углеводы и жиры) израсходованы.



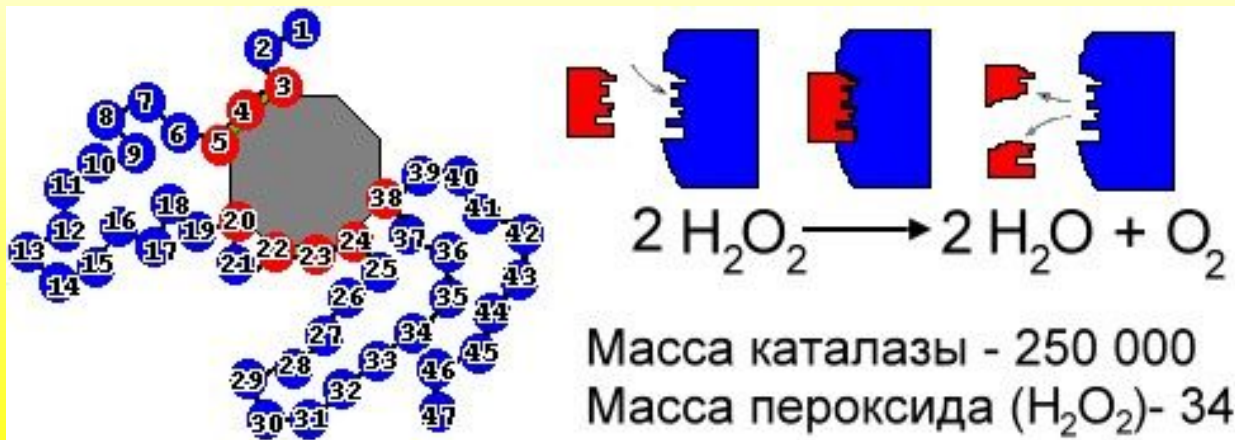


# Функции белков

9. *Каталитическая* Одна из важнейших функций белков. Скорость ферментативных реакций **в десятки тысяч (а иногда и в миллионы раз)** выше скорости реакций, идущих с участием неорганических катализаторов.

Например, пероксид водорода без катализаторов разлагается медленно:  $2\text{H}_2\text{O}_2 \rightarrow 2\text{H}_2\text{O} + \text{O}_2$ . В присутствии солей железа (катализатора) эта реакция идет несколько быстрее. Фермент *каталаза* за 1 сек. расщепляет до **100 тыс. молекул  $\text{H}_2\text{O}_2$** .

Масса фермента гораздо больше массы субстрата, та часть молекулы фермента, которая взаимодействует с молекулой субстрата получила название – **активный центр фермента**.

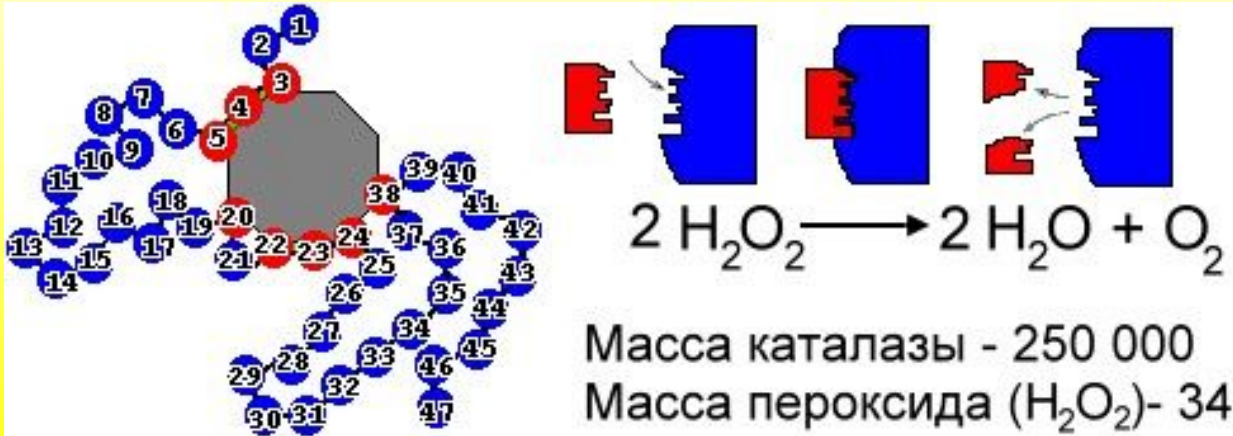


## Функции белков

9. *Каталитическая* Одна из важнейших функций белков. Скорость ферментативных реакций **в десятки тысяч (а иногда и в миллионы раз)** выше скорости реакций, идущих с участием неорганических катализаторов.

Например, пероксид водорода без катализаторов разлагается медленно:  $2\text{H}_2\text{O}_2 \rightarrow 2\text{H}_2\text{O} + \text{O}_2$ . В присутствии солей железа (катализатора) эта реакция идет несколько быстрее. Фермент *каталаза* за 1 сек. расщепляет до **100 тыс. молекул  $\text{H}_2\text{O}_2$** .

