

# Биохимия с основами молекулярной биологии



# Литература к курсу биохимии

## Основной

1. Основы биохимии / Под ред. А.А. Анисимова. М., 1986.
2. *Березов Т.Т., Коровкин Б.Ф.* Биологическая химия. М., 1982 – 2002.
3. *Кнорре Д.Г., Мызина С.Д.* Биологическая химия. М., 2003.
4. *Филиппович Ю.Б.* Основы биохимии. М., 1985 – 2000.
5. *Коничев А.С., Севастьянова Г.А.* Молекулярная биология. М., 2003.

## Дополнительный

1. *Эллиот В., Эллиот Д.* Биохимия и молекулярная биология. М., 2002.
2. *Ленинджер А.* Биохимия. М., 1976, 1985
3. *Филиппович Ю.Б.* Биохимия белка и нуклеиновых кислот. М, 1976.

**Биохимия** – это наука о веществах, из которых построены живые организмы и о химических процессах, протекающих в них.

**Биохимия** – это часть биологии, охватывающая те ее области, которые требуют для изучения процессов жизнедеятельности применения физико-химических и химических подходов, приемов и методов.

**Два этапа развития биохимии: СТАТИЧЕСКИЙ И ДИНАМИЧЕСКИЙ.**

**Статическая** или описательная биохимия изучает состав живой материи, структуру и свойства выделяемых биологических соединений.

**Динамическая** биохимия исследует химические превращения веществ в организме и значение этих превращений для процессов жизнедеятельности.

## **Основные задачи биохимии:**

- **исследование взаимосвязи строения веществ и их функций;**
- **изучение превращения химических соединений и преобразования энергии в живом организме;**
- **выявление молекулярных механизмов переноса генетической информации в живых организмах и т.д.**

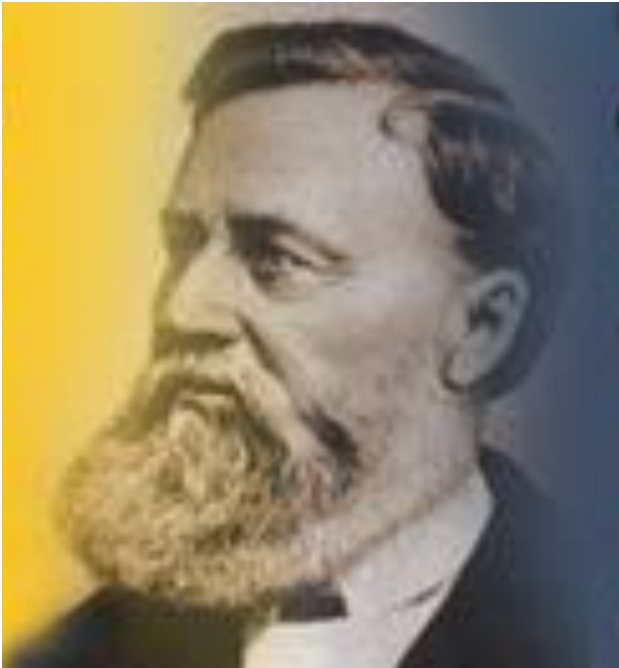
# Открытия, подготовившие возникновение биохимии

Абу Али-ибн-Сина (Авиценна) (980-1037) труд  
“Канон врачебной науки”.

- 1748 год – М.В. Ломоносов открыл закон сохранения материи и показал его применимость , как к живой, так и к неживой природе.
- В том же веке был открыт кислород (Шееле и Пристли), и доказана необходимость его для дыхания человека и животных (Пристли , Лавуазье).
- Был открыт фотосинтез (Пристли, Инген-Хуз, Сенебье).

# История биохимии

1814 г. российский академик К.С. Кирхгоф обнаружил фермент – амилазу в проросшем зерне.



В 1828 году *немецкий химик Вёлер* синтезировал в лаборатории **мочевину** из циановой кислоты и аммиака. **1828** год можно считать годом основания биохимии как науки.

**Фридрих Вёлер**

31.VII.1800 - 23.IX.1882

**19 век – открытие аминокислот как составных компонентов белков – Н.Э. Лясковский и А.Я. Данилевский**

**В 1869 году открытие ДНК**

**швейцарским ученым Джоаном Мишером**

**1880г. – возникает учение о витаминах - начало которому положили работы русского ученого Н.И. Лунина**

**В 1863 году в России раньше - других европейских государств - было введено преподавание биологической (медицинской) химии.**

В 20 веке биохимия достигла подлинного расцвета.

В 1902 году Эмиль Фишер с сотрудниками впервые осуществил искусственный синтез пептидов, разработал пептидную теорию строения белка.



Опарин А.И., 1894-1980

3 мая 1922 г. на заседании Российского ботанического общества доложил существо своей теории происхождения жизни



Академик В.А. Энгельгардт (1894-1984 гг.).

Академик Энгельгардт открыл явление окислительного фосфорилирования – синтез а АТФ в митохондриях.

В 1953 году **Уотсон и Крик** открыли вторичную структуру ДНК, что позволило понять способ передачи наследственной информации.

2002 год - создана практически полная генетическая карта человека.



# Особенности химического состава живой материи

- *Общая масса всех живых организмов, населяющих земной шар,  $10^{13}$  –  $10^{15}$  тонн.*
- *В организме человека и животных 76 элементов таблицы Д.И. Менделеева, которые по количественному содержанию делятся на 4 группы:*
  - макробиогенные –  $O_2$ , C,  $N_2$ ,  $H_2$ , Ca, P (выше 99%),
  - олигобиогенные – K, Na,  $Cl_2$ , S, Mg, Fe (от 0,1% до 1%)
  - микробиогенные – Zn, Mn, Co, Cu, F, Br, I (менее 0,01% )
  - ультрамикробиогенные – остальные – (менее  $10^{-4}$  –  $10^{-6}$ )

В организме человека содержится свыше  
50 000 индивидуальных белков

✓ *Ферменты*

✓ *Регуляторные белки*

✓ *Рецепторные белки.*

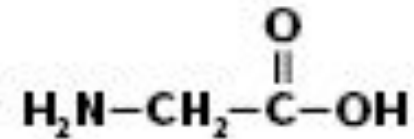
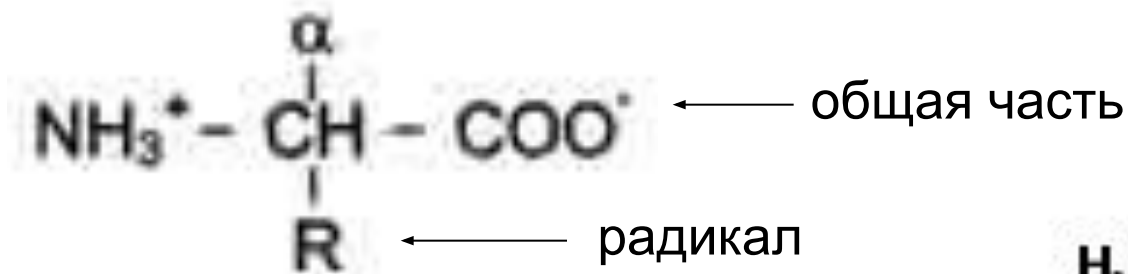
✓ *Транспортные белки*

✓ *Структурные белки*

✓ *Защитные белки*

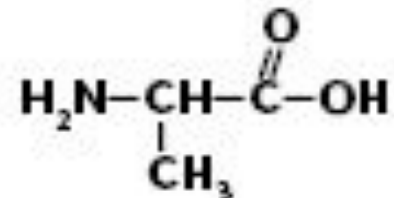
✓ *Сократительные белки*

# Аминокислоты – мономеры белковой молекулы



Глицин

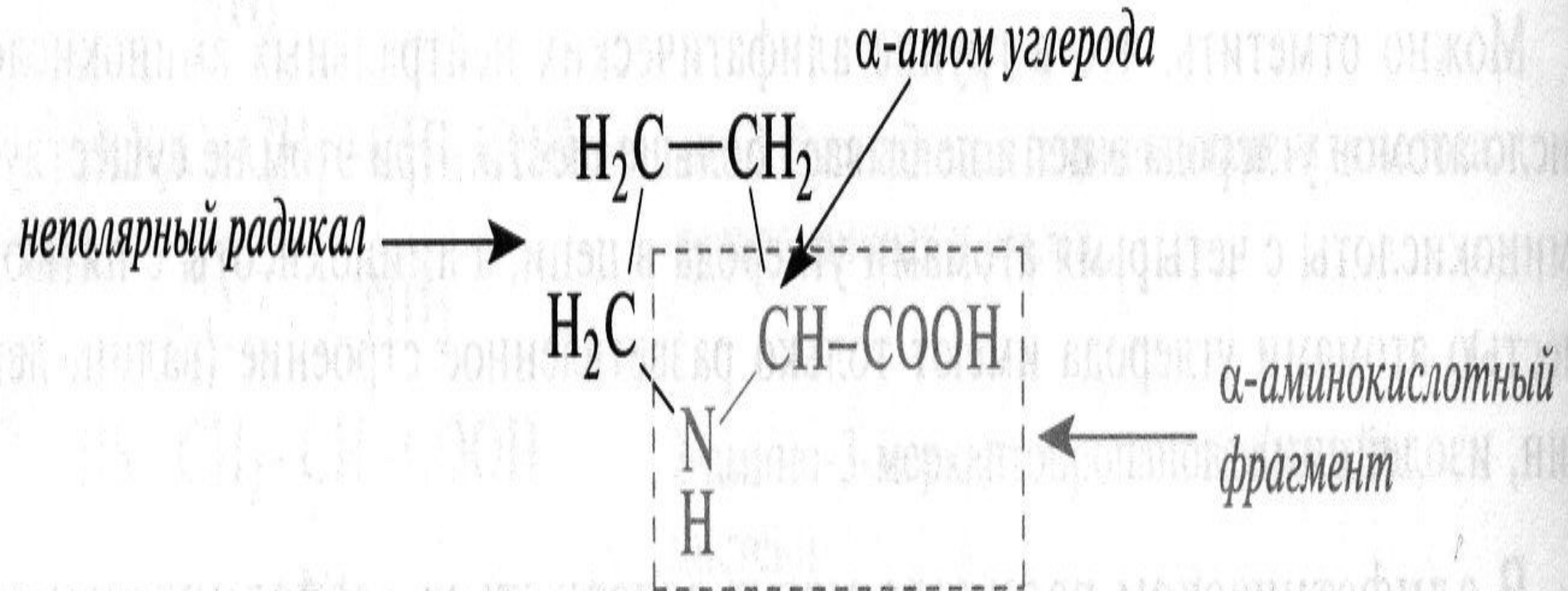
$\alpha$ -аминоуксусная кислота



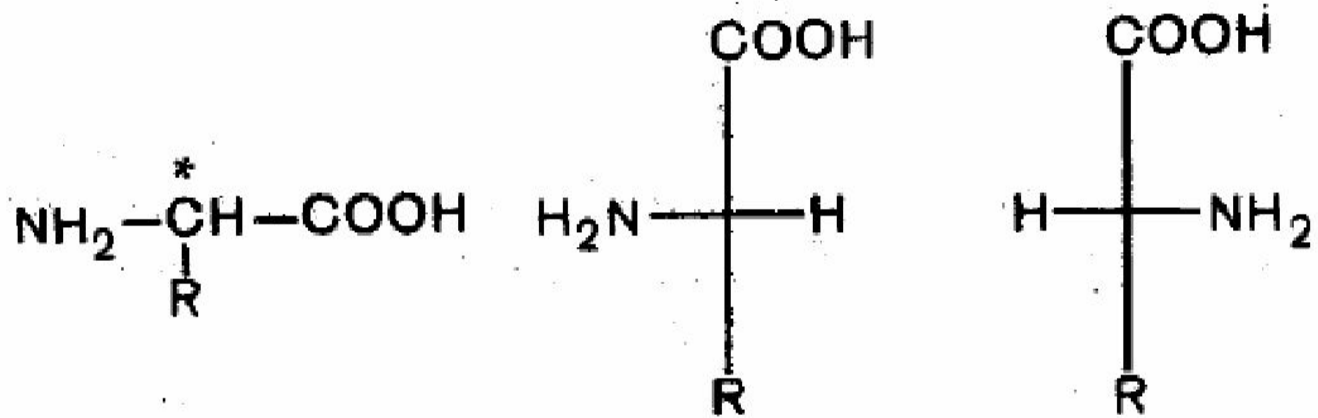
Аланин

$\alpha$ -аминопропионовая кислота

Пролин – единственная иминокислота, у которой радикал которой связан как с  $\alpha$ -углеродным атомом, так и с аминогруппой



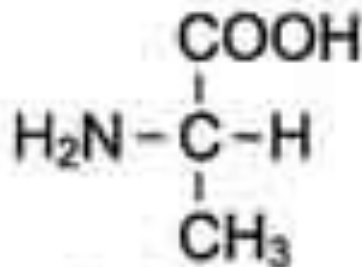
# Стереохимия аминокислот



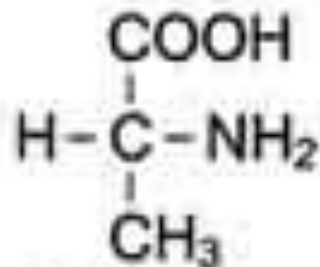
$\alpha$ -Аминокислота

L- $\alpha$ -аминокислота

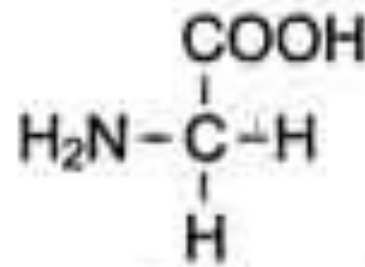
D- $\alpha$ -аминокислота



L-Аланин

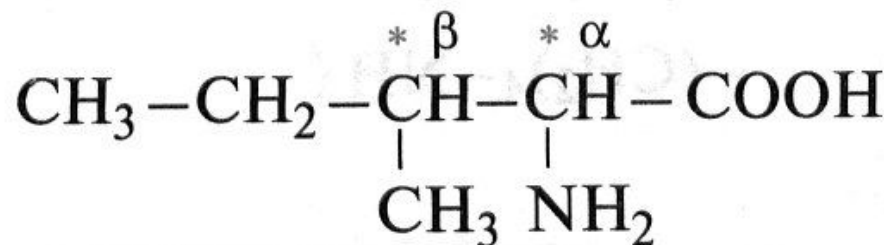


D-Аланин

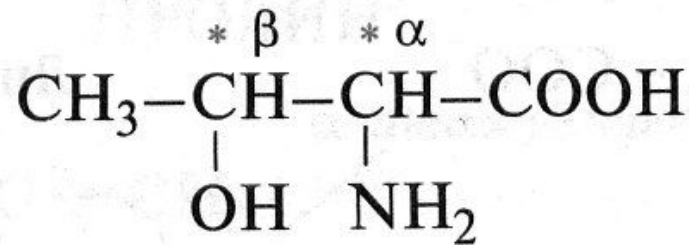


Глицин (не имеет  
изомерных форм)

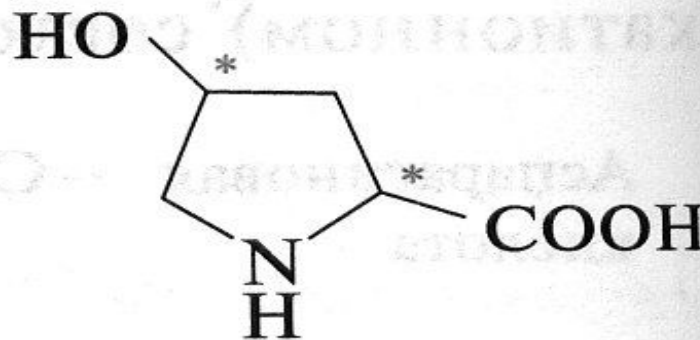
Аминокислоты изолейцин, треонин и 4-гидроксипролин имеют по два хиральных центра



изолейцин

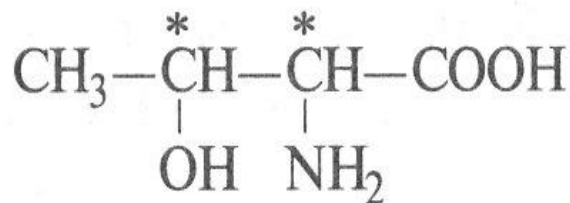


треонин



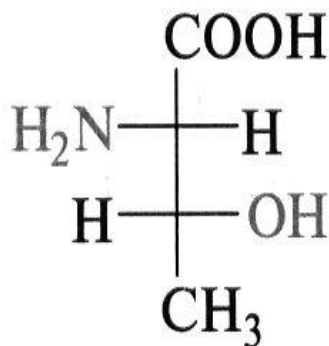
4-гидроксипролин

# Конфигурационные изомеры 2-амино-3-гидроксибутановой кислоты



зеркало

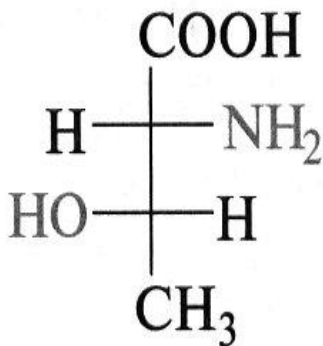
зеркало



(I)

L-треонин

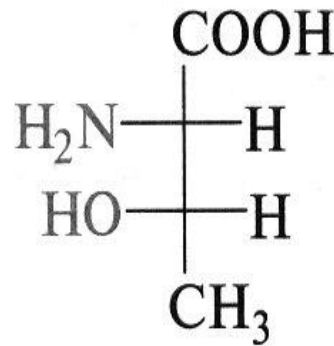
$[\alpha] -28,5^\circ$



(II)

D-треонин

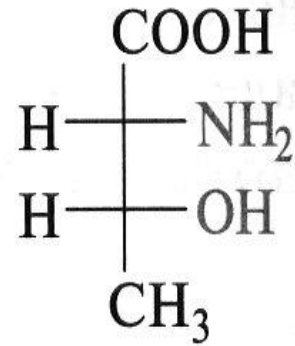
$[\alpha] +28,5^\circ$



(III)

L-аллотреонин

$[\alpha] +10,0^\circ$



(IV)

D-аллотреонин

$[\alpha] -10,0^\circ$

Энантиомеры

Энантиомеры

Диастереомеры

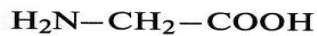
$[\alpha]$  (в воде) ...

