

**Белки**

# ФУНКЦИИ БЕЛКОВ

## 1. Структурная:

- **в соединительной ткани** – коллаген, эластин, кератин,
- **построение мембран и формирование цитоскелета** (интегральные, полуинтегральные и поверхностные белки) – спектрин (поверхностный, основной белок цитоскелета эритроцитов), гликофорин (интегральный, фиксирует спектрин на поверхности),
- **построение органелл** – рибосомы.

# ФУНКЦИИ БЕЛКОВ

## 2. Ферментативная:

Все ферменты являются белками, хотя имеются экспериментальные данные о существовании рибозимов, т.е. рибонуклеиновой кислоты, обладающей каталитической активностью.

## 3. Гормональная:

Регуляция и согласование обмена веществ в разных клетках организма – многие гормоны, например, **инсулин и глюкагон**.

# ФУНКЦИИ БЕЛКОВ

## 4. Рецепторная:

**Избирательное связывание** гормонов, биологически активных веществ и медиаторов на поверхности мембран или внутри клеток.

## 5. Транспортная:

**Перенос веществ в крови** – липопротеины (перенос жира), гемоглобин (транспорт кислорода), трансферрин (транспорт железа) или через мембраны –  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ -АТФаза (противоположный трансмембранный перенос ионов натрия и калия),  $\text{Ca}^{2+}$ -АТФаза (выкачивание ионов кальция из клетки).

# ФУНКЦИИ БЕЛКОВ

- 6. Резервная:** производство и накопление в яйце яичного альбумина.
- 7. Питательная:** белки грудного молока, белки мышц и печени при голодании.
- 8. Защитная:** наличие в крови иммуноглобулинов, белков свертывания крови.

# УРОВНИ ОРГАНИЗАЦИИ БЕЛКОВОЙ СТРУКТУРЫ

**Белок – это последовательность аминокислот, связанных друг с другом пептидными связями.**

Если количество аминокислот не превышает 10, то новое соединение называется **пептид;**

если от 10 до 40 аминокислот – **полипептид,**

если более 40 аминокислот – **белок.**

Линейная молекула белка, образующаяся при соединении аминокислот в цепь, является **первичной структурой.**

# **УРОВНИ ОРГАНИЗАЦИИ БЕЛКОВОЙ СТРУКТУРЫ**

**Последовательность и соотношение аминокислот в первичной структуре определяет дальнейшее поведение молекулы: ее способность изгибаться, сворачиваться, формировать те или иные связи внутри себя. Формы молекулы, создаваемые при свертывании, последовательно могут принимать вторичный, третичный и четвертичный уровень организации.**

# УРОВНИ ОРГАНИЗАЦИИ БЕЛКОВОЙ СТРУКТУРЫ

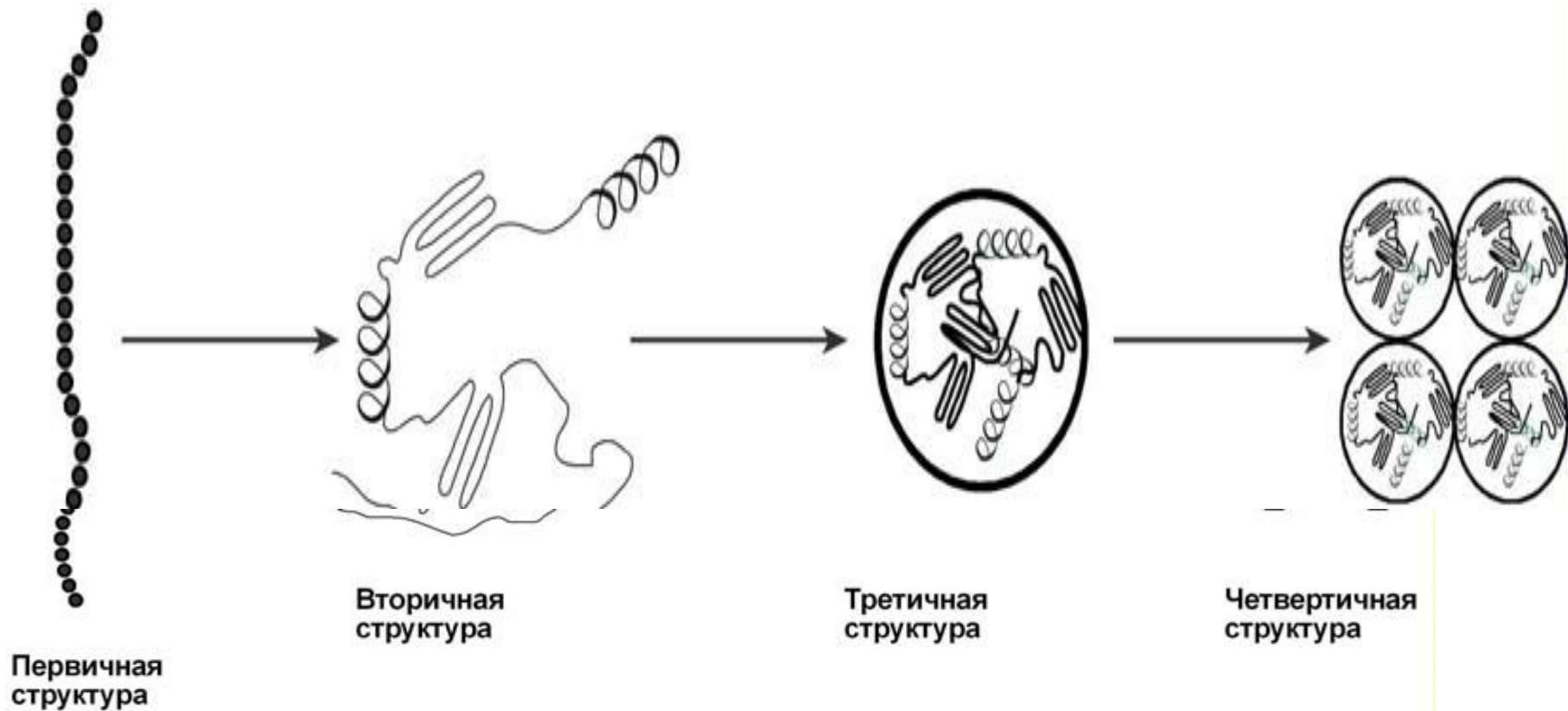
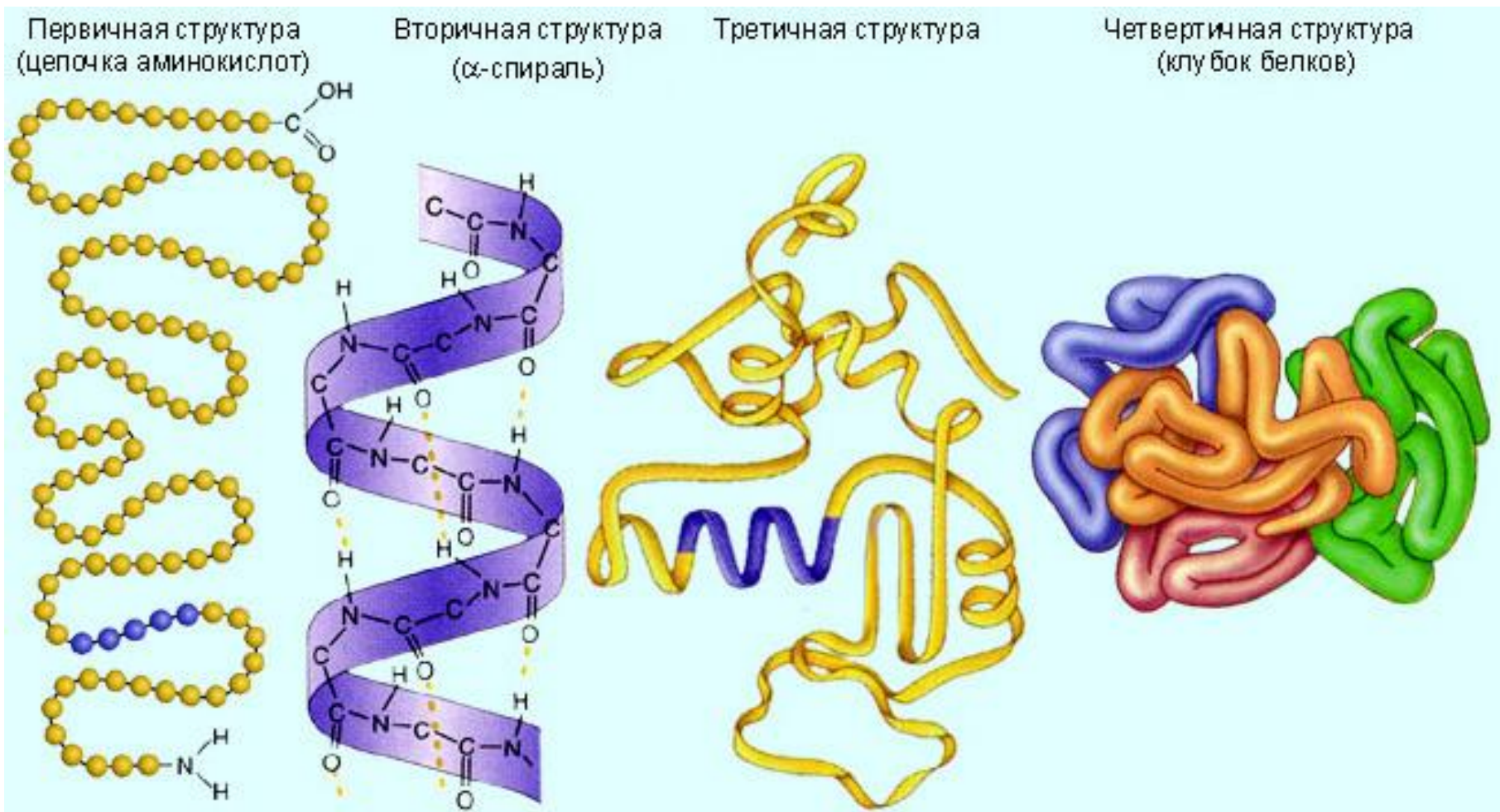