Масса фермента гораздо больше массы субстрата, та часть молекулы фермента, которая взаимодействует с молекулой субстрата получила название – **активный центр фермента**.



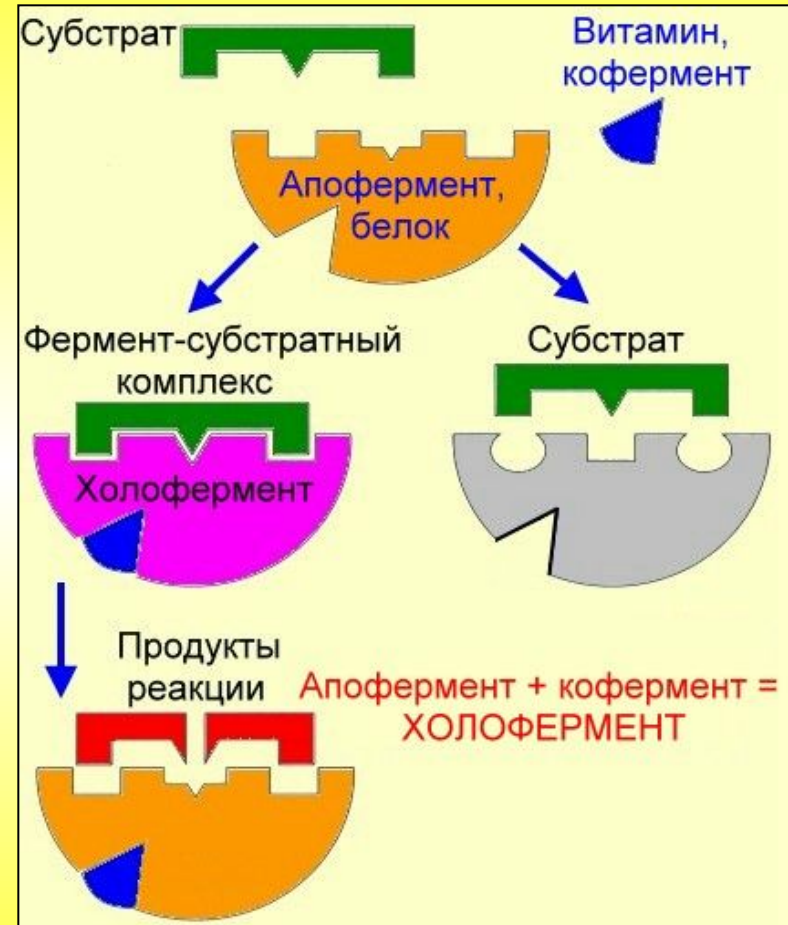
# Функции белков

Возможно ингибирование ферментов.

Ферменты – глобулярные белки, по особенностям строения ферменты можно разделить на две группы: **простые и сложные**.

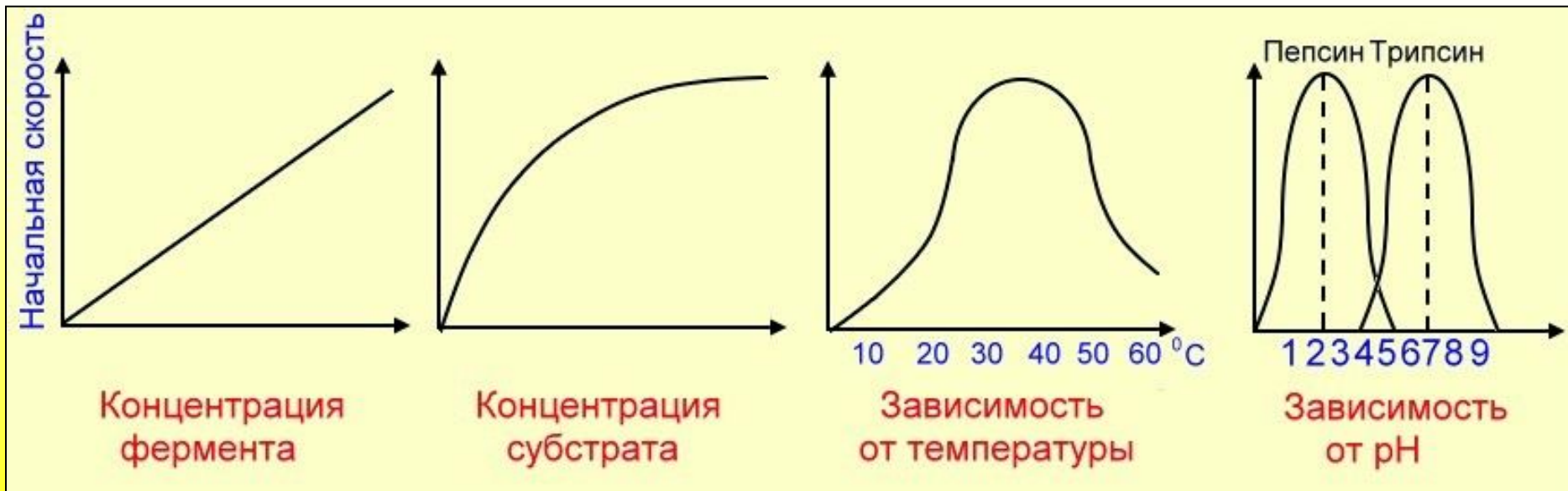
*Простые ферменты* являются простыми белками, т.е. состоят только из аминокислот.

