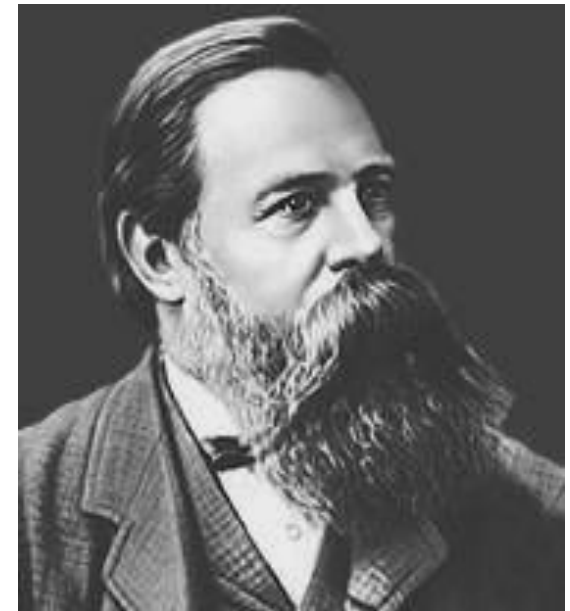


БЕЛКИ



- **Белки (протеины)** – важнейший класс БАВ
- **Жизнь есть способ существования белковых тел**
- Белки – ВМС, которые при гидролизе дают набор **α -аминокислот L-ряда**

Ф. Энгельс



Фридрих Энгельс
(1820 – 1895)

Особенности белков

1. Разнообразиие структур и высокая видовая специфичность
2. Способность к различным внутримолекулярным взаимодействиям ⇒ динамичность структур молекул
3. Способность к разнообразным взаимодействиям друг с другом и с другими соединениями (липидами, нуклеиновыми кислотами, полисахаридами и др.) ⇒ надмолекулярные комплексы
4. Способность под влиянием воздействий обратимо и закономерно изменять конфигурацию молекул
5. Способность ряда белков ускорять химические реакции в организме
6. Наличие биологической активности, способность выполнять различные функции

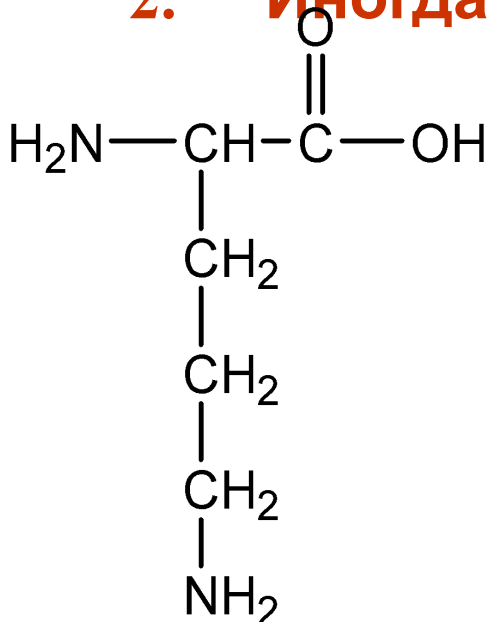
Молекулярная масса
белков. Форма белковых
молекул
(*самостоятельно*)

Аминокислотный состав
белков (см. лабораторные и
семинарские занятия)

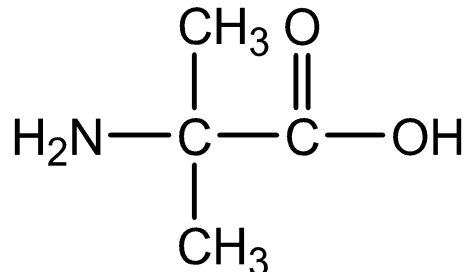
- Структурные элементы в белках – **α -аминокислоты**, отличающиеся друг от друга строением боковых групп (боковых цепей, радикалов)

Две категории аминокислот

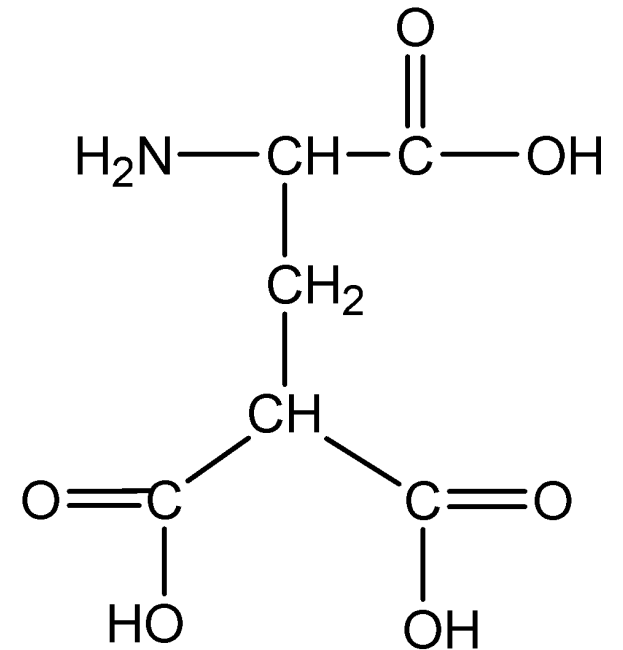
- 1. Постоянно встречающиеся** – 18 аминокислот, 2 амида (аспарагин и глутамин)
- 2. Иногда встречающиеся**



Орнитин
(Орн)



α -аминоизомасляная
кислота



γ -карбоксиглутаминовая
кислота

Классификации α -аминокислот

I. По химическому составу

- **Алифатические**
 - **Моноаминомонокарбоновые (нейтральные)** – гли, ала, сер, цис, лей, иле, вал, мет, тре, асн, глн
 - **Моноаминодикарбоновые (кислые)** – асп и глу
 - **Диаминомонокарбоновые (основные)** – лиз, орн, арг
- **Ароматические** – фен, тир
- **Гетероциклические** – три, гис, про

II. По природе радикала

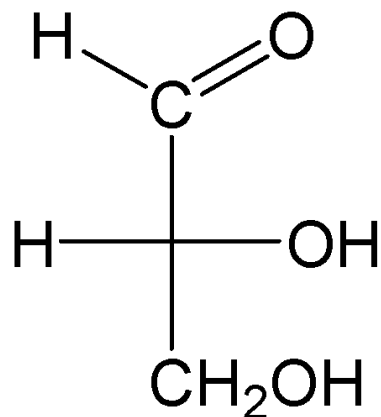
- **Неполярные (гидрофобные)** – ала, лей, иле, вал, про, три, мет, фен
- **Полярные (гидрофильные)**
 - **Незаряженные (неионогенные)** – сер, цис, тре, асн, глн, гли
 - **Ионогенные:**
 - **С отрицательными (кислыми) радикалами** – асп, глу, тир
 - **С положительными (основными) радикалами** – лиз, орн, арг, гис

Свойства аминокислот

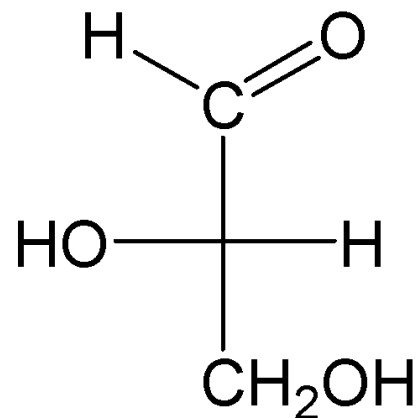
- Важная особенность – **оптическая активность** (кроме гли)
- 7 аминокислот характеризуются правым (+)
- 10 – левым (–) вращением
- **НО все относятся к L-ряду**
- **Химические свойства аминокислот** – на лабораторных и семинарских занятиях

Обозначения оптических изомеров

- (+), (–) – обозначение направления вращения плоскости поляризации
 - (+) – правовращающий изомер
 - (–) – левовращающий изомер



(+)-глицериновый
альдегид

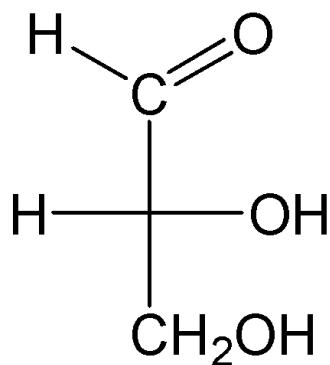


(–)-глицериновый
альдегид

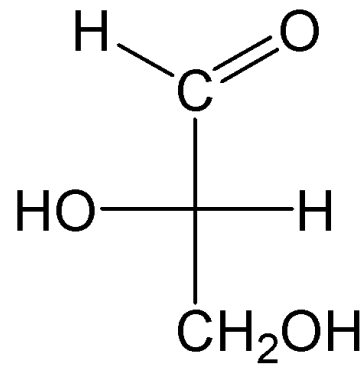


Обозначения оптических изомеров

- D, L – обозначают «фамильные» признаки (выражают конфигурацию, **относительную** к опорному соединению)
 - D – изомер имеет ту же конфигурацию, что и (+)-глицериновый альдегид
 - L – изомер, имеющий энантиомерную (антиподную) конфигурацию



(+)-D-глицериновый альдегид



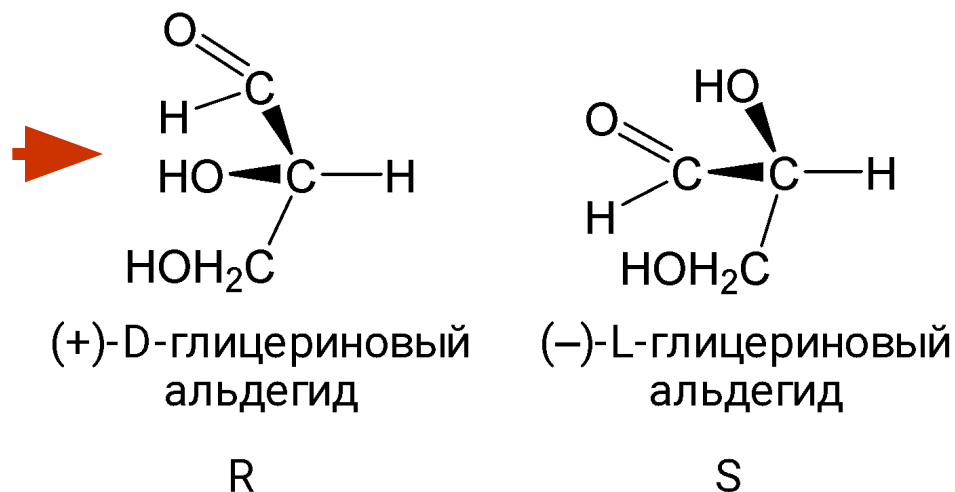
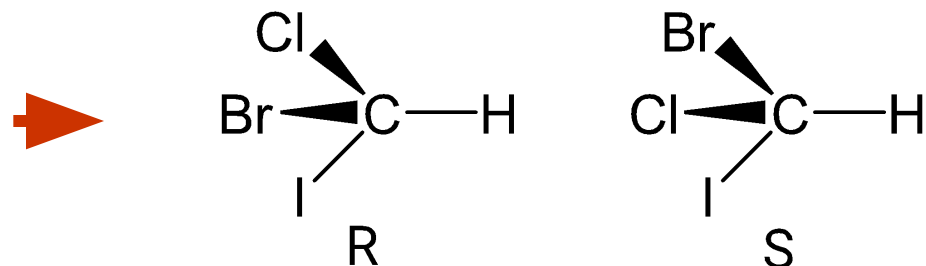
(-)-L-глицериновый альдегид



Обозначения оптических изомеров

- R, S – выражают **абсолютную** конфигурацию

- R – атомные номера заместителей (кроме заместителя с наименьшим атомным номером) или суммы атомных номеров убывают по часовой стрелке
- S – атомные номера заместителей (кроме заместителя с наименьшим атомным номером) или суммы атомных номеров убывают против часовой стрелки



ОН (8 по I слою) > **СНО** (6 по I слою, 17 – по II) > **СН₂ОН** (6 по I слою, 10 – по II) > **Н** (1 по I слою)

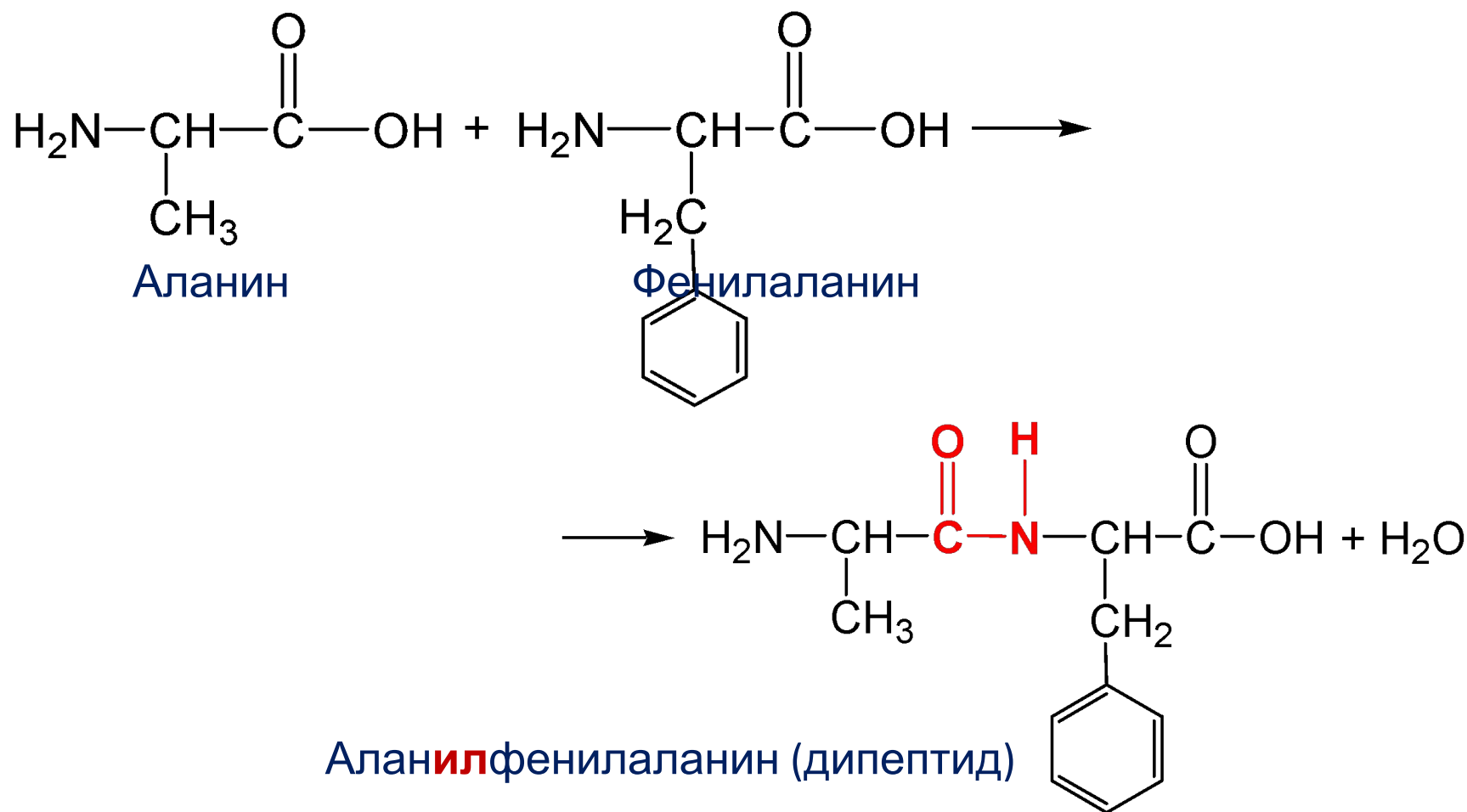
- **Радикалы аминокислот** (длина, объем, взаимное расположение, химические свойства) **определяют объем, форму, рельеф поверхности белковой частицы, степень растворимости белков в различных растворителях**
- Таким образом, **разнообразие аминокислот по химической природе и физическим свойствам связано с полифункциональностью и специфическими особенностями белковых тел**

- Общее число аминокислотных остатков в молекулах белков изменяется в широких пределах
- $M_{r, \text{ср.}}$ (аминокислотного остатка) = 115
- Коэффициент поликонденсации
 - $M = 17000$; КП = $17000/115 = 148$
 - $M = 44000$; КП = $44000/115 = 380$
- Таким образом, **одни и те же 20 аминокислот многократно повторяются в белковой молекуле, причем каждая в разной пропорции**
- **Свойства белка в значительной мере определяются набором и соотношением в нем аминокислот**

The background is a deep blue gradient with a pattern of thin, white, parallel lines that create a sense of depth and perspective, radiating from the top left. A thick white horizontal bar spans the width of the slide, with a gold-colored, folded-corner effect on its right side.