# Приняты три классификации аминокислот:

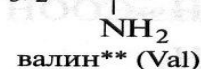
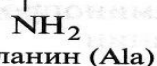
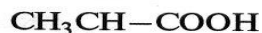
- биологическая или физиологическая, т.е. по степени незаменимости для организма. Делят на **заменяемые**, **незаменимые** (для человека восемь: ***валин, лейцин, изолейцин, треонин, лизин, метионин, фенилаланин, триптофан***) и **полузаменимые** – (для человека три: **аргинин, тирозин, гистидин**).
- структурная, т.е. по строению бокового радикала;
- электрохимическая – по кислотно-основным свойствам аминокислот;



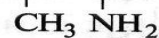
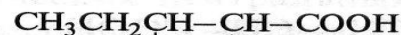
## АЛИФАТИЧЕСКИЕ



глицин (Gly)



лейцин\*\* (Leu)



изолейцин\*\* (Ile)

*Содержащие группу OH*

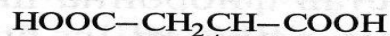


серин (Ser)



треонин\*\* (Thr)

*Содержащие дополнительную группу COOH*

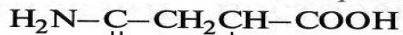


аспарагиновая кислота (Asp)

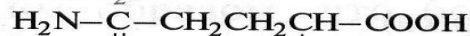


глутаминовая кислота (Glu)

*Содержащие группу CO-NH<sub>2</sub>*

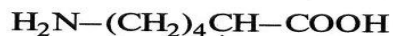


аспарагин (Asn)



глутамин (Gln)

*Содержащие дополнительную группу NH<sub>2</sub>*



лизин\*\* (Lys)



аргинин (Arg)

*Серосодержащие*



цистеин (Cys)

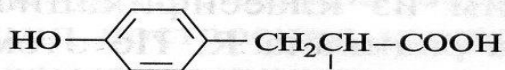


метионин\*\* (Met)

## АРОМАТИЧЕСКИЕ

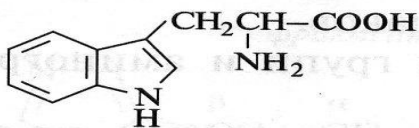


фенилаланин\*\* (Phe)

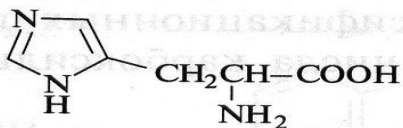


тирозин (Tyr)

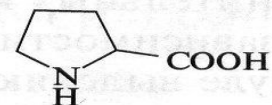
## ГЕТЕРОЦИКЛИЧЕСКИЕ



триптофан\*\* (Trp)

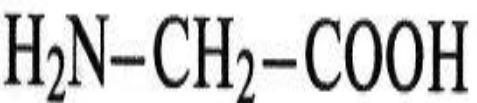


гистидин (His)

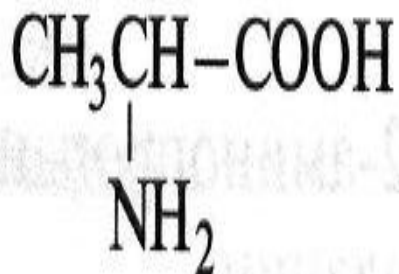


пролин (Pro)

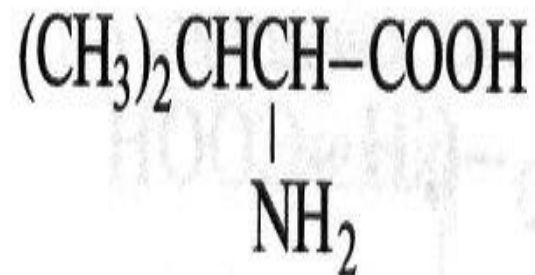
# Алифатические аминокислоты



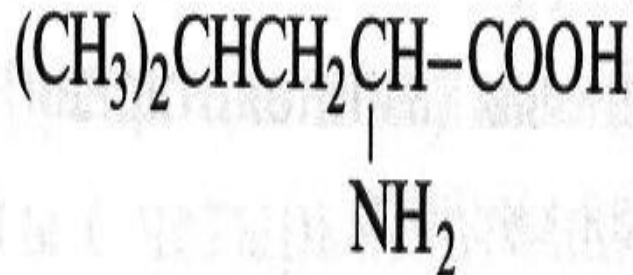
глицин (Gly)



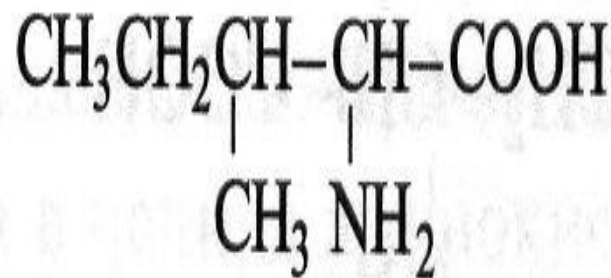
аланин (Ala)



валин\*\* (Val)

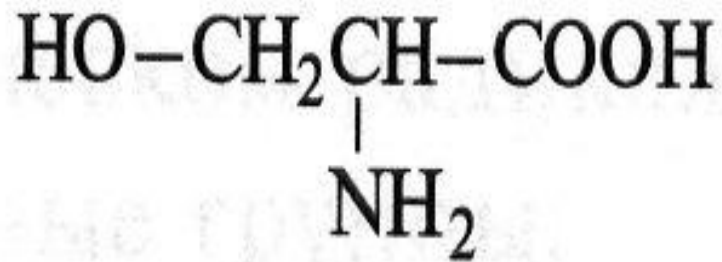


лейцин\*\* (Leu)

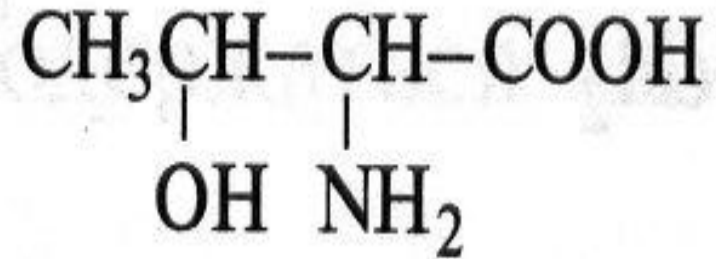


изолейцин\*\* (Ile)

# Гидроксиаминокислоты

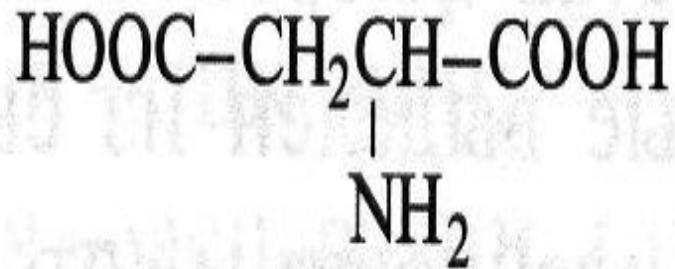


серин (Ser)

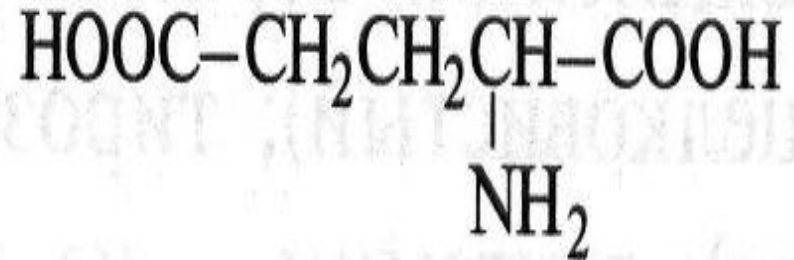


треонин\*\* (Thr)

Аминокислоты, содержащие  
дополнительную карбоксильную группу  
(моноаминодикарбоновые)

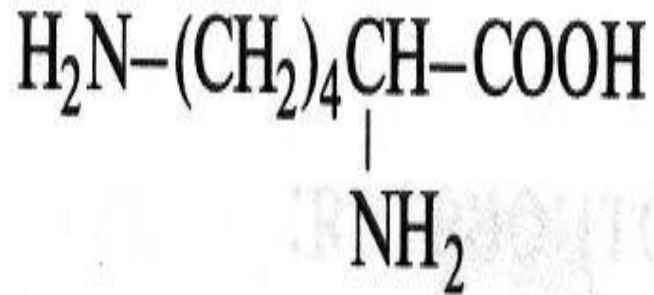


аспарагиновая кислота (Asp)

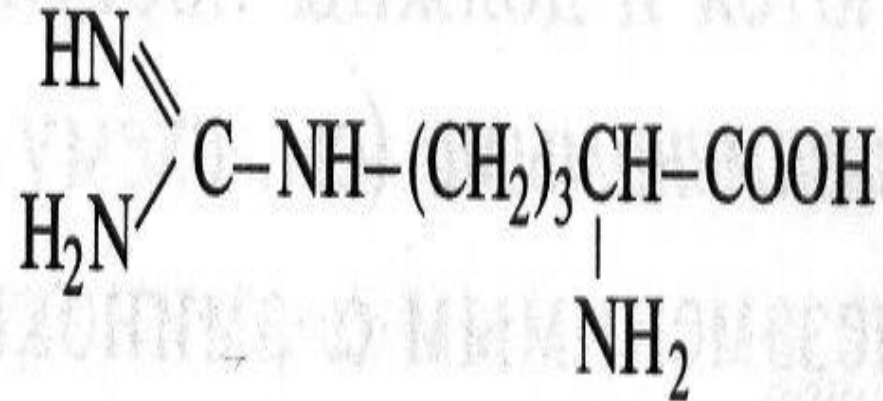


глутаминовая кислота (Glu)

Аминокислоты, содержащие  
дополнительную аминогруппу  
(диаминомонокарбоновые)

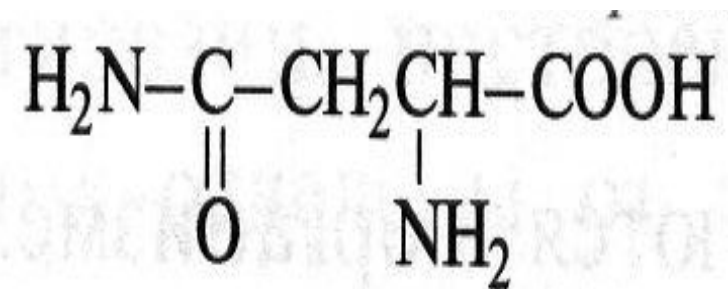


ЛИЗИН\*\* (Lys)

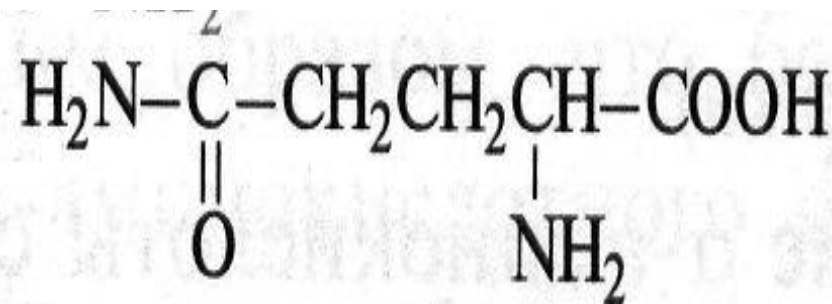


аргинин (Arg)

# Аминокислоты, содержащие дополнительную группу – CO-NH<sub>2</sub>

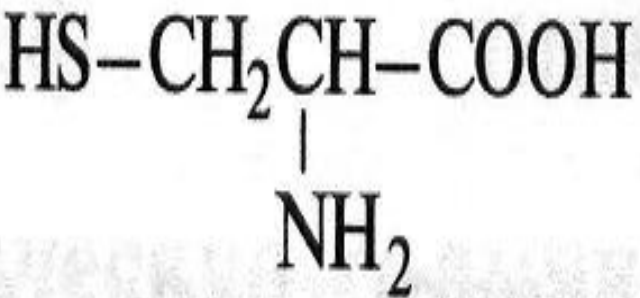


аспарагин (Asn)

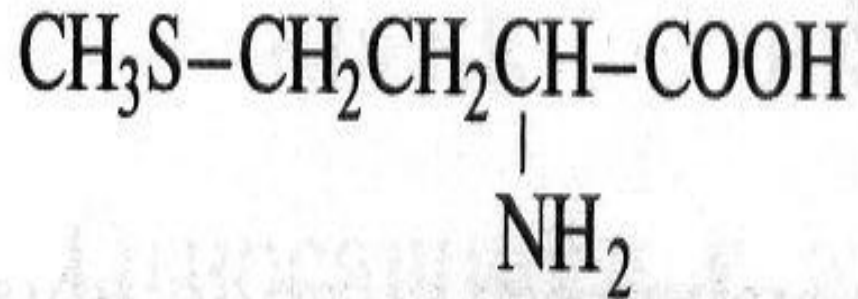


глутамин (Gln)

# Серосодержащие аминокислоты

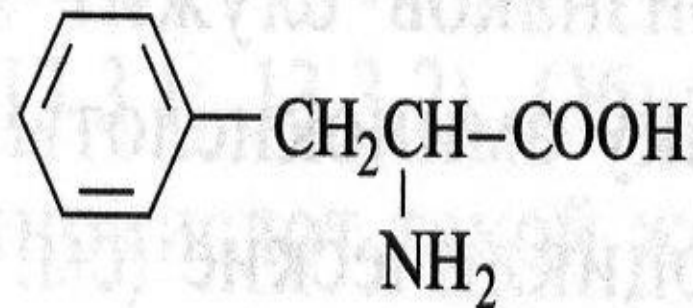


цистеин (Cys)

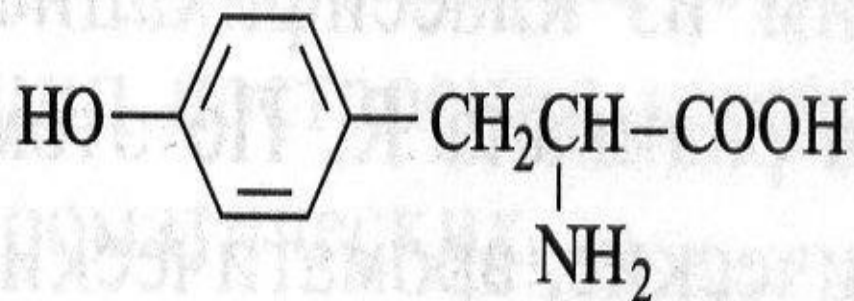


метионин\*\* (Met)

# Ароматические аминокислоты



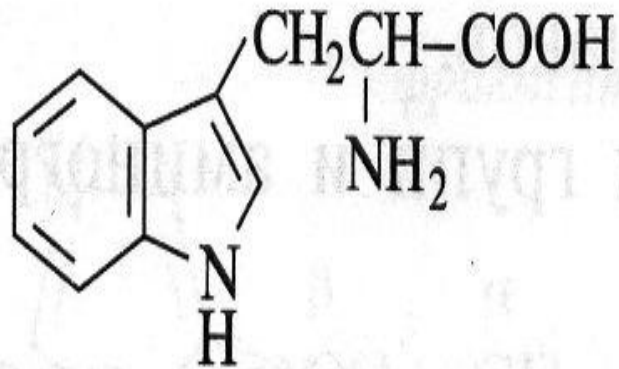
фенилаланин\*\* (Phe)



