

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.**

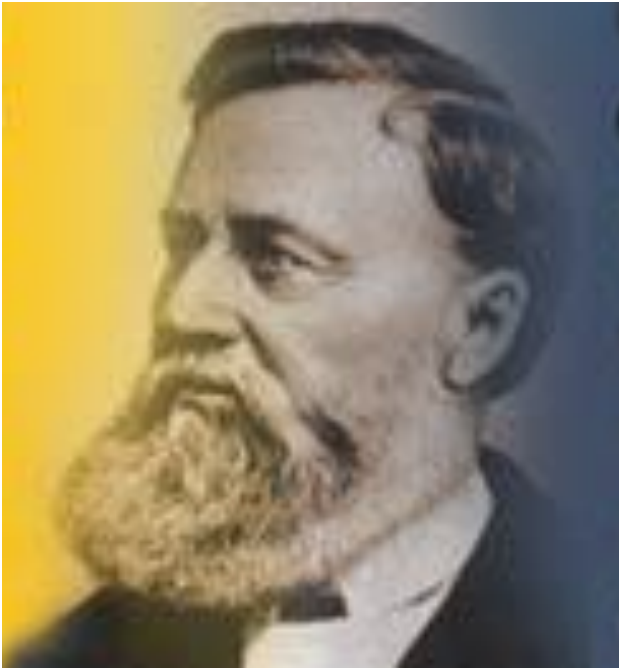
Открытия, подготовившие возникновение биохимии

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.*

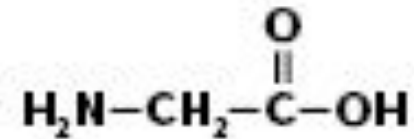
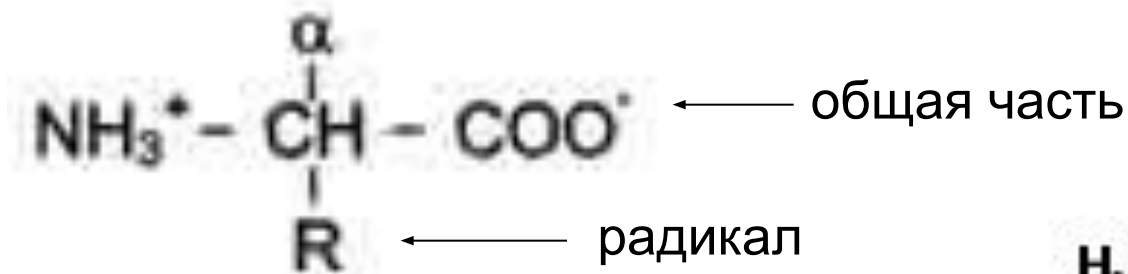
✓ *Транспортные белки*