Схема последовательности укладки белков  
в четвертичную структуру



# УРОВНИ ОРГАНИЗАЦИИ БЕЛКОВОЙ СТРУКТУРЫ



# УРОВНИ ОРГАНИЗАЦИИ БЕЛКОВОЙ СТРУКТУРЫ

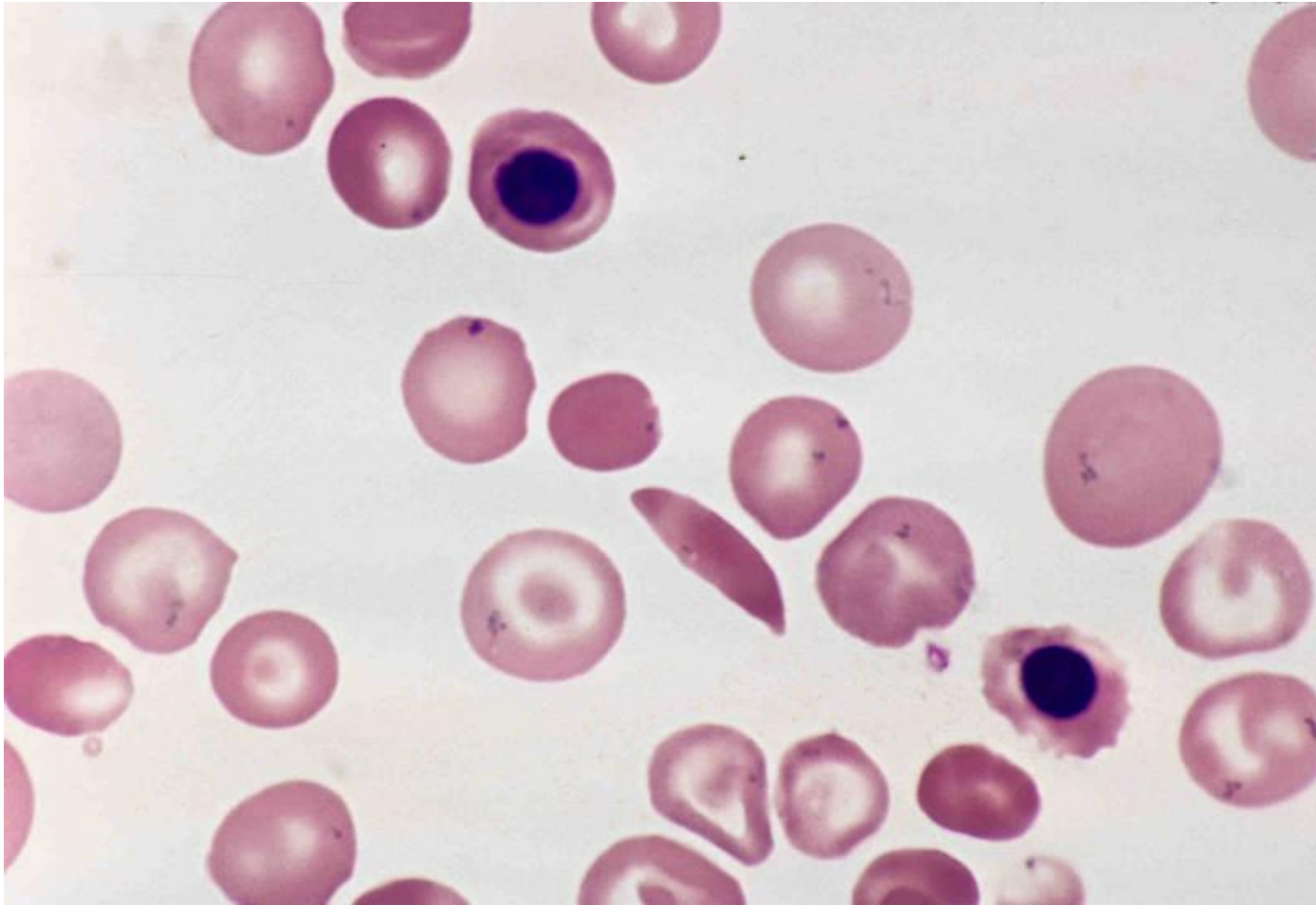
## ПЕРВИЧНАЯ СТРУКТУРА

**Это последовательность аминокислот в полипептидной цепи.** Учитывая, что в синтезе белков принимает участие 20 аминокислот можно сказать о невообразимом количестве возможных белков.

Первичная структура белков задается последовательностью нуклеотидов в ДНК. Выпадение, вставка, замена нуклеотида приводит к изменению аминокислотного состава и, следовательно, структуры синтезируемого белка.

Например, при серповидноклеточной анемии в 6 положении  $\beta$ -цепи гемоглобина происходит замена Глу на Вал. Это приводит к синтезу HbS – такого гемоглобина, который в дезоксиформе полимеризуется и образует кристаллы. В результате эритроциты деформируются, приобретают форму серпа (банана), теряют эластичность и при прохождении через капилляры разрушаются. Это в итоге приводит к анемии, снижению оксигенации тканей и их некрозу.







# УРОВНИ ОРГАНИЗАЦИИ БЕЛКОВОЙ СТРУКТУРЫ

Если изменение последовательности аминокислот носит не летальный характер, а приспособительный или хотя бы нейтральный, то такой белок может передаваться по наследству и остаться в популяции. В результате возникают новые белки и новые качества организма. Такое явление называется **полиморфизм белков**.

**Последовательность и соотношение аминокислот в первичной структуре определяет формирование вторичной, третичной и четвертичной структур.**

# **УРОВНИ ОРГАНИЗАЦИИ БЕЛКОВОЙ СТРУКТУРЫ ВТОРИЧНАЯ СТРУКТУРА**

**Вторичная структура – это способ укладки полипептидной цепи в упорядоченную структуру, при которой аминокислоты взаимодействуют через пептидные группы. Формирование вторичной структуры вызвано стремлением пептида принять конформацию с наибольшим количеством водородных связей между пептидными группами. Вторичная структура определяется:**

- устойчивостью пептидной связи,**
- подвижностью С-С связи,**
- размером аминокислотного радикала.**

**Все это вкуче с аминокислотной последовательностью приводит к строго определенной конфигурации белка.**

# УРОВНИ ОРГАНИЗАЦИИ БЕЛКОВОЙ СТРУКТУРЫ

Можно выделить два возможных варианта вторичной структуры:  **$\alpha$ -спираль и  $\beta$ -структура ( $\beta$ -складчатый слой)**. В одном белке, как правило, присутствуют обе структуры.