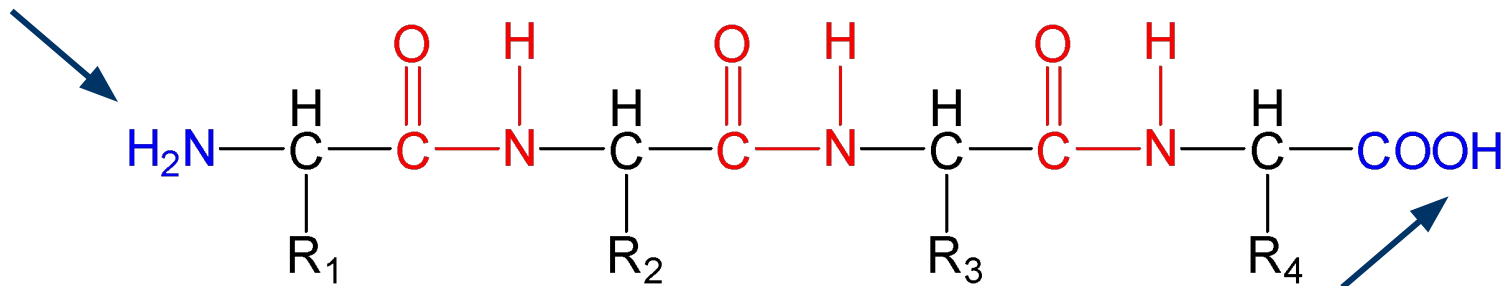
Пептиды

Образование пептидов



- Образование пептидных связей в воде **термодинамически невыгодно** ⇒ **необходимость предварительной активации взаимодействующих групп** при химическом синтезе и биосинтезе пептидной связи
- Но **кинетически пептидная связь достаточно стабильна** и ее **гидролитическое расщепление** происходит **лишь при использовании катализаторов** (кислот, щелочей или пептидаз)

N-концевой (аминоконцевой) остаток (начало цепи)



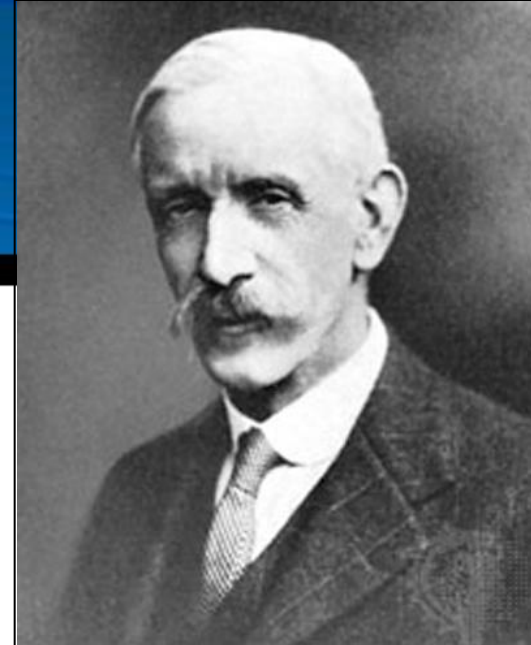
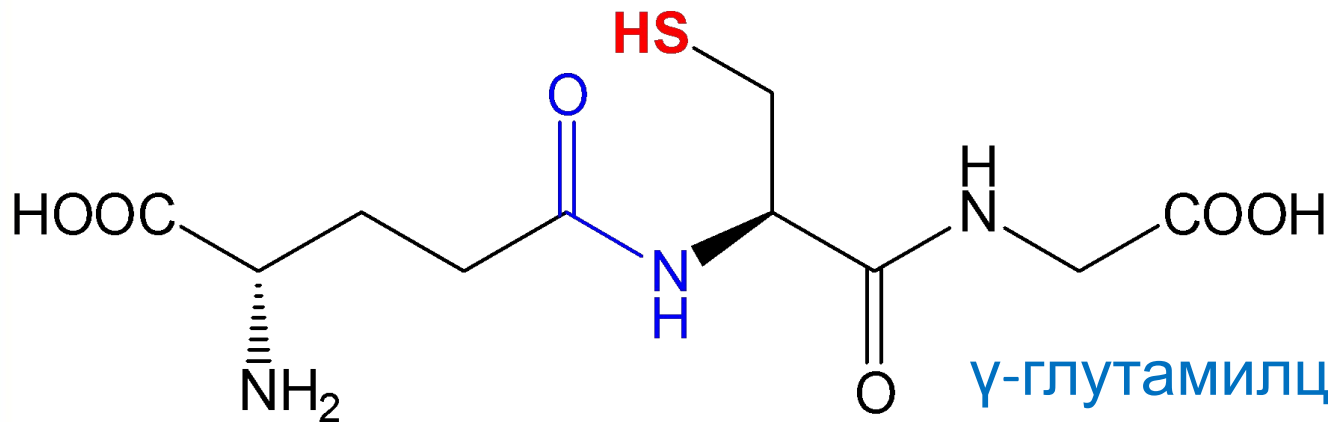
C-концевой (карбоксиконцевой) остаток (конец цепи)

The background is a dark blue gradient with a pattern of thin, white, parallel lines that create a sense of depth and perspective. A thick white horizontal bar spans the width of the image, with a gold-colored tab-like shape extending from its right end. The text is positioned in the lower-left quadrant of the image.

Природные пептиды

Глутатион

- **Трипептид**
- **Ф. Хопкинс** (1930), из дрожжей



Фредерик Гоулэнд Хопкинс (1861 – 1947)

- **легко окисляется:**



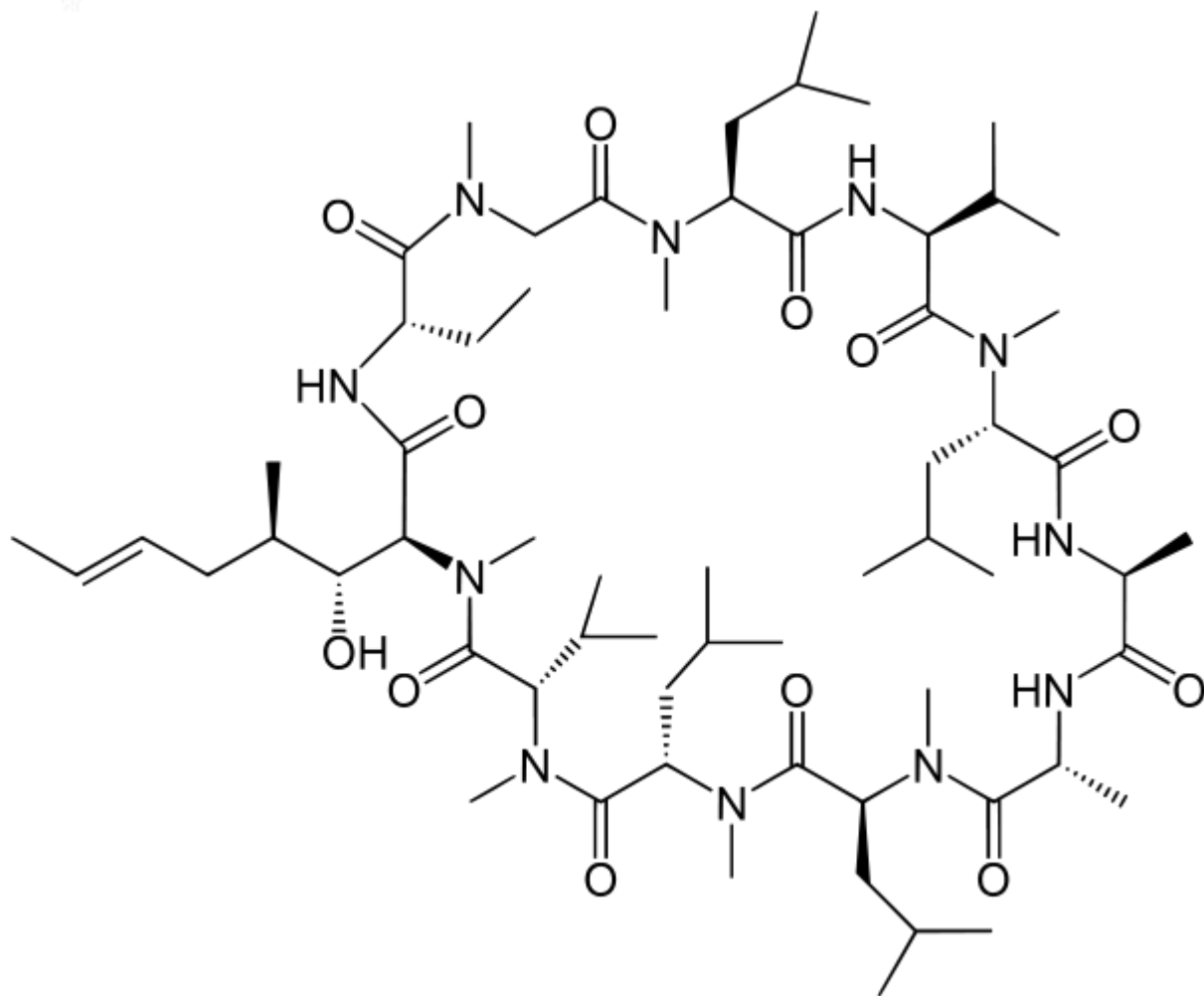
восстановленная форма

(сульфгидрильная)

окисленная форма

(дисульфидная)

- **входит в состав окислительно-восстановительных ферментов (кофермент), принимает участие в разложении H_2O_2 , в образовании "правильных" дисульфидных связей в белках**

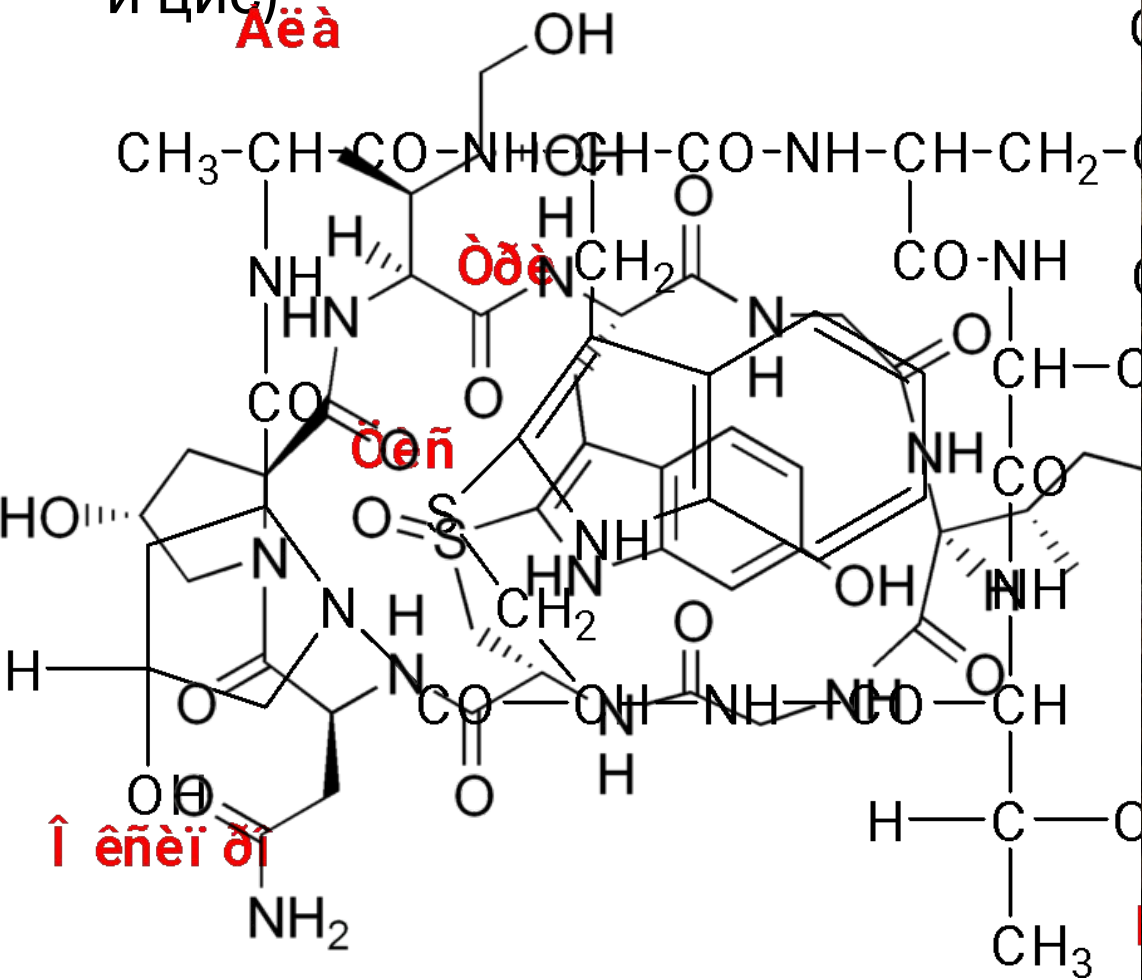


Циклоспорин



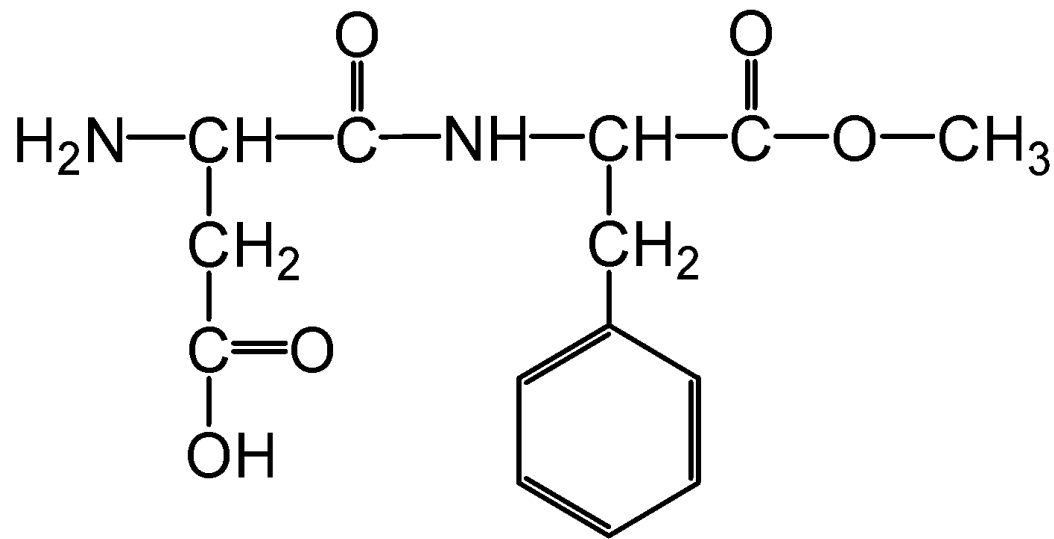
Пептидные токсины

- токсины бледной поганки – **фаллоидин** и **α-аманитин** – циклопептиды необычной структуры – бициклические системы с мостиком из бифункциональной аминокислоты **триплатионина** (продукта окислительной конденсации три и цис)



Пептиды с вкусовыми качествами

- **Аспартам** – метиловый эфир L-аспартил-L-фенилаланина – в 200 раз слаще сахарозы



- Гептапептид **арг-глу-про-про-фен-иле-вал** из казеина – горький, как хинин

Структура белковой молекулы

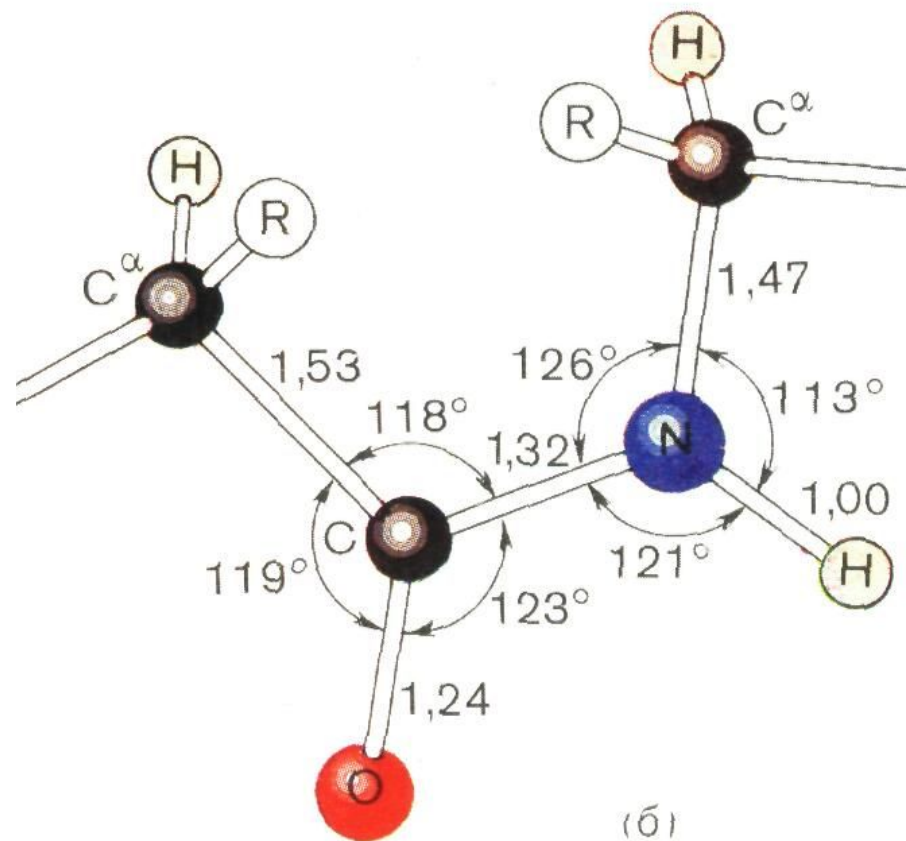
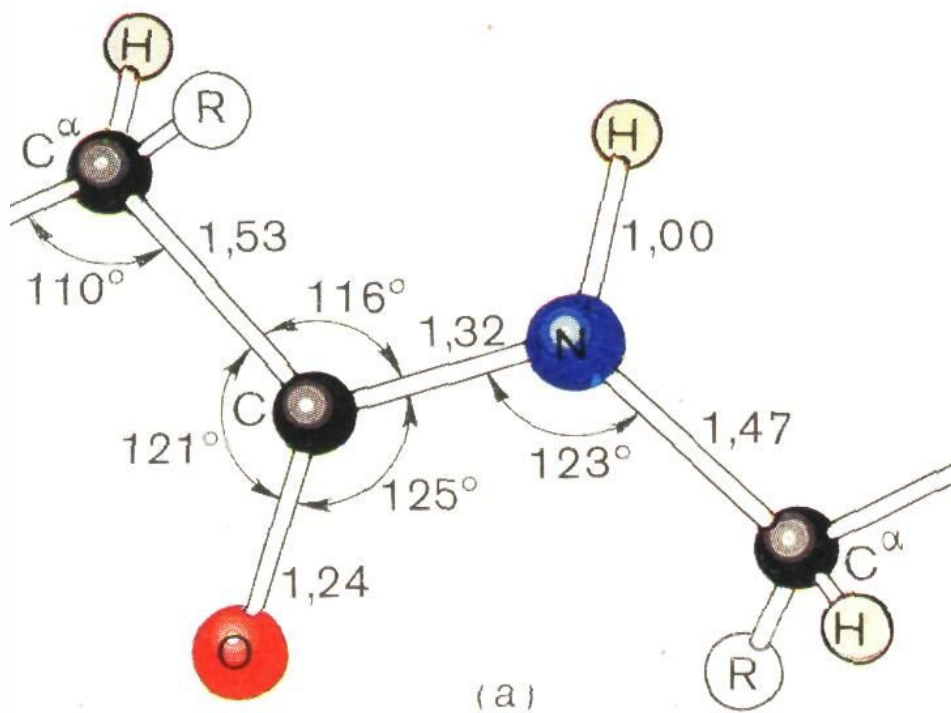
Полипептидная теория строения белка