✓ *Структурные белки*

✓ *Защитные белки*

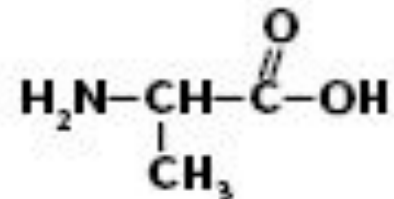
✓ *Сократительные белки*

Аминокислоты – мономеры белковой молекулы



Глицин

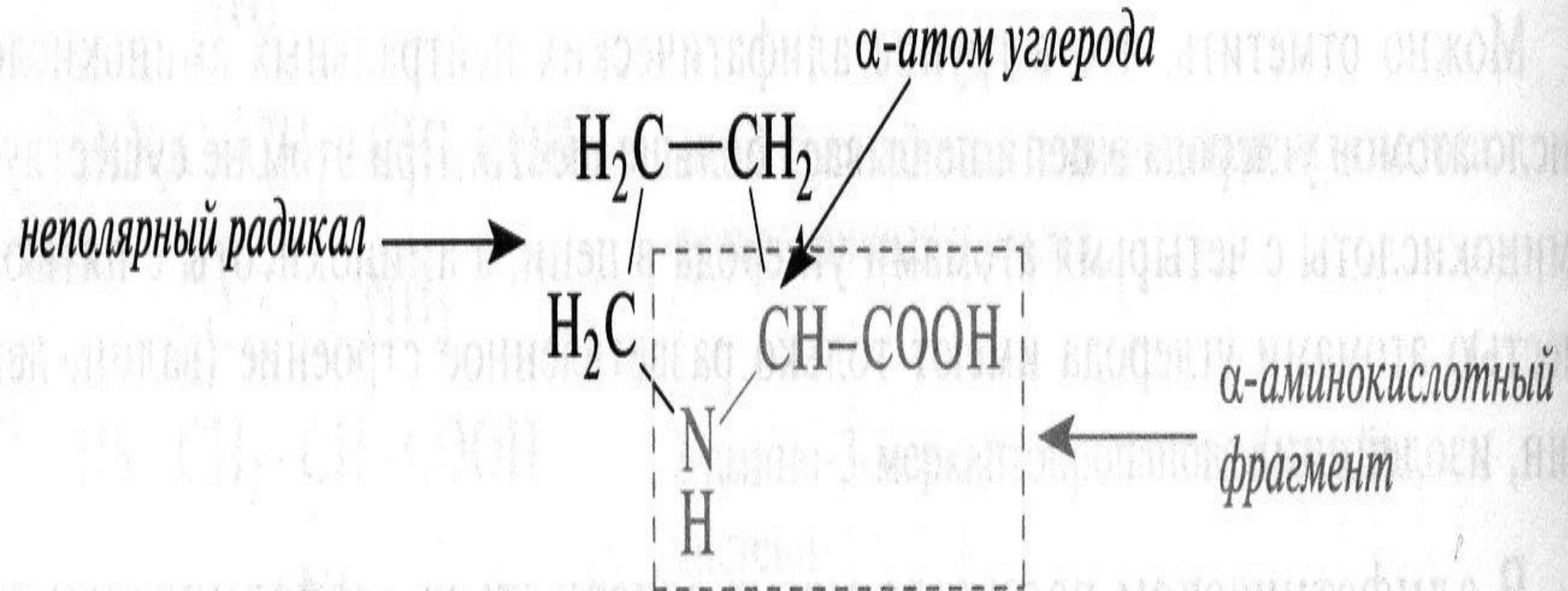
α -аминоуксусная кислота



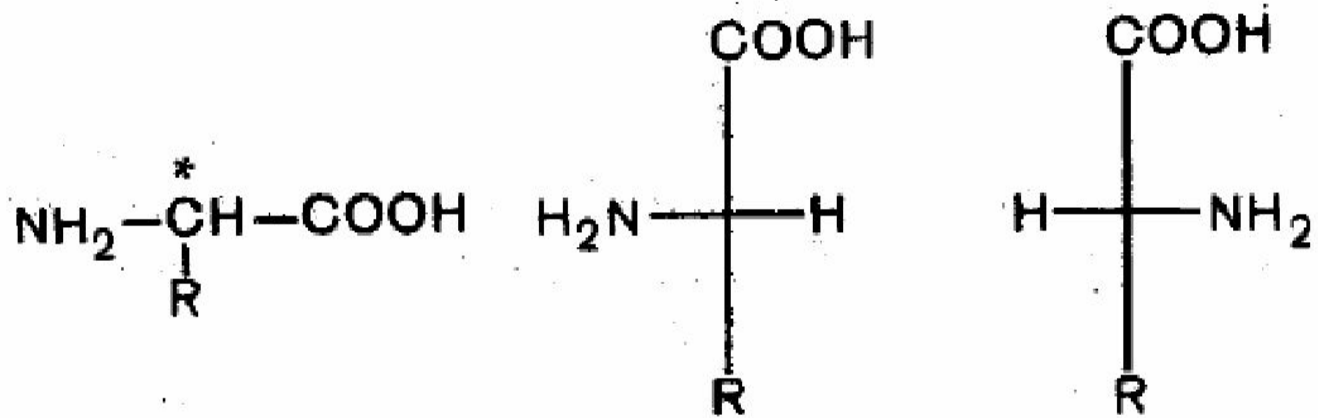
Аланин

α -аминопропионовая кислота

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



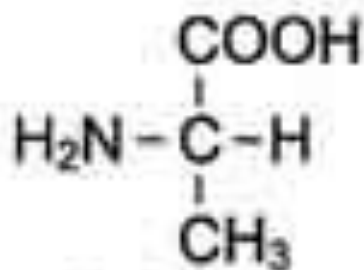
Стереохимия аминокислот



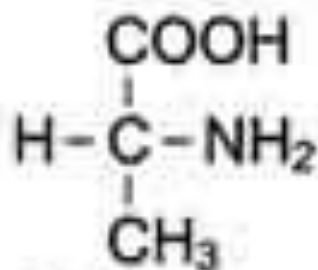
α -Аминокислота

L- α -аминокислота

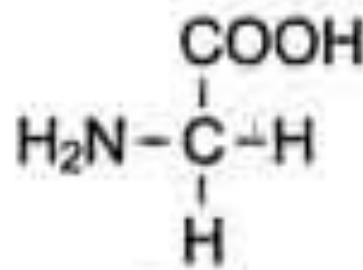
D- α -аминокислота



L-Аланин

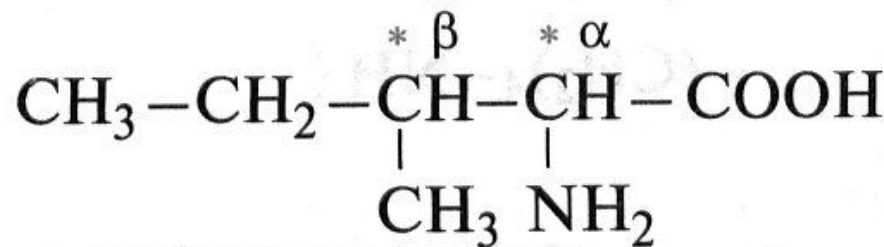


D-Аланин

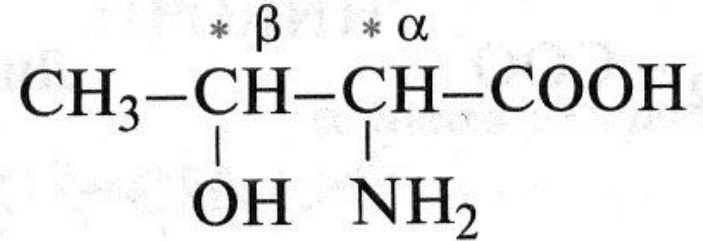


Глицин (не имеет
изомерных форм)

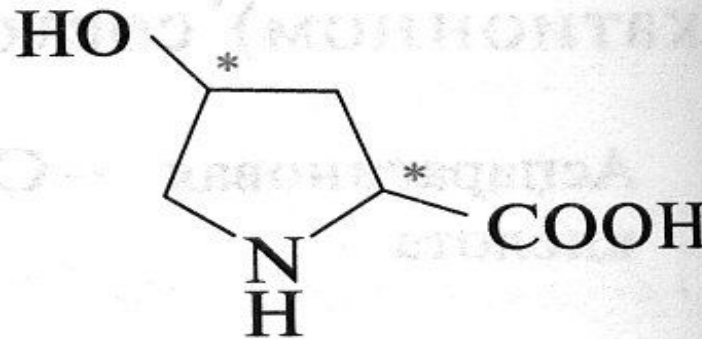
Аминокислоты изолейцин, треонин и 4-гидроксипролин имеют по два хиральных центра



изолейцин

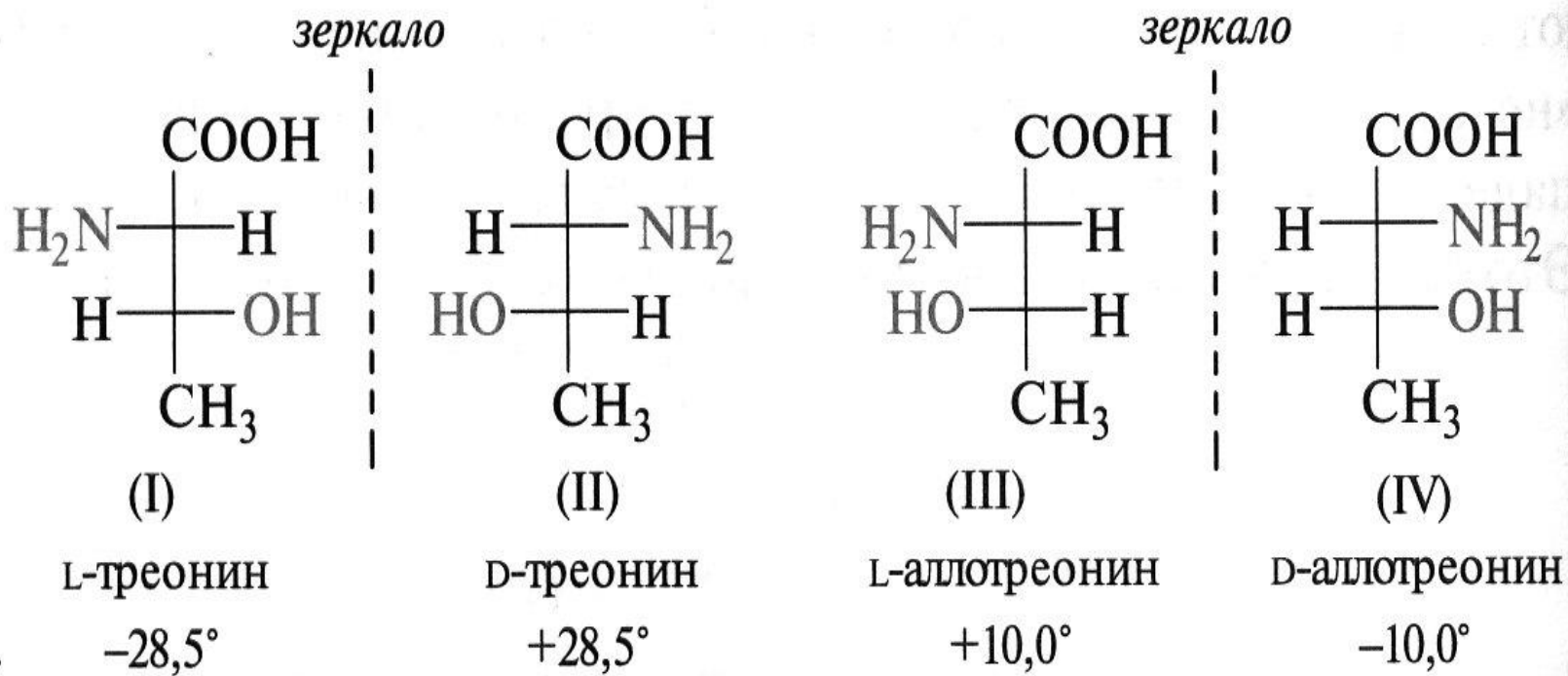
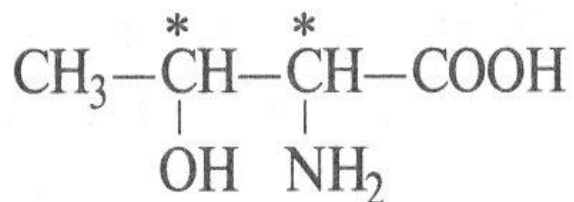


треонин



4-гидроксипролин

Конфигурационные изомеры 2-амино-3-гидроксибутановой кислоты



Энантиомеры

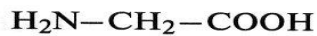
Энантиомеры

Диастереомеры

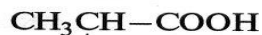
Приняты три классификации аминокислот:

- 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 **полузаменяемые** – (для человека три: **аргинин, тирозин, гистидин**).
- структурная, т.е. по строению бокового радикала;
- электрохимическая – по кислотно-основным свойствам аминокислот;

АЛИФАТИЧЕСКИЕ



глицин (Gly)



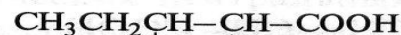
аланин (Ala)



валин** (Val)



лейцин** (Leu)



изолейцин** (Ile)

Содержащие группу OH

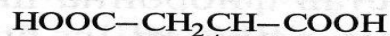


серин (Ser)



треонин** (Thr)

Содержащие дополнительную группу COOH

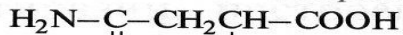


аспарагиновая кислота (Asp)

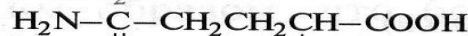


глутаминовая кислота (Glu)

Содержащие группу CO-NH₂

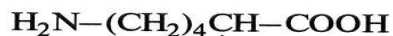


аспарагин (Asn)

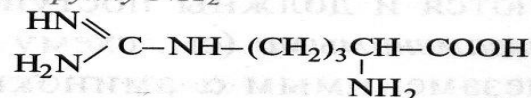


глутамин (Gln)

Содержащие дополнительную группу NH₂



лизин** (Lys)



аргинин (Arg)

Серосодержащие



цистеин (Cys)

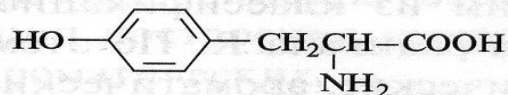


метионин** (Met)

АРОМАТИЧЕСКИЕ

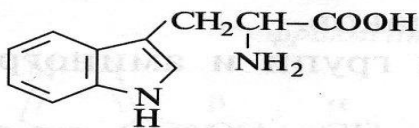


фенилаланин** (Phe)

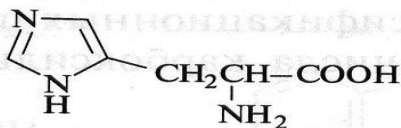


тирозин (Tyr)

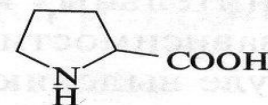
ГЕТЕРОЦИКЛИЧЕСКИЕ



триптофан** (Trp)

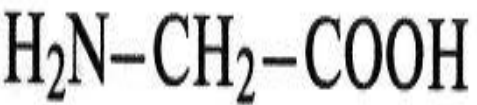


гистидин (His)