*Сложные ферменты* являются сложными белками, т.е. в их состав помимо белковой части входит органическое соединение небелковой природы — *коферменты*: **ионы металлов** или **витамины**.



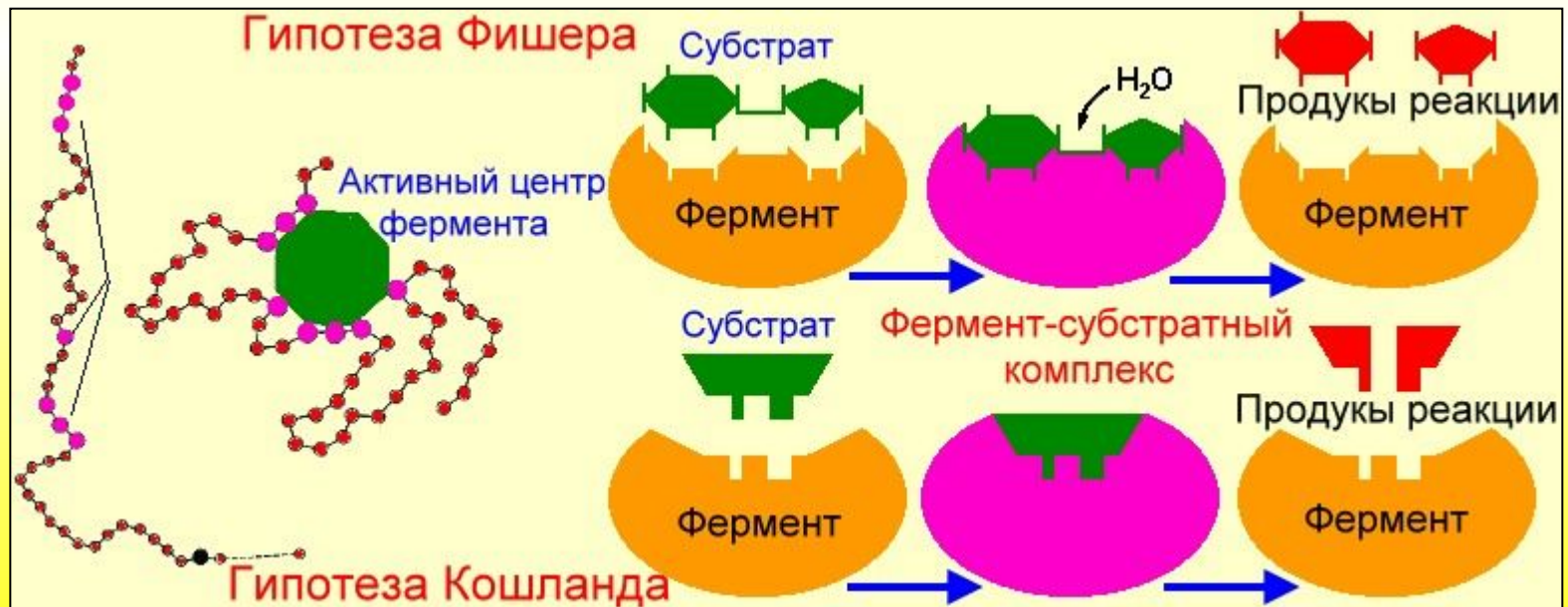
# Функции белков

Поскольку почти все ферменты являются белками (есть *рибозимы*, РНК, катализирующие некоторые реакции), их активность наиболее высока при физиологически нормальных условиях: большинство ферментов наиболее активно работает только при *определенной температуре*. При повышении температуры до некоторого значения (в среднем до 50°C) каталитическая активность растет (на каждые 10°C скорость реакции повышается примерно в 2 раза).



# Функции белков

Согласно гипотезе, выдвинутой в 1890 г. Э. Фишером, субстрат подходит к ферменту, как ключ к замку, то есть пространственные конфигурации активного центра фермента и субстрата точно соответствуют друг другу. Субстрат сравнивается с "ключом", который подходит к "замку" — ферменту. Отсюда – *специфичность* ферментов, взаимодействие с определенным субстратом.



# Функции белков

Другая гипотеза «Гипотеза индуцированного соответствия» или «гипотеза руки и перчатки» была предложена Кошландом. По этой общепринятой в настоящее время гипотезе активный центр фермента формируется только во время образования фермент-субстратного комплекса, как и перчатка принимает форму руки только когда рука находится в перчатке.