- 1902 г., **Э. Фишер**
- Белки – сложные полипептиды, в которых отдельные аминокислоты связаны друг с другом пептидными ($R-CO-NH-R'$) связями, возникающими при взаимодействии карбоксильных и аминогрупп аминокислот



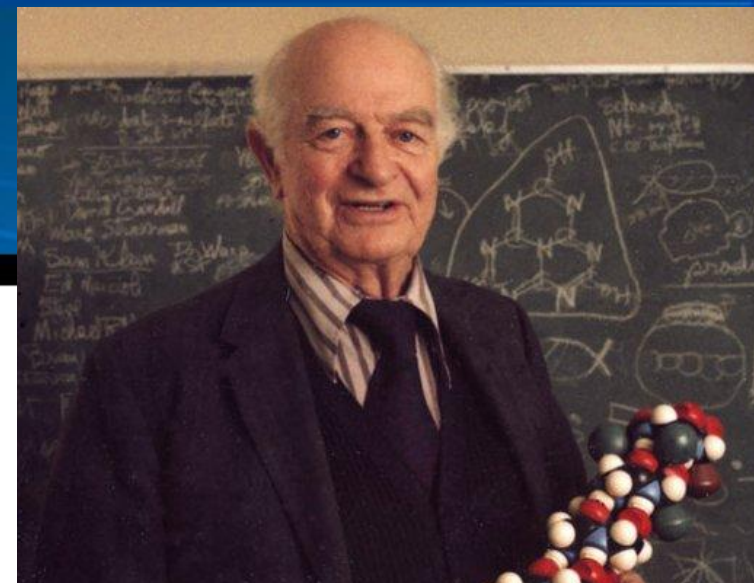
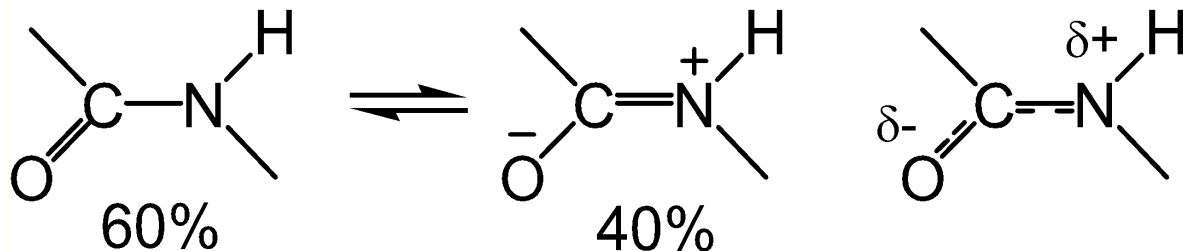
Эмиль Герман Фишер
(1852 – 1919)

Структурные особенности пептидной цепи

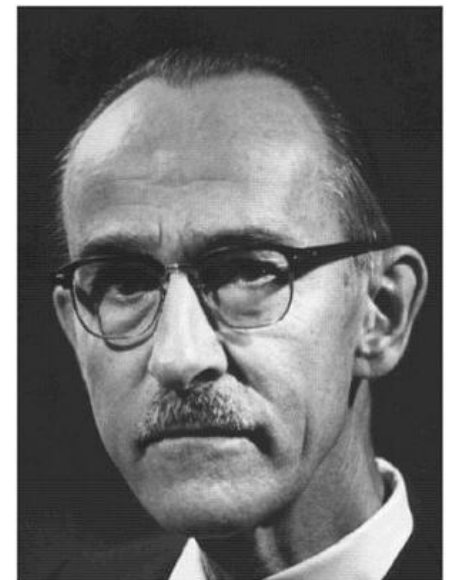


Структурные особенности пептидной цепи

- Пептидная связь примерно на 10% короче связи $-C-N-$ и имеет характер «частично двойной» связи $-C=N-$
- **Л. Полинг** и **Р. Кори** (1948–1955 гг.) – «резонанс» между двумя формами

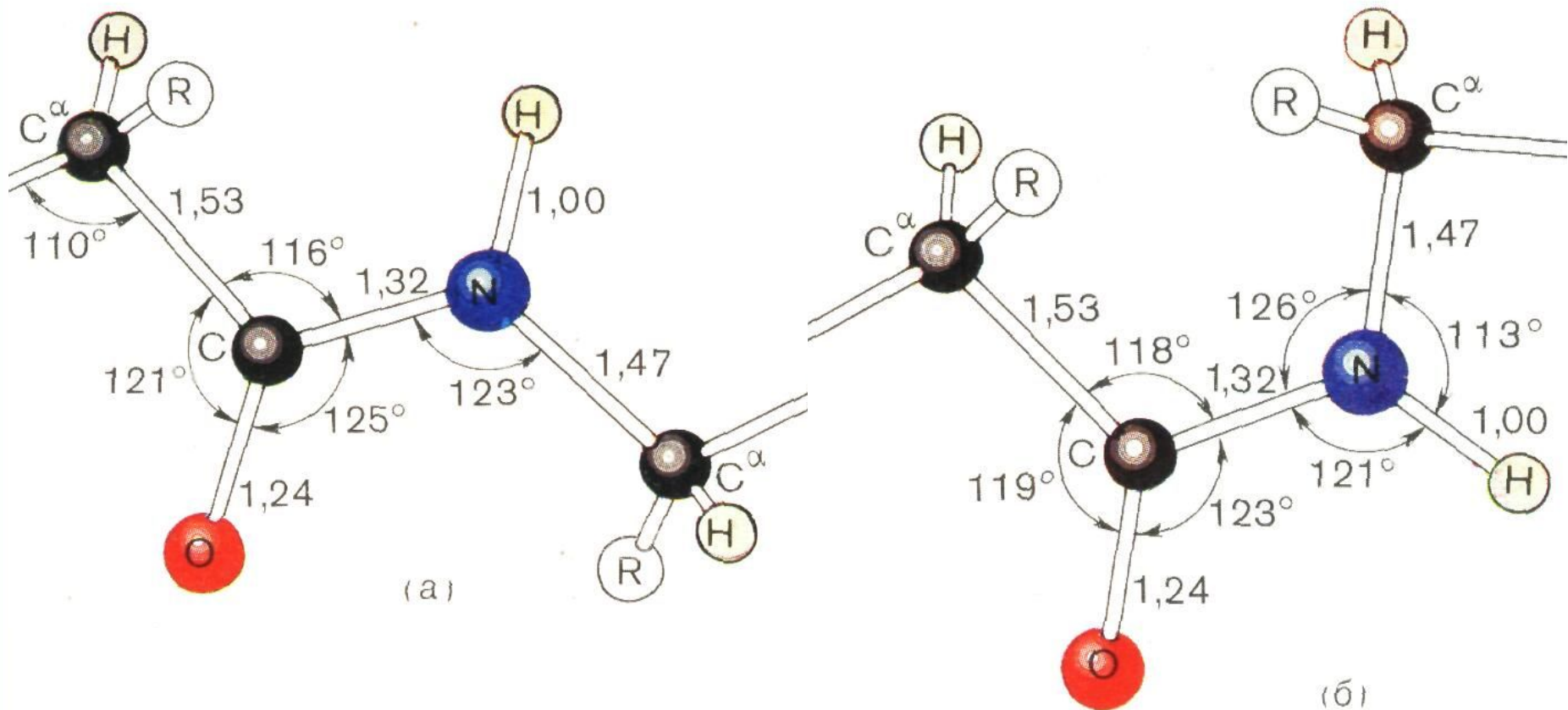


Лайнус Карл Полинг
(1901 – 1994)



Роберт Брайан Кори
(1897 – 1971)

Структурные особенности пептидной цепи

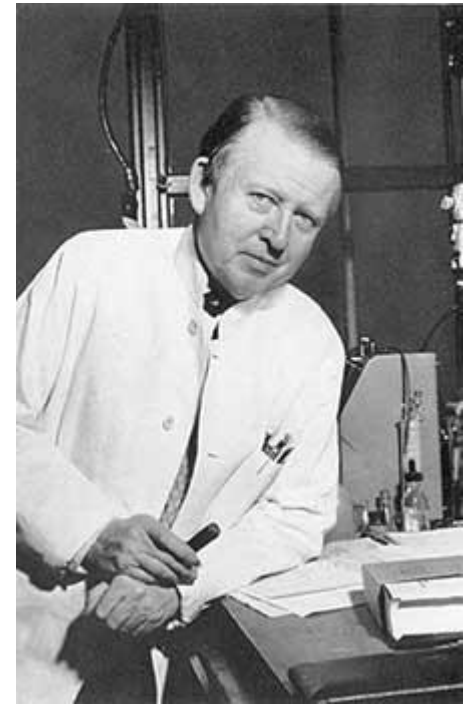




Уровни организации белковой молекулы

- **К. У. Линдерстрем-Ланг**
- **4 уровня организации белковых молекул**

- Первичная
 - Вторичная
 - Третичная
 - Четвертичная
- С
Т
Р
У
К
Т
У
Р
Ы



Кай Ульрик
Линдерстрём-Ланг
(1896 – 1959)



Первичная структура белка

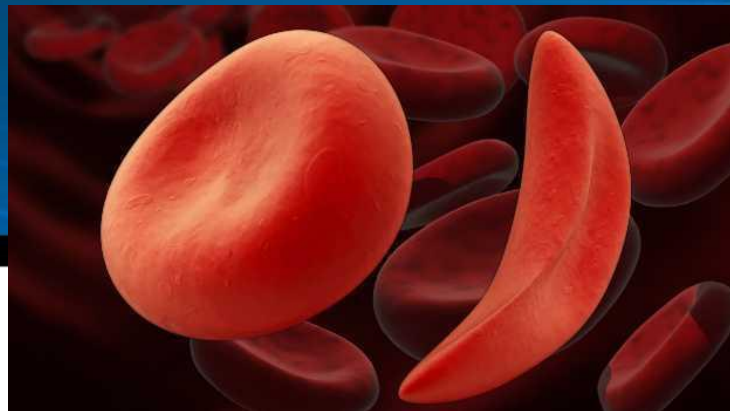
Первичная структура белка

- последовательность аминокислотных остатков в полипептидной цепи
 - кодируется структурным геном данного белка
 - содержит все необходимое для самоорганизации его пространственной структуры
- Все белки различаются по первичной структуре
- Потенциально возможное число таких структур неограниченно
- **НО** общее число различных типов белков у всех видов живых организмов $\sim 10^{10}-10^{12}$

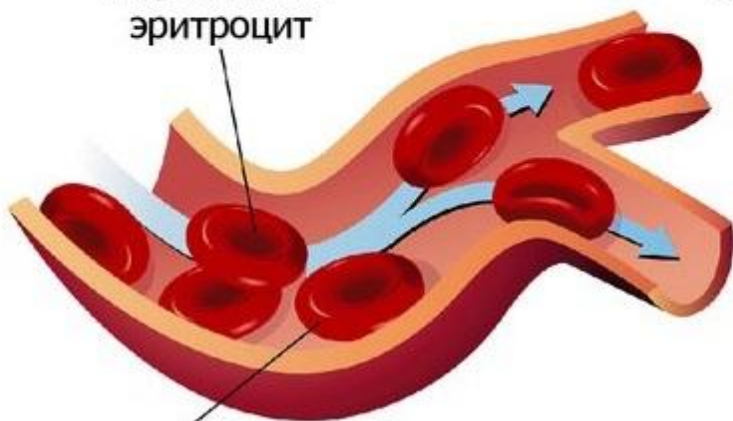
Почему важно знать первичную структуру?

- определение **вторичной и третичной структур**
- выяснение **расположения функциональных групп в активном центре**, механизма его функционирования
- выяснение **характера наследственных болезней** на молекулярном уровне

Серповидноклеточная анемия

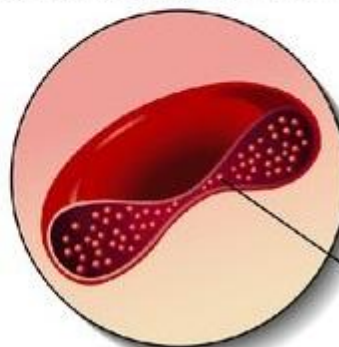


Нормальный эритроцит



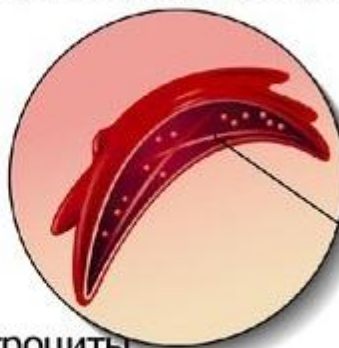
Эритроцит свободно проходит по сосудам

Нормальный эритроцит в разрезе



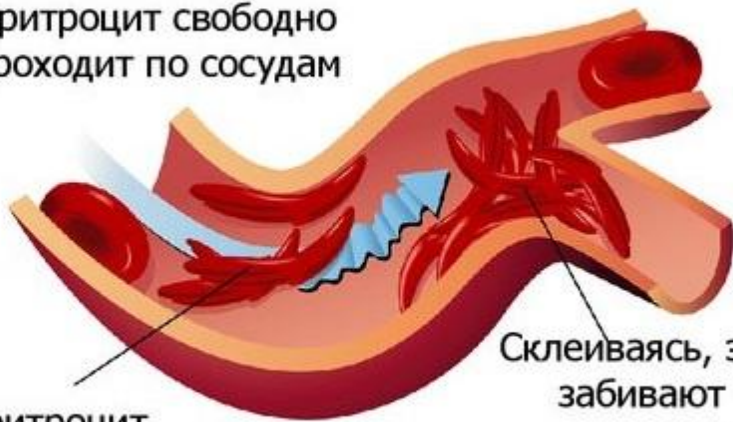
Нормальный гемоглобин

Серповидный эритроцит в разрезе



Аномальный гемоглобин формирует тяжи, обуславливающие серповидную форму эритроцитов

Серповидный эритроцит



Склеиваясь, эритроциты забивают просвет сосуда

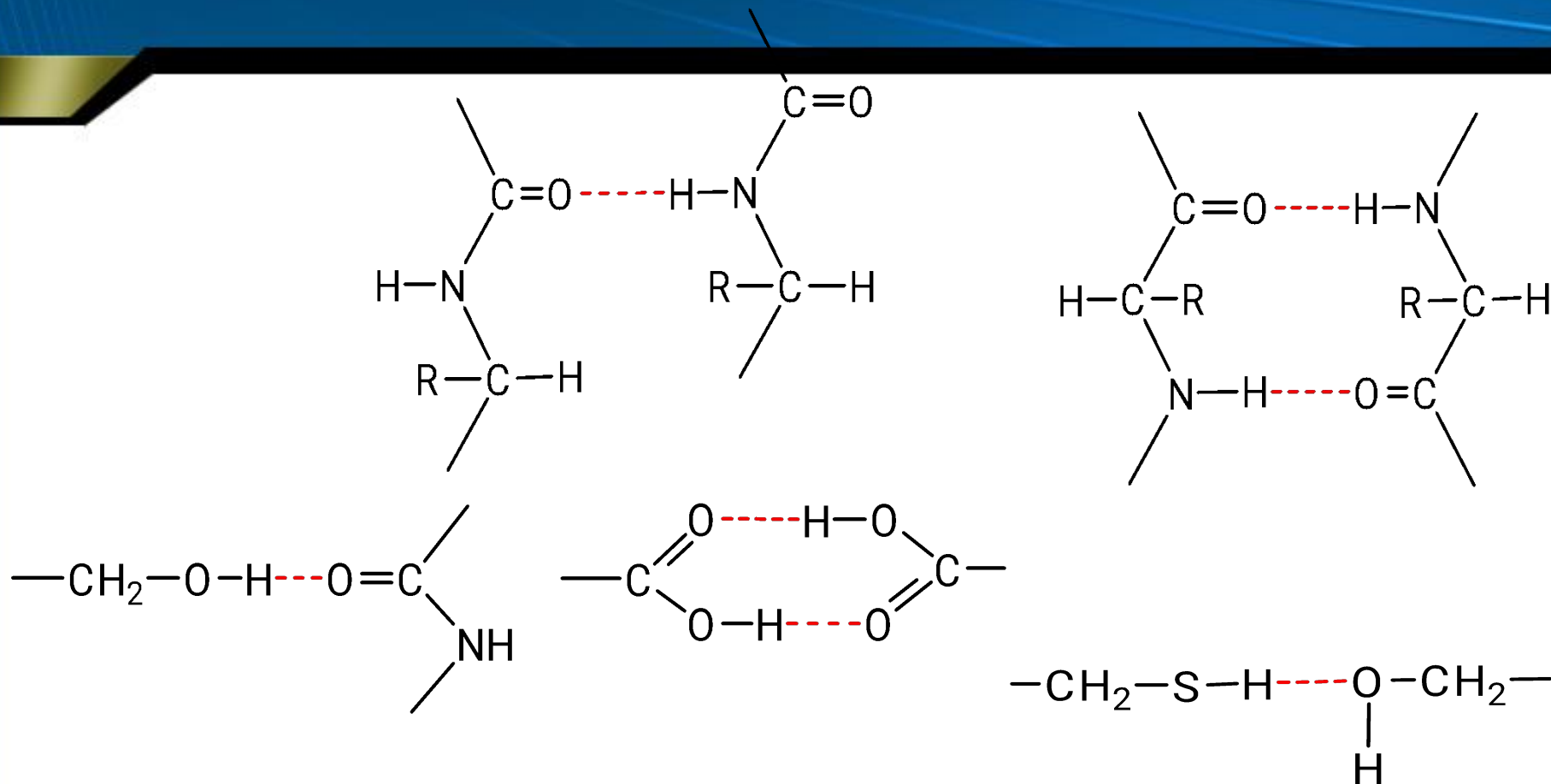
Почему важно знать первичную структуру?