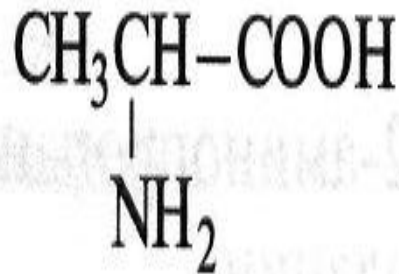


пролин (Pro)

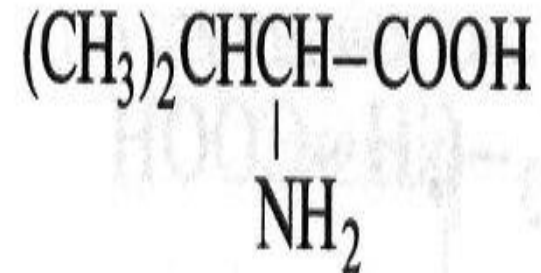
Алифатические аминокислоты



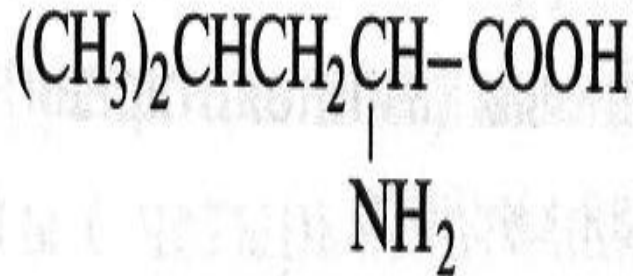
глицин (Gly)



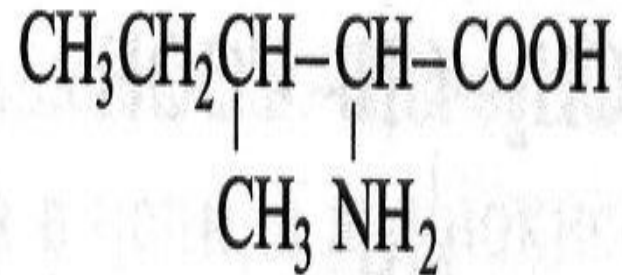
аланин (Ala)



валин** (Val)

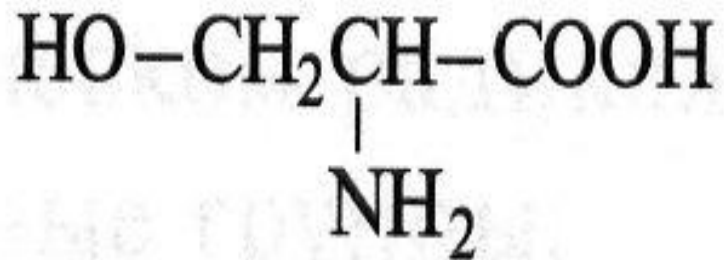


лейцин** (Leu)

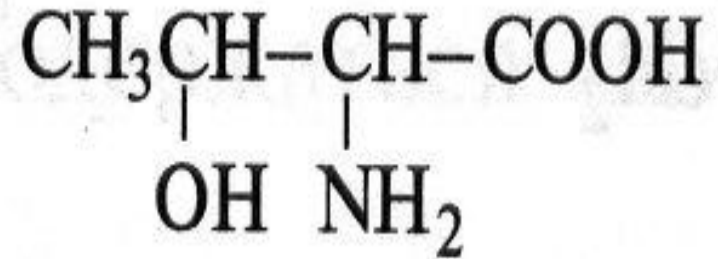


изолейцин** (Ile)

Гидроксиаминокислоты

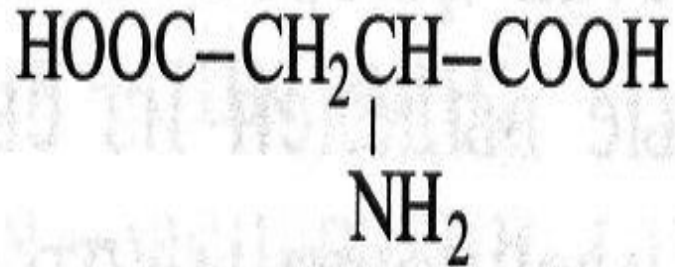


серин (Ser)

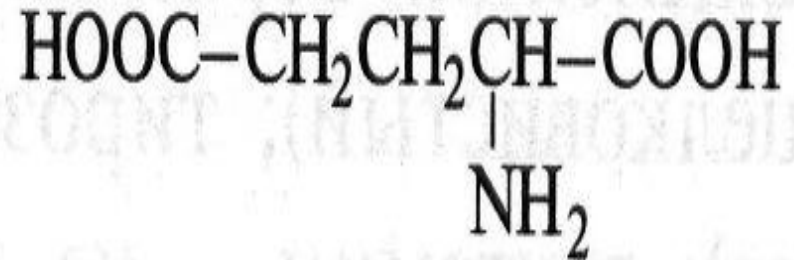


треонин** (Thr)

Аминокислоты, содержащие
дополнительную карбоксильную группу
(моноаминодикарбоновые)

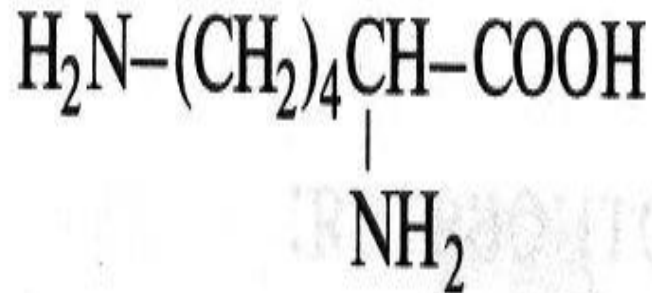


аспарагиновая кислота (Asp)

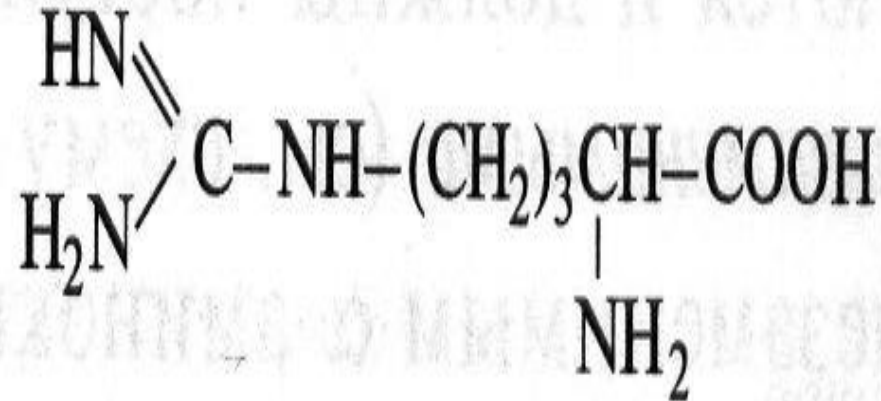


глутаминовая кислота (Glu)

Аминокислоты, содержащие
дополнительную аминогруппу
(диаминомонокарбоновые)

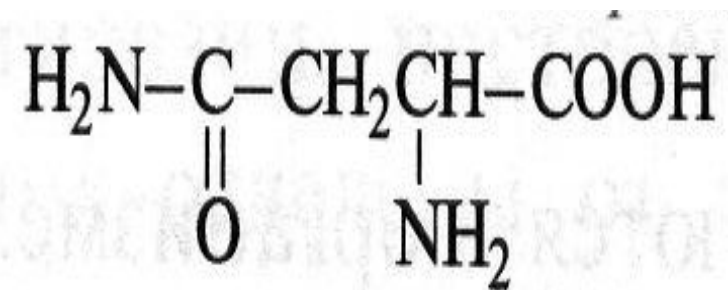


ЛИЗИН** (Lys)

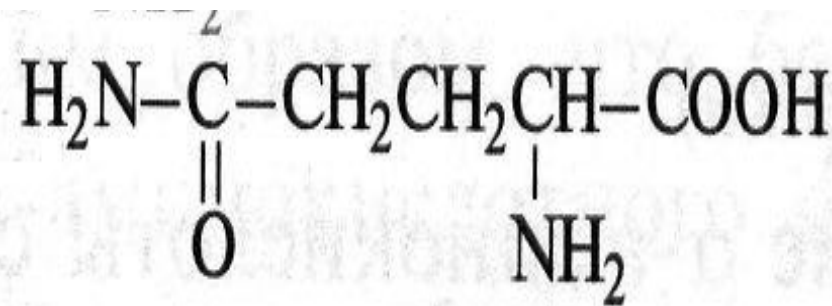


аргинин (Arg)

Аминокислоты, содержащие дополнительную группу – CO-NH₂

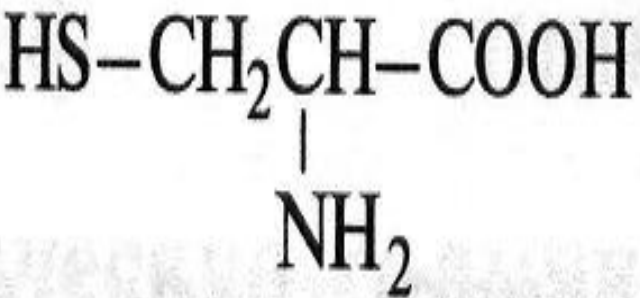


аспарагин (Asn)