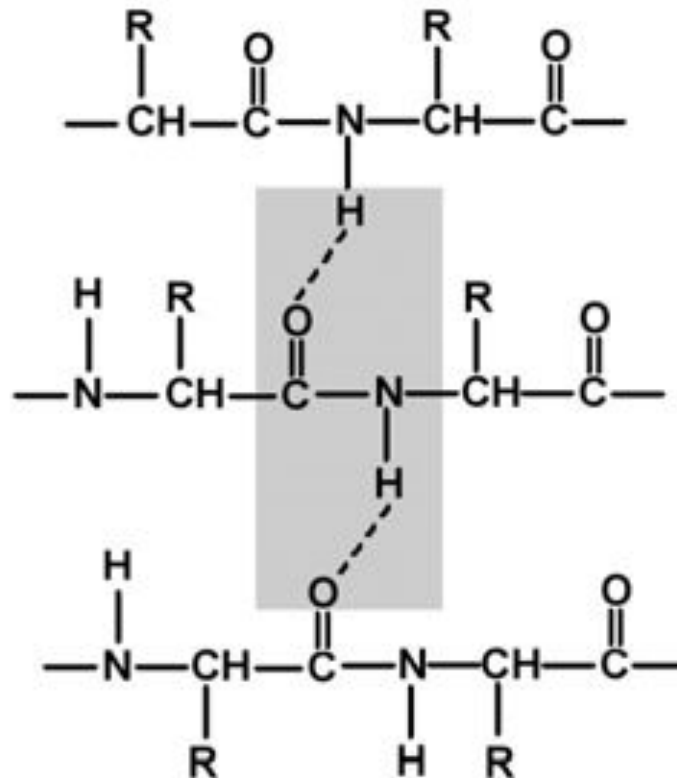
**В глобулярных белках преобладает  $\alpha$ -спираль, в фибриллярных –  $\beta$ -структура.**

**Вторичная структура образуется только при участии водородных связей между пептидными группами:**

атом кислорода одной группы реагирует с атомом водорода второй, одновременно кислород второй пептидной группы связывается с водородом третьей и т.д.



# УРОВНИ ОРГАНИЗАЦИИ БЕЛКОВОЙ СТРУКТУРЫ



Участие водородных связей в образовании  
вторичной структуры белка

# УРОВНИ ОРГАНИЗАЦИИ БЕЛКОВОЙ СТРУКТУРЫ

## ***α -СПИРАЛЬ***

Правозакрученная спираль, образуется при помощи водородных связей между пептидными группами 1-го и 4-го, 4-го и 7-го, 7-го и 10-го и так далее аминокислотных остатков.

Формированию спирали препятствуют пролин и гидроксипролин, которые обуславливают “перелом” цепи, ее резкий изгиб.

Высота витка составляет 0,54 нм и соответствует 3,6 аминокислотных остатков, 5 полных витков соответствуют 18 аминокислотам и занимают 2,7 нм.

# УРОВНИ ОРГАНИЗАЦИИ БЕЛКОВОЙ СТРУКТУ РЫ



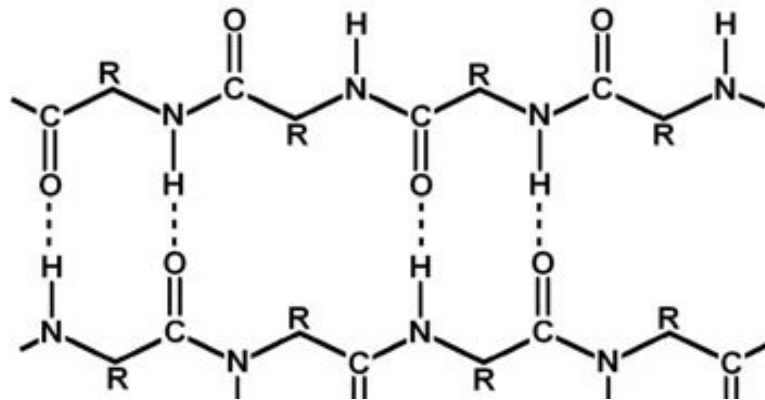
Вид  $\alpha$ -спирали

# УРОВНИ ОРГАНИЗАЦИИ БЕЛКОВОЙ СТРУКТУ РЫ ***β -СКЛАДЧАТЫЙ СЛОЙ***

В этом способе укладки белковая молекула лежит "змейкой", удаленные отрезки цепи оказываются поблизости друг от друга. В результате пептидные группы ранее удаленных аминокислот белковой цепи способны взаимодействовать при помощи водородных связей.

β-Структура аминокислот взаимодействуют с отдаленными пептидными группами этой же белковой цепи при помощи **водородных связей между пептидными группами**

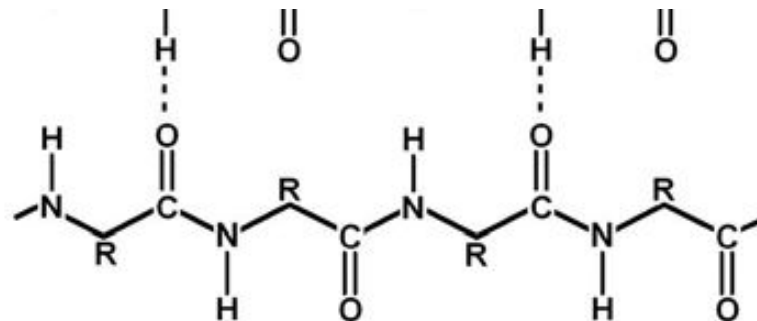
# УРОВНИ ОРГАНИЗАЦИИ БЕЛКОВОЙ СТРУКТУРЫ



← Направление цепи

→ Направление цепи

Антипараллельная  
ориентация цепей



→ Направление цепи

Параллельная  
ориентация цепей

Укладка белка в виде  $\beta$ -складчатого слоя

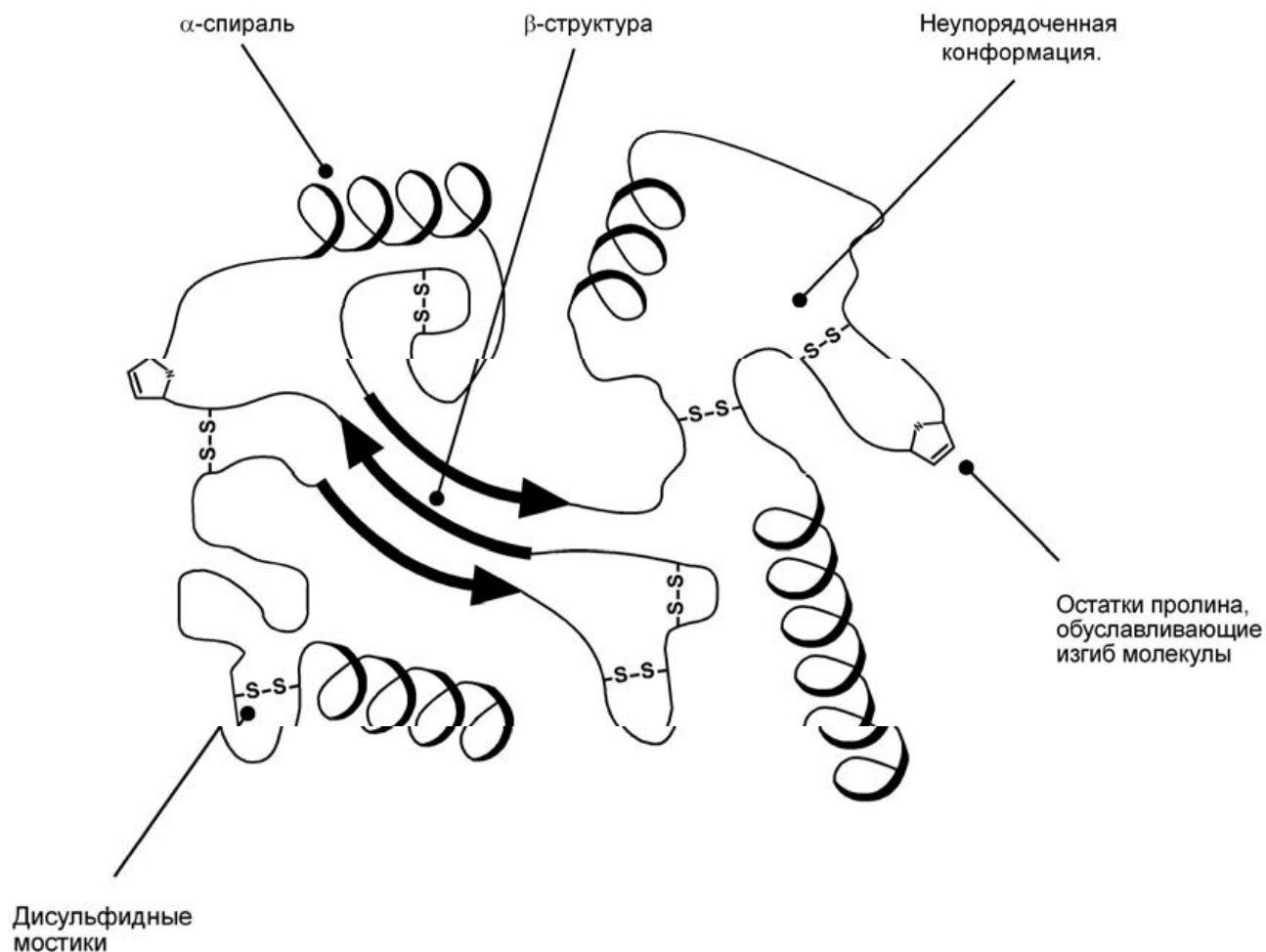
# УРОВНИ ОРГАНИЗАЦИИ БЕЛКОВОЙ СТРУКТУ РЫ

## ТРЕТИЧНАЯ СТРУКТУРА

Третичная структура – это укладка полипептидной цепи в **глобулу ("клубок")**. Четкой границы между вторичной и третичной структурами провести нельзя, однако **в основе третичной структуры лежат стерические взаимосвязи между аминокислотами, отстоящими далеко друг от друга в цепи**. Благодаря третичной структуре происходит еще более **компактное формирование цепи**.