- определение **вторичной и третичной структур**
- выяснение **расположения функциональных групп в активном центре**, механизма его функционирования
- выяснение **характера наследственных болезней** на молекулярном уровне
- установление и проверка **таксономических взаимоотношений** между различными видами живых организмов и построении **схемы биологической эволюции**



Невалентные
взаимодействия в пептидной
цепи

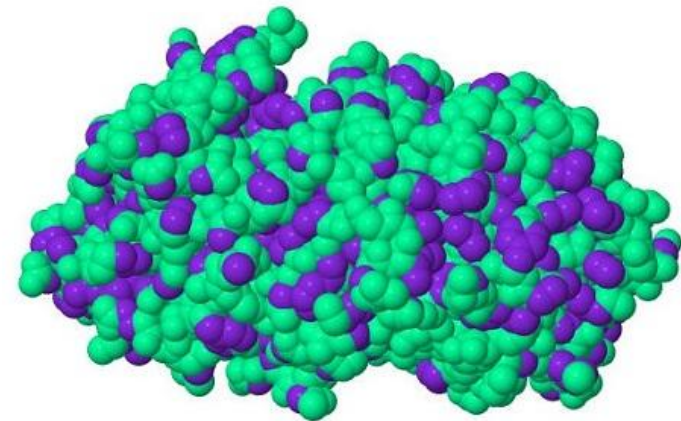
Водородные связи

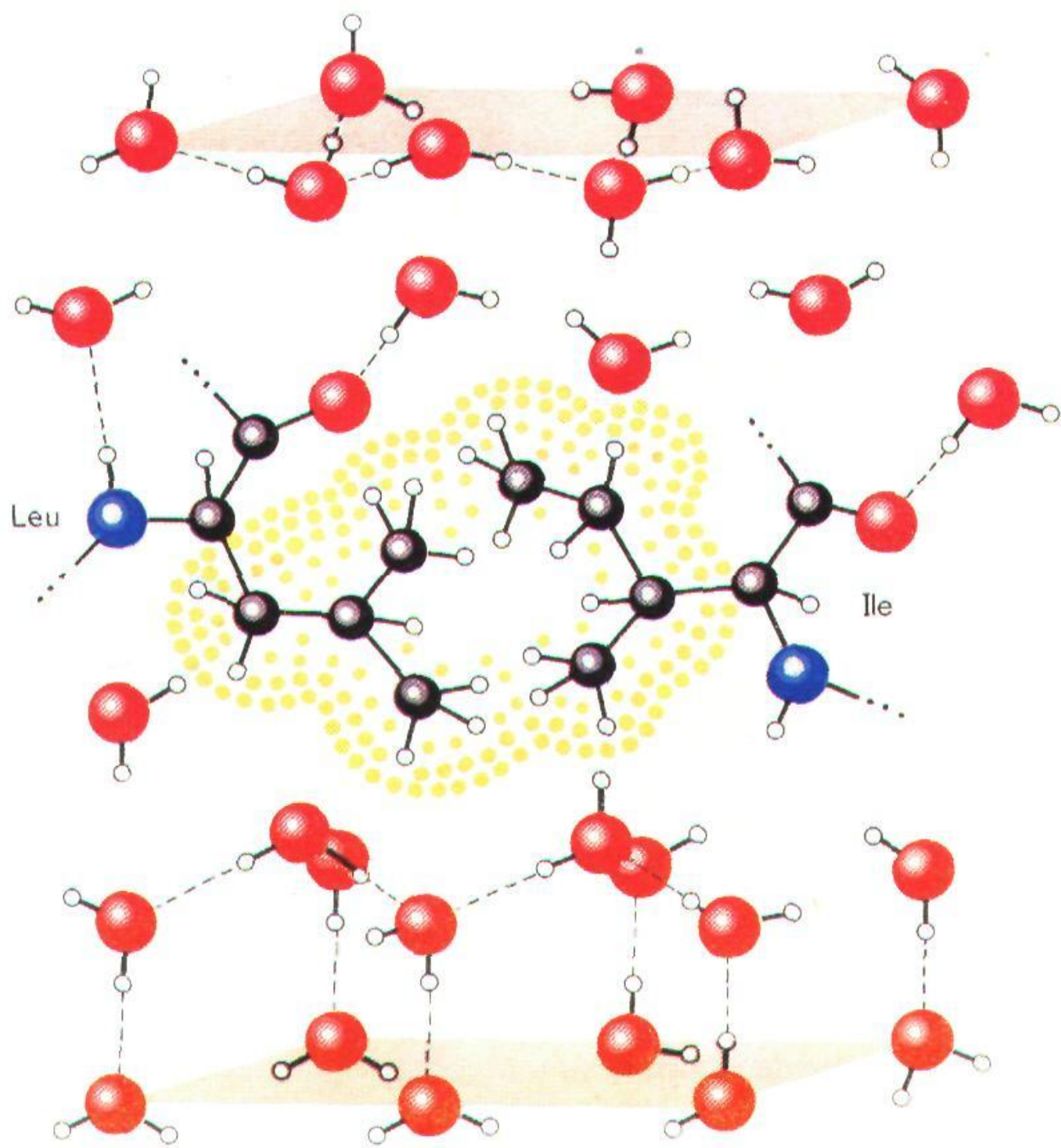


В неполярном окружении энергия водородной связи $-\text{CO} \cdots \cdots \text{HN}-$ составляет около **16,7 кДж/моль**, а повышение полярности среды снижает эту энергию

Гидрофобные взаимодействия

- Энтروпийная природа
- **Неполярные заместители «выталкиваются» из воды и стремятся ограничить свой контакт с ней**
- Напротив, **вода стремится восстановить свое структурированное состояние** и как бы принудительно группирует заместители в кластеры, обладающие минимумом энергии
- Вступают в основном **неполярные боковые группы аминокислотных**



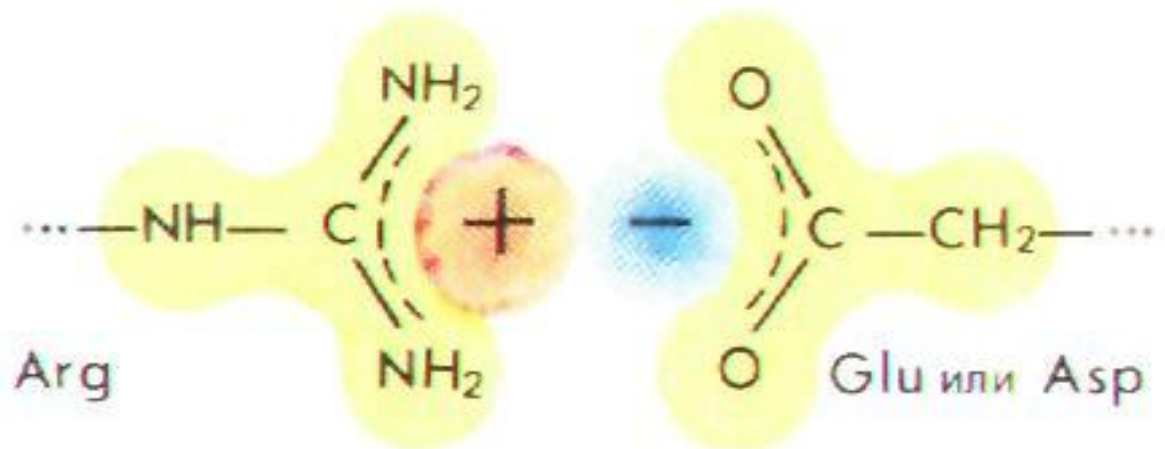


Ван-дер-ваальсовы взаимодействия

- Дисперсионные силы притяжения атомов и
- Силы взаимного отталкивания их электронных оболочек
- Энергетический вклад каждого контакта $<0,42$ кДж/моль, но ввиду большого числа – основной вклад в суммарную энергию внутримолекулярных невалентных взаимодействий

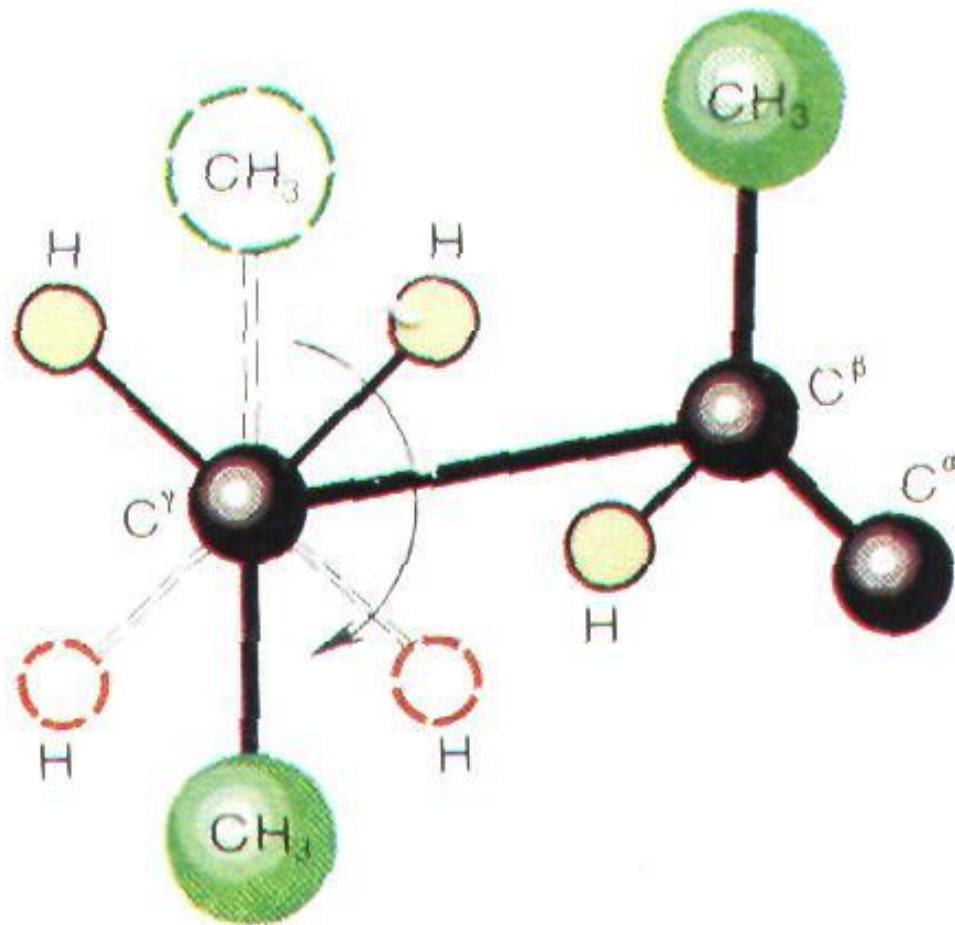
Ионные (электростатические) взаимодействия

- Взаимодействия ионогенных групп, образующих солевые связи
 - Энергия солевых связей в гидрофобном окружении может достигать **41,9 кДж/моль**, но их число сравнительно невелико
- **Ион-дипольные** и **диполь-дипольные** взаимодействия



Торсионные взаимодействия

- **Характеризуют «скрученность» одинарной связи**
- **Относительно слабы,** но при анализе поворотов вокруг связей С–С, С–N в боковых цепях аминокислотных остатков их нельзя не учитывать





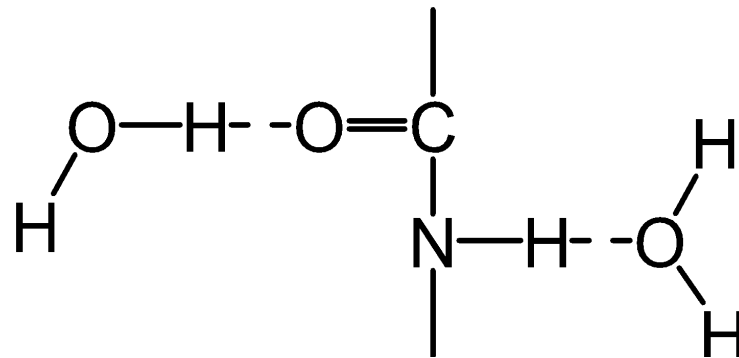
Вторичная структура белков

Вторичная структура белка...

- пространственное расположение **отдельных участков** полипептидной цепи без учета типа и конформации боковых радикалов аминокислот
- Образуется за счет **водородных связей между пептидными группами** как одной цепи, так и разных цепей
- **Любой участок** молекулы белка имеет вторичную структуру
 - Иногда рассматривают как вторичную структуру только **периодические** ее элементы: **α -спираль** и **β -структуру**
- 2 вида вторичных структур: **регулярные** и **нерегулярные**
- Понятие вторичной структуры относится не ко всей белковой молекуле в целом, а **к отдельным более или менее протяженным участкам** ее полипептидной цепи

Стабилизация вторичной структуры за счет водородной связи

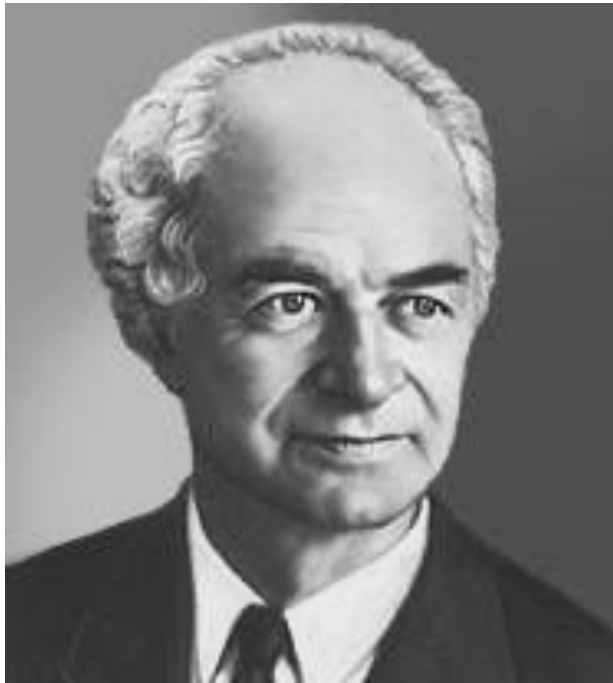
- Влияние окружающей белок воды



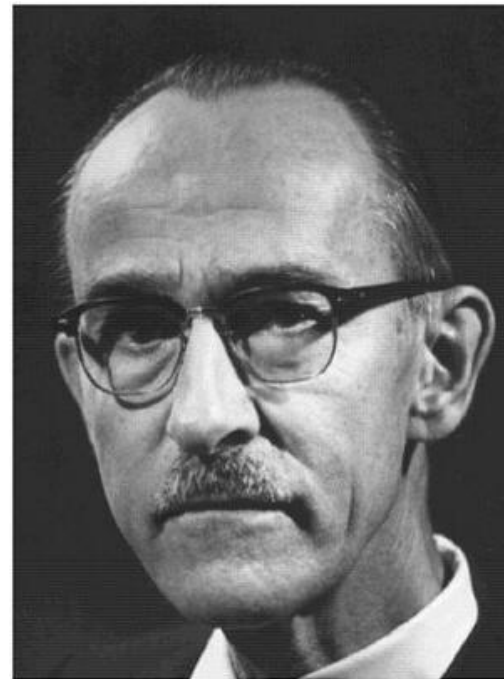
- Влияние воды снижается при формировании компактной пространственной структуры белка, росте содержания пептидных связей, повышении вероятности их взаимодействия
- Таким образом, **стабильность вторичной структуры зависит от ее включения в компактную третичную структуру**

α -Спираль

- 50-е годы XX в.
- Л. Полинг и Р. Кори



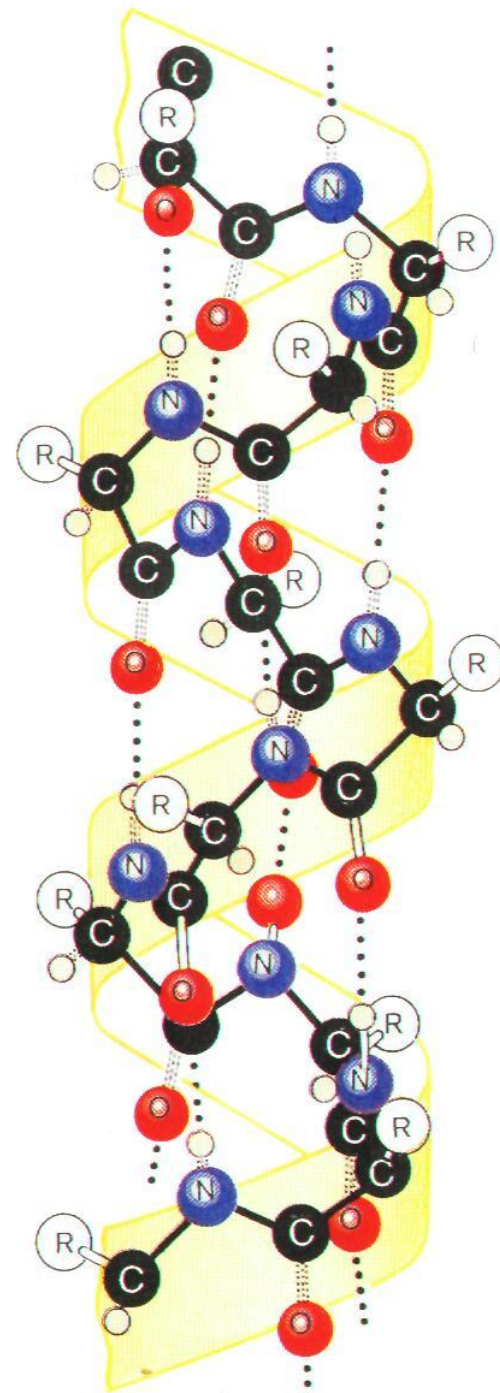
Лайнус Карл Полинг
(1901 – 1994)