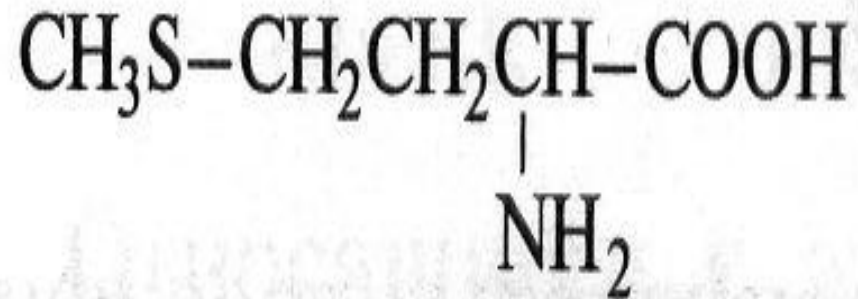


глутамин (Gln)

Серосодержащие аминокислоты

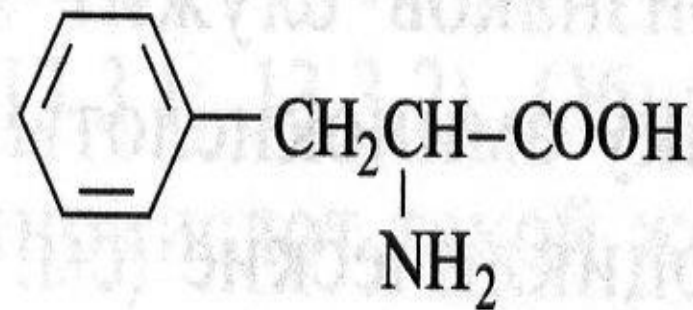


цистеин (Cys)

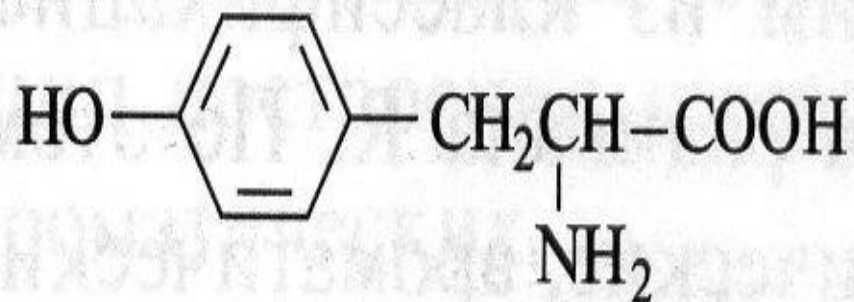


метионин** (Met)

Ароматические аминокислоты

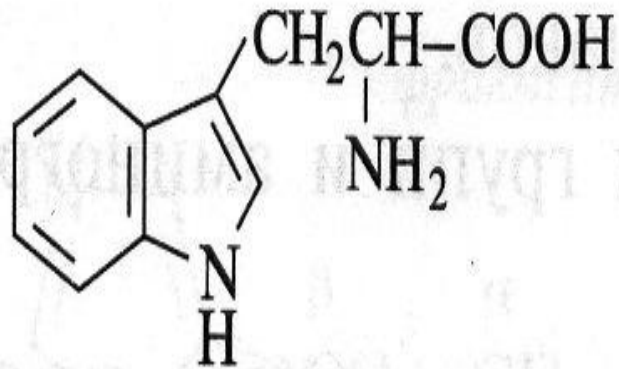


фенилаланин** (Phe)

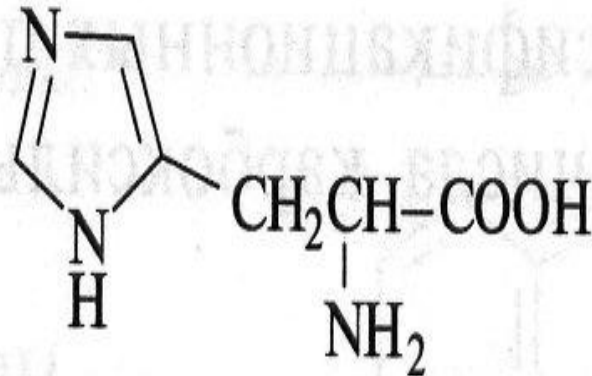


тирозин (Tyr)

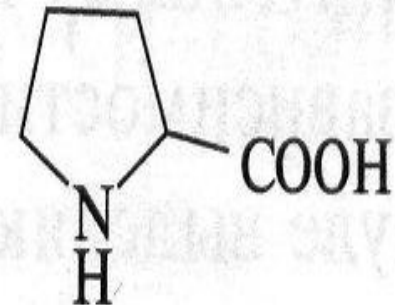
Гетероциклические аминокислоты



триптофан** (Trp)



гистидин (His)

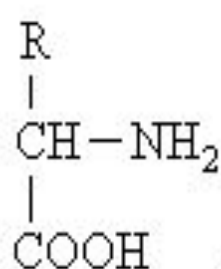


пролин (Pro)

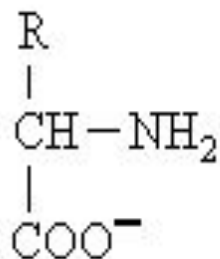
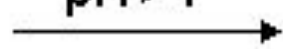
№ п/п	Название		Формула аминокислоты
	полное	сокращенное	
I. Аминокислоты с неполярными радикалами			
1	Глицин	Гли	$\begin{array}{c} \text{H}_2\text{N}-\text{CH}-\text{COOH} \\ \\ \text{H} \end{array}$
2	Аланин	Ала	$\begin{array}{c} \text{H}_2\text{N}-\text{CH}-\text{COOH} \\ \\ \text{CH}_3 \end{array}$
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	$\begin{array}{c} \text{HN} \quad \text{COOH} \\ \diagdown \quad / \\ \text{C} \\ \\ \text{C} \\ \\ \text{C} \\ \\ \text{C} \end{array}$	
II. Аминокислоты с полярными незаряженными радикалами			
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	$\begin{array}{c} \text{H}_2\text{N}-\text{CH}-\text{COOH} \\ \\ (\text{CH}_2)_2 \\ \\ \text{CO}-\text{NH}_2 \end{array}$
III. Аминокислоты с полярными анионогенными радикалами			
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	$\begin{array}{c} \text{H}_2\text{N}-\text{CH}-\text{COOH} \\ \\ \text{CH}_2 \\ \\ \text{CH}_2-\text{COOH} \end{array}$
IV. Аминокислоты с полярными катионогенными радикалами			
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

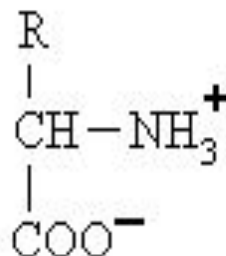
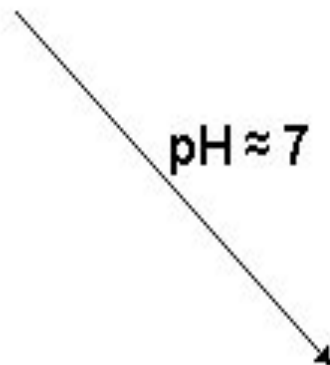


$\text{pH} > 7$



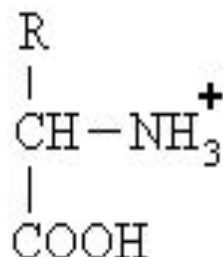
В щелочной среде ($\text{pH} > 7$) протонов H^+ очень мало, и их не хватает для протонирования аминогруппы.

$\text{pH} \approx 7$



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

$\text{pH} < 7$



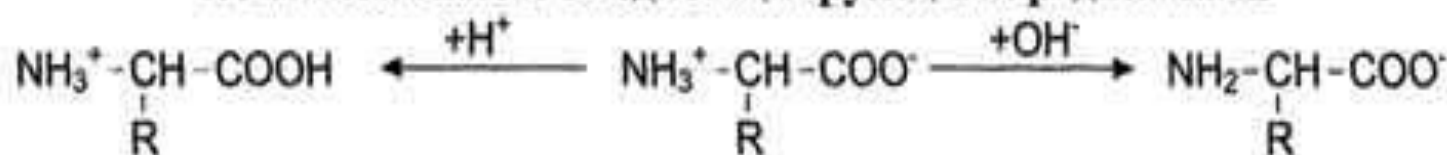
В кислой среде ($\text{pH} < 7$) большое количество протонов H^+ препятствует отделению протона от карбоксильной группы