Наряду с  $\alpha$ -спиралью и  $\beta$ -структурой в третичной структуре обнаруживается так называемая **неупорядоченная конформация**, которая может занимать значительную часть молекулы. В разных белках наблюдается разное соотношение типов структур. Например, инсулин содержит 52%  $\alpha$ -спирали и 6%  $\beta$ -структуры, трипсин – 14%  $\alpha$ -спирали и 45%  $\beta$ -структуры.

# УРОВНИ ОРГАНИЗАЦИИ БЕЛКОВОЙ СТРУКТУРЫ



Схематичное изображение третичной структуры белковой цепи с образованием  $\alpha$ -спирали,  $\beta$ -структуры и неупорядоченной конформации

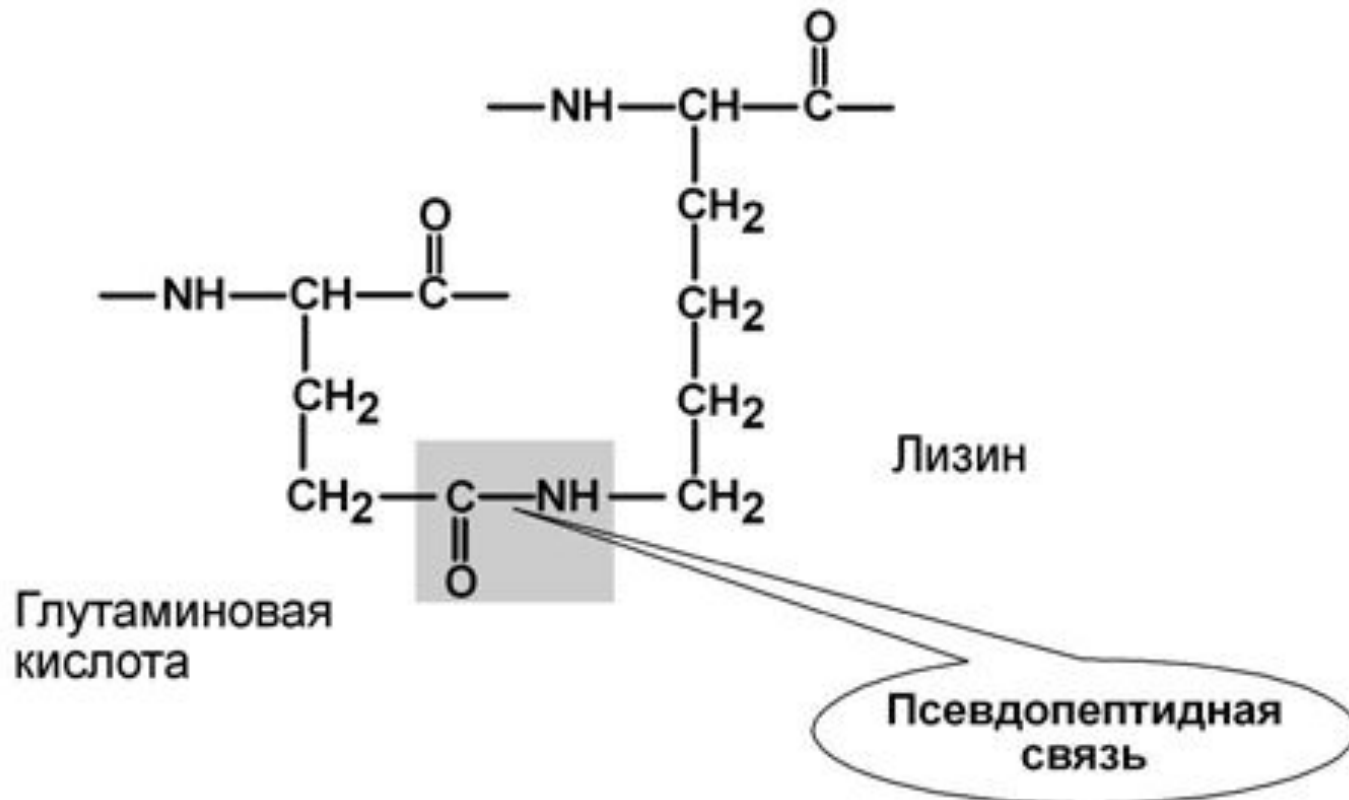
# УРОВНИ ОРГАНИЗАЦИИ БЕЛКОВОЙ СТРУКТУ РЫ

Аминокислоты принимают участие в формировании третичной структуры, образуя связи между своими функциональными группами (радикалами):

- **водородные** – между OH-, COOH-, NH<sub>2</sub>-группами радикалов аминокислот,
- **дисульфидные** – между остатками цистеина,
- **гидрофобные** – между остатками алифатических и ароматических аминокислот,
- **ионные** – между COOH-группами глутамата и аспартата и NH<sub>2</sub>-группами лизина и аргинина,
- **псевдопептидные** – между дополнительными COOH-группами глутамата и аспартата и дополнительными NH<sub>2</sub>-группами лизина и аргинина.



# УРОВНИ ОРГАНИЗАЦИИ БЕЛКОВОЙ СТРУКТУРЫ



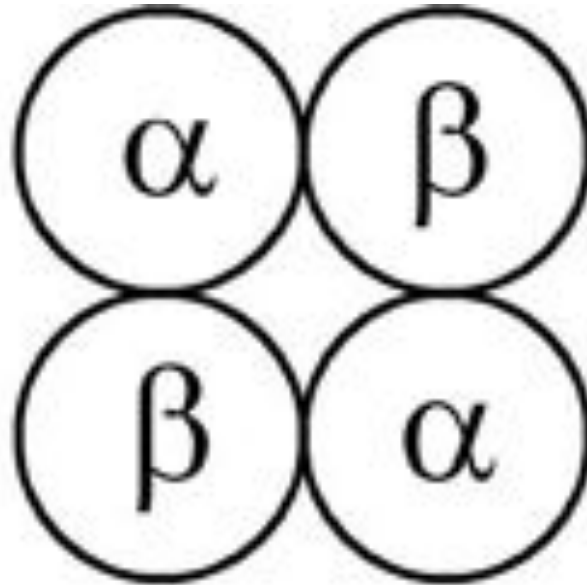
Образование псевдопептидной связи  
между остатками лизина и глутаминовой кислоты

# УРОВНИ ОРГАНИЗАЦИИ БЕЛКОВОЙ СТРУКТУ РЫ ЧЕТВЕРТИЧНАЯ СТРУКТУРА

Если белки состоят из двух и более полипептидных цепей, связанных между собой нековалентными (не пептидными и не дисульфидными) связями, то говорят, что они обладают четвертичной структурой. Такие агрегаты стабилизируются водородными связями, ионными и электростатическими взаимодействиями между остатками аминокислот, находящимися на поверхности глобулы.

Подобные белки называются **олигомерами**, а их индивидуальные цепи – **протомерами** (мономерами, субъединицами). Если белки содержат 2 протомера, то они называются димерами, если 4, то тетрамерами и т.д.

# УРОВНИ ОРГАНИЗАЦИИ БЕЛКОВОЙ СТРУКТУ РЫ



Схематичное изображение  
молекулы гемоглобина

# УРОВНИ ОРГАНИЗАЦИИ БЕЛКОВОЙ СТРУКТУРЫ

**Лактатдегидрогеназа** – фермент, принимающий активное

участие в окислении глюкозы при мышечном сокращении, также включает 4 субъединицы – **H (heart)** и **M (muscle)** в разных сочетаниях: H<sub>4</sub>, H<sub>3</sub>M<sub>1</sub>, H<sub>2</sub>M<sub>2</sub>, H<sub>1</sub>M<sub>3</sub>, M<sub>4</sub>. Всего 5 изоферментов.

**Креатинкиназа** – фермент, участвующий в регенерации АТФ при мышечном сокращении, состоит из 2 субъединиц – **B (brain)** и **M (muscle)** в разных сочетаниях: BB, BM, MM. Всего 3 изофермента.