Роберт Брайан Кори
(1897 – 1971)

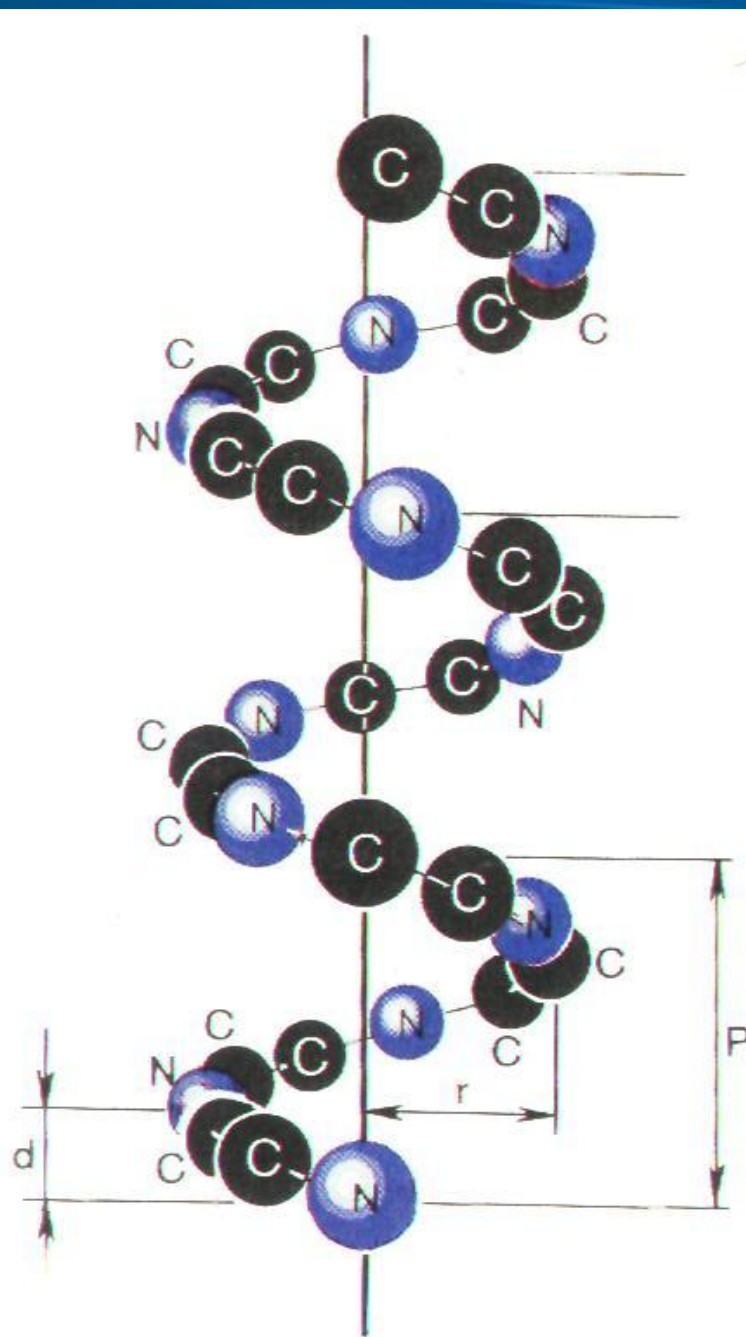
α-Спираль

- Радикалы аминокислотных остатков – на периферии образованного спиралью цилиндра и могут обеспечивать гидрофобную или гидрофильную природу цилиндрической поверхности



Геометрические параметры α -спирали

- $r = 2,3 \text{ \AA}$ (0,23 нм)
- высота спирали (смещение) на 1 остаток $d = 1,5 \text{ \AA}$
- шаг спирали (период идентичности) $P = 5,4 \text{ \AA}$
- 1 виток спирали – **3,6 аминокислотных остатка**
- все связи $-\text{C}=\text{O}$ ориентированы вперед, к С-концу, а группы $-\text{N}-\text{H}$ – назад
- Каждая $-\text{NH}$ -группа соединена водородной связью с группой $-\text{CO}$ 4-го от нее аминокислотного остатка (5 \rightarrow 1 связь)



α-Спираль

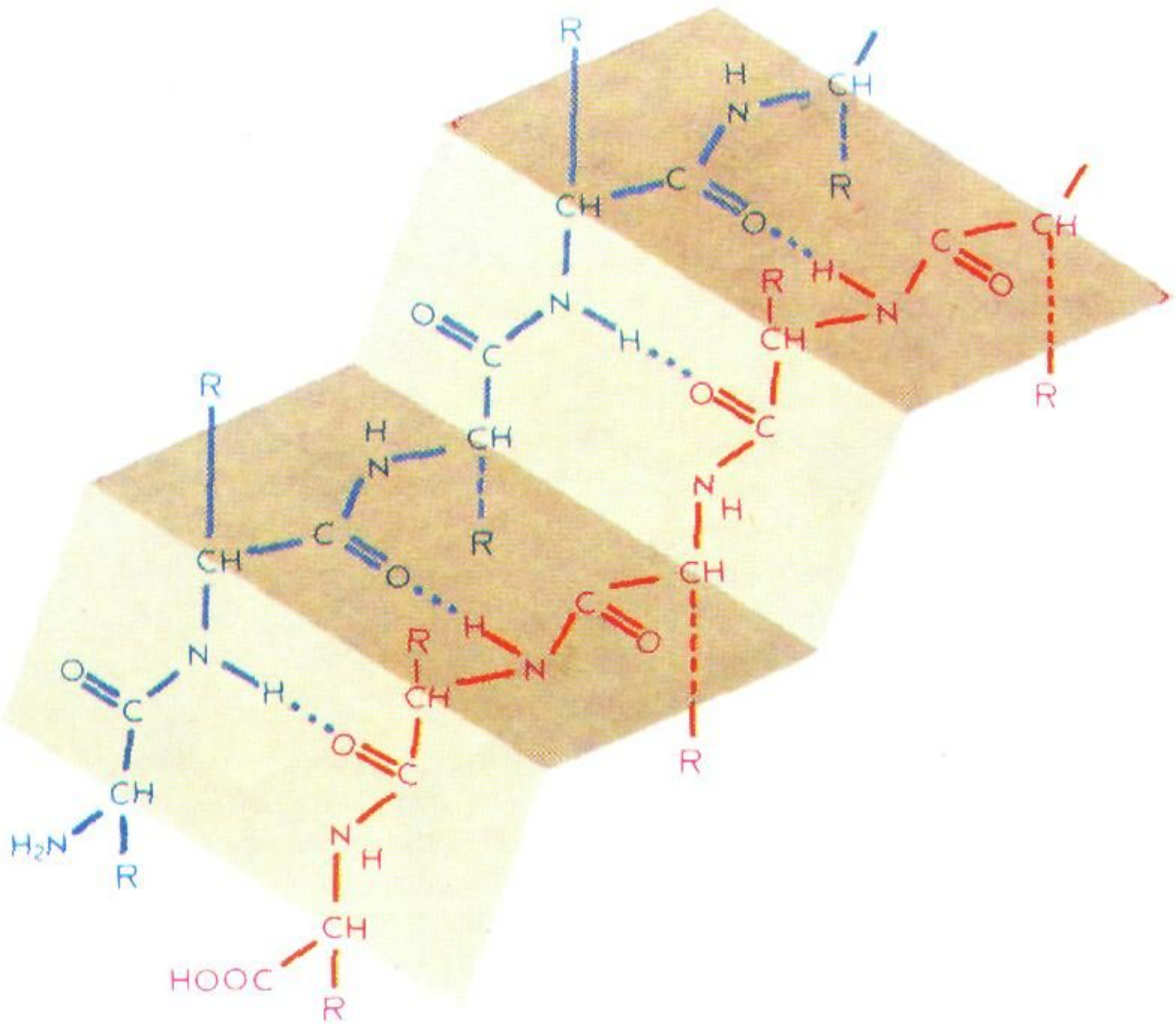
- Длина α-спиральных участков
 - **в глобулярных белках** относительно невелика (5–15 аминокислотных остатков, 3–4 витка спирали)
 - **в фибриллярных белках** – гораздо протяженнее
- Иногда наблюдаются изломы α-спирали, обычно в местах включения остатков про, прерывающих системы водородных связей. При этом ось спирали отклоняется на 20–30°

β-Структура

- **У. Т. Астбери**, 1941 г.
- 1951 г., **Л. Полинг** и **Р. Кори** установили, что β-структура, или «**складчатый лист**», – это стабилизированный межцепочечными водородными связями ассоциат вытянутых, зигзагообразных пептидных цепей



Уильям Томас Астбери
(1898 – 1961)



β-Структура

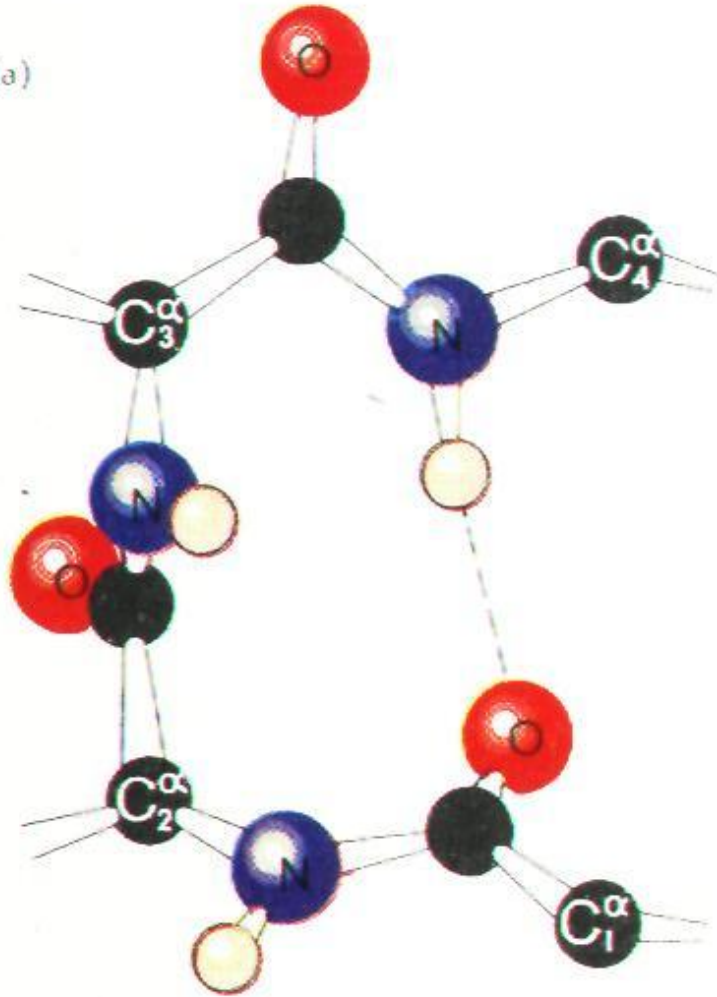
- Число аминокислотных остатков в отрезке пептидной цепи, образующем β-структуру, обычно 3 – 8
- Протяженная β-структура (**β-слой, β-складчатый лист**) чаще всего состоит из 2–6 цепей, иногда до 10
- Боковые группы аминокислотных остатков оказываются **по разные стороны ее поверхности**
- Поверхность имеет **складчатую форму**
 - Отходящие от них боковые группы – **ребри**
 - Это позволяет формировать довольно протяженные поверхности, насыщенные однотипными (например, гидрофобными) боковыми радикалами
 - Гидрофобные поверхности β-складчатого слоя, взаимодействуя между собой или с гидрофобными гребнями α-спиралей, участвуют в построении внутримолекулярных **гидрофобных ядер**, стабилизирующих пространственную структуру белка

β-Изгиб

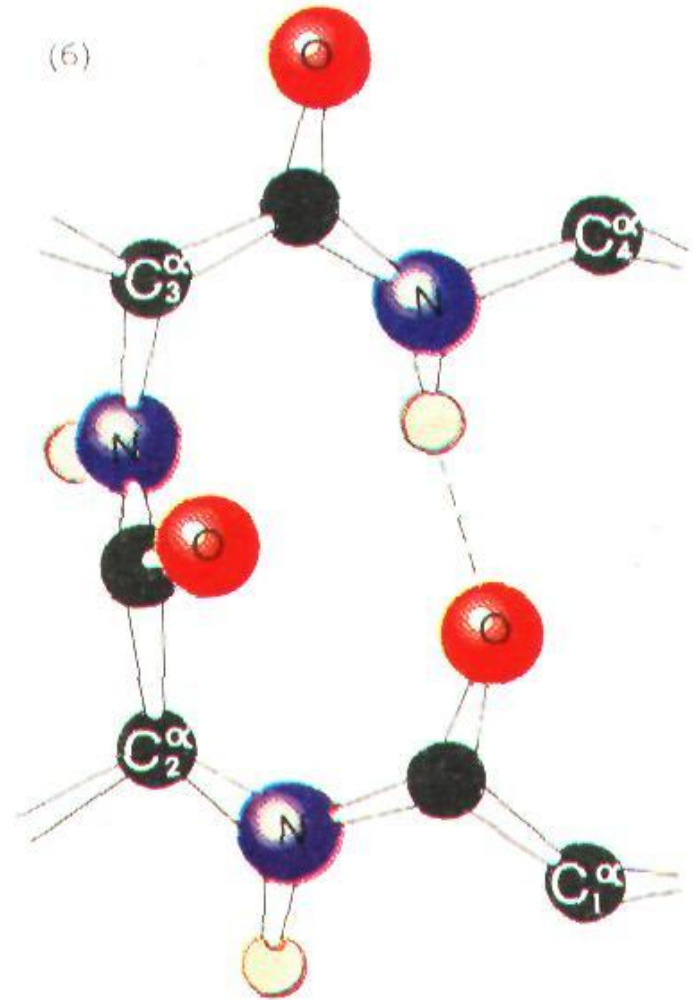
- **Петли**, позволяющие изменить направление пептидной цепи
- Наиболее экономно – **β-изгиб**
- Стабилизируется одной водородной связью
- Практически всегда оказывается **на поверхности белковой глобулы**, поэтому нередко играет существенную роль в ее взаимодействии с другими молекулами

β-Изгиб

(а)



(б)



Вторичная структура белков

**Зависимость от аминокислотной
последовательности**

- **Способ укладки молекулы белка определяется его аминокислотной последовательностью**
 - **α -спираль** – ала, лей, глу
 - **β -структура** – мет, вал, иле
 - **изгиб цепи** – гли, про, асн
- Если из 6 сгруппированных остатков аминокислот 4 способствуют образованию спирали, – **центр спирализации**
- Если 3 остатка из 5 сгруппированных способствуют образованию β -структуры, – **затравка для β -слоя**



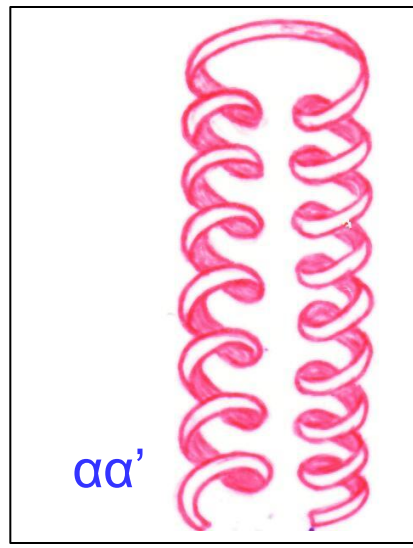
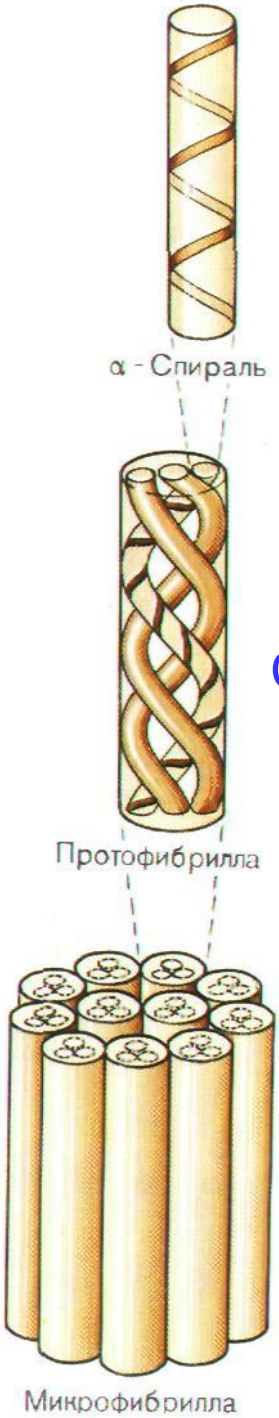
Сверхвторичная
(надвторичная) структура
белков