Сильно кислая среда

Нейтральная среда

Сильно щелочная среда

1. Аминокислоты с недиссоциирующими радикалами

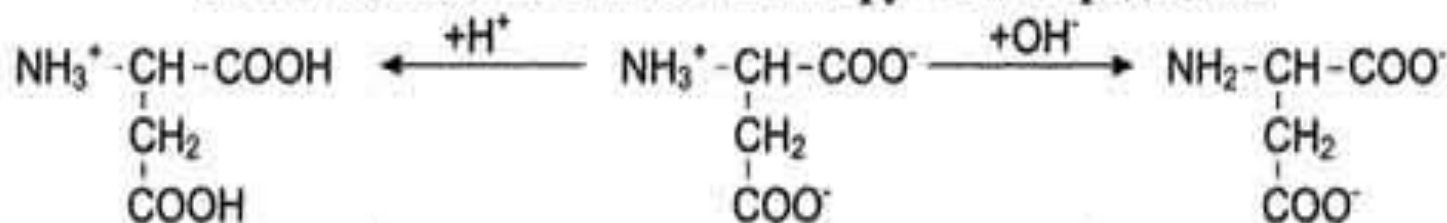


Суммарный заряд = +1

Суммарный заряд = 0

Суммарный заряд = -1

2. Аминокислоты с анионными группами в радикале

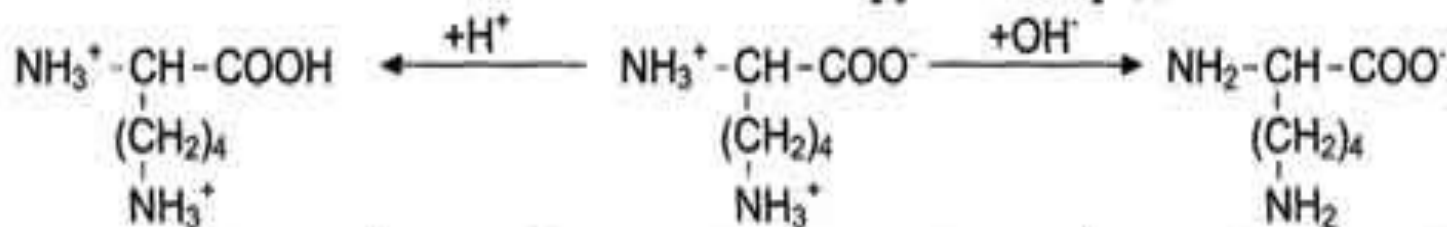


Суммарный заряд = +1

Суммарный заряд = -1

Суммарный заряд = -2

3. Аминокислоты с катионными группами в радикале

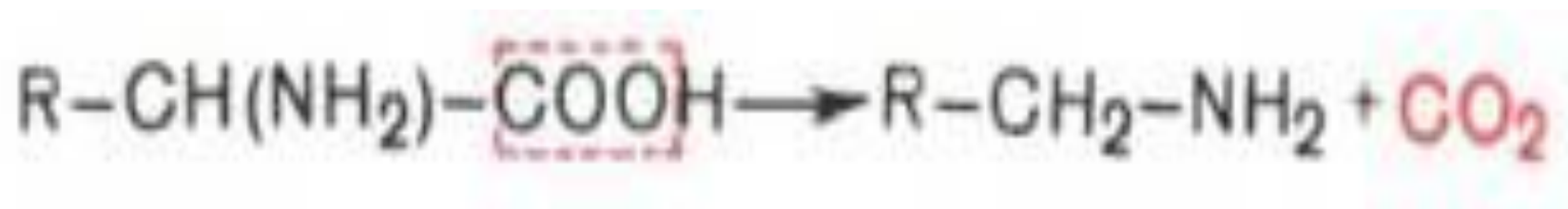


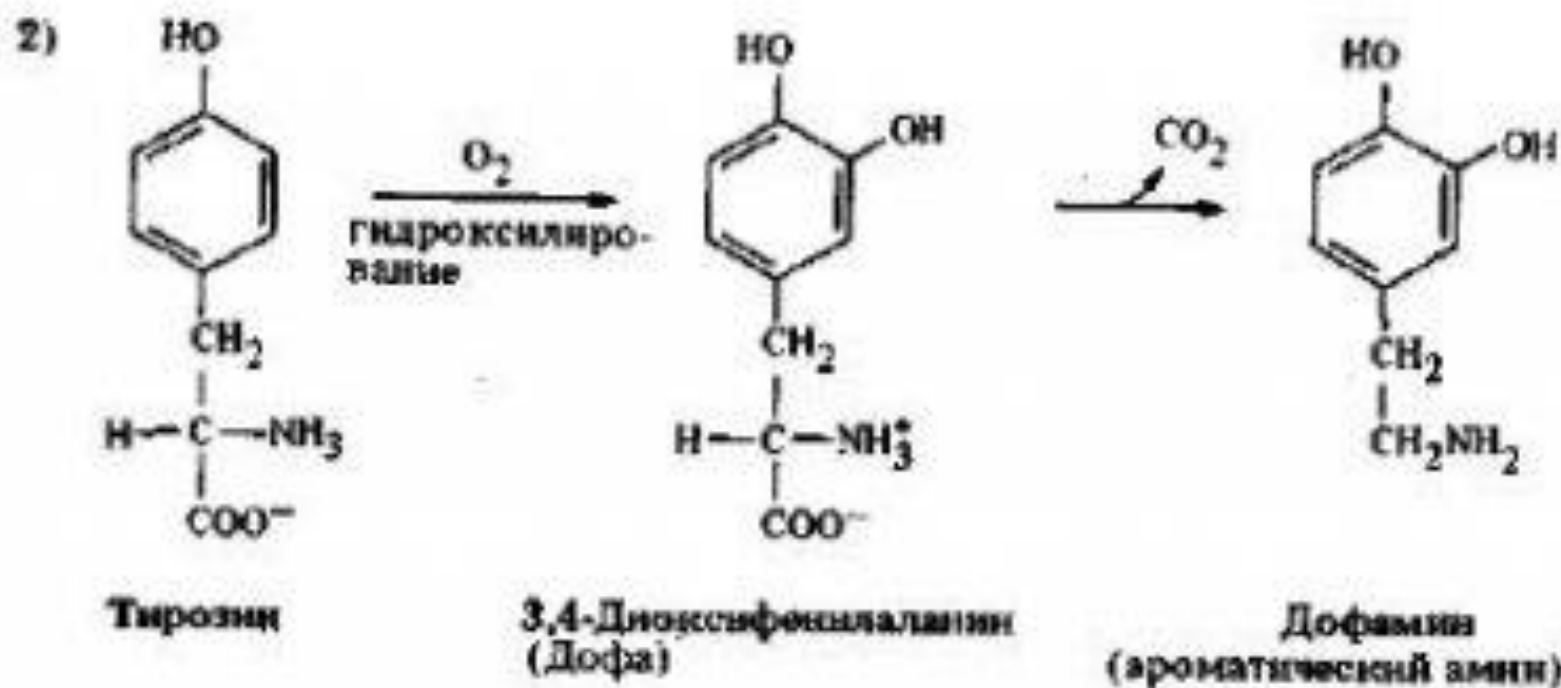
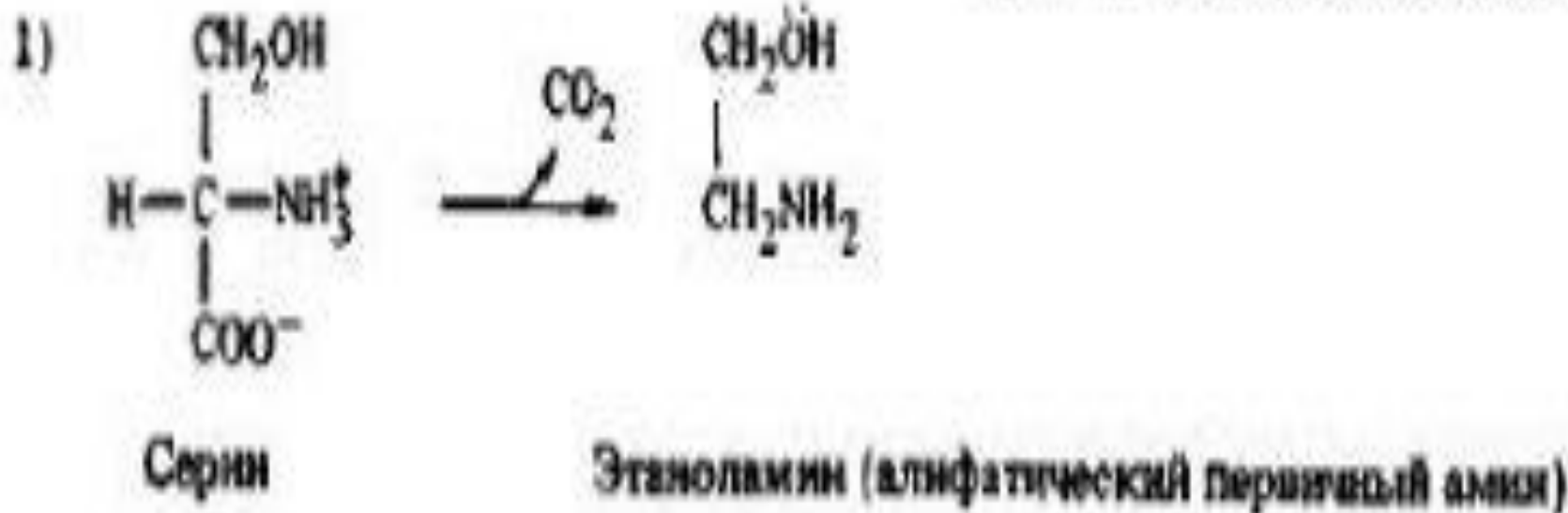
Суммарный заряд = +2