**Взаимодействие протомеров друг с другом** осуществляется по принципу комплементарности, т.е. их поверхность подходит друг другу по геометрической форме и по функциональным группам аминокислот (возникновение ионных и

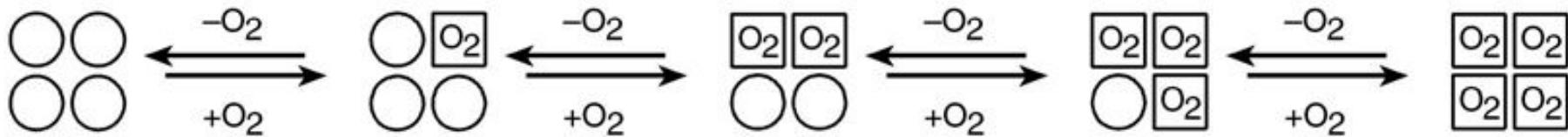
# УРОВНИ ОРГАНИЗАЦИИ БЕЛКОВОЙ СТРУКТУРЫ

Так как субъединицы в олигомерах очень тесно взаимодействуют между собой, то любое **изменение конформации какой-либо одной субъединицы обязательно влечет за собой изменение других субъединиц**. Этот эффект называется **кооперативное взаимодействие**.

Например, у гемоглобина такое взаимодействие субъединиц в легких ускоряет в 300 раз присоединение кислорода к гемоглобину. В тканях отдача кислорода также ускоряется в 300 раз.

Присоединение в легких первой молекулы кислорода к одной из субъединиц гемоглобина изменяет ее конформацию. В результате она начинает влиять на следующую субъединицу, облегчая присоединение к ней кислорода. После этого они вдвоем влияют на третью субъединицу и так далее. В тканях первая молекула кислорода отделяется от своей субъединицы не очень легко, вторая уже быстрее и так далее.

# УРОВНИ ОРГАНИЗАЦИИ БЕЛКОВОЙ СТРУКТУРЫ



Формы с низким  
сродством к кислороду

Формы с высоким  
сродством к кислороду

Кооперативное взаимодействие субъединиц гемоглобина

# ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

## А БЕЛКОВ

К свойствам белков относят амфотерность, растворимость, способность к денатурации, коллоидные свойства.

### АМФОТЕРНОСТЬ

Так как белки содержат кислые и основные аминокислоты, то в их составе всегда имеются свободные кислые ( $\text{COO}^-$ ) и основные ( $\text{NH}_3^+$ ) группы.

Заряд белка зависит от соотношения количества кислых и основных аминокислот. Поэтому, аналогично аминокислотам, белки заряжаются положительно при уменьшении  $\text{pH}$ , и отрицательно при его увеличении. Если  $\text{pH}$  раствора соответствует **изоэлектрической точке белка, то заряд белка равен 0.**

Если в пептиде или белке преобладают **кислые аминокислоты (глутамат и аспартат)**, то при нейтральных  $\text{pH}$  заряд белка отрицательный и изоэлектрическая точка находится в кислой среде. Для большинства природных белков изоэлектрическая точка находится в диапазоне  $\text{pH}$  4,8-5,4, что свидетельствует о преобладании в их составе глутаминовой и аспарагиновой аминокислот

# ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА А БЕЛКОВ

Если в белке преобладают **основные аминокислоты (лизин и аргинин)** – при нейтральных рН заряд обусловлен этими, **положительно заряженными**, аминокислотами.

Амфотерность имеет значение для выполнения белками некоторых функций, например, их **буферные свойства**,

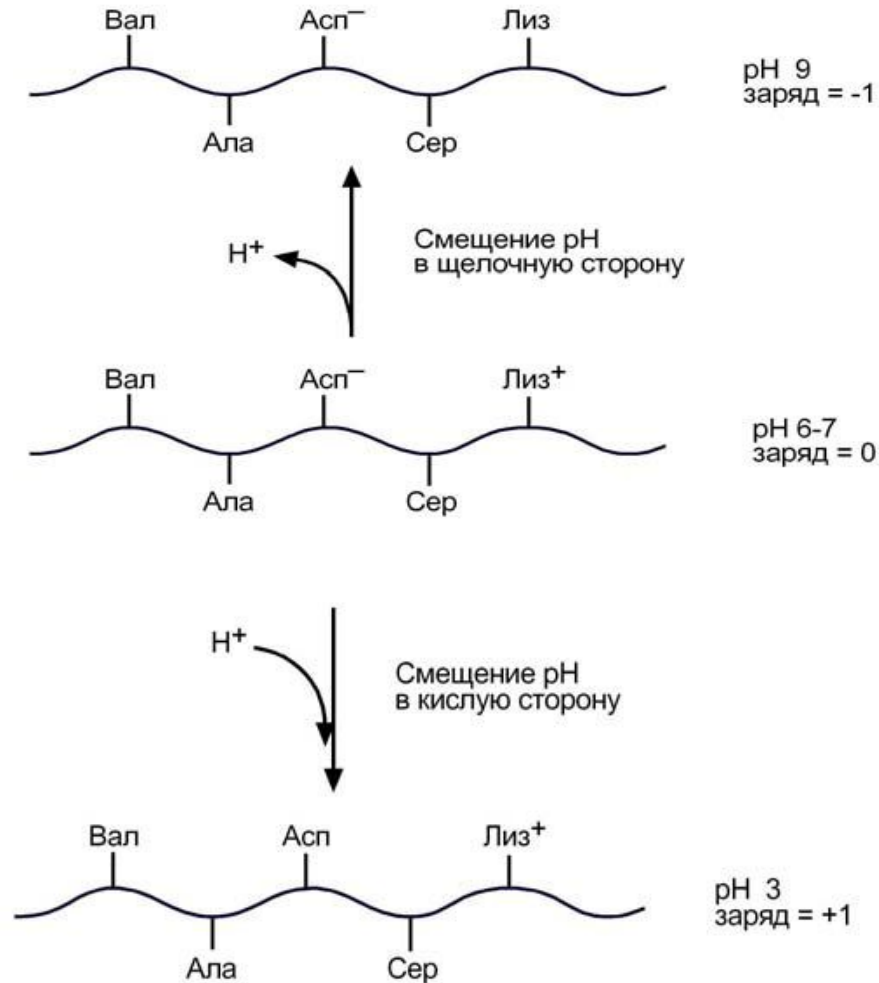
т.е. способность поддерживать неизменным рН крови, основаны на способности присоединять ионы  $H^+$  при закислении среды или отдавать их при защелачивании.

С практической стороны наличие амфотерности позволяет разделять белки по заряду (электрофорез) или использовать изменение величины рН

раствора для осаждения какого-либо известного белка



# ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА А БЕЛКОВ



Изменение заряда нейтрального пептида  
при смещении рН в кислую или щелочную сторону

# ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА А БЕЛКОВ

## Влияние pH на заряд белка

При смещении pH в растворе изменяется концентрация ионов  $H^+$ . При закислении среды (**при снижении pH**) ниже изоэлектрической точки ионы  $H^+$  присоединяются к отрицательно заряженным группам глутаминовой и аспарагиновой кислот и нейтрализуют их. Заряд белка становится **положительным**.

При увеличении pH в растворе выше изоэлектрической точки концентрация ионов  $H^+$  снижается и положительно заряженные группы белка ( $NH_3^+$  группы лизина и аргинина) теряют протоны, их заряд исчезает. Суммарный заряд белка становится **отрицательным**.

# ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА А БЕЛКОВ РАСТВОРИМОСТЬ

Так как большинство белков несет много заряженных

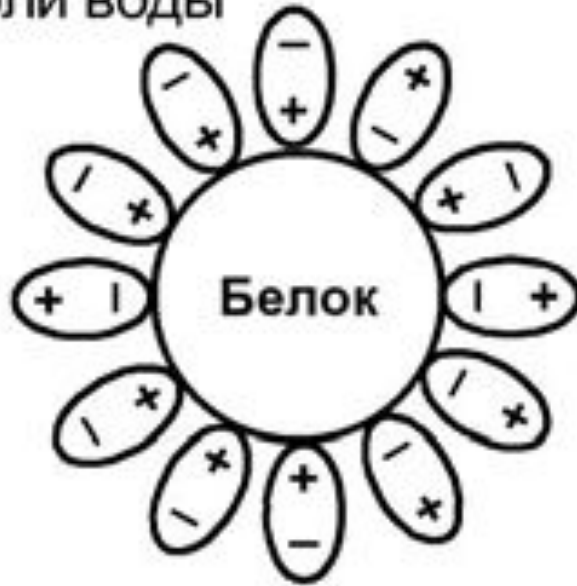
групп, то в целом они **водорастворимы**.

Растворимость объясняется:

- наличием заряда и взаимоотталкиванием заряженных молекул белка,
- наличием гидратной оболочки – чем больше полярных и/или заряженных аминокислот в белке, тем больше гидратная оболочка (100 г белка альбумина связывает 30-50 г воды).

# ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА А БЕЛКОВ

Диполи воды



Формирование гидратной  
оболочки вокруг  
молекулы белка

# ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА БЕЛКОВ МЕТОДЫ ОСАЖДЕНИЯ БЕЛКОВ ДЕНАТУРАЦИЯ

**Денатурация** – необратимое осаждение белка из-за разрыва связей, стабилизирующих четвертичную, третичную, вторичную структуры белка, сопровождаемое изменением растворимости, вязкости, химической активности, снижением или полной потерей биологической функции.