Сверхвторичная (надвторичная) структура белков

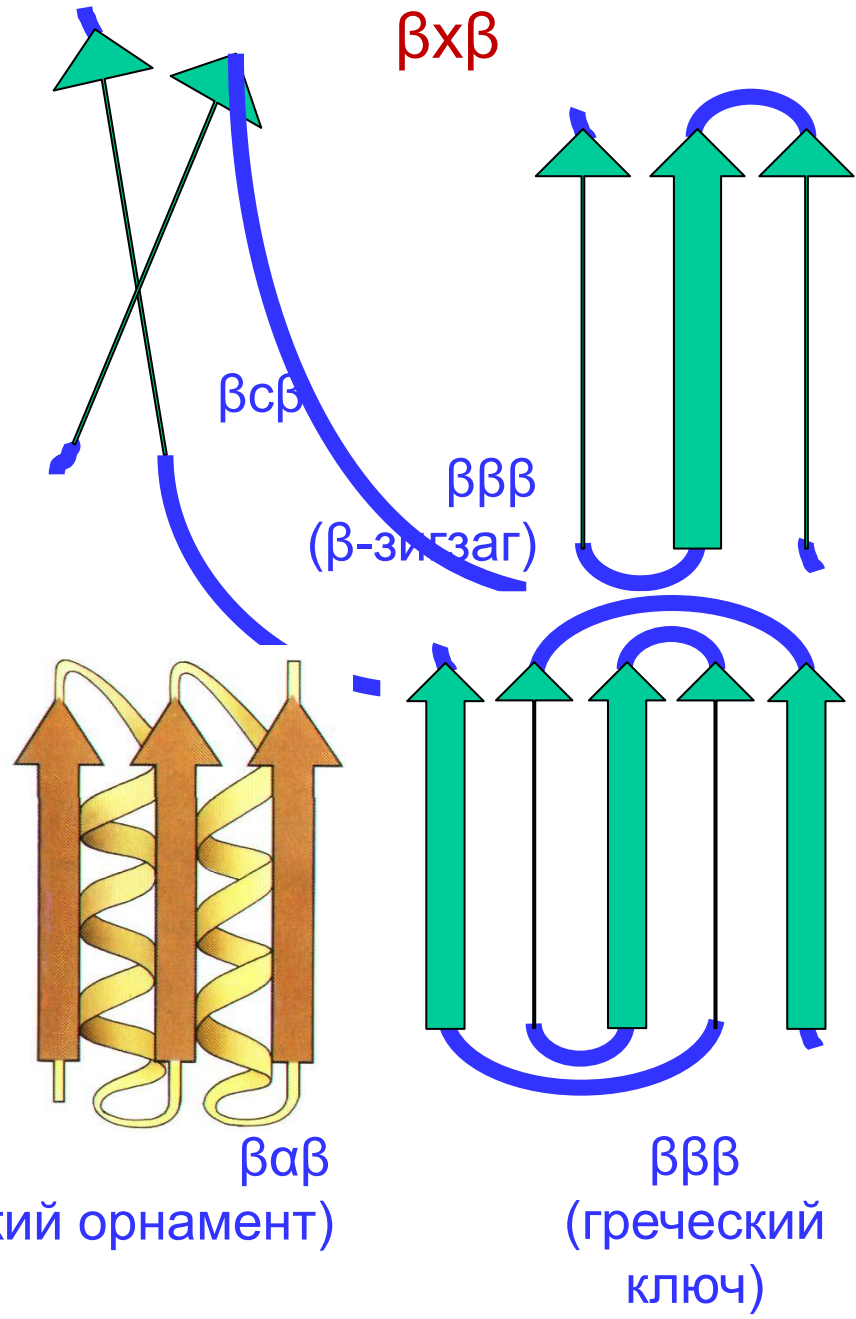
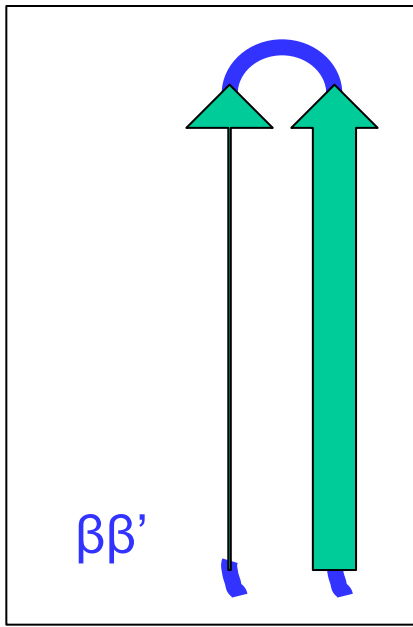
- Пространственное строение ансамблей взаимодействующих между собой вторичных структур

Сверхвторичная (надвторичная) структура белков

Типы сверхвторичных структур



Суперспирализованная α-спираль (α-кератин)

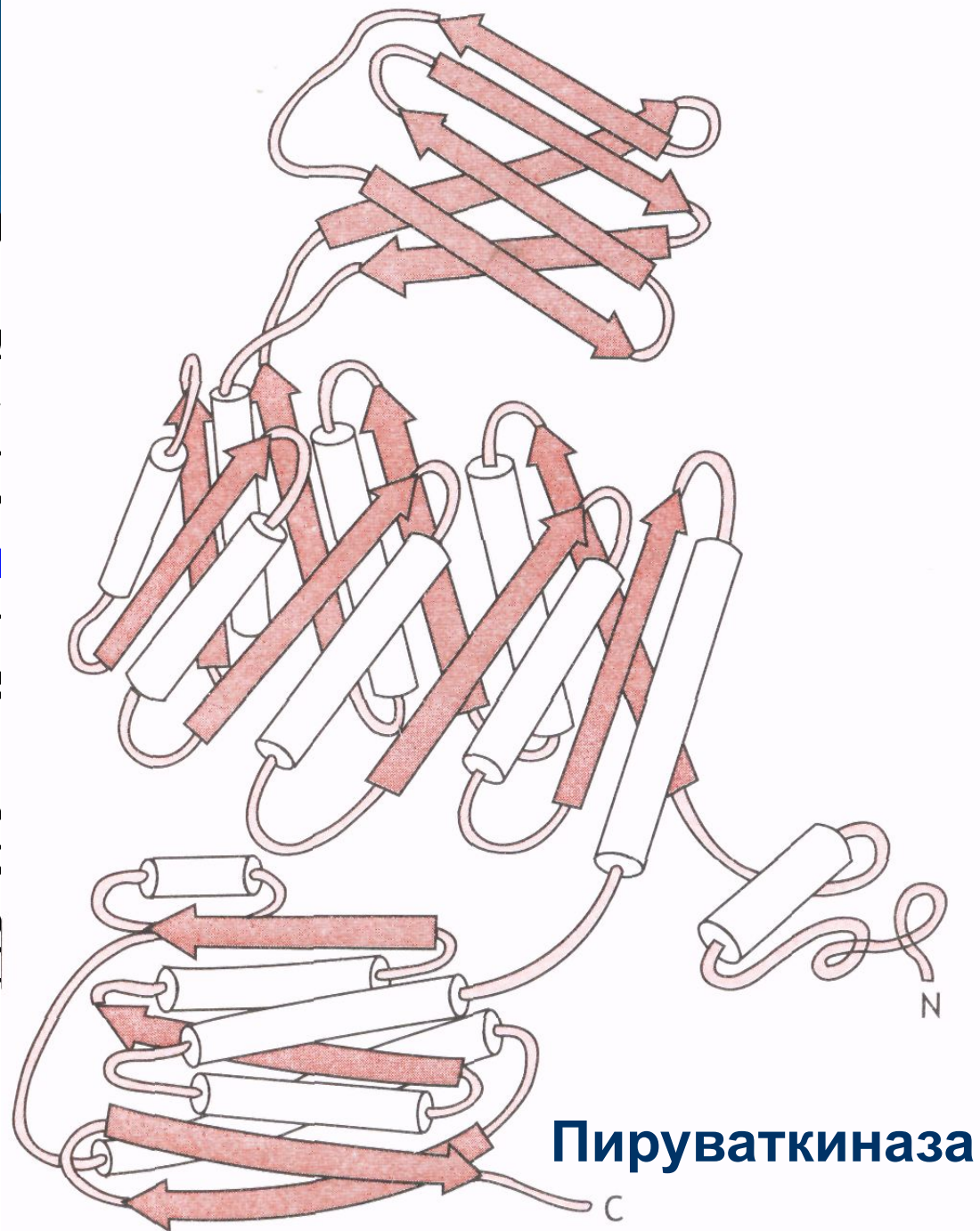




Домены

Домены...

- (от фр. *domaine* – владение) функционально обособленные участки молекулы, соединенные между собой **шарнирными участками**
- фрагменты полипептида, обладающие свойствами с самостоятельными белками
- Функциональные домены могут состоять из одного или нескольких структурных элементов
- У ряда ферментов в активном центре располагается активный сайт

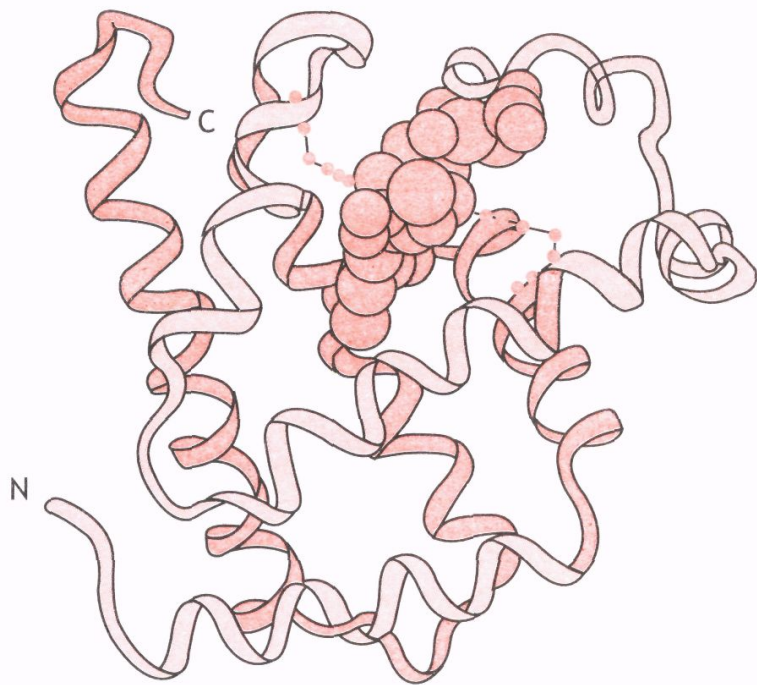


Домены

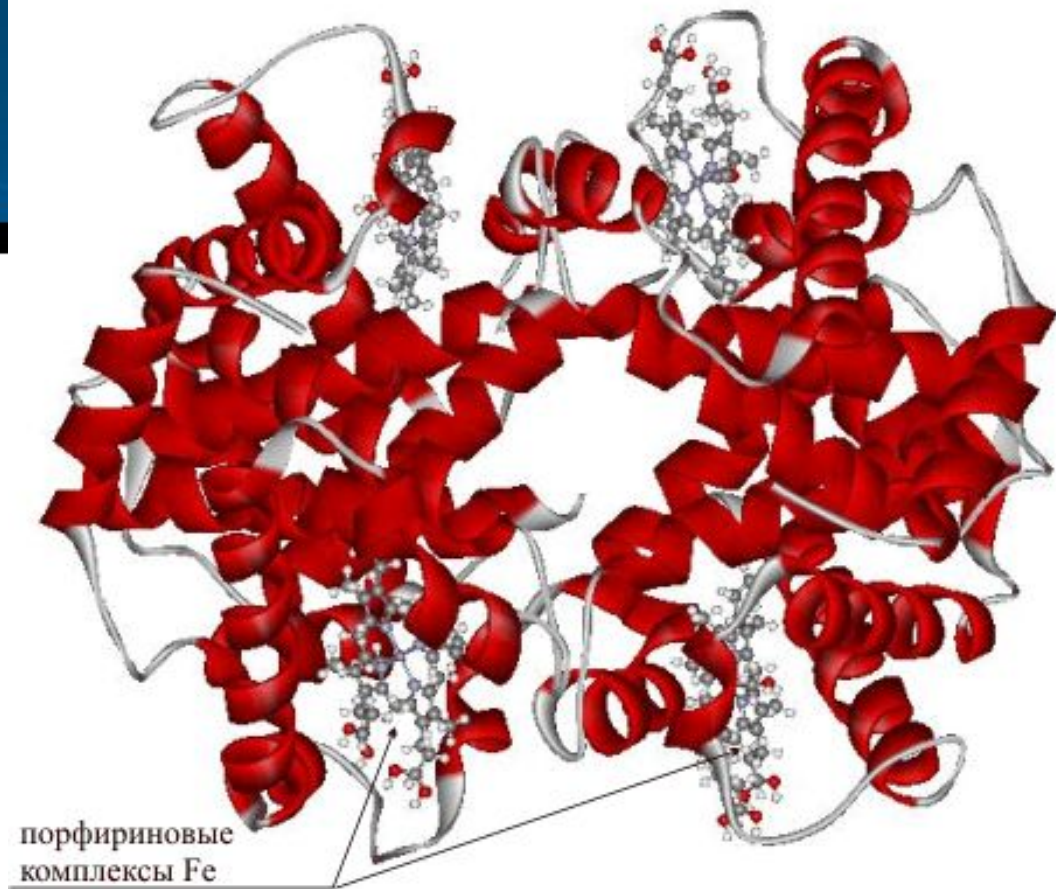
Классификация структурных доменов и белков по организации пространственной структуры полипептидной цепи



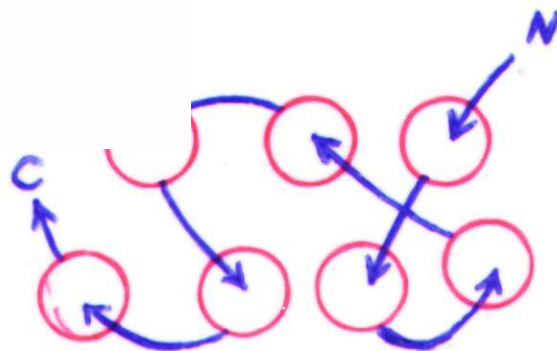
1. α -Белки



Миоглобин

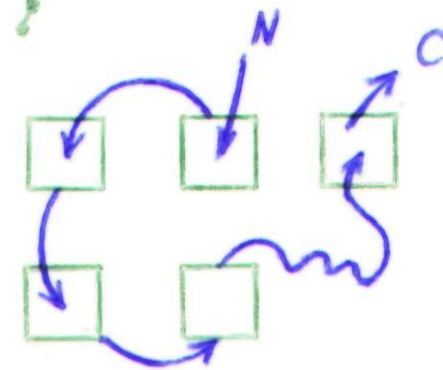
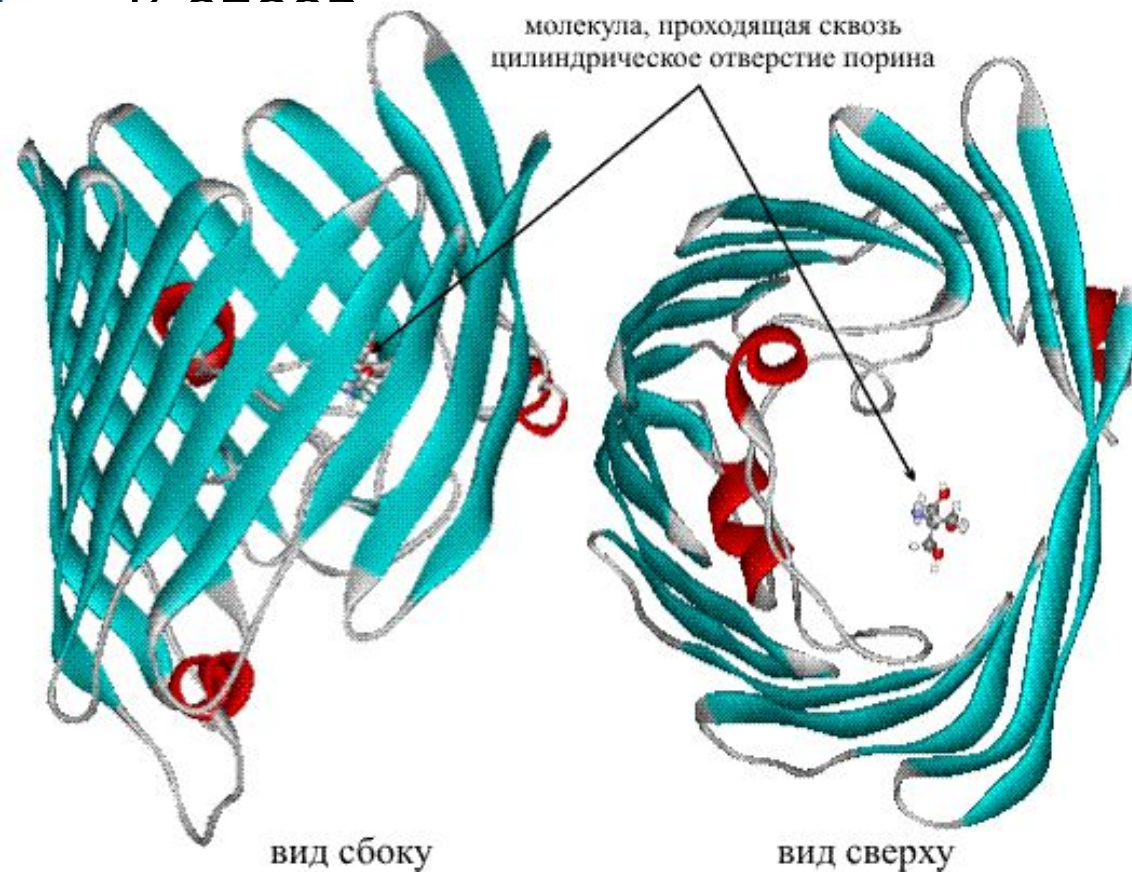
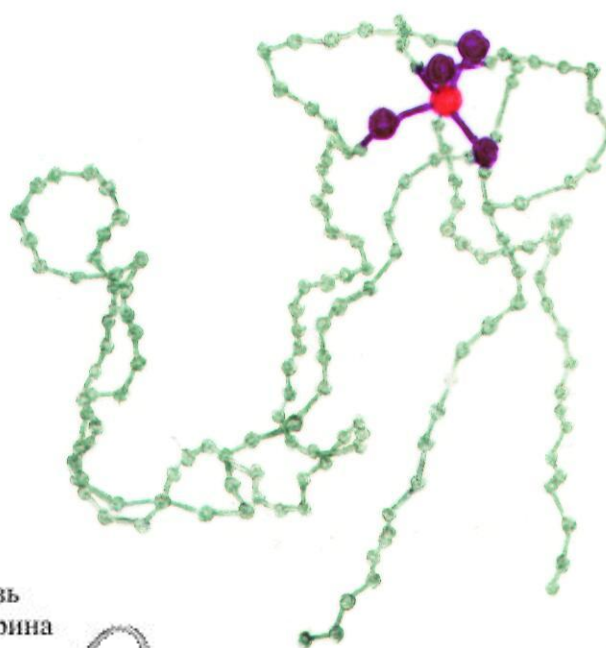