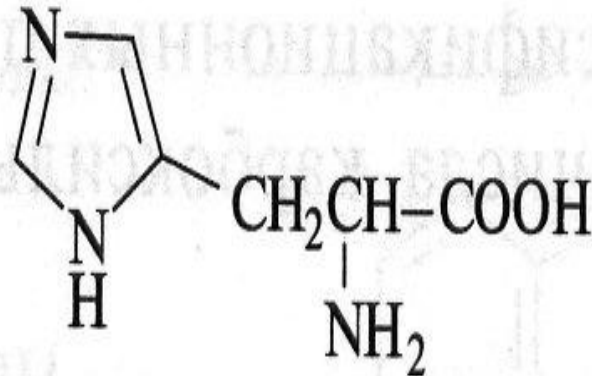
тирозин (Tyr)



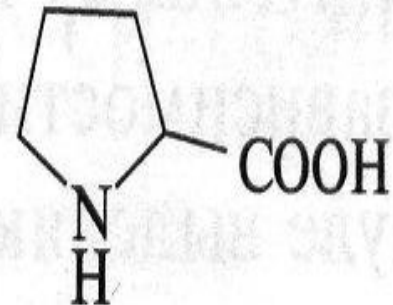
# Гетероциклические аминокислоты



триптофан\*\* (Trp)



гистидин (His)

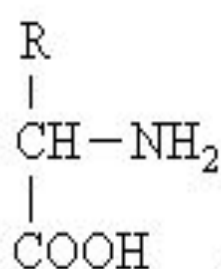


пролин (Pro)

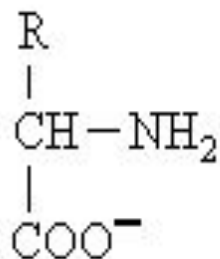
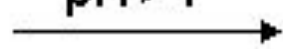
№ п/п	Название		Формула аминокислоты
	полное	сокращенное	
<b>I. Аминокислоты с неполярными радикалами</b>			
1	Глицин	Гли	$\begin{array}{c} \text{H}_2\text{N}-\text{CH}-\text{COOH} \\   \\ \text{H} \end{array}$
2	Аланин	Ала	$\begin{array}{c} \text{H}_2\text{N}-\text{CH}-\text{COOH} \\   \\ \text{CH}_3 \end{array}$
3	Валин	Вал	$\begin{array}{c} \text{H}_2\text{N}-\text{CH}-\text{COOH} \\   \\ \text{CH} \\ / \quad \backslash \\ \text{H}_3\text{C} \quad \text{CH}_3 \end{array}$
4	Лейцин	Лей	$\begin{array}{c} \text{H}_2\text{N}-\text{CH}-\text{COOH} \\   \\ \text{CH}_2 \\   \\ \text{CH} \\ / \quad \backslash \\ \text{H}_3\text{C} \quad \text{CH}_3 \end{array}$
5	Изолейцин	Иле	$\begin{array}{c} \text{H}_2\text{N}-\text{CH}-\text{COOH} \\   \\ \text{CH}-\text{CH}_3 \\   \\ \text{CH}_2-\text{CH}_3 \end{array}$
6	Метионин	Мет	$\begin{array}{c} \text{H}_2\text{N}-\text{CH}-\text{COOH} \\   \\ \text{CH}_2 \\   \\ \text{CH}_2-\text{S}-\text{CH}_3 \end{array}$
7	Фенилаланин	Фен	$\begin{array}{c} \text{H}_2\text{N}-\text{CH}-\text{COOH} \\   \\ \text{CH}_2 \\   \\ \text{C}_6\text{H}_5 \end{array}$
8	Триптофан	Три	$\begin{array}{c} \text{H}_2\text{N}-\text{CH}-\text{COOH} \\   \\ \text{CH}_2 \\   \\ \text{C}_8\text{H}_6\text{N}_2 \end{array}$
9	Про	$\begin{array}{c} \text{HN} \quad \text{COOH} \\ \diagdown \quad / \\ \text{C} \\   \\ \text{C} \\   \\ \text{C} \\   \\ \text{C} \\   \\ \text{C} \end{array}$	
<b>II. Аминокислоты с полярными незаряженными радикалами</b>			
10	Серин	Сер	$\begin{array}{c} \text{H}_2\text{N}-\text{CH}-\text{COOH} \\   \\ \text{CH}_2 \\   \\ \text{OH} \end{array}$
11	Треонин	Тре	$\begin{array}{c} \text{H}_2\text{N}-\text{CH}-\text{COOH} \\   \\ \text{CH}-\text{CH}_3 \\   \\ \text{OH} \end{array}$

№ п/п	Название		Формула аминокислоты
	полное	сокращенное	
12	Тирозин	Тир	$\begin{array}{c} \text{H}_2\text{N}-\text{CH}-\text{COOH} \\   \\ \text{CH}_2 \\   \\ \text{C}_6\text{H}_4 \\   \\ \text{OH} \end{array}$
13	Цистеин	Цис	$\begin{array}{c} \text{H}_2\text{N}-\text{CH}-\text{COOH} \\   \\ \text{CH}_2 \\   \\ \text{SH} \end{array}$
14	Аспарагин	Асп	$\begin{array}{c} \text{H}_2\text{N}-\text{CH}-\text{COOH} \\   \\ \text{CH}_2 \\   \\ \text{CO}-\text{NH}_2 \end{array}$
15	Глутамин	Глн	$\begin{array}{c} \text{H}_2\text{N}-\text{CH}-\text{COOH} \\   \\ (\text{CH}_2)_2 \\   \\ \text{CO}-\text{NH}_2 \end{array}$
<b>III. Аминокислоты с полярными анионогенными радикалами</b>			
16	Аспарагиновая кислота	Асп	$\begin{array}{c} \text{H}_2\text{N}-\text{CH}-\text{COOH} \\   \\ \text{CH}_2 \\   \\ \text{COOH} \end{array}$
17	Глутаминовая кислота	Глу	$\begin{array}{c} \text{H}_2\text{N}-\text{CH}-\text{COOH} \\   \\ \text{CH}_2 \\   \\ \text{CH}_2-\text{COOH} \end{array}$
<b>IV. Аминокислоты с полярными катионогенными радикалами</b>			
18	Лизин	Лиз	$\begin{array}{c} \text{H}_2\text{N}-\text{CH}-\text{COOH} \\   \\ (\text{CH}_2)_4 \\   \\ \text{NH}_2 \end{array}$
19	Аргинин	Арг	$\begin{array}{c} \text{H}_2\text{N}-\text{CH}-\text{COOH} \\   \\ (\text{CH}_2)_3 \\   \\ \text{NH} \\   \\ \text{C}=\text{NH} \\   \\ \text{NH}_2 \end{array}$
20	Гистидин	Гис	$\begin{array}{c} \text{H}_2\text{N}-\text{CH}-\text{COOH} \\   \\ \text{CH}_2 \\   \\ \text{C}_4\text{H}_3\text{N}_2 \end{array}$

## Диссоциация ионогенных групп в составе аминокислот в зависимости от кислотности среды

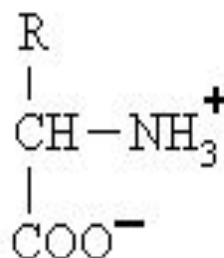
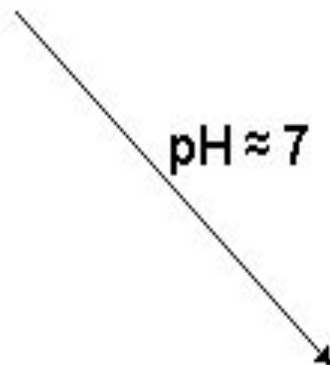


$\text{pH} > 7$



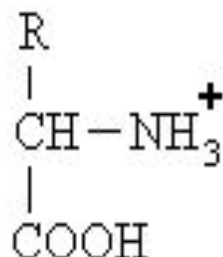
В щелочной среде ( $\text{pH} > 7$ ) протонов  $\text{H}^+$  очень мало, и их не хватает для протонирования аминогруппы.

$\text{pH} \approx 7$



В физиологических условиях ( $\text{pH} \approx 7$ ) и аминогруппа, и карбоксильная группа находятся в диссоциированном состоянии.

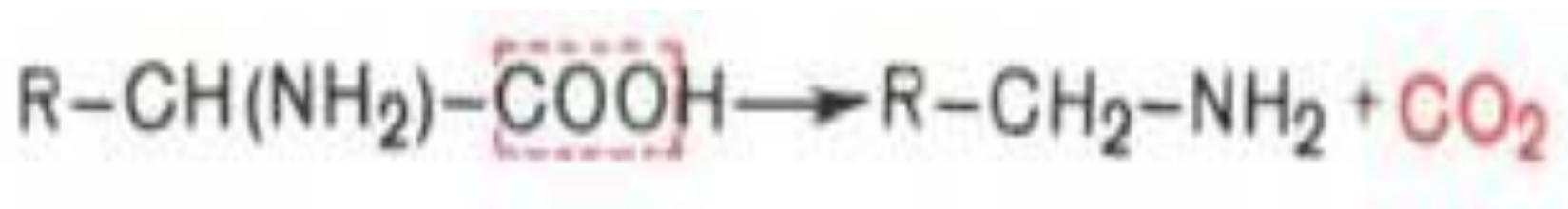
$\text{pH} < 7$



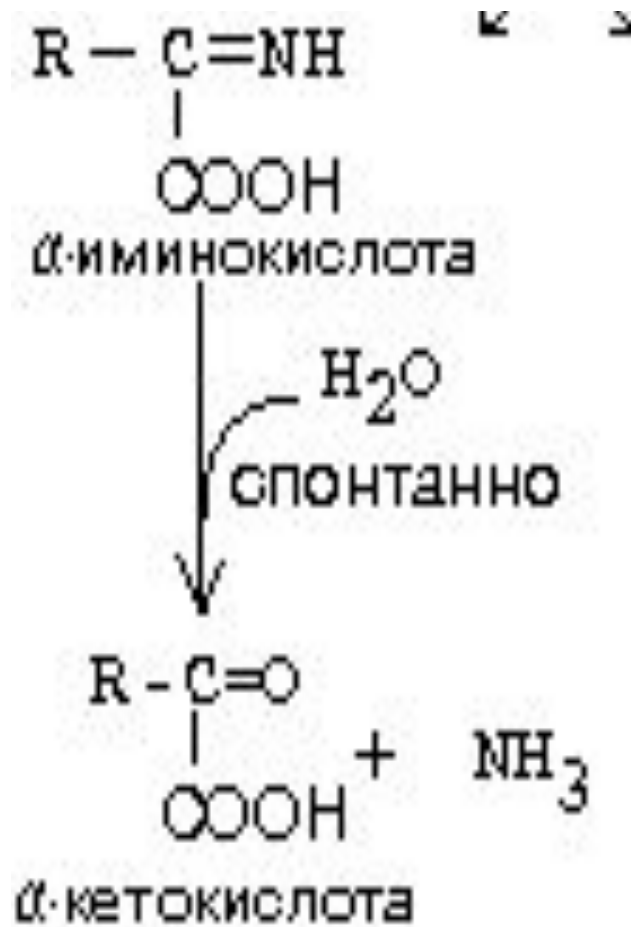
В кислой среде ( $\text{pH} < 7$ ) большое количество протонов  $\text{H}^+$  препятствует отделению протона от карбоксильной группы



# Декарбоксилирование аминокислот, с образованием биогенных аминов







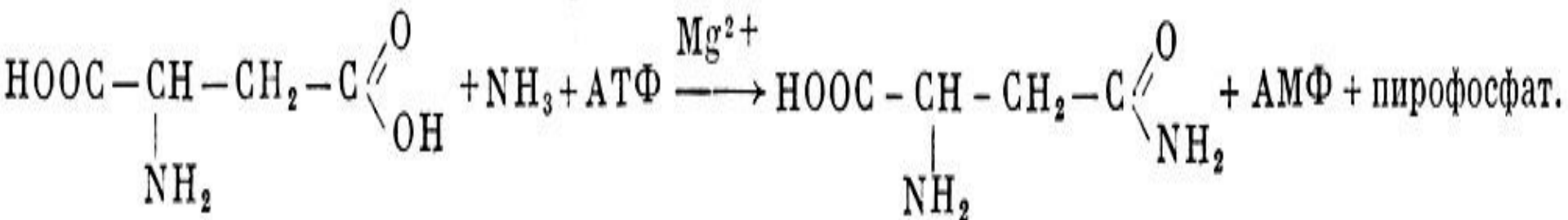
Дезаминирование  
аминокислот с  
образованием  
кетокислот

# Образование амидов аминокислот



глутаминовая  
кислота (ГЛУ),  
аспарагиновая  
кислота (АСП)

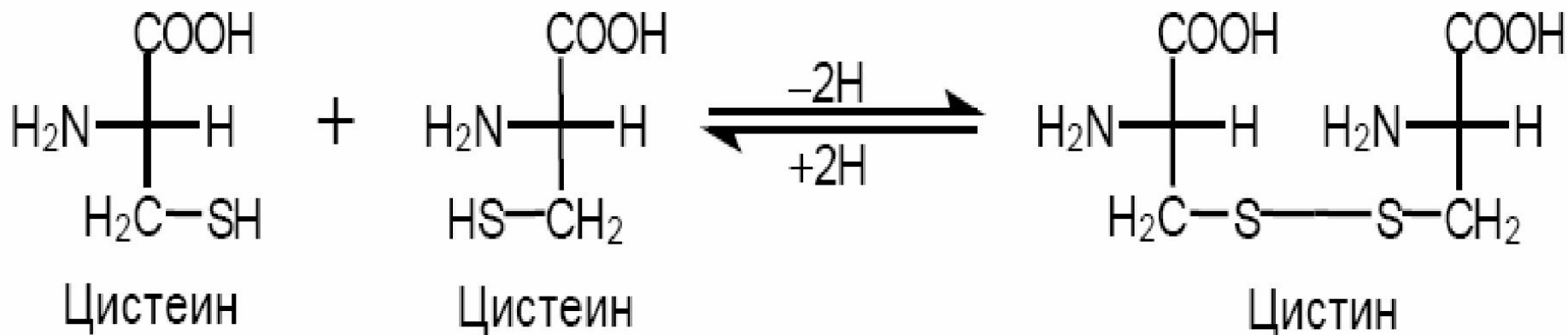
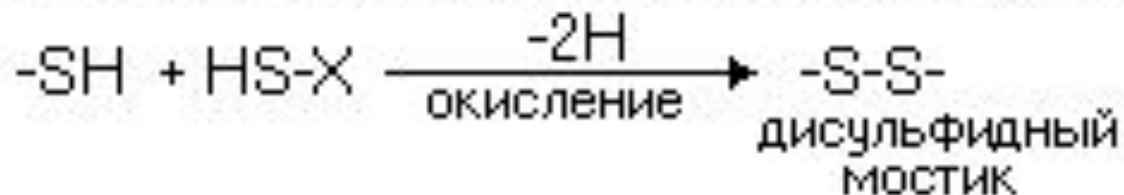
амидная группа



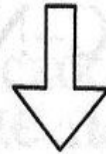
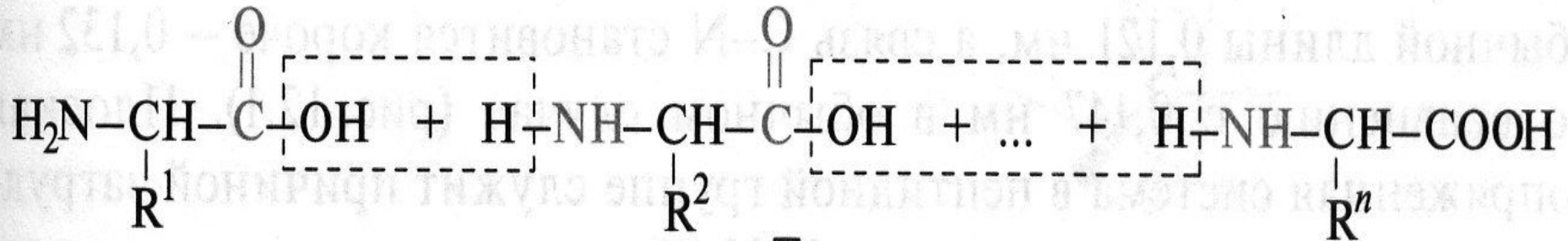


# Образование дисульфидной связи

За счет SH-группы радикал цистеина способен взаимодействовать с другими структурами, имеющими в своем составе такую же группу.