- 1. Физическая денатурация** – повышение температуры, ультрафиолетовое и микроволновое излучение, механические воздействия, ионизация заряженными частицами.

# ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА А БЕЛКОВ

## 2. Химическая денатурация:

- кислоты и щелочи образуют водородные связи с пептидными группами,
- органические растворители образуют водородные связи и вызывают дегидратацию,
- алкалоиды образуют связи с полярными группами и разрывают систему водородных и ионных связей,
- тяжелые металлы взаимодействуют с заряженными радикалами, нейтрализуют отрицательные заряды и разрывают систему водородных и ионных связей.

# ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА А БЕЛКОВ

## ОБРАТИМОЕ ОСАЖДЕНИЕ

Обратимость осаждения белков обусловлена сохранением первичной структуры белка.

Восстановление физико-химических и биологических свойств белка называется **ренативация** (**ренатурация**). Иногда для ренативации достаточно просто удалить денатурирующий объект.

# ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА А БЕЛКОВ

## Высаливание

**Высаливание** – это добавление растворов **нейтральных солей** ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ,  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ). Анионы ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) и катионы ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{NH}_4^+$ ) взаимодействуют с зарядами белка (группы  $\text{NH}_4^+$  и  $\text{COO}^-$ ). В результате заряд исчезает, и соответственно, исчезает взаимоотталкивание молекул. Одновременно резко уменьшается гидратная оболочка. Это ведет к "слипанию" молекул и осадждению.

Так как белки плазмы крови отличаются по размерам, заряду, строению, то можно подобрать такие количества соли, которые вызовут осадждение менее устойчивых белков, пока другие еще будут растворены. Например, подобным образом раньше определяли соотношение альбумины/глобулины



# ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА А БЕЛКОВ

## **Осаждение водоотнимающими средствами**

При добавлении водоотнимающих средств (ацетон, этанол) происходит отнятие у белка гидратной оболочки, но не заряда.

Растворимость несколько снижается, но денатурации не наступает. Например, антисептическое действие этанола.

## **Изменение pH**

Мягкое изменение pH до изоэлектрической точки белка ведет к исчезновению заряда, уменьшению гидратной оболочки и снижению растворимости молекулы.

# ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА А БЕЛКОВ

## СВОЙСТВА БЕЛКОВЫХ РАСТВОРОВ

Свойства белковых растворов определяются большими размерами молекул, т.е. белки являются коллоидными частицами и образуют **коллоидные растворы**. К свойствам коллоидных растворов относятся:

1. Рассеивание луча света, проходящего через белковый раствор, и образование **светящегося конуса – эффект Тиндаля**.
2. Малая скорость **диффузии**.

# ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА А БЕЛКОВ

3. **Неспособность белковых частиц проникать через полунепроницаемые мембраны** (целлофан), т.к. их поры меньше диаметра белков. Это используется в **диализе** – очистка белковых препаратов от посторонних примесей и лежит в основе работы "искусственной почки" для лечения острой почечной недостаточности.
4. Создание **онкотического давления, то есть перемещение воды в сторону более высокой концентрации белка**, что проявляется, например, как формирование отеков при повышении проницаемости сосудистой стенки.
5. **Высокая вязкость в результате сил сцепления между крупными молекулами**, что проявляется, например, при образовании гелей и студней.

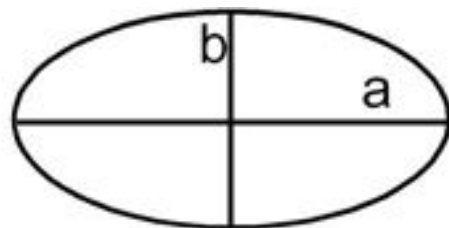
# К Л А С С И Ф И К А Ц И Я    Б Е Л К О В

## по строению

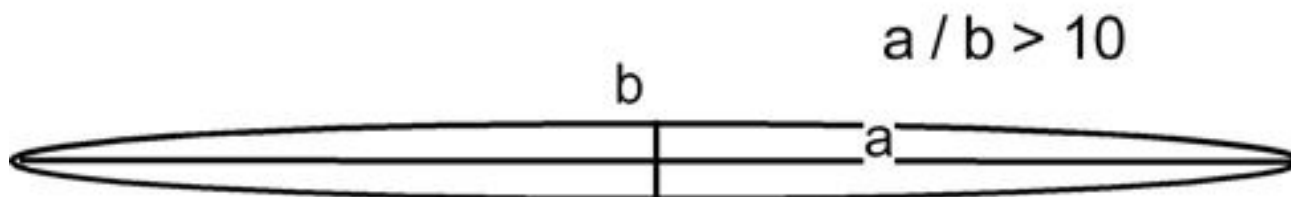
### 1. По форме молекулы

- **Глобулярные** – соотношение продольной и поперечной осей составляет  $<10$  и в большинстве случаев не более 3-4. Они характеризуются компактной укладкой полипептидных цепей. Например: инсулин, альбумин, глобулины плазмы крови.
- **Фибриллярные** – соотношение осей  $>10$ . Они состоят из пучков полипептидных цепей, спиралью навитых друг на друга и связанные между собой поперечными ковалентными и водородными связями. Выполняют защитную и структурную функции. Например: кератин, миозин, коллаген.

# КЛАССИФИКАЦИЯ БЕЛКОВ по строению



$$a / b < 10$$



$$a / b > 10$$

Схематичное изображение глобулярных (вверху) и фибриллярных (внизу) белков

# **К Л А С С И Ф И К А Ц И Я    Б Е Л К О В**

## **по строению**

### **2. По количеству белковых цепей в одной молекуле**

- **мономерные – имеют одну субъединицу (протомер), например альбумин, миоглобин.**
- **полимерные – имеют несколько субъединиц. Например, гемоглобин (4 субъединицы), лактатдегидрогеназа (4 субъединицы), креатинкиназа (2 субъединицы),**

# К Л А С С И Ф И К А Ц И Я    Б Е Л К О В

## по строению

### 3. По химическому составу

- **Простые** – содержат в составе только аминокислоты (альбумины, глобулины, гистоны, протамины).
- **Сложные** – кроме аминокислот имеются **небелковые компоненты** (нуклеопротеины, фосфопротеины, металлопротеины, липопротеины, хромопротеины, гликопротеины).

# КЛАССИФИКАЦИЯ ПРОСТЫХ БЕЛКОВ

## *АЛЬБУМИНЫ*

Группа белков плазмы крови с молекулярной массой около 40 кДа, имеют кислые свойства и отрицательный заряд при физиологических рН, т.к. содержат много глутаминовой кислоты. Легко адсорбируют полярные и неполярные молекулы, являются в крови переносчиком многих веществ, в первую очередь билирубина и жирных кислот.