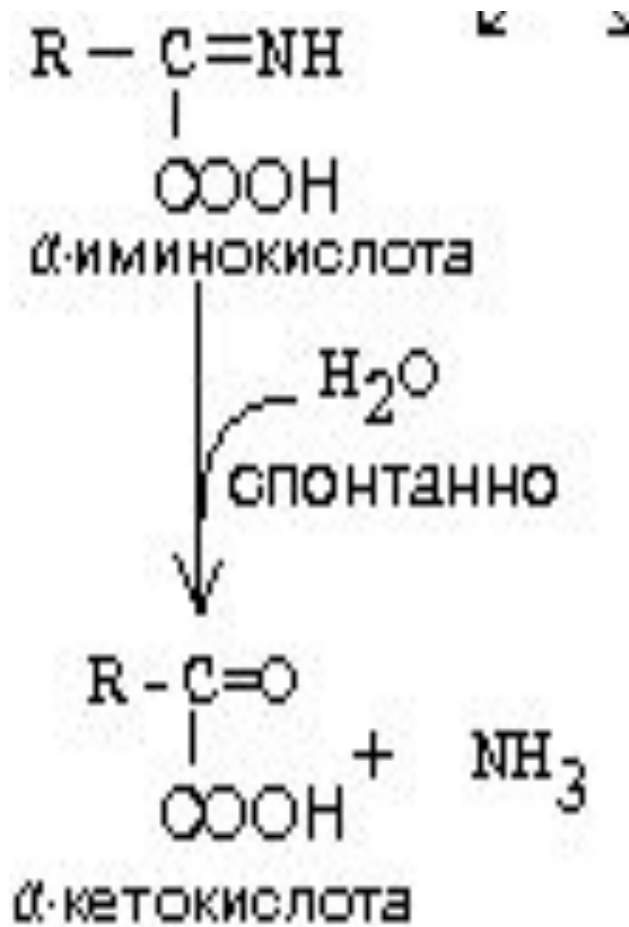
Суммарный заряд = +1

Суммарный заряд = -1

Декарбоксилирование аминокислот, с образованием биогенных аминов



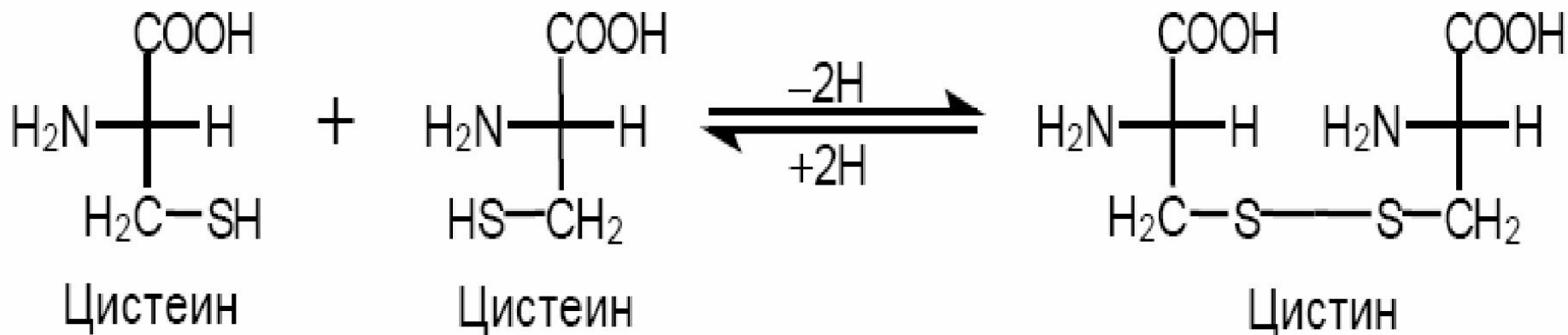
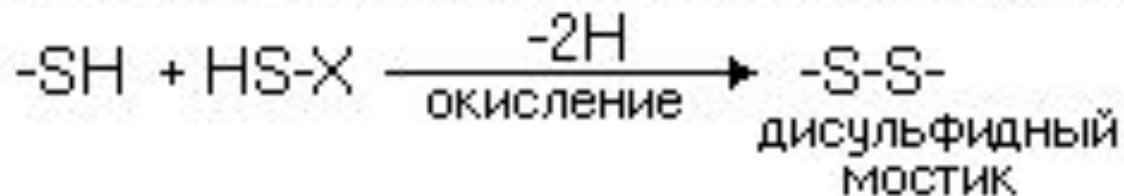




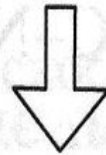
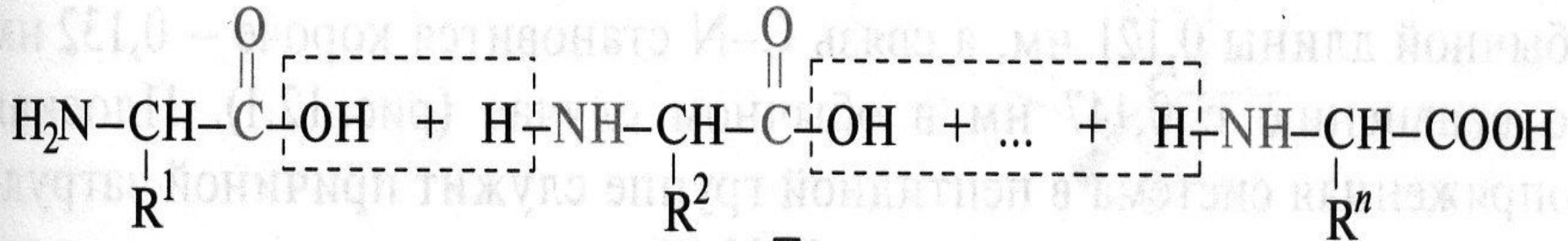
Дезаминирование
аминокислот с
образованием
кетокислот