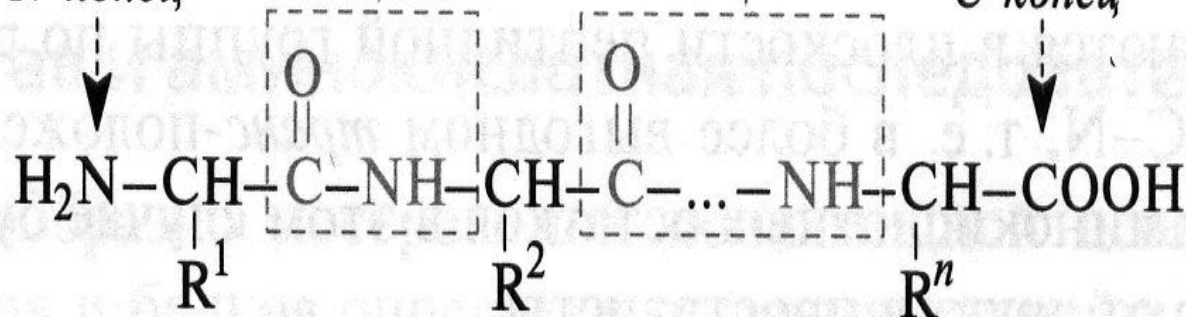
# Образование пептидной связи



*Пептидные группы*

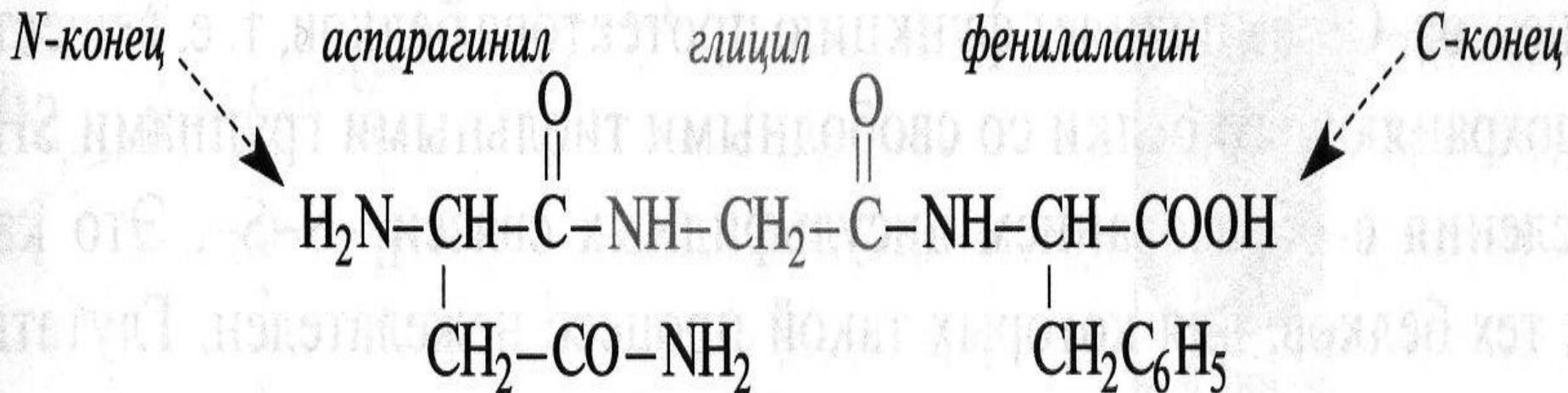
*N-конец*

*C-конец*



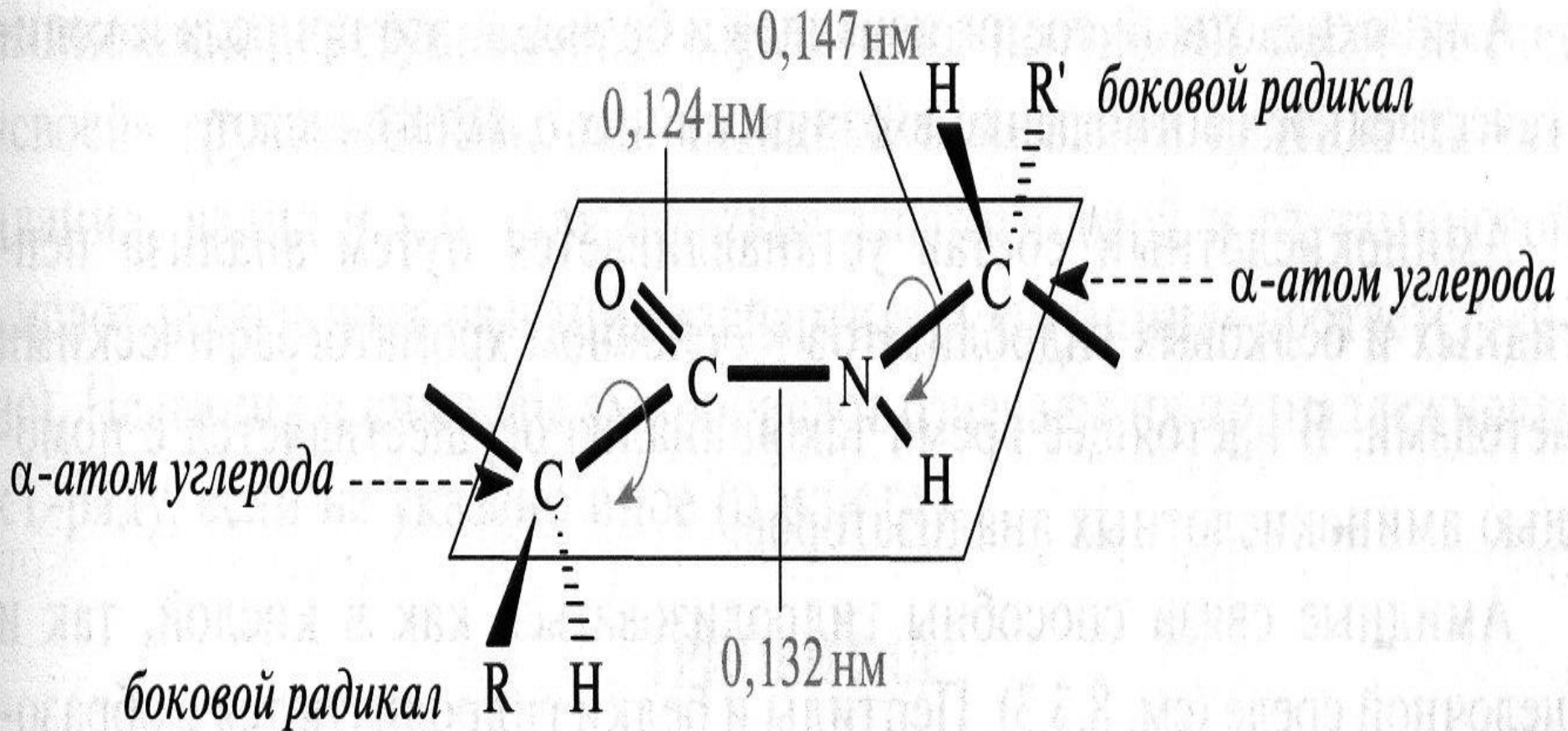
*Боковые радикалы*

# ТРИПЕПТИД



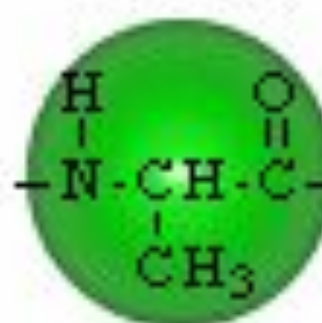
аспарагинилглицилфенилаланин  
Asn-Gly-Phe или H-Asn-Gly-Phe-OH  
(сокращенная запись)

# Свойства пептидной связи

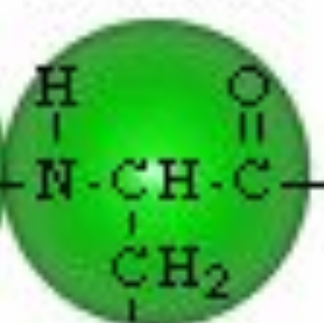


**Первичная  
структура**

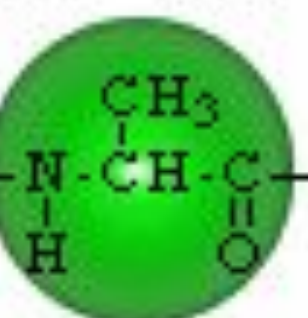
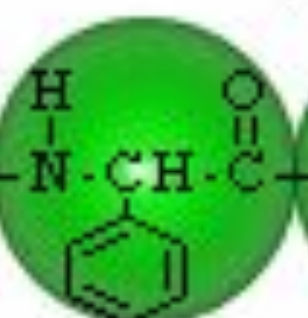
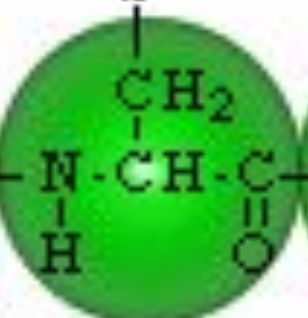
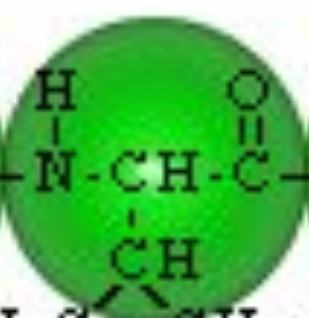
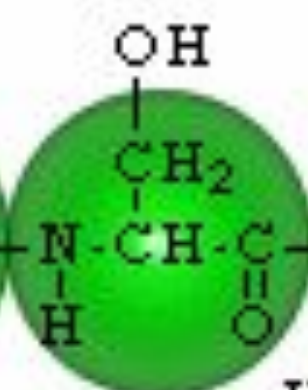
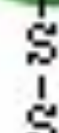
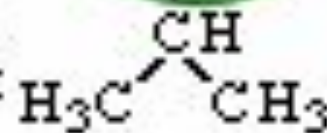
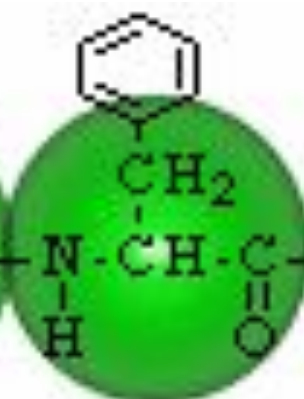
Аланин



Лейцин



Фенил-  
аланин



Глицин

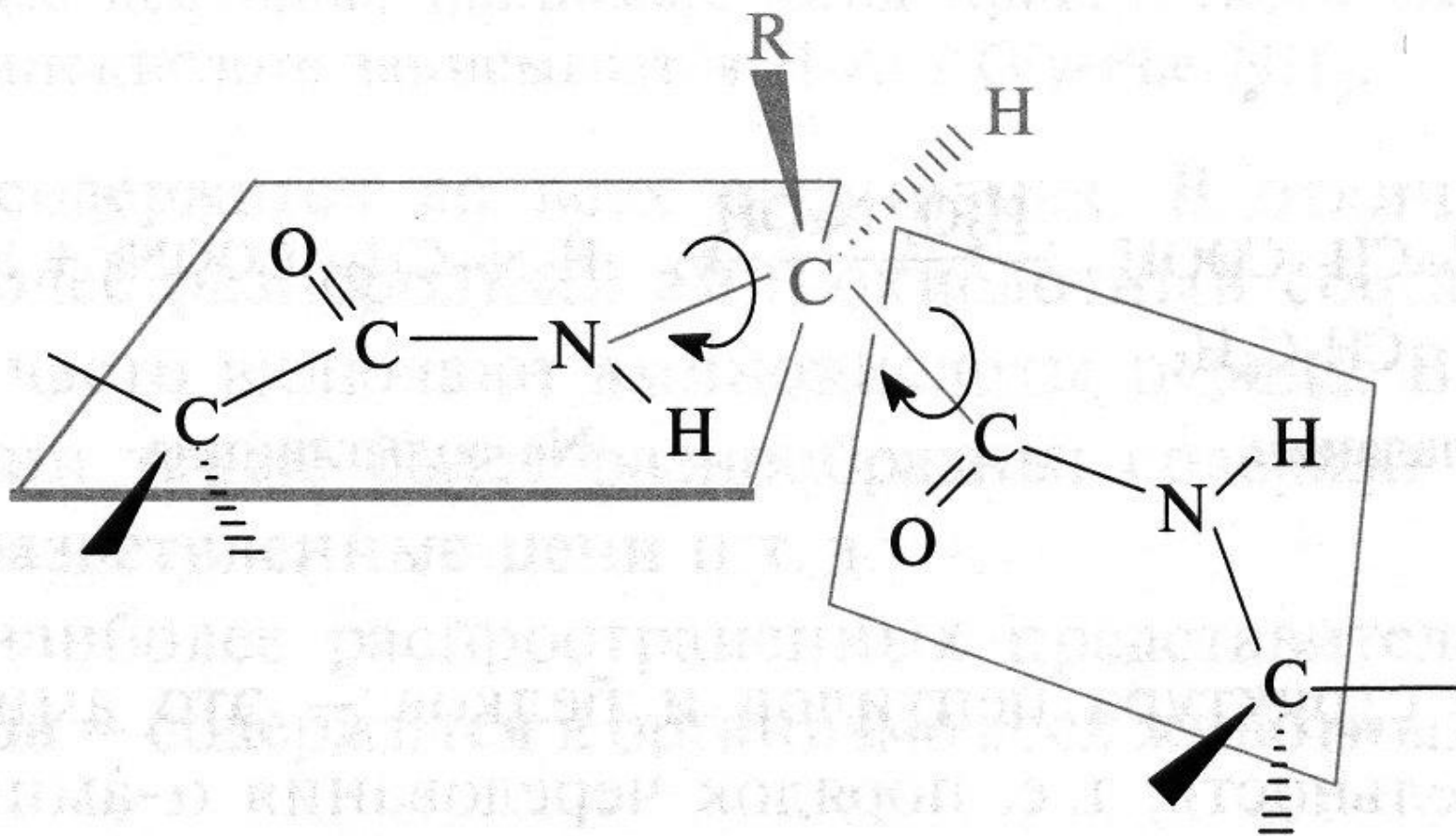
Серин

Валин

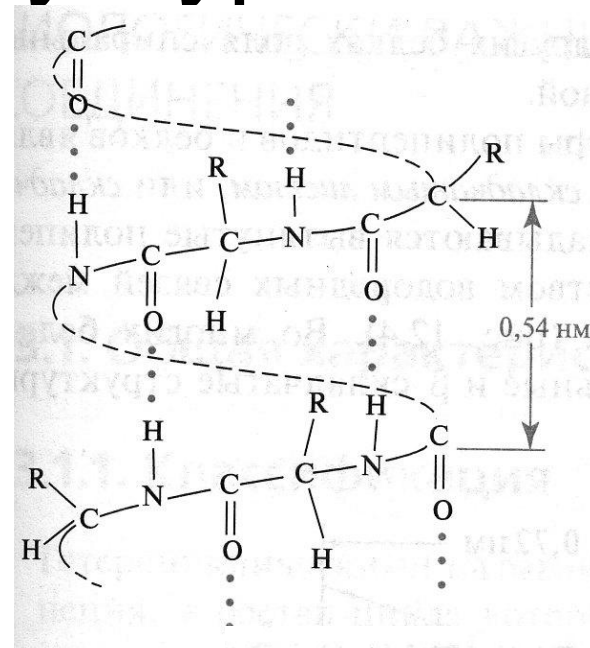
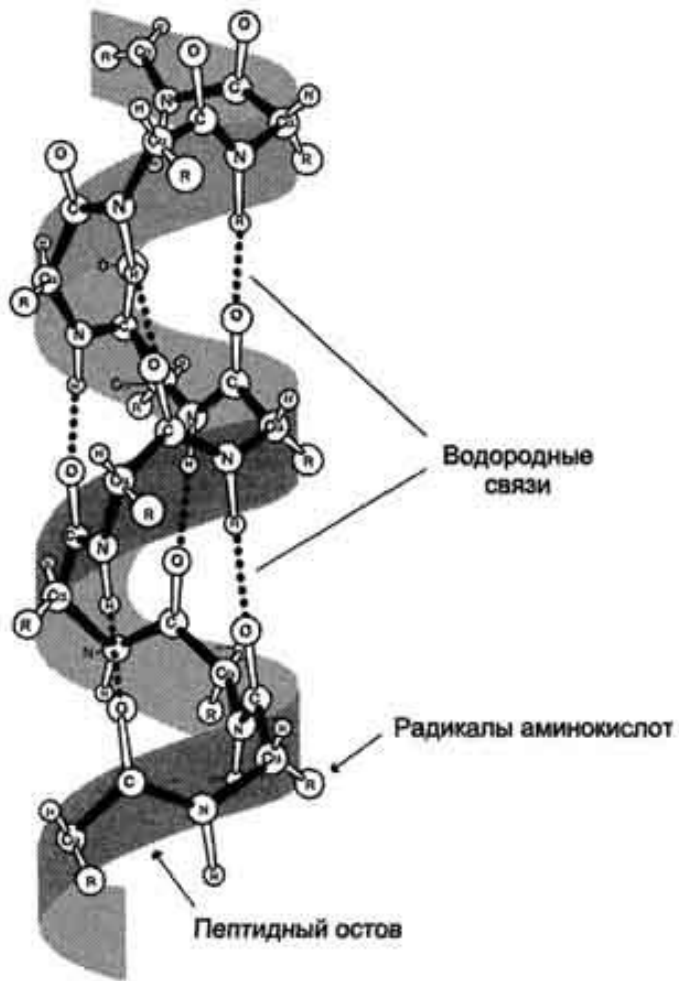
Аспарагин