Гемоглобин



2. β -Белки

- построены в основном из антипараллельных β -листов

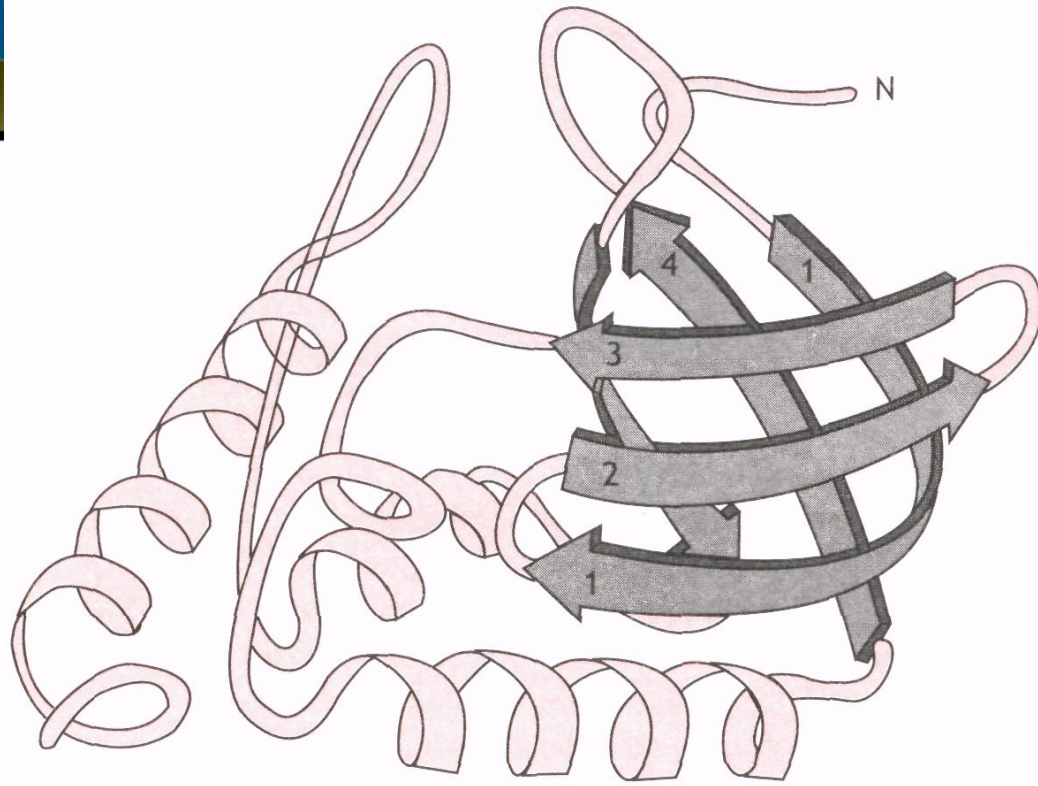


Рубредоксин

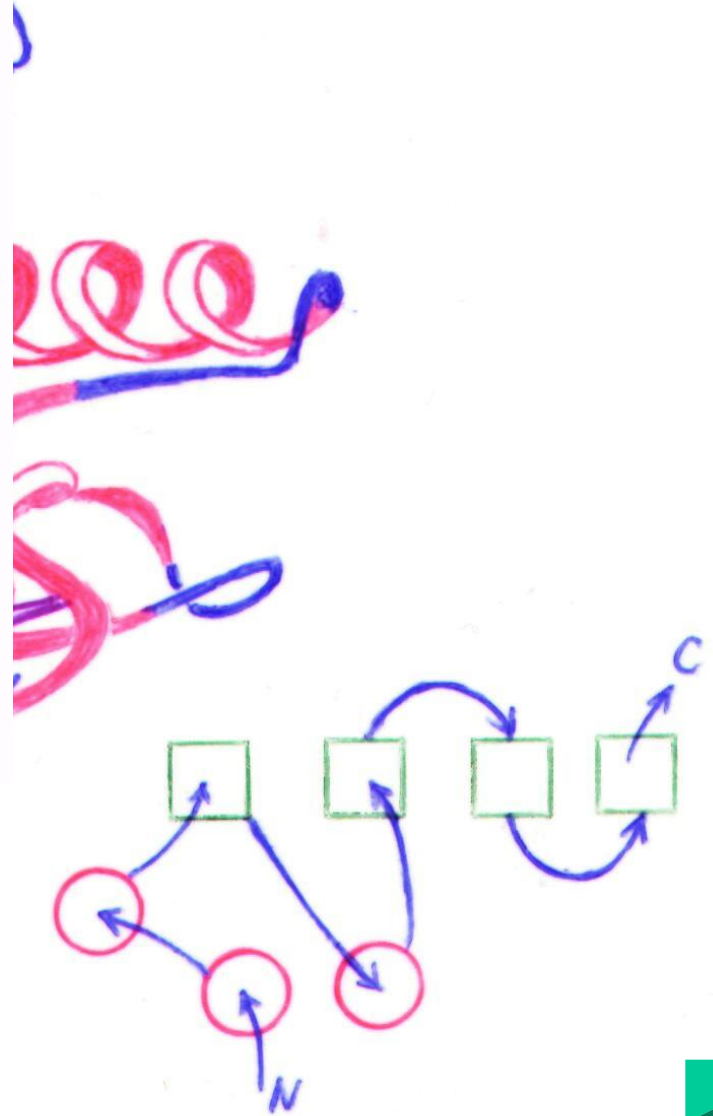
Порин



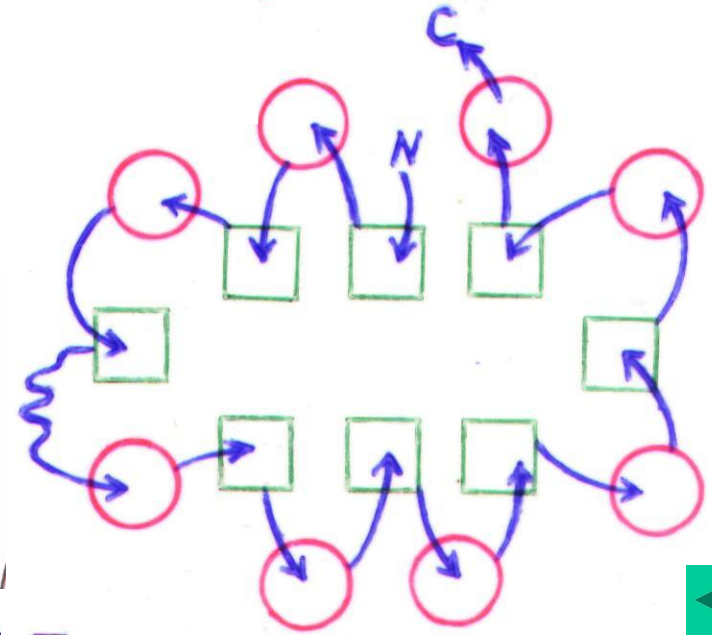
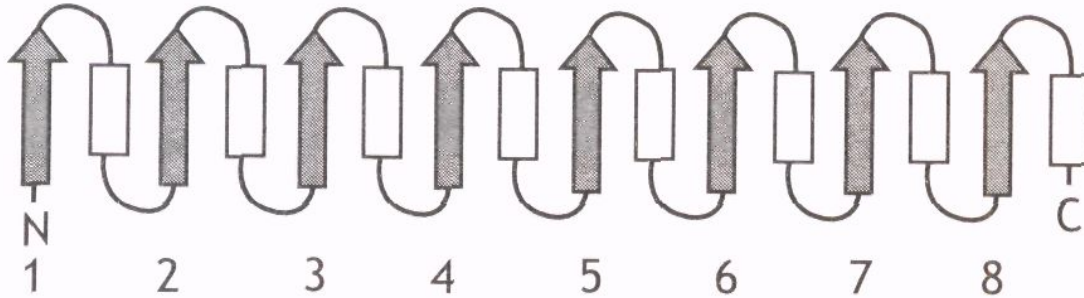
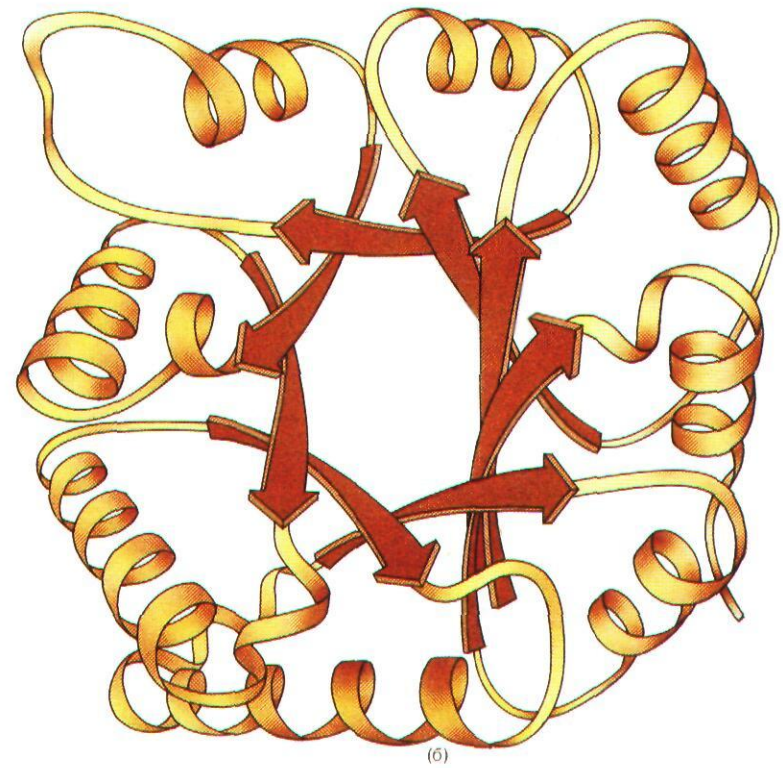
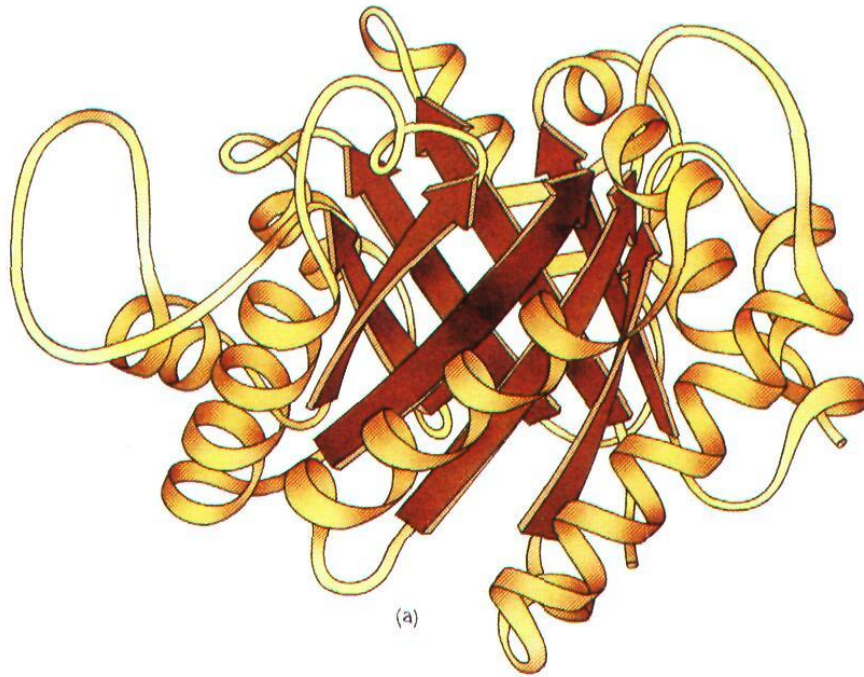
3. α + β -Белки



Лизоцим,
рибонуклеаза



4. α/β -Белки



5. Домены и белки без выраженной вторичной структуры



The background features a dark blue gradient with a pattern of thin, light blue lines radiating from the top-left corner. A thick white horizontal bar spans the width of the slide, with a gold-colored rectangular tab extending from its right end.

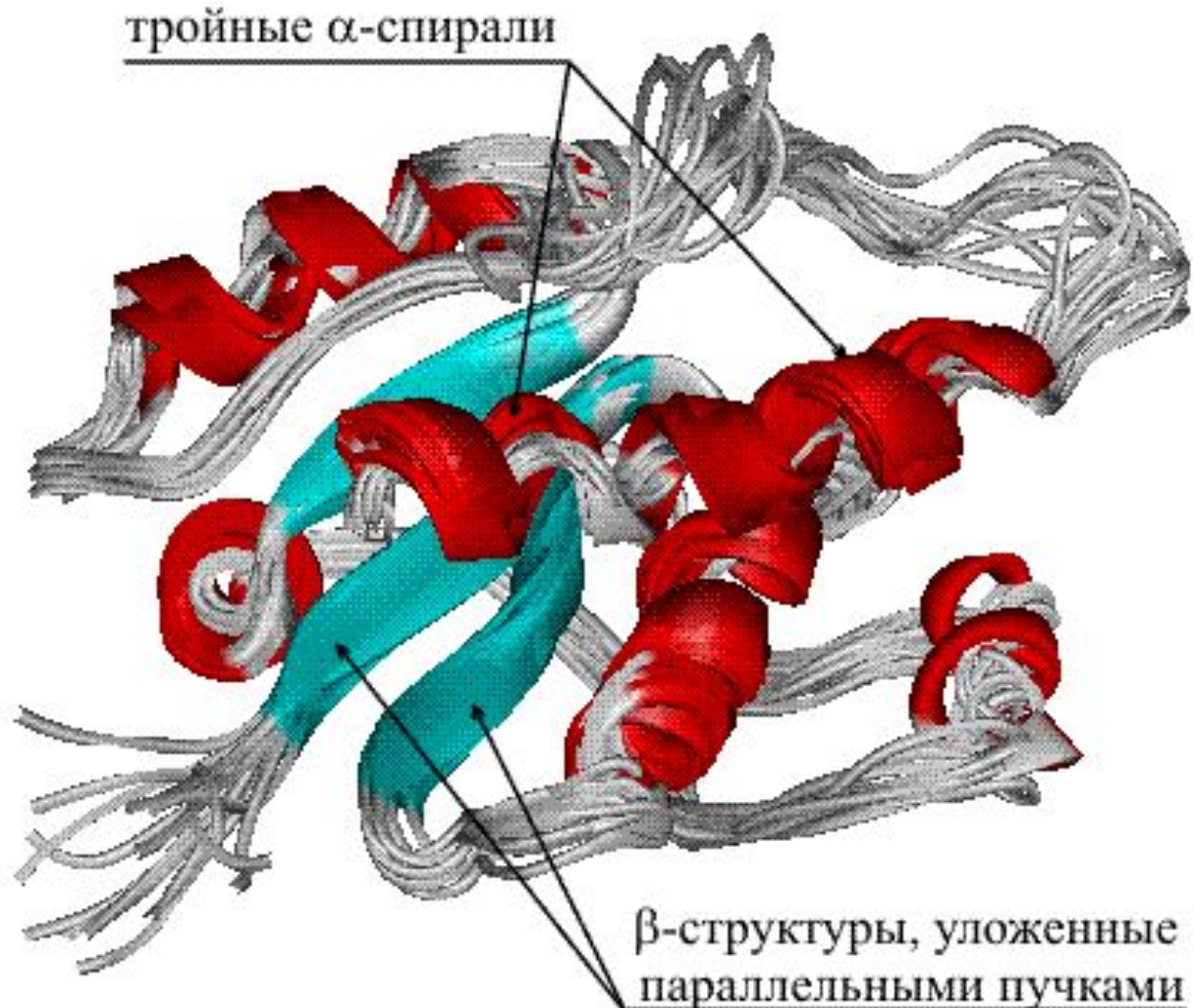
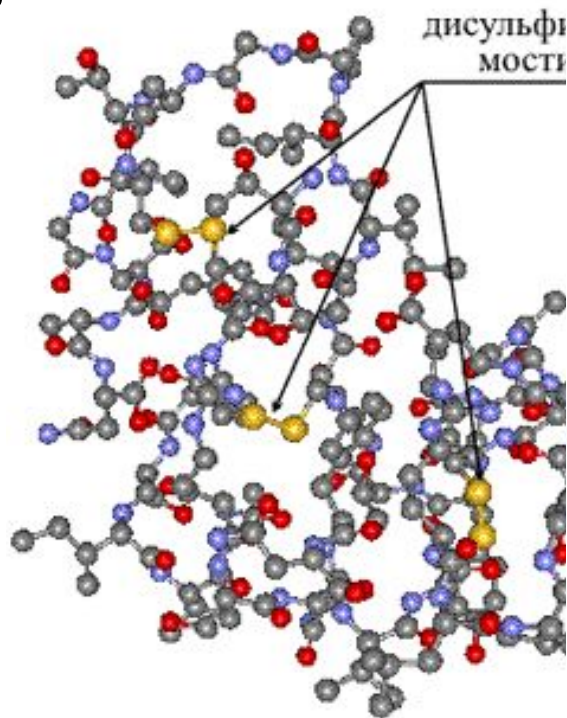
Третичная структура белка

Третичная структура белка...