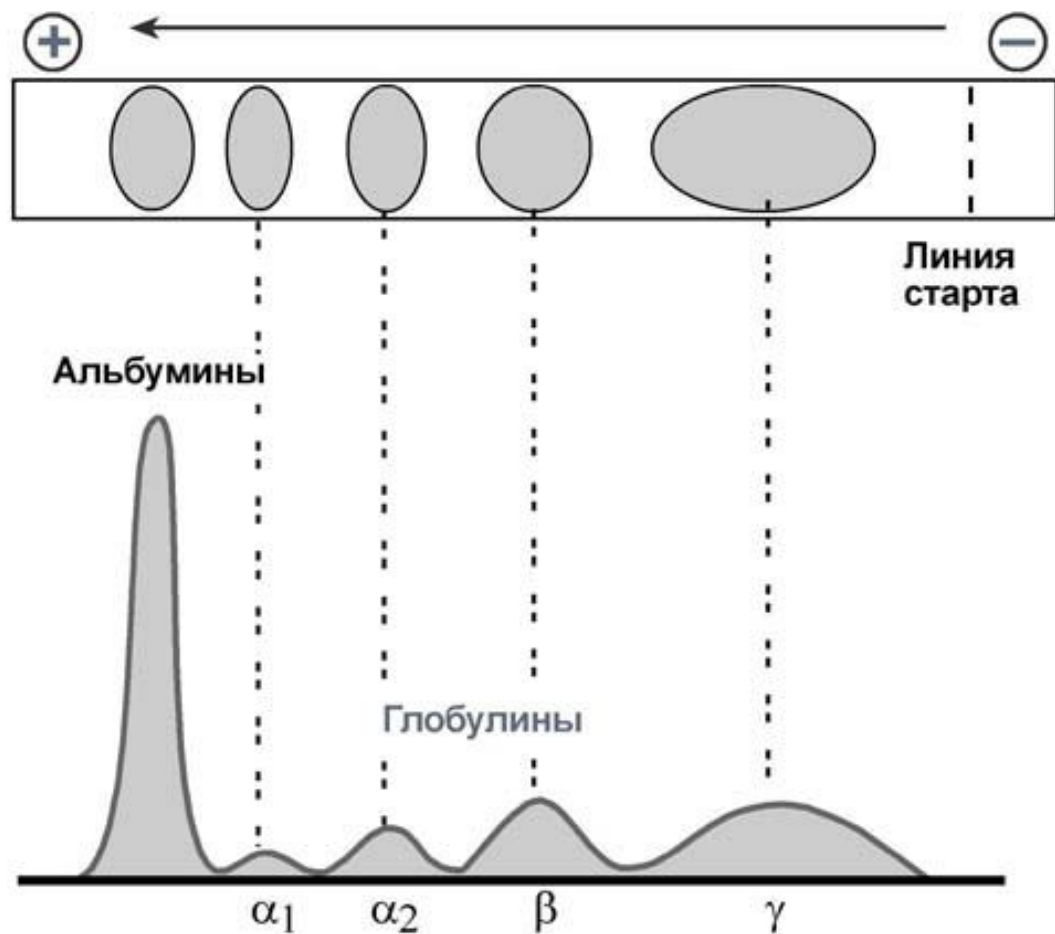
# КЛАССИФИКАЦИЯ ПРОСТЫХ БЕЛКОВ

## *ГЛОБУЛИНЫ*

Группа разнообразных белков плазмы крови с молекулярной массой до 100 кДа, слабо-кислые или нейтральные. Они слабо гидратированы, по сравнению с альбуминами меньше устойчивы в растворе и легче осаждаются, что используется в клинической диагностике в „осадочных“ пробах (тимоловая, Вельтмана). Часто содержат углеводные компоненты.

При обычном электрофорезе разделяются, как минимум, на **4 фракции** –  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$ ,  $\beta$  и  $\gamma$ .

# КЛАССИФИКАЦИЯ ПРОСТЫХ БЕЛКОВ



Схематичное изображение электрофореграммы и  
графического результата обработки электрофореграммы

# КЛАССИФИКАЦИЯ ПРОСТЫХ БЕЛКОВ

Так как глобулины включают в себя разнообразные белки, то их функции многочисленны. Часть  $\alpha$ -глобулинов обладает антипротеазной активностью, что защищает белки крови от преждевременного разрушения, например,  $\alpha 1$ -антитрипсин,  $\alpha 1$ -антихимотрипсин,  $\alpha 2$ -макроглобулин.

Некоторые глобулины способны к связыванию определенных веществ:

**трансферрин (переносчик ионов железа),  
церулоплазмин (переносчик ионов меди),  
гаптоглобин (переносчик гемоглобина),  
гемопексин (переносчик тема).**

**$\gamma$ -Глобулины являются антителами и обеспечивают иммунную защиту организма.**

# КЛАССИФИКАЦИЯ ПРОСТЫХ БЕЛКОВ

## *ГИСТОНЫ*

Гистоны – внутриядерные белки массой около 24 кДа. Обладают выраженными основными свойствами, поэтому при физиологических значениях pH заряжены положительно и связываются с дезоксирибонуклеиновой кислотой (ДНК). Существуют 5 типов гистонов – очень богатый лизином (29%) гистон **H1**, другие гистоны **H2a, H2b, H3, H4** богаты лизином и аргинином (в сумме до 25%). Радикалы аминокислот в составе гистонов могут быть метилированы, ацетилированы или фосфорилированы. Это изменяет суммарный заряд и другие свойства белков.

# КЛАССИФИКАЦИЯ ПРОСТЫХ БЕЛКОВ

Можно выделить две **функции гистонов**:

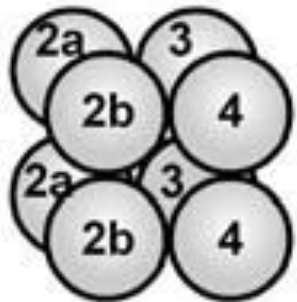
1. Регулируют активность генома, а именно **препятствуют транскрипции**.
2. Структурная – **стабилизируют** пространственную структуру **ДНК**.

Гистоны образуют **нуклеосомы**

– октаэдрические структуры, составленные из гистонов H2a, H2b, H3, H4.

Нуклеосомы соединяются между собой через гистон H1.

# КЛАССИФИКАЦИЯ ПРОСТЫХ БЕЛКОВ



Нуклеосома,  
содержащая  
8 молекул  
гистонов –  
по 2 молекулы  
H2a, H2b, H3, H4.

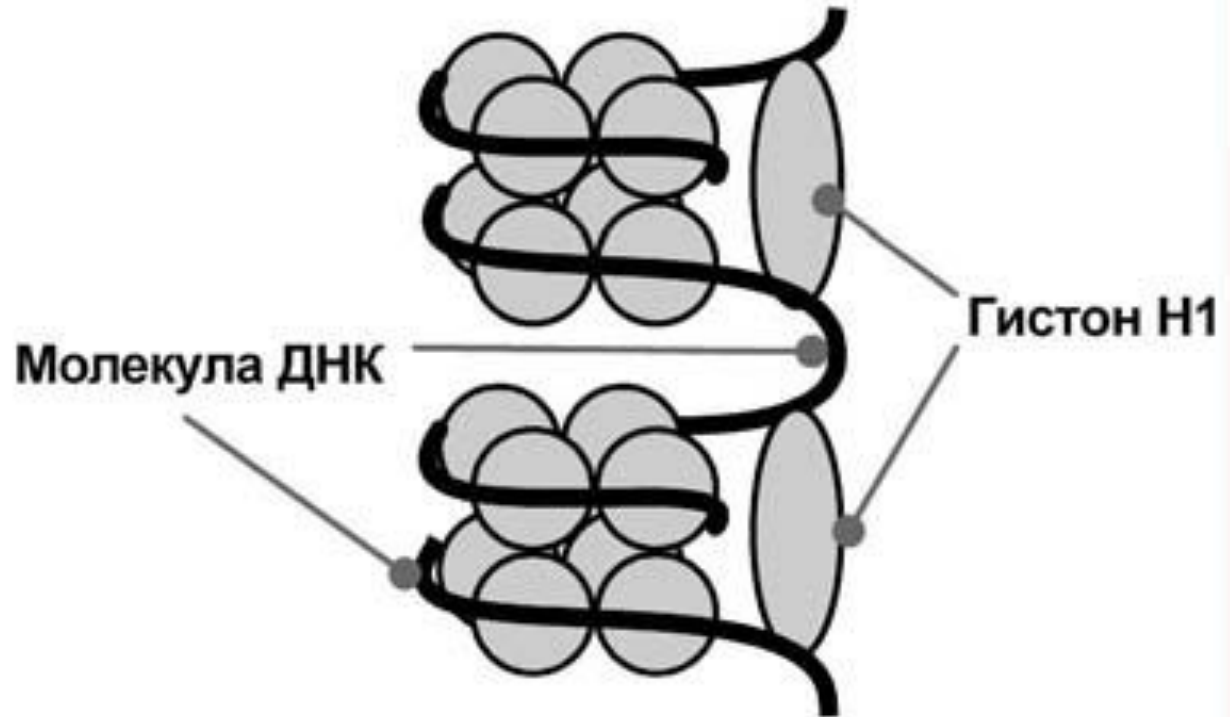


Схема строения нуклеосом и их связывания

# К Л А С С И Ф И К А Ц И Я П Р О С Т Ы Х Б Е Л К О В

Благодаря такой структуре достигается уменьшение размеров ДНК в 7 раз.

Далее нить ДНК с нуклеосомами складывается в **суперспираль** и более **сложные структуры**. Таким образом, **гистоны участвуют в плотной упаковке ДНК при формировании хромосом**.

Благодаря гистонам в конечном итоге размеры ДНК уменьшаются в тысячи раз: длина ДНК достигает 6-9 см (10<sup>-1</sup>), а размеры хромосом – всего несколько микрометров (10<sup>-6</sup>).

# КЛАССИФИКАЦИЯ ПРОСТЫХ БЕЛКОВ

## *ПРОТАМИНЫ*

Это белки массой от 4 кДа до 12 кДа, у ряда организмов (рыбы) они являются замени-

телями гистонов, есть в спермиях.

Отличаются резко увеличенным содержанием аргинина

(до 80%). Протамины присутствуют в клетках, не способных к делению. Их функция как у гистонов – структурная.