Аланин

# Взаимное расположение плоскостей пептидных групп в полипептидной цепи

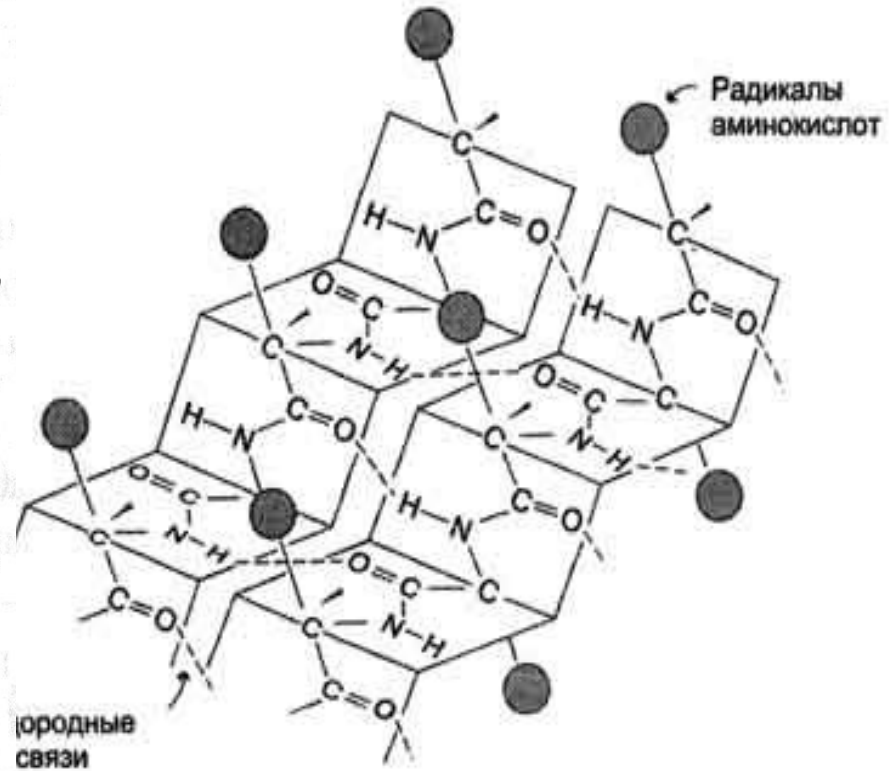
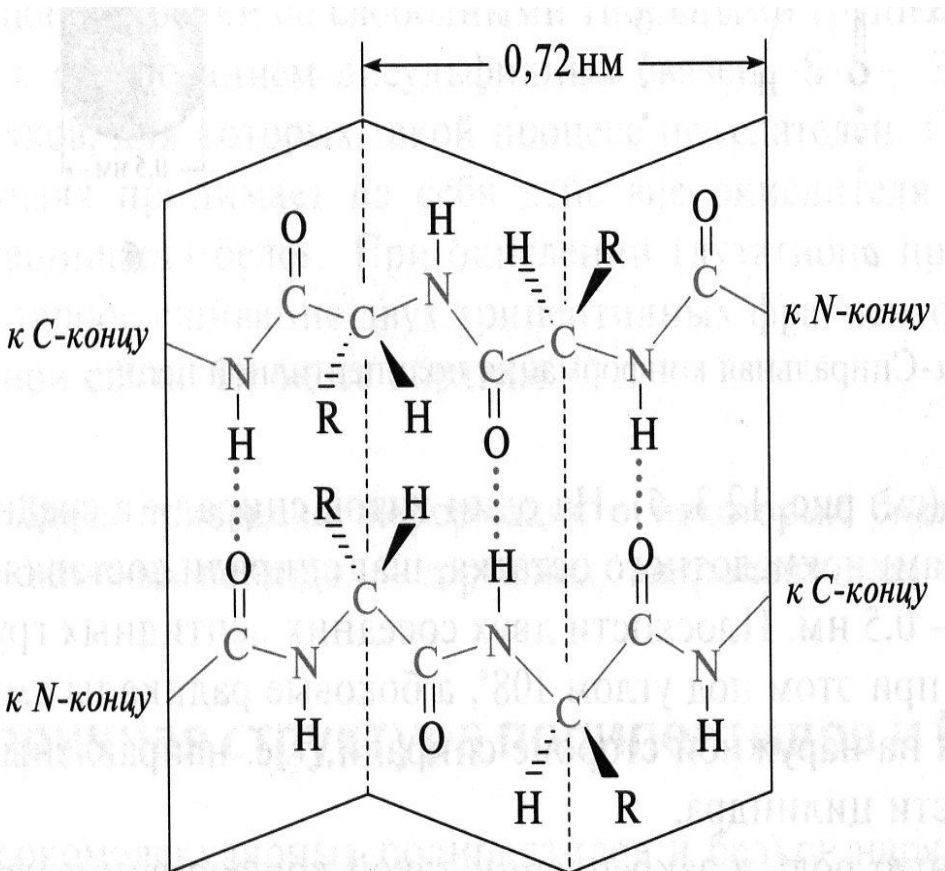


# Вторичная структура белков



**α-спираль**

# Вторичная структура белков



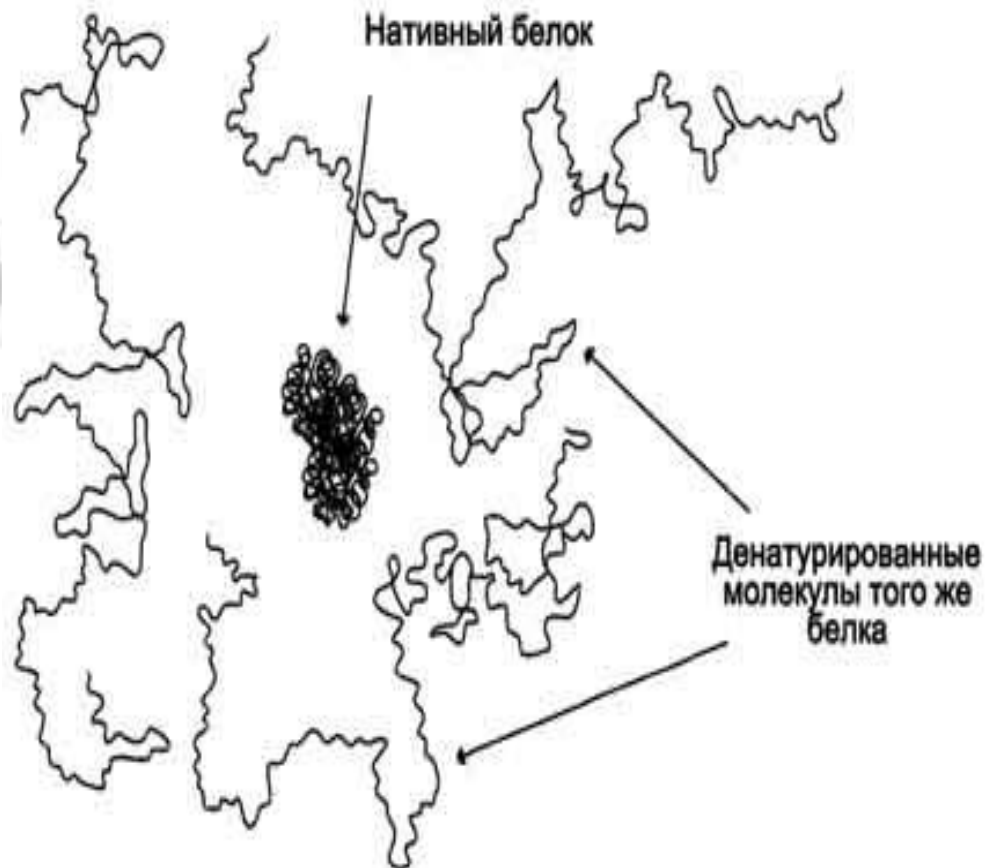
**$\beta$ -складчатый слой**



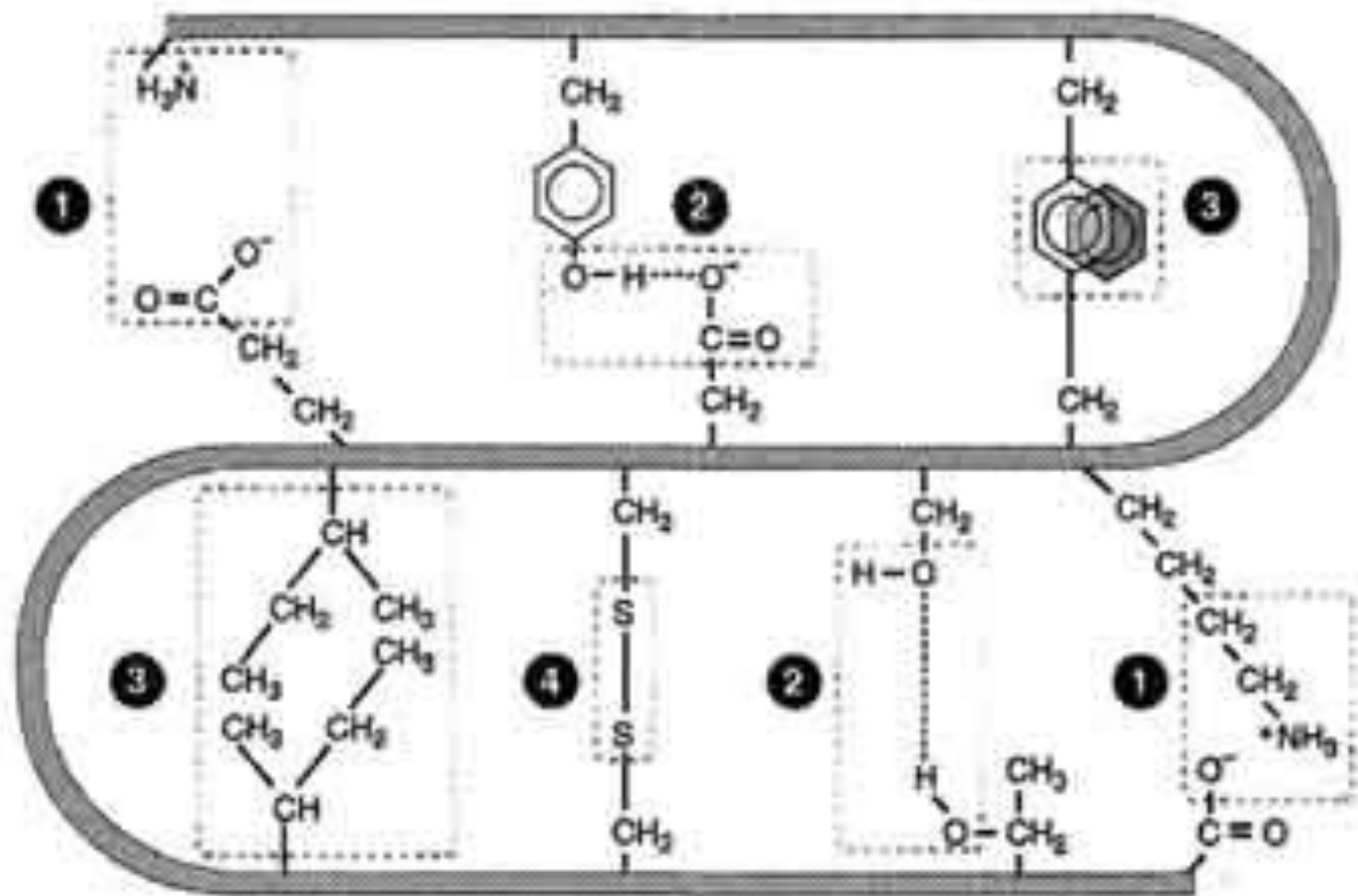
# Третичная структура белков



Пространственная  
структура миоглобина

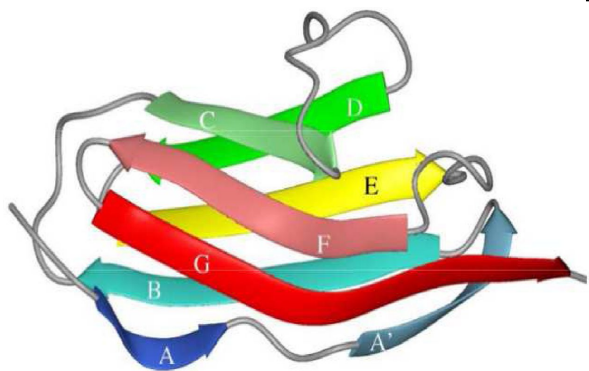


# Типы связей, возникающих между радикалами аминокислот при формировании третичной структуры белка

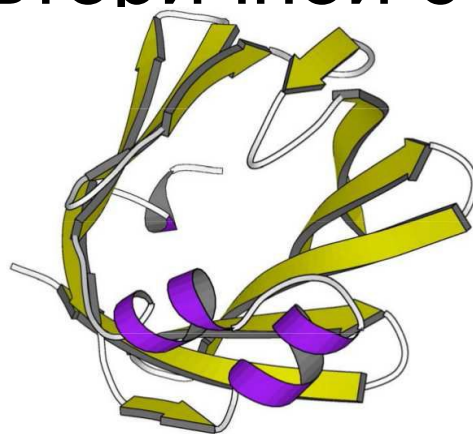


1 - ионные связи; 2 - водородные связи; 3 - гидрофобные связи;  
4 - дисульфидные связи

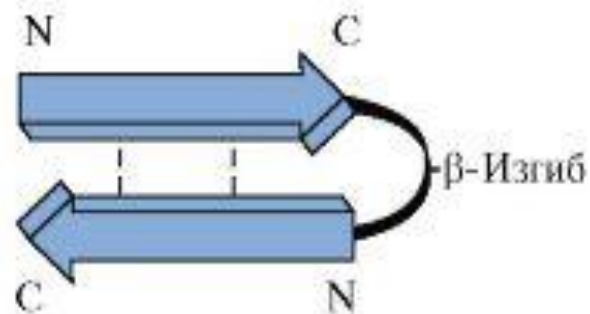
# Комбинации вторичных структур часто называют супервторичной или надвторичной структурой



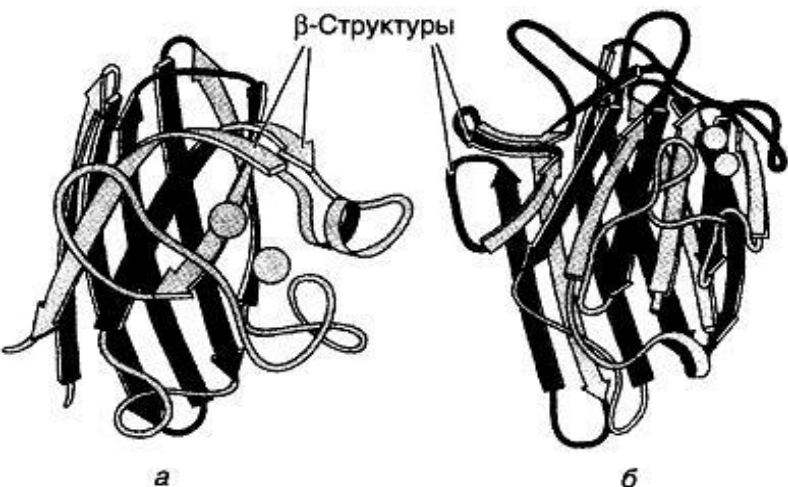
$\beta$ -сэндвич



$\beta$ -бочонок



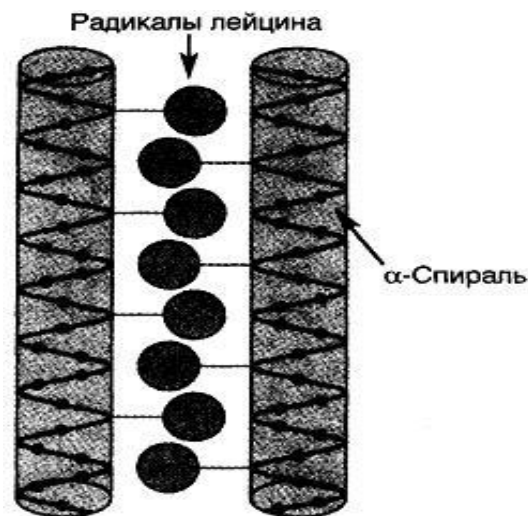
$\beta$ -изгиб



а

б

$\alpha$ -спираль—поворот— $\alpha$ -спираль



Лейциновая застежка-молния

По наличию  $\alpha$ -спиралей и  $\beta$ -структур глобулярные белки могут быть разделены на четыре категории:

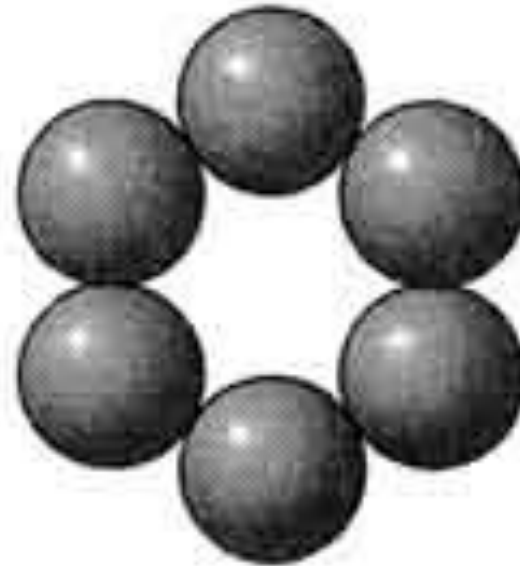
1.  **$\alpha$ -белки** – белки, состоящие главным образом из  $\alpha$ -спиралей, которые обычно образуют общее гидрофобное ядро (22%);
2.  **$\beta$ -белки** состоят в основном из  $\beta$ -цепей, сгруппированных в  $\beta$ -листы, стабилизированные множеством водородных связей. Эти белки обычно имеют несколько слоёв с общим гидрофобным ядром (16%);
3.  **$\alpha / \beta$ -белки**, которые состоят из перемежающихся  $\alpha$ - и  $\beta$ -структур (примерно 15%).
4.  **$\alpha + \beta$ -белки**, в которых также присутствуют как  $\alpha$ -, так и  $\beta$ -структуры, но в отличие от  $\alpha / \beta$ -белков, в этой категории разные вторичные структуры пространственно удалены друг от друга.

# Четвертичная структура белков

Вид сбоку



Вид сверху



Субъединичная структура глутаминсинтетазы.

Различают четыре уровня молекулярной организации белка:

- **Первичная структура** – последовательность аминокислотных остатков в полипептидной цепи.
- **Вторичная структура** – укладка участков полипептидной цепи в регулярные структуры,  $\alpha$ -спирали и  $\beta$ -складчатые структуры (или  $\beta$ -пластинки).
- **Третичная структура** – укладка полипептидной цепи, включая  $\alpha$ -спирали,  $\beta$ -пластинки и неупорядоченные полипептидные петли, в более или менее компактное образование, которое может либо само по себе быть белковой глобулой, либо входить в состав более сложной глобулы в качестве субъединицы.
- **Четвертичная структура** – белковая глобула, состоящая из нескольких полипептидных цепей. Каждая такая цепь образует в составе глобулы относительно обособленную структуру, называемую субъединицей.

- **Нативный белок** – белок, находящийся в природном состоянии, сохраняющий структуру, присущую ему в живой клетке.
- **Денатурация** белка – потеря нативной конформации за счет разрыва большого количества связей, сопровождающийся утратой специфической функции.
- **Ренатурация** белка – восстановление нативной структуры.
- **Гидролиз** белка связан с разрывом пептидных связей, т.е. приводит к разрушению первичной структуры белка.

# Физико-химические свойства белков

- **Гидрофильность**, способность образовывать коллоидные растворы.
- Растворы белков имеют **низкое осмотическое давление и высокую вязкость**.
- Способность к **светорассеянию** (количественное определение белков методом нефелометрии).
- Способность к **поглощению УФ-лучей при 280 нм** (используется для количественного определения белков)
- Молекулы белка **не способны проникать через полупроницаемые искусственные мембраны**, а также **биомембраны растительных и животных тканей**.
- Белки **амфотерны** благодаря наличию свободных  $\text{NH}_2$ - и  $\text{COOH}$ -групп. Для них характерны все свойства кислот и оснований.



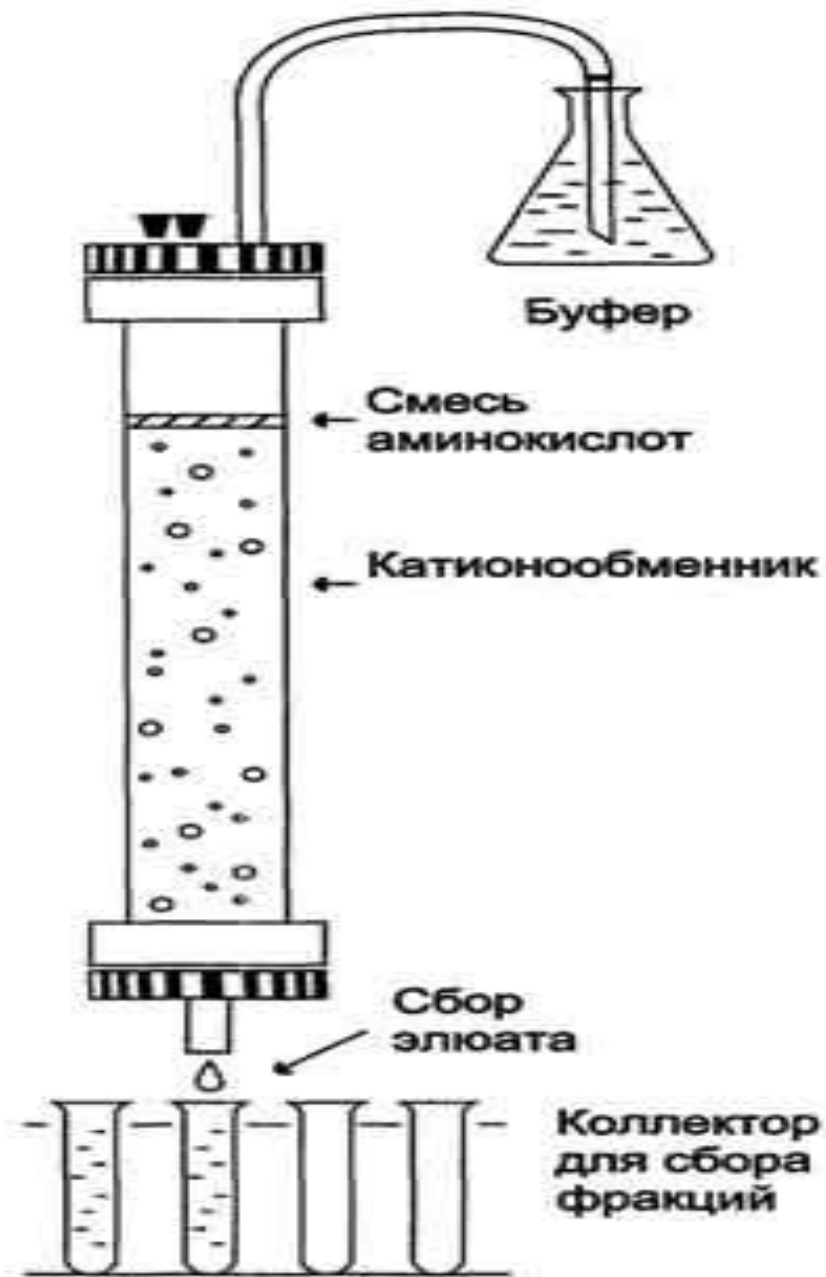
# Методы выделения и очистки белков

- дробление биологического материала и разрушение клеточных мембран;
- фракционирование органелл, содержащих те или иные белки;
- экстракция белков (перевод их в растворённое состояние);
- разделение смеси белков на индивидуальные белки.

# Методы очистки белков

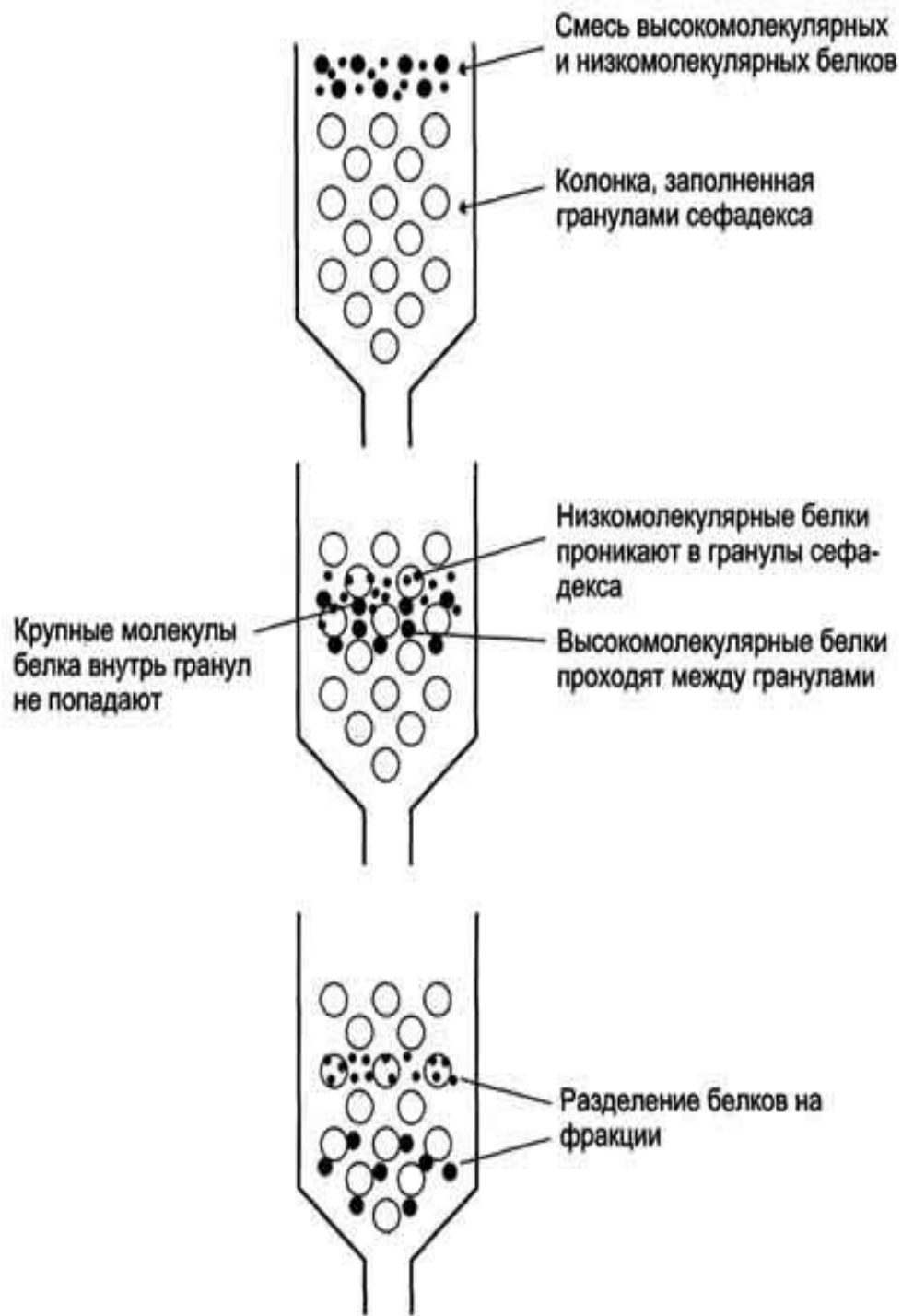
Грубое фракционирование:

- Очистка белков избирательной денатурацией
- Высаливание
- Осаждение в изоэлектрической точке

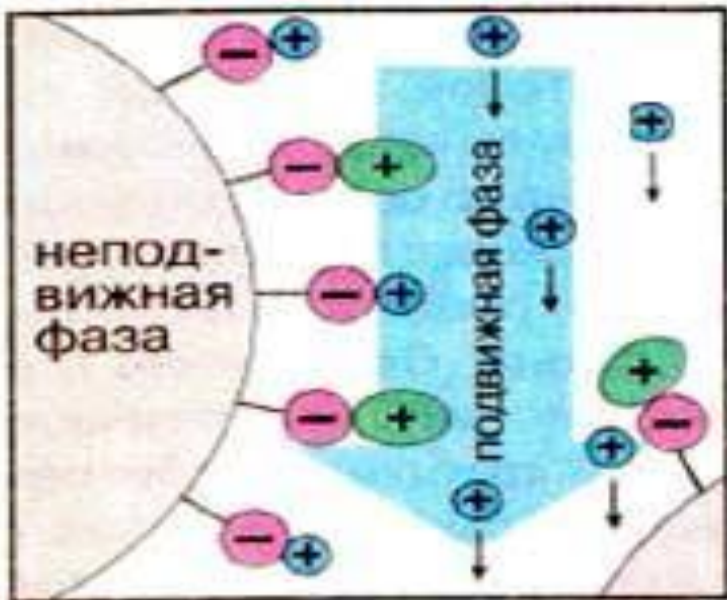


# Методы тонкого фракционирования: хроматография

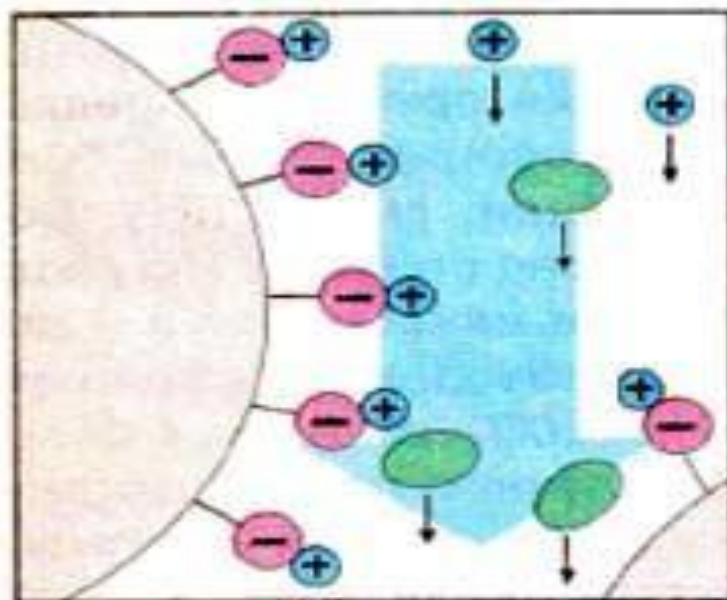
# Методы тонкого фракционирования: гель-фильтрация (гель-проникающая хроматография)