Образование дисульфидной связи

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



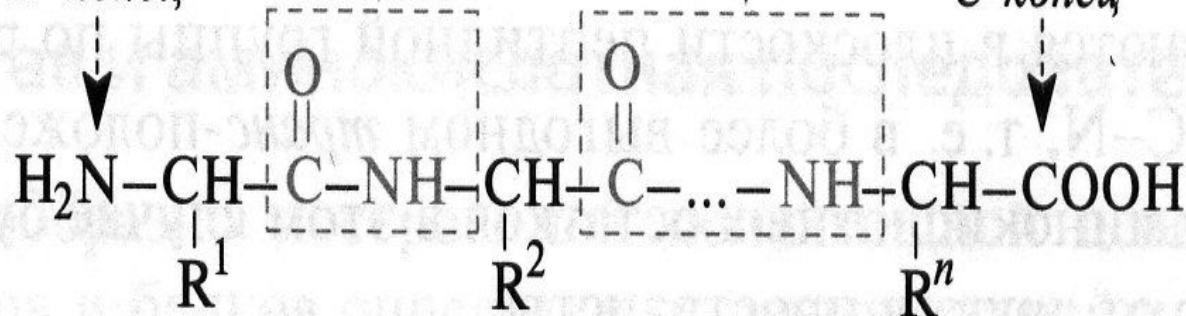
Образование пептидной связи



Пептидные группы

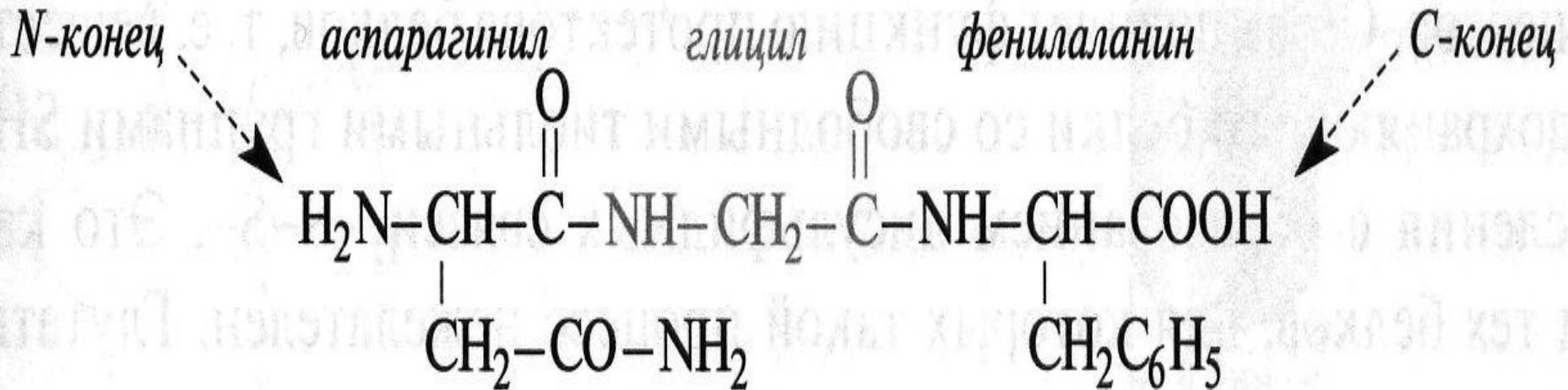
N-конец

C-конец



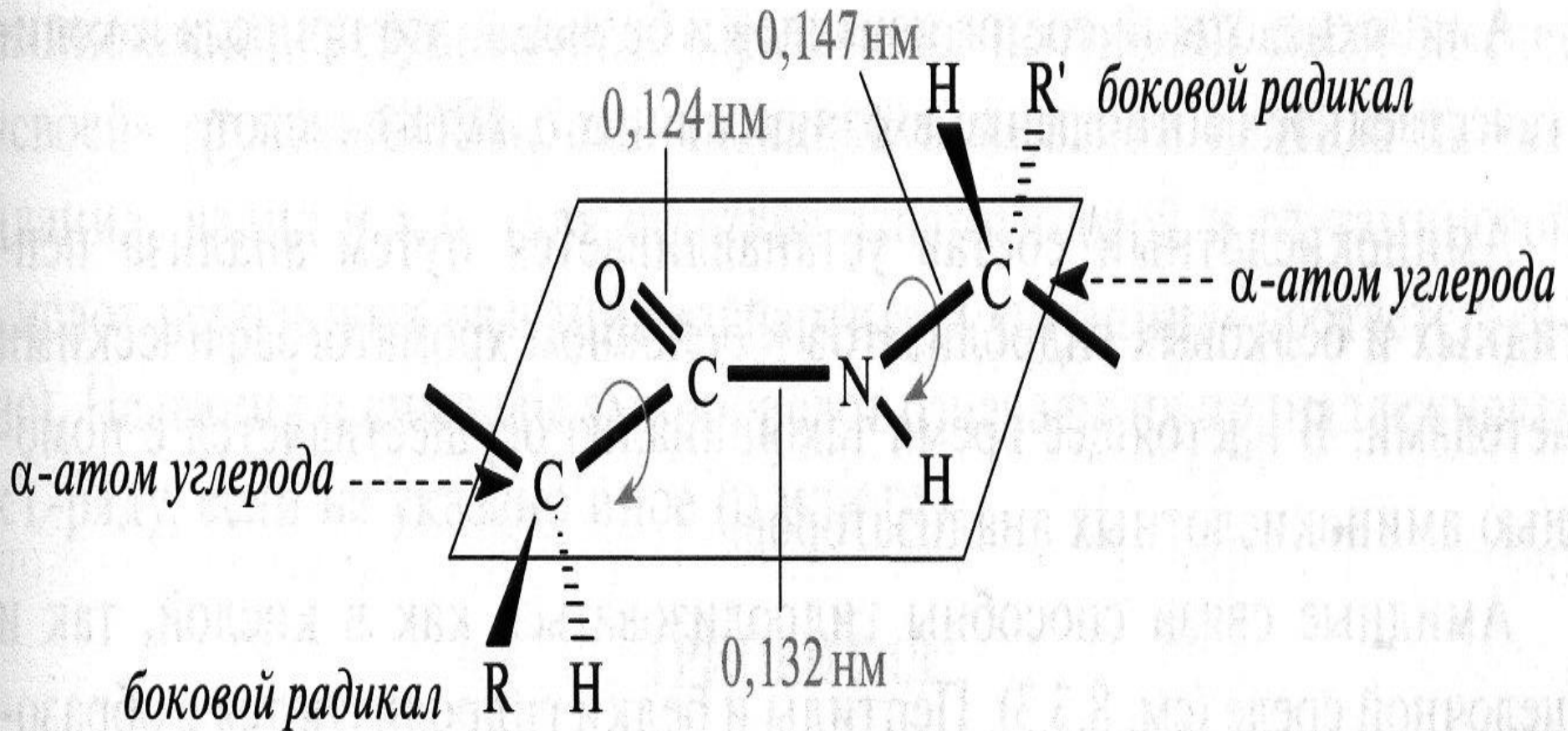
Боковые радикалы

ТРИПЕПТИД



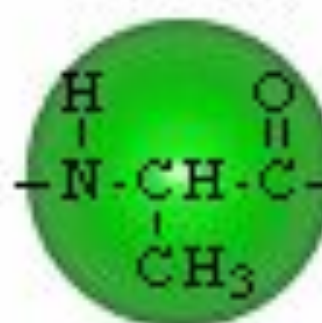
аспарагинилглицилфенилаланин
Asn-Gly-Phe или H-Asn-Gly-Phe-OH
(сокращенная запись)

Свойства пептидной связи



Первичная структура

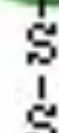
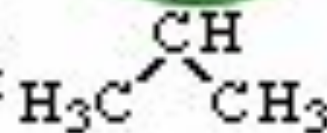
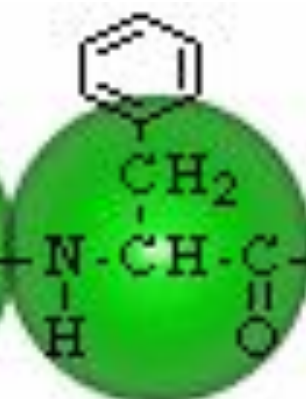
Аланин