# КЛАССИФИКАЦИЯ ПРОСТЫХ БЕЛКОВ

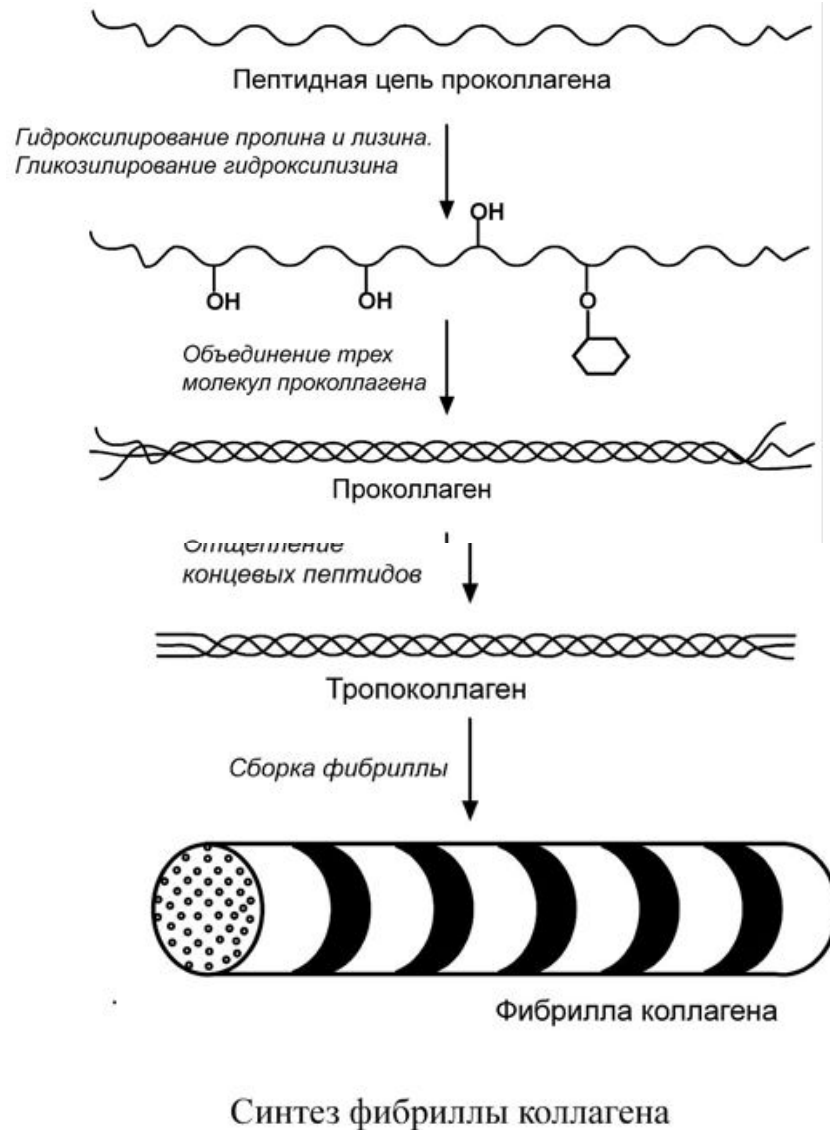
## *КОЛЛАГЕН*

Фибриллярный белок с уникальной структурой. Обычно содержит **моносахаридные (галактоза) и дисахаридные (галактоза-глюкоза) остатки, соединенные с ОН-группами некоторых остатков гидроксизина.** Составляет основу межклеточного вещества соединительной ткани сухожилий, кости, хряща, кожи, но имеется, конечно, и в других тканях.

# КЛАССИФИКАЦИЯ ПРОСТЫХ БЕЛКОВ

Полипептидная цепь коллагена включает 1000 аминокислот и состоит из повторяющегося триплета [Гли-А-В], где А и В – любые, кроме глицина, аминокислоты. **В основном это аланин, его доля составляет 11%, доля пролина и гидроксипролина – 21%.** Таким образом, на другие аминокислоты приходится всего 33%. Структура пролина и гидроксипролина не позволяет образовать  $\alpha$ -спиральную структуру, из-за этого образуется левозакрученная спираль, где на один виток приходится 3 аминокислотных остатка.

# КЛАССИФИКАЦИЯ ПРОСТЫХ БЕЛКОВ



# К Л А С С И Ф И К А Ц И Я П Р О С Т Ы Х Б Е Л К О В

**Молекула коллагена построена из 3 полипептидных цепей, сплетенных между собой в плотный жгут – тропоколлаген (длина 300 нм, диаметр 1,6 нм).**

Полипептидные цепи прочно связаны между собой через  $\epsilon$ -аминогруппы остатков лизина. Тропоколлаген формирует крупные коллагеновые фибриллы диаметром 10-300 нм. Поперечная исчерченность фибриллы обусловлена смещением молекул тропоколлагена друг относительно друга на  $1/4$  их длины.

В коже фибриллы образуют нерегулярно сплетенную и очень густую сеть – выделанная кожа представляет собой почти чистый коллаген

# КЛАССИФИКАЦИЯ ПРОСТЫХ БЕЛКОВ

## *ЭЛАСТИН*

По строению в общих чертах эластин схож с коллагеном.

**Находится в связках, эластичном слое сосудов.**

**Структурной единицей является тропоэластин с молекулярной массой 72 кДа и длиной 800 аминокислотных остатков.**

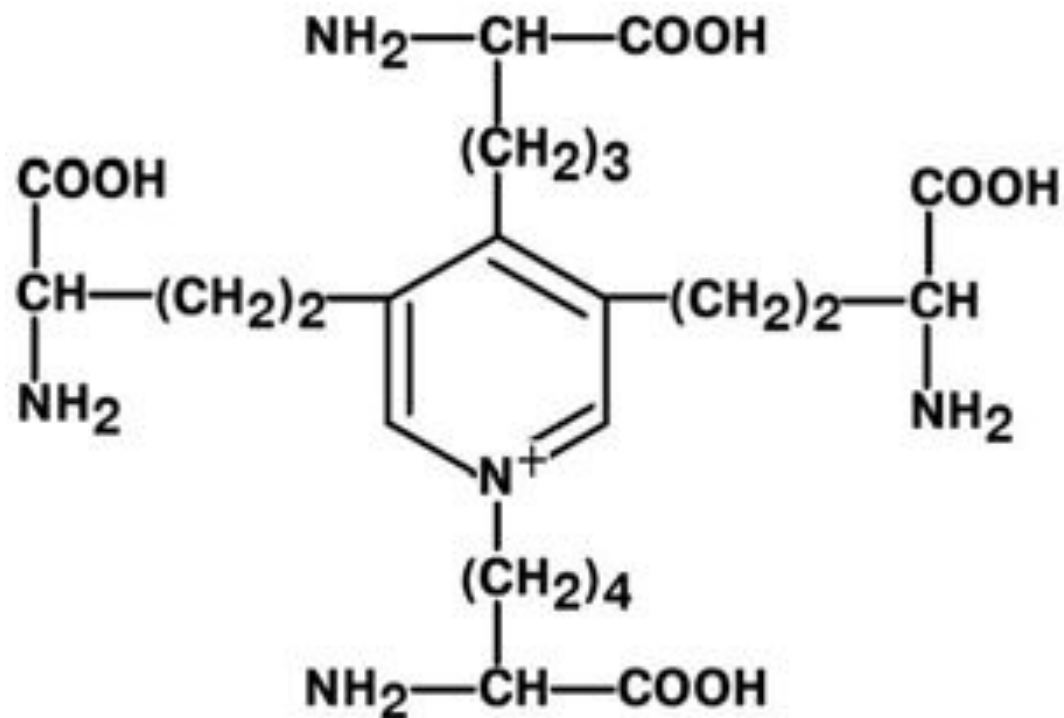
В нем гораздо больше лизина, валина, аланина и меньше гидроксипролина. Отсутствие пролина обуславливает наличие спиральных эластичных участков.

# КЛАССИФИКАЦИЯ ПРОСТЫХ БЕЛКОВ

Характерной особенностью эластина является наличие своеобразной структуры – десмозина, *который своими 4-мя группами объединяет белковые цепи в системы, способные растягиваться во всех направлениях.*

$\alpha$ -Аминогруппы и  $\alpha$ -карбоксильные группы десмозина включаются в образование пептидных связей одного или нескольких белков.

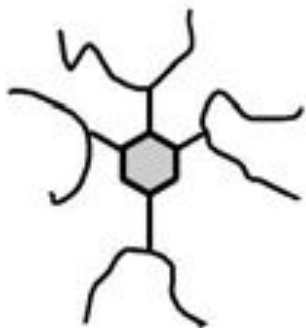
# КЛАССИФИКАЦИЯ ПРОСТЫХ БЕЛКОВ



Строение десмозина

# КЛАССИФИКАЦИЯ ПРОСТЫХ БЕЛКОВ

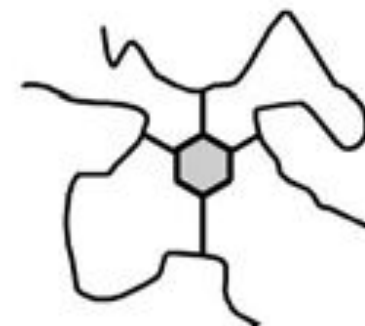
Через десмозин соединены:



4 белковые цепи



3 белковые цепи



2 белковые цепи

Роль десмозина в соединении белковых цепей