## 1. Основы метода

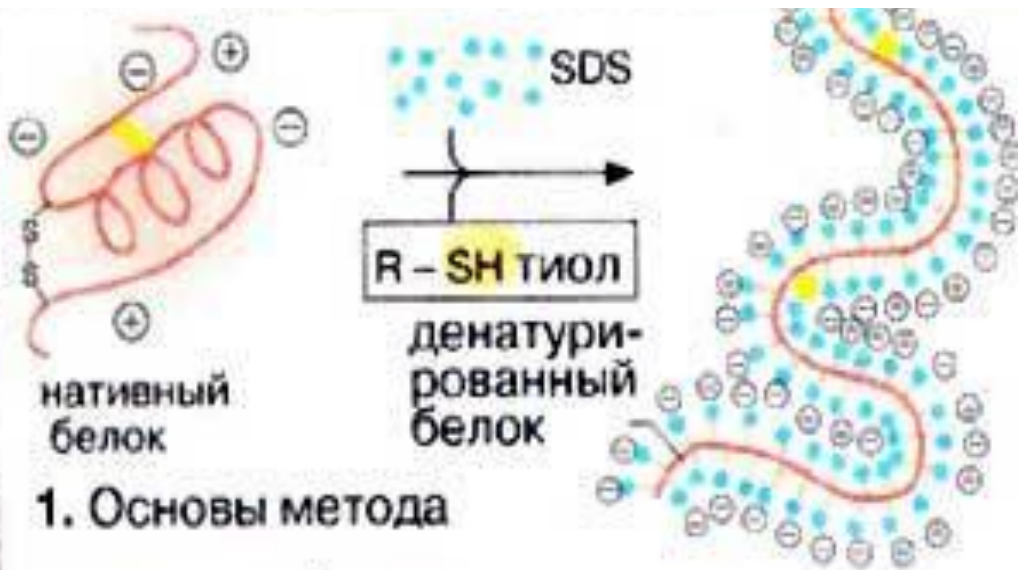


1а. Низкие значения pH

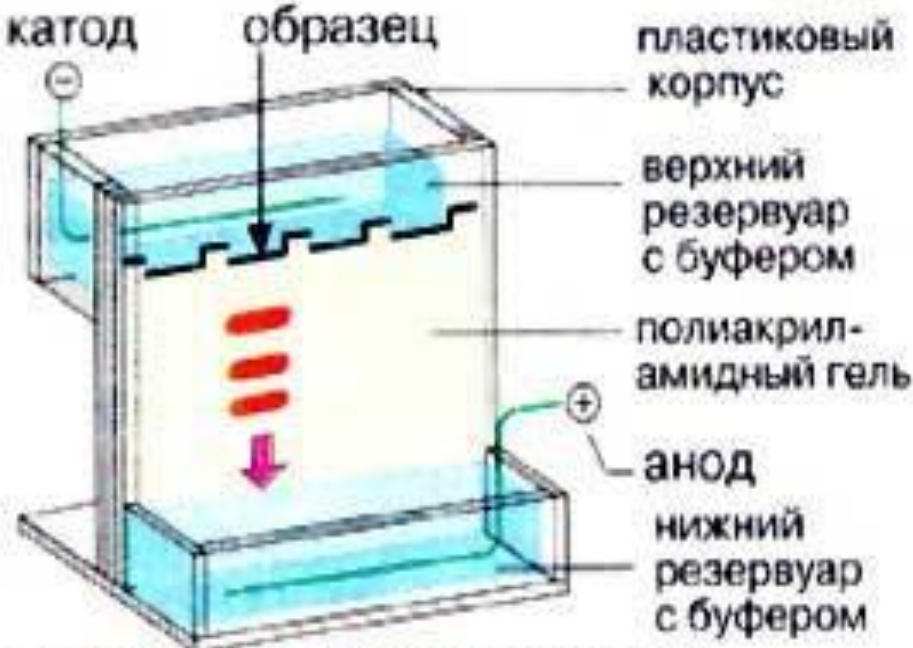


1б. Высокие значения pH

Методы тонкого фракционирования:  
ионообменная хроматография



1. Основы метода

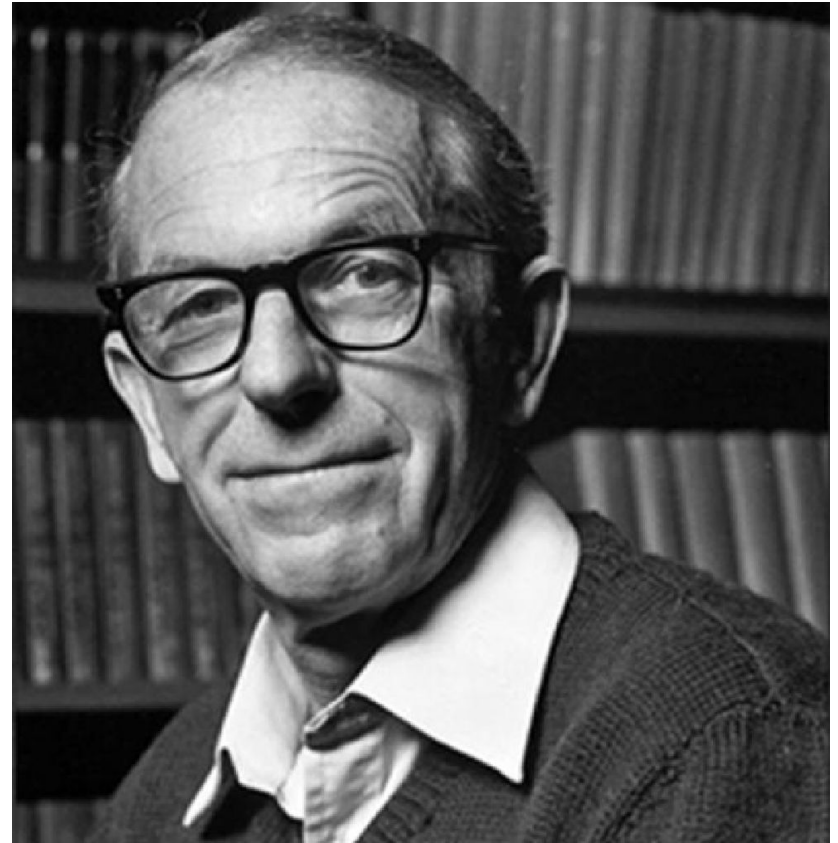


2. Камера для электрофореза

# Методы тонкого фракционирования: электрофорез

# Ф. Сенгер

В 1958г. была присуждена Нобелевская премия по химии «за установление структур белков, особенно инсулина» (Biochem J. 1951 September; 49(4): 463–481 ).



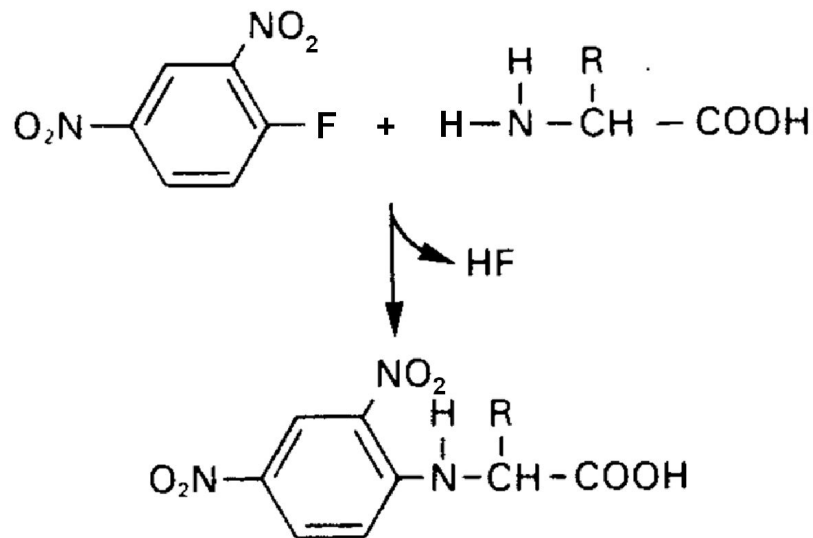
В 1980г. часть Нобелевской премии по химии «за вклад в установлении основных последовательностей в нуклеиновых кислотах»

# Определение аминокислотного состава белков: аминокислотный анализатор. Деградация по Сенгеру



Современный  
аминокислотный  
анализатор

1-фтор-2,4-динитробензол (FDNB)



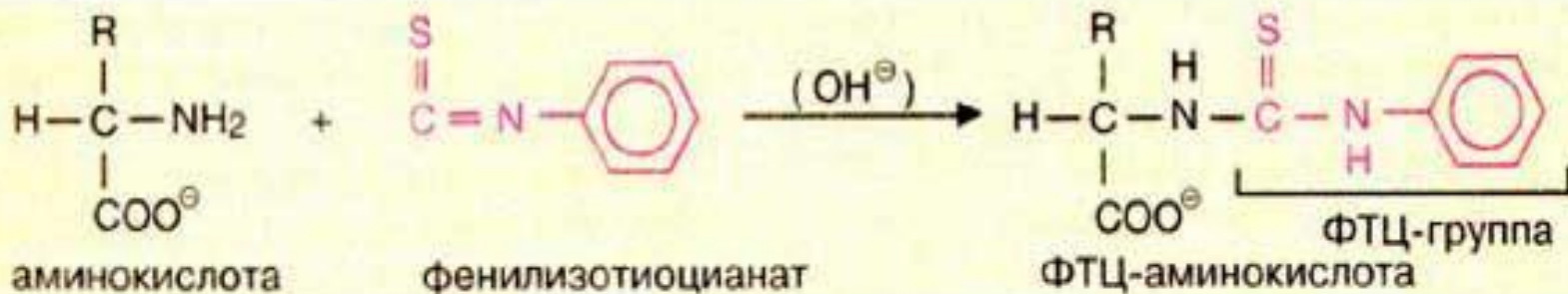
FDNB- производное аминокислоты



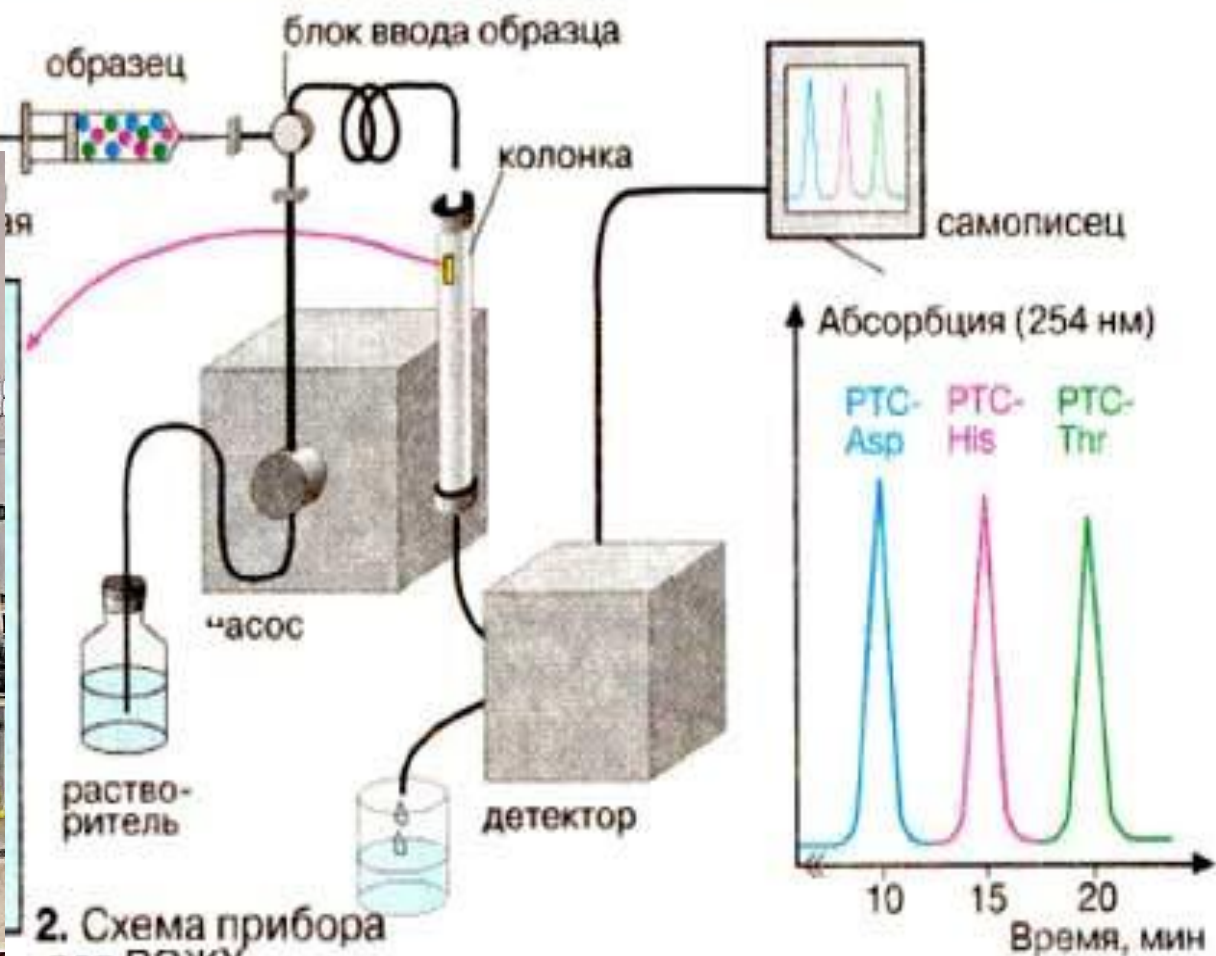


## Следующий подход предложил **В. Эдман (1967)**

- Автоматическая процедура последовательного отщепления и идентификации N-концевых аминокислот в виде их фенилтиогидантоиновых производных (деградация по Эдману)



### 1. Схема реакции



2. Схема прибора для ВЭЖХ

Б. Распределительная хроматография ФТЦ-аминокислот 3. График элюирования

# Классификация белков

- по **форме молекул** (глобулярные или фибриллярные);
- по **молекулярной массе** (низкомолекулярные, высокомолекулярные и др.);
- по **химическому строению** (наличие или отсутствие небелковой части);
- по **выполняемым функциям** (транспортные, защитные, структурные белки и др.);
- по **локализации в клетке** (ядерные, цитоплазматические, лизосомальные и др.);
- по **локализации в организме** (белки крови, печени, сердца и др.);
- по **возможности адаптивно регулировать количество данных белков**: белки, синтезирующиеся с постоянной скоростью (конститутивные), и белки, синтез которых может усиливаться при воздействии факторов среды (индуцибельные);
- по **продолжительности жизни в клетке** (от очень быстро обновляющихся белков, с  $T_{1/2}$  менее 1 ч, до очень медленно обновляющихся белков,  $T_{1/2}$  которых исчисляются неделями и месяцами);
- по **схожим участкам первичной структуры и родственным функциям** (семейства белков).

# Классификация белков по форме молекул

## глобулярные

- соотношение продольной и поперечной осей не превышает 1:10, а чаще составляет 1:3 или 1:4;
- хорошо растворимы в воде.

*Гемоглобин, миоглобин*

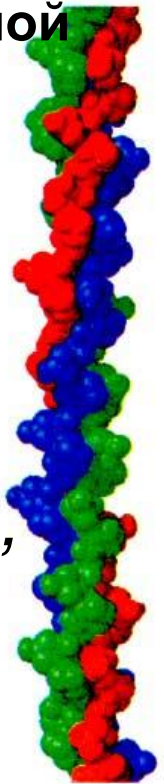


ось второго  
порядка

## фибриллярные.

- соотношение продольной и поперечной осей составляет более 1:10;
- высокая регулярность структуры;
- большинство плохо растворимы в воде.

*Коллаген, кератин,  
фиброн шелка,  
фибриноген*



# Классификация белков по функциям

1. **Ферменты.**
2. **Регуляторные белки** (инсулин, кальмодулин, ДНК-связывающие белки).
3. **Транспортные белки** (альбумин сыворотки крови, гемоглобин).
4. **Структурные белки** (коллаген, эластин).
5. **Защитные белки** (иммуноглобулины, фибриноген, токсины бактерий).
6. **Сократительные белки** (актин, миозин, тубулин).
7. **Рецепторные белки**  
*и др....*

# Классификация белков по химическому составу

## Простые

- Состоят только из аминокислот

## Сложные

- Содержат кроме аминокислот еще небелковые компоненты

Небелковая часть –  
*простетическая*  
*группа*

# Простые белки

- **Альбумины** - глобулярные белки 40-70кДа, растворимы в воде.
- **Глобулины** - нейтральные глобулярные белки св.150кДа, нерастворимы в воде, но растворимы в слабых солевых растворах.
- **Проламины и глютелины** – кислые белки растительного происхождения от 20 до 145кДа, растворимы в 70%-ном этаноле; в составе много аспарагиновой и глутаминовой кислот.
- **Протамины и гистоны** – основные белки (в составе много аргинина и лизина), М.м. не выше 10кДа. Не содержат триптофана, растворимы в разбавленных кислотах (0,2М HCl ), осаждаются аммиаком и этанолом
- **Протеиноиды (склеропротеины)** - плотноупакованные белки, нерастворимые в воде и большинстве растворителей; в состав входит 12-13 типов аминокислот.

# Сложные белки

**Гликопротеины** (содержат углеводы).

**Липопротеины** (содержат липиды).

**Фосфопротеины** (содержат фосфорную кислоту).

**Хромопротеины** (содержат окрашенную простетическую группу).

**Металлопротеины** (содержат ионы различных металлов).

**Нуклеопротеины** (содержат нуклеиновые кислоты).



# Гликопротеины

- Содержат от 1 до 30 % углеводов (моносахариды, их ацетил-амино-производные, дезоксисахариды, нейраминовые и сиаловые кислоты).
- большинство белков на внешней поверхности животных клеток (**рецепторы**);
- большая часть синтезируемых клеточных белков (**интерфероны**);
- большая часть белков плазмы крови (кроме альбуминов):
  - иммуноглобулины;
  - групповые вещества крови;
  - фибриноген, протромбин;
  - гаптоглобин, трансферрин;
  - церулоплазмин;
  - мембранные ферменты;
  - гормоны (гонадотропин, кортикотропин).