- характеризует пространственное расположение упорядоченных и аморфных участков в полипептидной цепи **в целом**, которое достигается за счет взаимодействия боковых радикалов и зависит от их типа и конформации
- Таким образом, **третичная структура** описывает пространственную укладку всей молекулы белка, если она образована одной полипептидной цепью
- Имеет прямое отношение к форме молекул белка, которая может быть различной: **от шарообразной до нитевидной**

Нитевидные, или фибриллярные белки

- фиброин шелка
- кератин волос, ро
- коллаген



Шаровидные, или глобулярные белки

Третичная структура белка

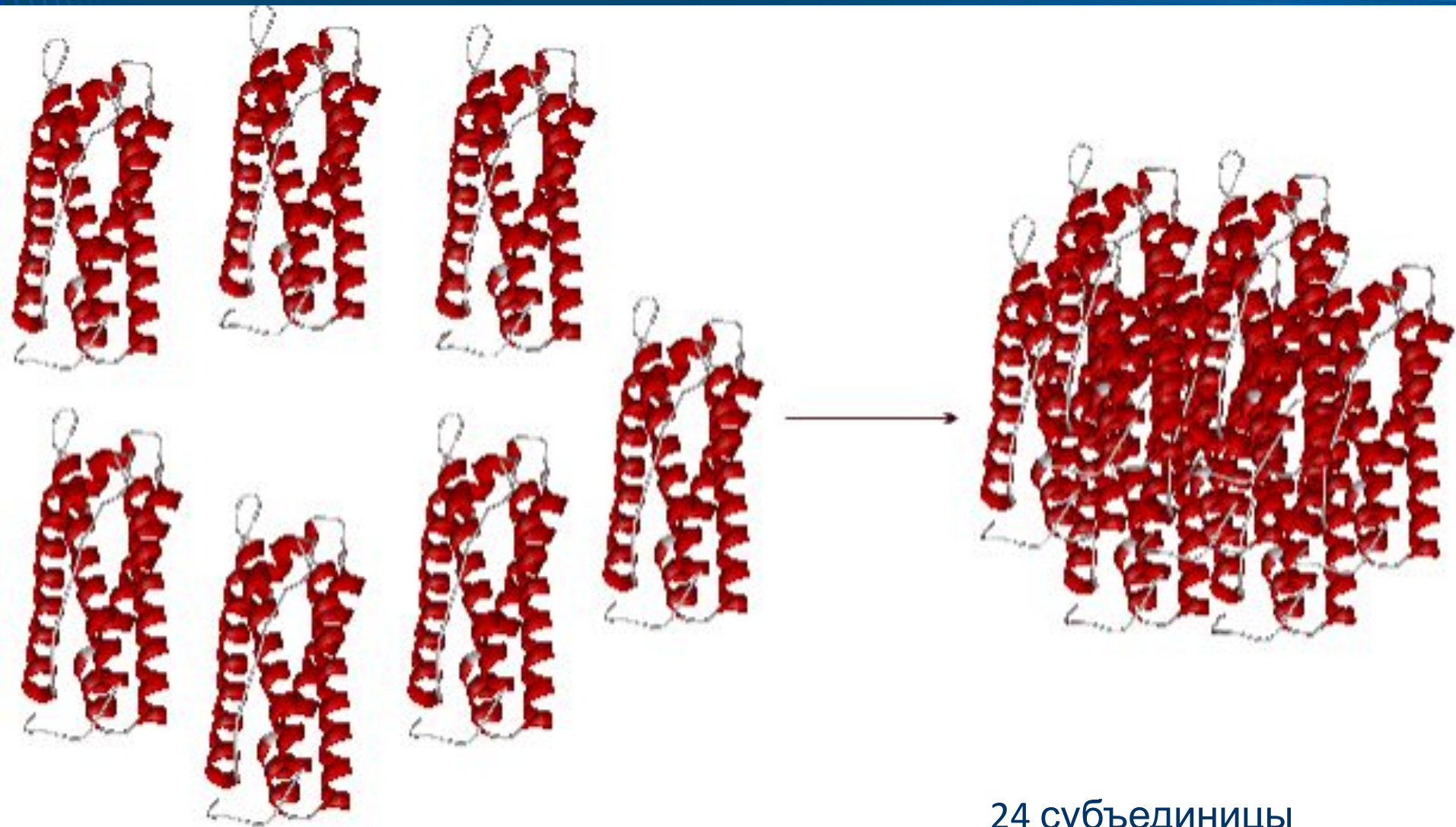
- основа функциональности белка, которая требует точной пространственной организации больших ансамблей, построенных из множества аминокислотных остатков
- Такие ансамбли (домены) формируют:
 - **активные центры ферментов**
 - **зоны связывания других биологических молекул**
 - **эффекторные центры белков и т. д.,**
- поэтому нарушение третичной структуры белка (денатурация) неизменно приводит к утрате им способности функционировать



Четвертичная структура белка

Четвертичная структура белка...

- **Олигомерные белки**
- **Четвертичная структура** – размещение в пространстве взаимодействующих между собой **субъединиц**, образованных отдельными полипептидными цепями белка
 - Взаимодействие между субъединицами достаточно сильно, так что их ансамбль (**ансамбль глобул**) выступает как единая молекула, в то же время каждая из объединившихся глобул сохраняет значительную автономность



Ферритин

24 субъединицы

3500 группировок $\text{FeO} \cdot \text{OH}$

Четвертичная структура белка

- **гомомерные белки**
- **гетеромерные белки**
 - Объединение в одной структуре нескольких взаимосвязанных функций, создание полифункциональной молекулы
 - **Протеинкиназа**: С-субъединица отвечает за ферментативную активность, R-субъединица – регуляторная

Четвертичная структура белка

- **Межсубъединичные контакты** – система нековалентных взаимодействий
 - гидрофобные взаимодействия (**контактные площадки**)
 - водородные связи
 - электростатические взаимодействия между боковыми группами
- Четвертичная структура менее прочная, чем третичная, т. к. меньше вклад гидрофобных контактов

Четвертичная структура белка

Функциональное значение

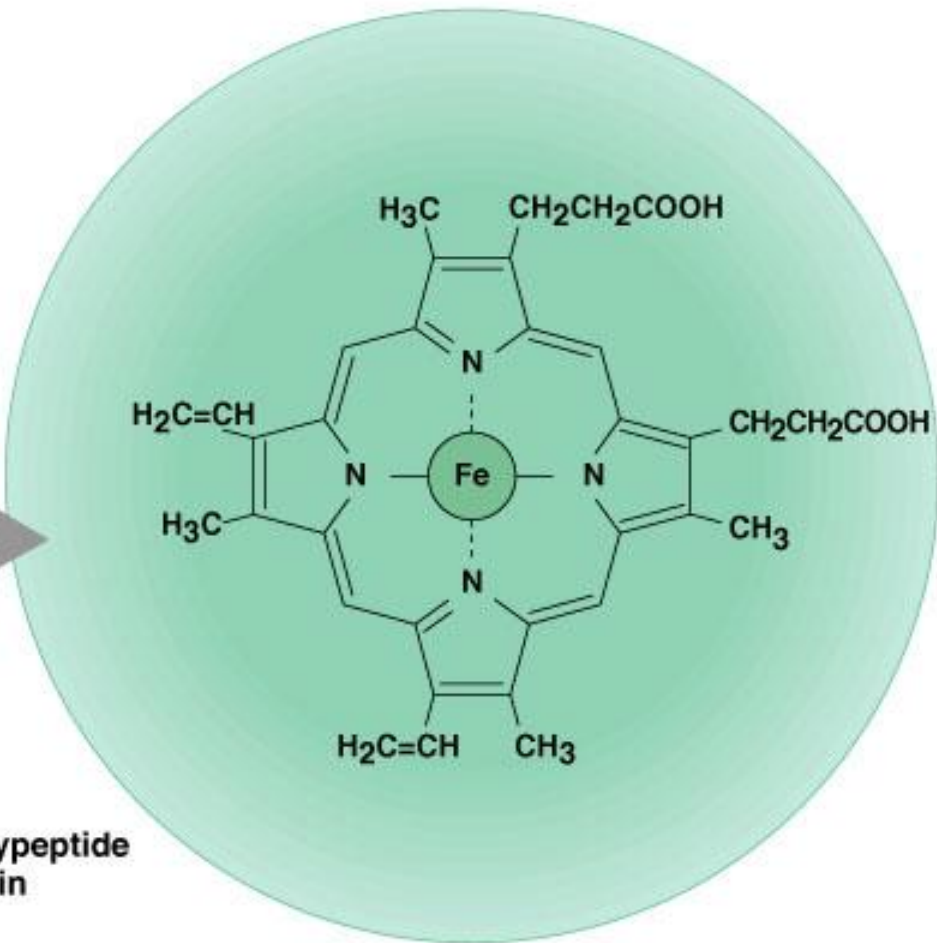
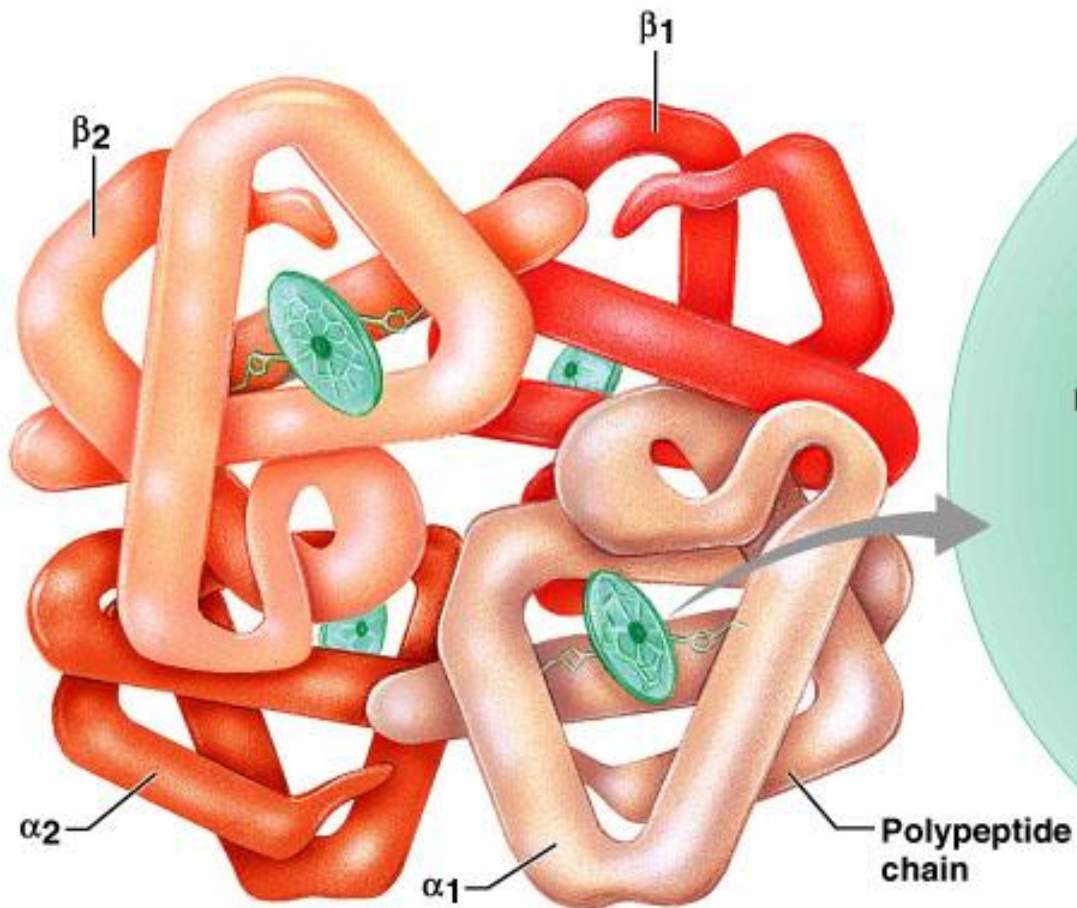
Функции четвертичной структуры

1. **Объединение** нескольких взаимосвязанных функций в единой структуре
2. **Архитектурная функция**
 - **Формирование пространственных образований** весьма сложной конфигурации, обеспечивающих специфические функциональные возможности белка (**ферритин**)
 - **Суммарное проведение последовательных реакций** ферментами
 - **Формирование функциональных центров** (активных центров ферментов)

Функции четвертичной структуры

- 3. Обеспечение множественных взаимодействий белка с протяженными структурами**
 - ДНК-связывающие белки – димеры (?)
- 4. Регуляторная функция.** Передача эффекта (нарушение третичной структуры при взаимодействии с субстратом) от одной субъединицы к другой, что приводит к перестройке всей четвертичной структуры

Четвертичная структура белка. Гемоглобин



(a) Hemoglobin

(b) Iron-containing heme group

- **Каждый индивидуальный белок характеризуется уникальной структурой, обеспечивающей уникальность его функций**
- **Поэтому выяснение структуры разнообразных белков может служить ключом к познанию природы живых систем и, соответственно, сущности жизни**



Свойства белков

(см. лабораторные занятия)

Классификация белков

По степени сложности

- **простые белки (протеины)** дают при гидролизе только аминокислоты
 - Альбумины
 - Глобулины
 - Проламины
 - Глютелины
 - Гистоны
 - Склеропротеины
 - Протамины
 - Протеиноиды

По степени сложности

- **сложные белки (протеиды)** = протеин + добавочная группа:
- **Хромопротеины** (гемоглобин, цитохромы, каталаза, хлорофилл)
- **Липопротеины** (компонент мембран, липопротеины крови, сфинголипиды в сером веществе мозга)
- **Гликопротеины** (кутикулярный гликопротеин – структурный материал покровных тканей насекомых, муцин – компонент слюны, протеогликановые агрегаты в хрящевых тканях)
- **Нуклеопротеины** (вирусы, хроматин, рибосомы)
- **Металлопротеины** (цитохромоксидаза, церулоплазмин крови – Cu; лактоферрин молока, трансферрин крови, ферритин селезенки – Fe)
- **Фосфопротеины** (казеин молока, вителлин и фосфитин яичного желтка, ихтулин икры рыб)
- **Флавопротеины**, добавочная группа – ФАД или ФМН

По форме частиц

- **фибриллярные (волоконистые) белки** (фиброин шелка, кератин волос, коллаген кожи)
- **глобулярные (корпускулярные) белки**

По растворимости

- **протеиноиды (склеропротеины)** – нерастворимы в обычных растворителях – почти все фибриллярные белки
- **альбумины** – хорошо растворимы в воде и крепких растворах солей (50%-ном сульфате аммония), содержат, как правило, много гли – альбумины крови, яиц, молока
- **глобулины** – нерастворимы в воде, но растворимы в солевых растворах умеренных концентраций – белки семян (легумин гороха, фазеолин фасоли), антитела, фибрин
- **проламины** – растворимы в 60–80%-ном растворе этанола, содержат, как правило, много глу и про – семена злаков (глиадин ржи и пшеницы, гордеин ячменя, зеин кукурузы)

По аминокислотному составу

- **протамины** – содержат 80–90% арг, **простейшие белки**, растворяются в слабых кислотах – белки половых клеток (сальмин молок семги)
- **гистоны** – высокое содержание арг, лиз и гис (не < 30%), растворяются в слабых кислотах, 0,2 н. HCl, осаждаются спиртом и аммиаком – содержатся в ядрах клеток
- **глютелины** – много глу, растворяются в щелочных растворах (0,2–2%-ном NaOH) – содержатся в семенах злаков (клейковина), зеленых частях растений

По выполняемым функциям

- **структурные белки** – компоненты клеточных мембран, органелл; **коллаген** соединительной ткани; **кератин** волос, ногтей; **эластин** в сосудистых стенках и др.
- **каталитически активные белки (ферменты)**
- **сократительные белки**: **миксомиозин**; белки микротрубочек; **миозино- и актомиозиноподобные белки** фибриллярного аппарата амебы; белки микрофибрилл, жгутиков и ресничек простейших, жгутиков сперматозоидов
- **транспортные белки** – сывороточный **альбумин**; **церулоплазмин**; **трансферрин**; **β -липопротеин**; **гемоглобин**; транспортные белки мембран

По выполняемым функциям

- **защитные белки:** **антитела** (иммуноглобулины); белки системы свертывания крови (**фибриноген, тромбин, фибрин**, факторы свертывания); **интерфероны** и др.
- **токсические белки:** токсины змей, скорпионов, пчел, ос и др. – в основном нейротоксины; токсины микроорганизмов и растений (дифтерийный, холерный, токсин шигеллы и др.);
- **белки-гормоны** (**инсулин, глюкагон, АКТГ** и др.)
- **регуляторные белки** (**гистоны**; негистоновые белки хроматина; белковые факторы репликации ДНК, транскрипции РНК, синтеза белка; стрессовые белки и др.)

По выполняемым функциям

- **резервные белки** (**овальбумины** яиц, белки молока – **казеин**)
- **рецепторные белки**: рецептор ацетилхолина; фоторецепторный белок **опсин**; сладкочувствительный белок вкусовых рецепторов; обонятельный белок дубового шелкопряда; холинорецепторные белки звуковых рецепторов
- **белки-ингибиторы ферментов**
- **белки вирусных оболочек** (вирус табачной мозаики, бактериофаги и др.)
- **белки с иными функциями** (гемоглобины, фибриллярные белки, рибосомальные белки и т. п.)

По выполняемым функциям

- Все белки выполняют **энергетическую функцию**:
- при окислении 1 г белка выделяется 17,2 кДж энергии

- По особенностям вторичной и третичной структур (см. выше)