# Протеогликаны

- Содержат до 95% углеводов.
- Простетическая группа представлена высокомолекулярными гетерополисахаридами (гиалуроновой и хондроитиновой кислотами, гепарином...).
- Основное вещество межклеточного матрикса соединительной ткани (могут составлять до 30% сухой массы ткани).
- Компоненты плазматических мембран клеток.
- Участвуют в формировании тургора различных тканей и др.

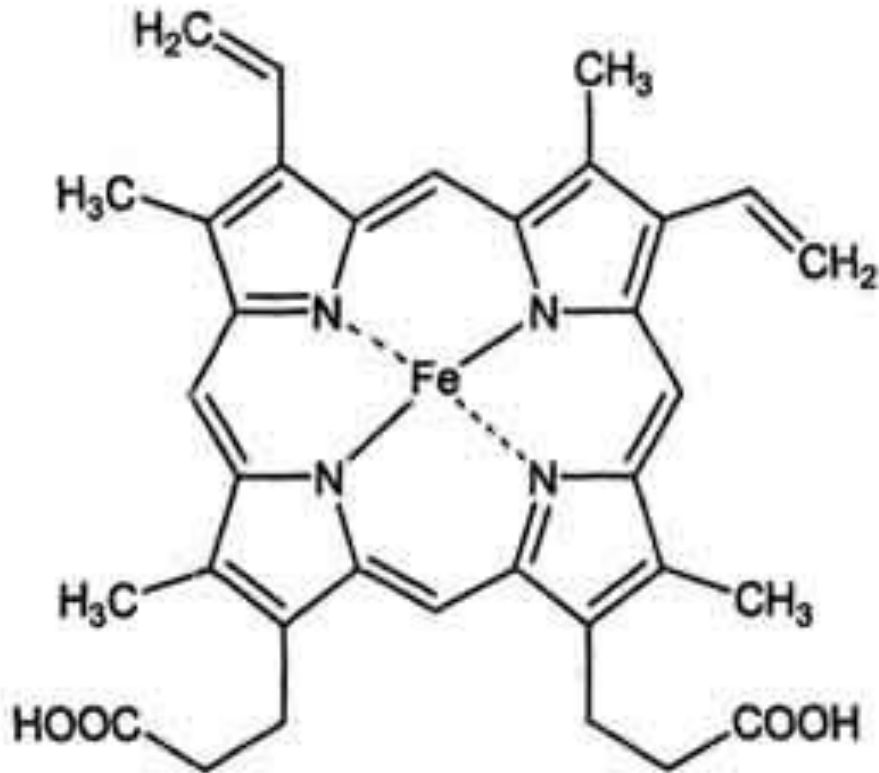
# Хромопротеины

(от греч. chroma – краска)

Простетическая группа – окрашенный  
компонент:

- **гемопротейны** или **железопорфирины** (простетическая группа – гем, содержащий железо(II)),
- **магнийпорфирины** (простетическая группа – гем, содержащий магний)
- **флавопротеины** (содержат производные изоаллоксазина).

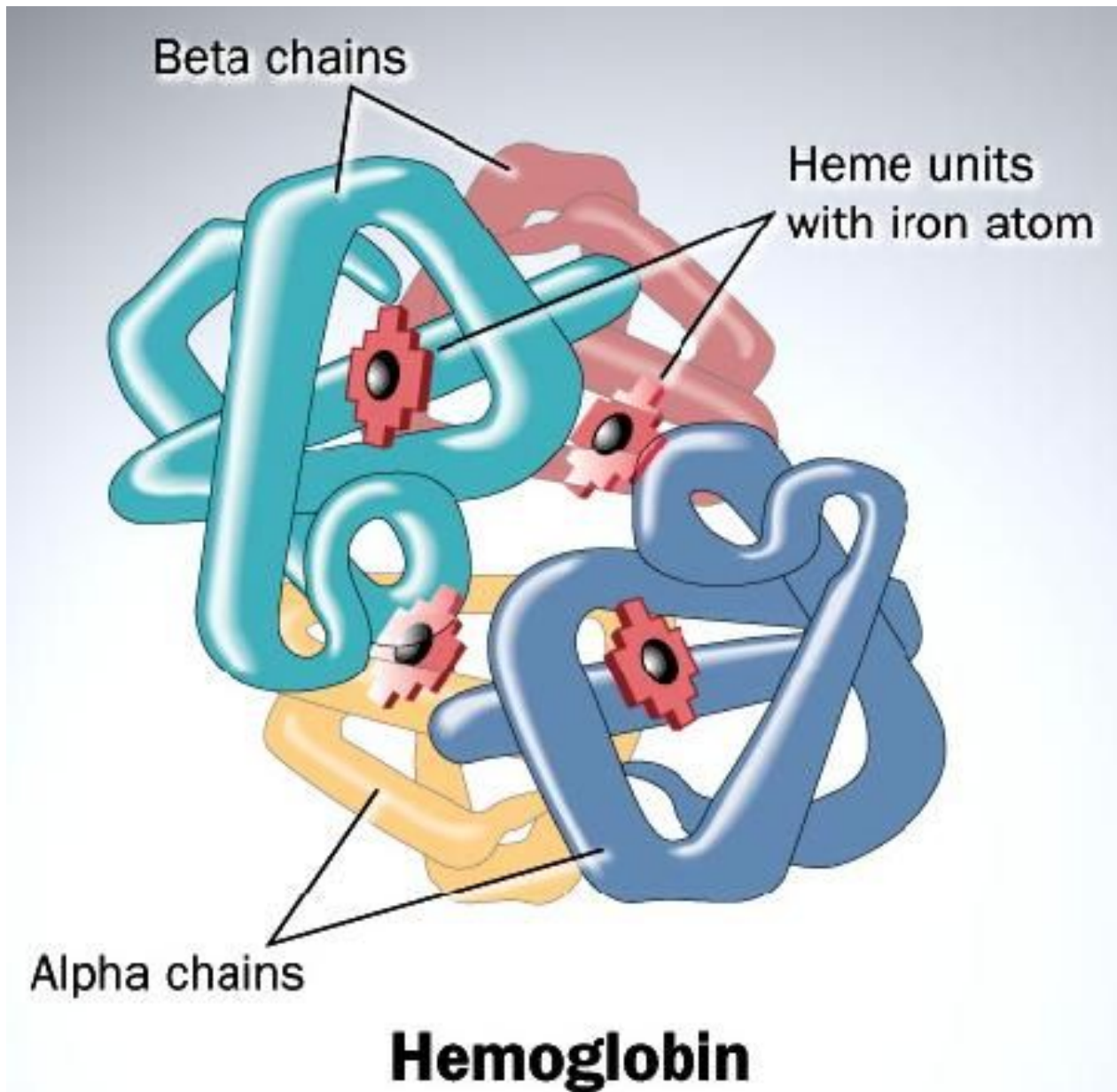
# Гемопротейны



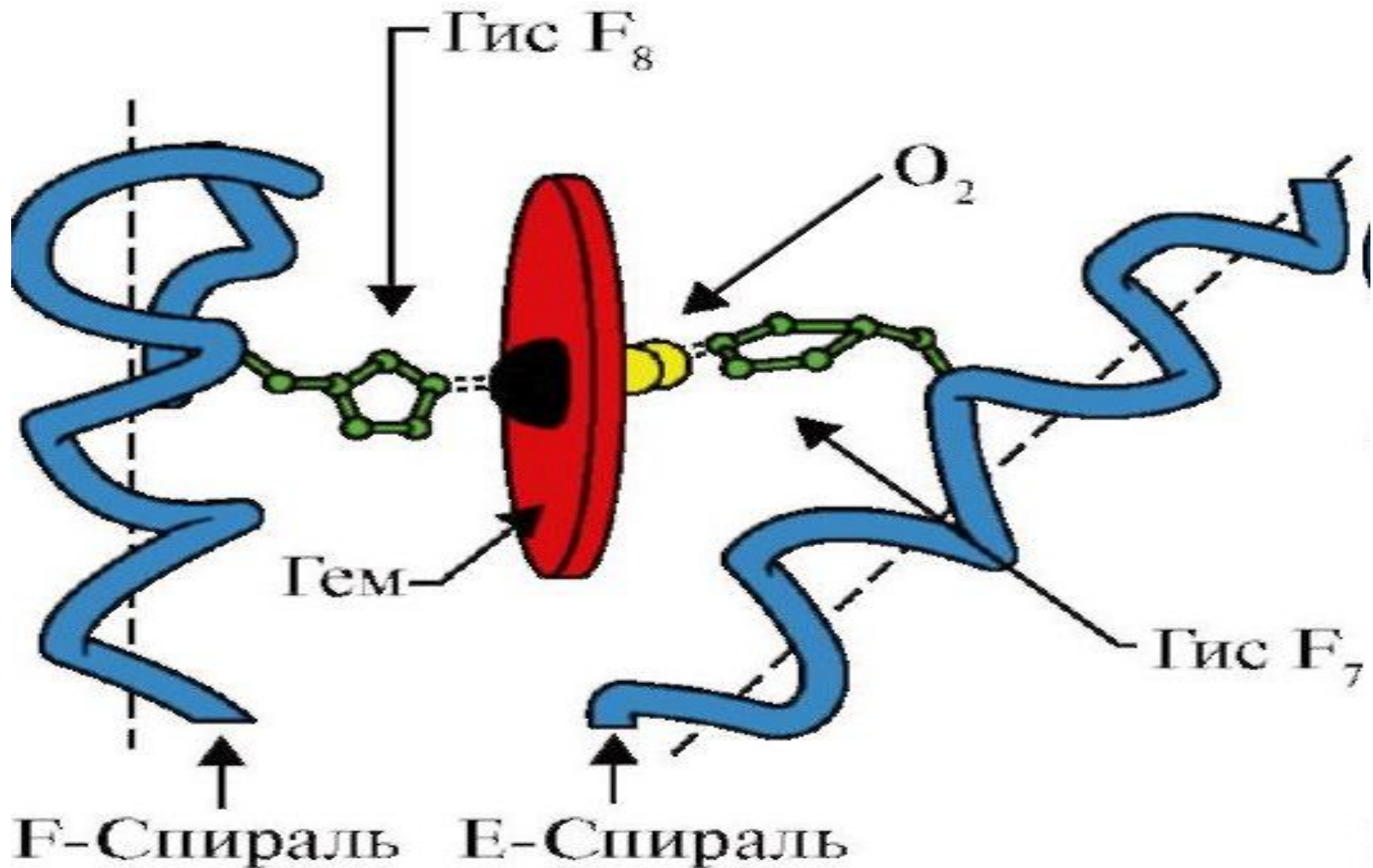
Гем гемоглобина

- эритроциты, заполненные **гемоглобином**,
  - мышечные клетки, имеющие **миоглобин**,
  - клетки печени из-за высокого содержания в них **цитохрома P450**.
- *дыхание,*
  - *транспорт кислорода и диоксида углерода,*
  - *окислительно-восстановительные реакции...*

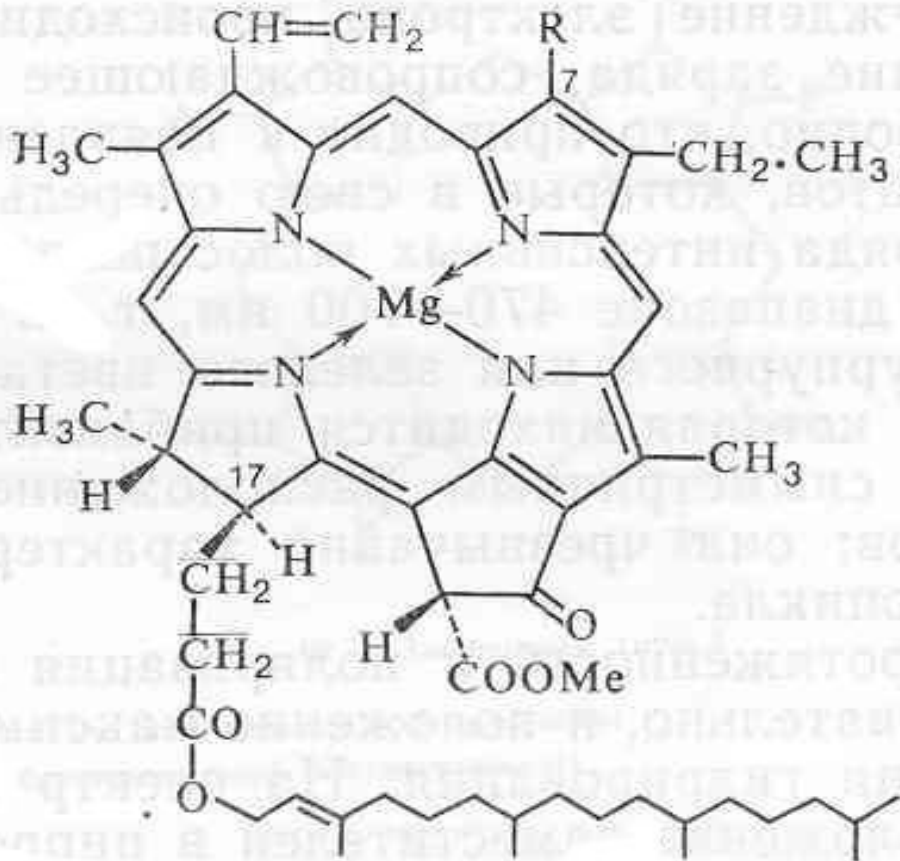
# Четвертичная структура гемоглобина



# Расположение гема и $O_2$ в активном центре миоглобина и протомеров гемоглобина



# Магнийпорфирины



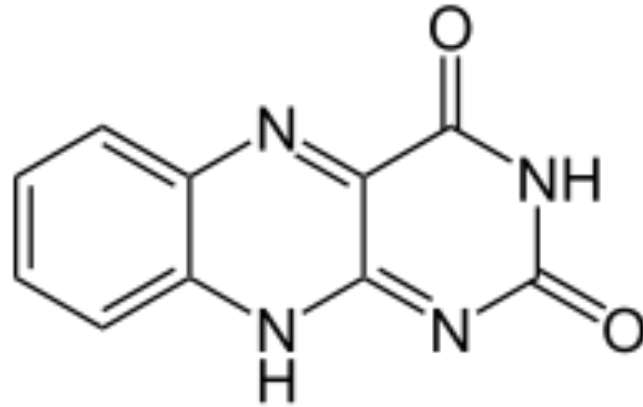
- Простетическая группа содержит тетрапиррольные кольца и структурно близка гему.
- Комплекс с Mg<sup>2+</sup>
- Участвует в осуществлении фотосинтеза.

Хлорофилл *a*: R = CH<sub>3</sub>

Хлорофилл *b*: R = CHO

# Флавопротеины

- Простетическая группа – производные изоаллоксазина



- Входят в состав оксидоредуктаз — ферментов, катализирующих окислительно-восстановительные реакции в клетке. Некоторые флавопротеины содержат ионы металлов.
- Играют важную роль в биоэнергетике клетки.



# Лipopпpотеины

- Простетическая группа – липиды:  
нейтральные жиры,  
свободные жирные кислоты,  
фосфолипиды,  
стерины и др.
- Входят в состав клеточных мембран,  
миелиновой оболочки нервных волокон и т.  
п. (структурированные фосфолипиды).
- В свободном виде – в плазме крови  
(транспорт триацилглицеридов и  
холестерина).

# Нуклеопротеины

## Дезоксирибонуклео- протеины (ДНП)

- Простетическая группа – ДНК.
- Входят в состав хроматина (5 классов гистонов и негистоновые белки).
- Защитная, структурная, регуляторная и ферментативная функции

## Рибонуклеопротеины (РНП)

- Простетическая группа – РНК.
- Нуклеопротеидные комплексы рибосомальных РНК (рРНП).
- Малые ядерные рибонуклеопротеиды (мяРНП).
- Матричные рибонуклеопротеиды (мРНП) – информосомы.

# Фосфопротеины

- Простетическая группа - остатки фосфорной кислоты, соединенные с белковой частью сложноэфирными связями через гидроксигруппы серина и треонина.
- Источник энергетического и пластического материала.
- **казеиноген молока** (1% фосфорной кислоты); **вителлин**, **вителлинин** и **фосвитин**, из желтка куриного яйца; **овальбумин**, открытый в белке куриного яйца; **ихтулин**, содержащийся в икре рыб, и др.

# Металлопротеины

• Простетическая группа – ионы металлов

*Белки, содержащие негемовое железо*

- Ферритин – «депо» железа в селезенке, печени, костном мозге (17-23% Fe).
- Трансферрин – гликопротеин, физиологический переносчик железа (0,13% Fe).

*Белки, координационно связанные с металлом*

- Metalloферменты.
- Участвуют в образовании фермент-субстратного комплекса.