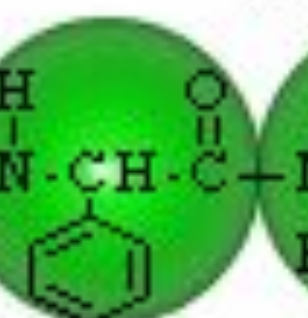
Лейцин



Фенил-аланин



Серин



Глицин

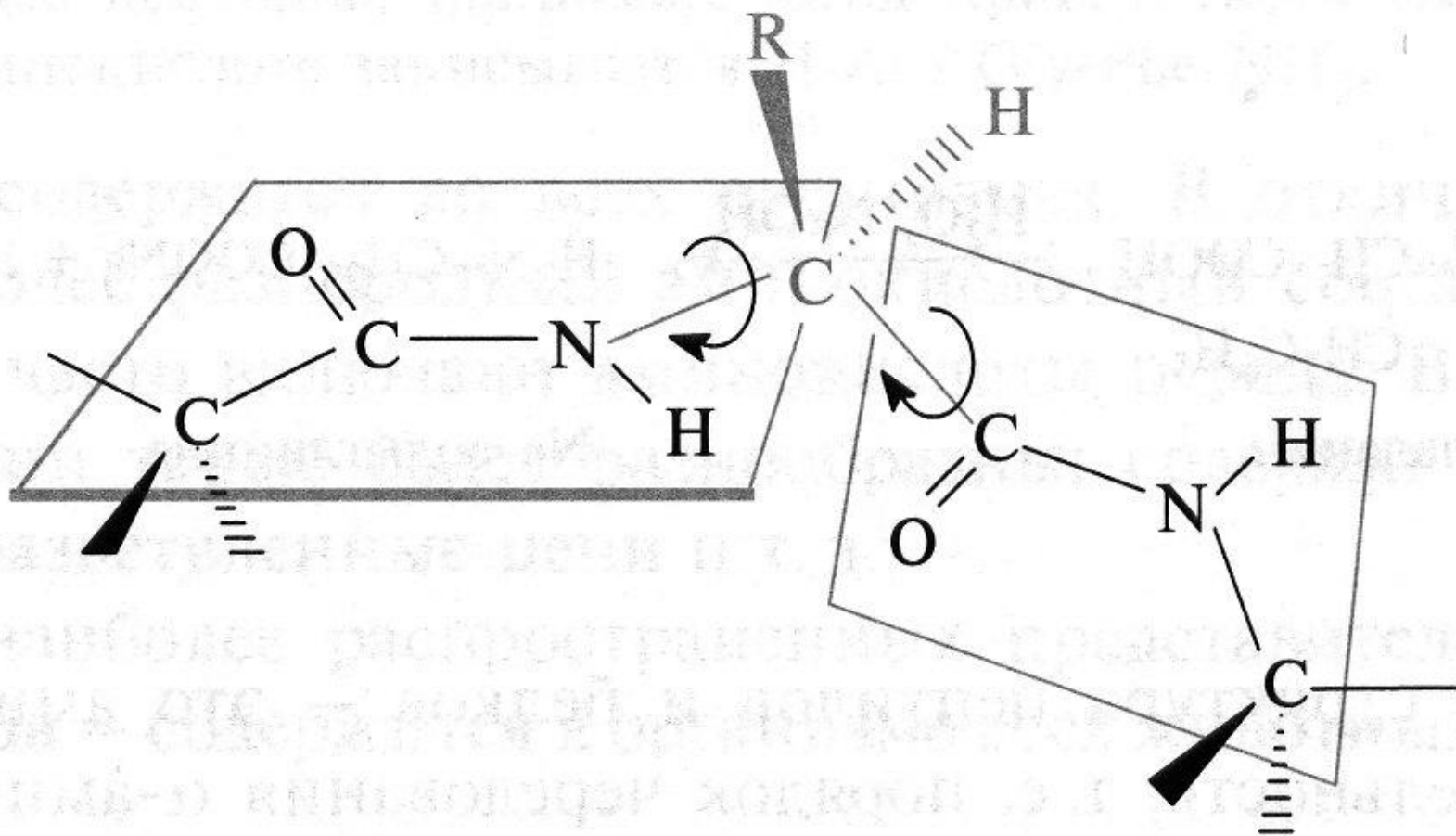
Серин

Валин

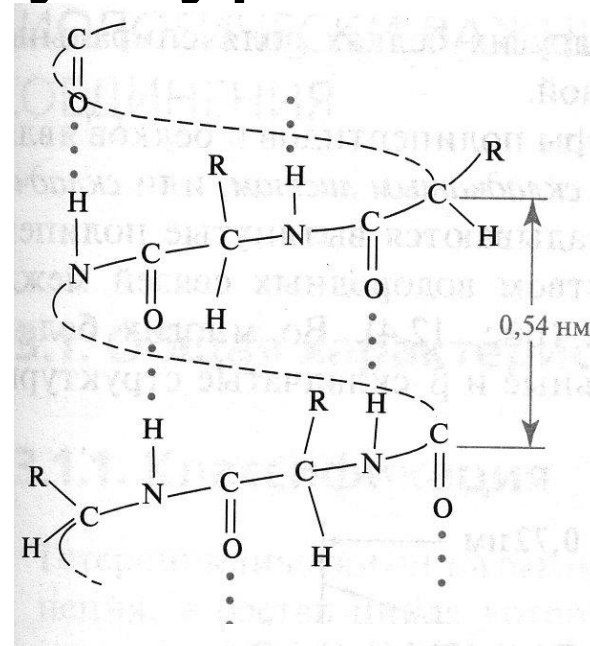
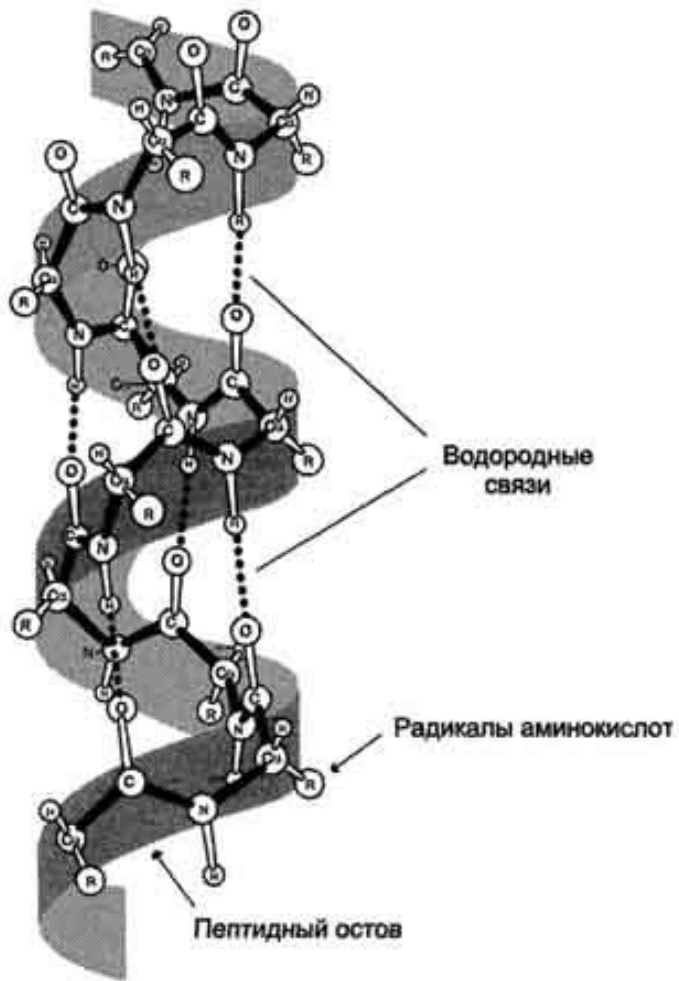
Аспарагин

Аланин

Взаимное расположение плоскостей пептидных групп в полипептидной цепи

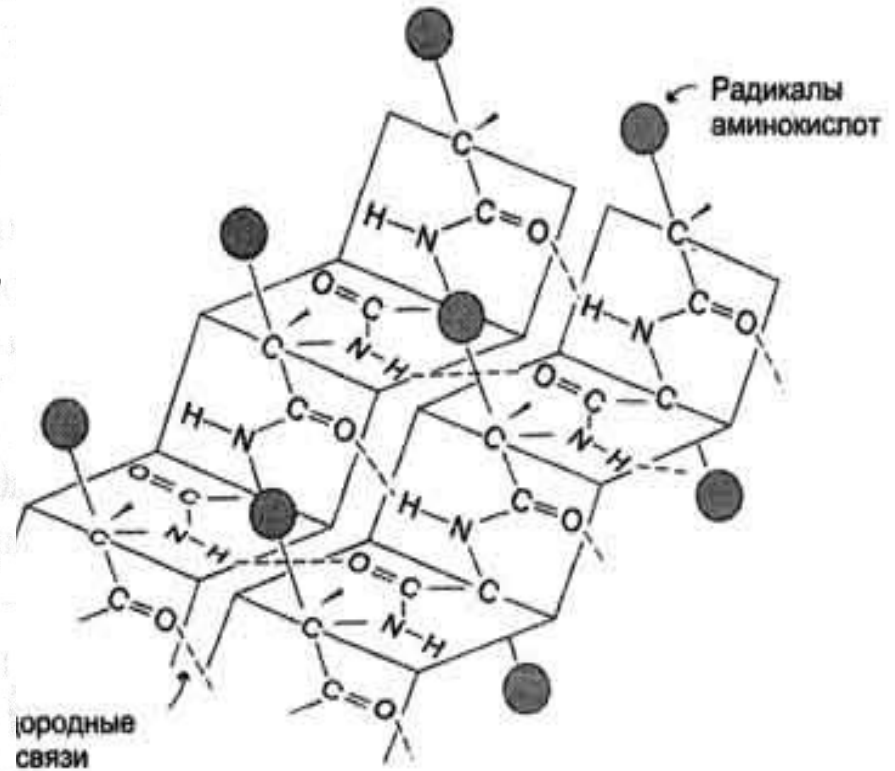
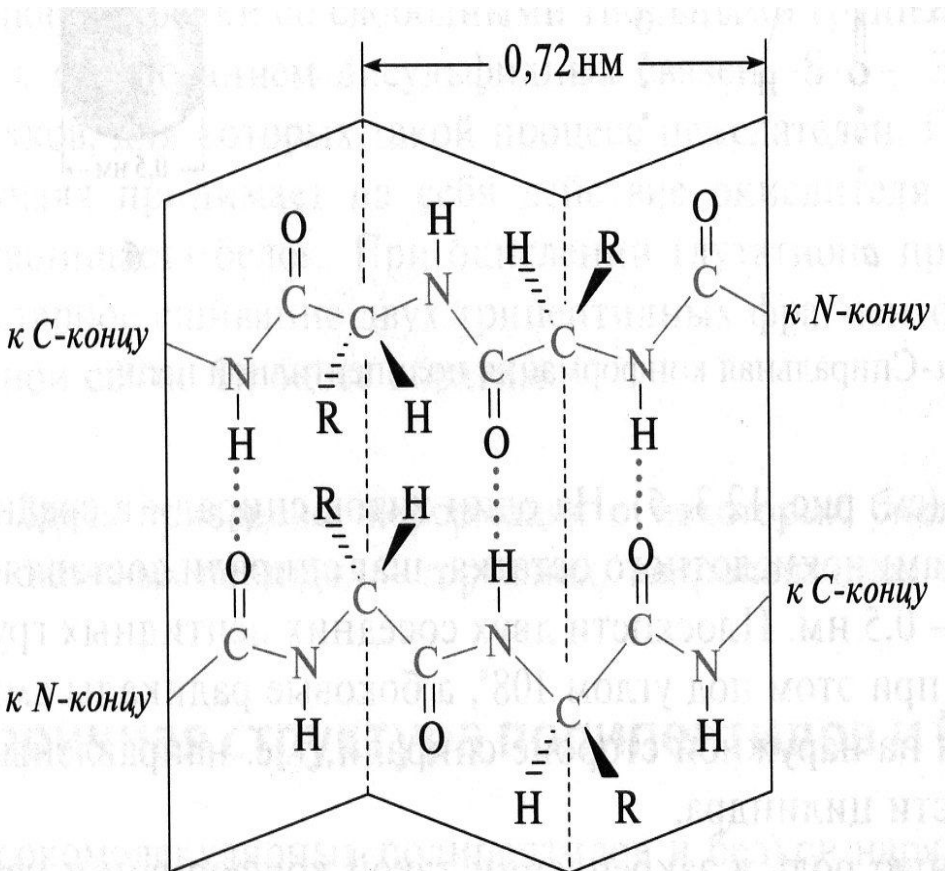


Вторичная структура белков



α-спираль

Вторичная структура белков

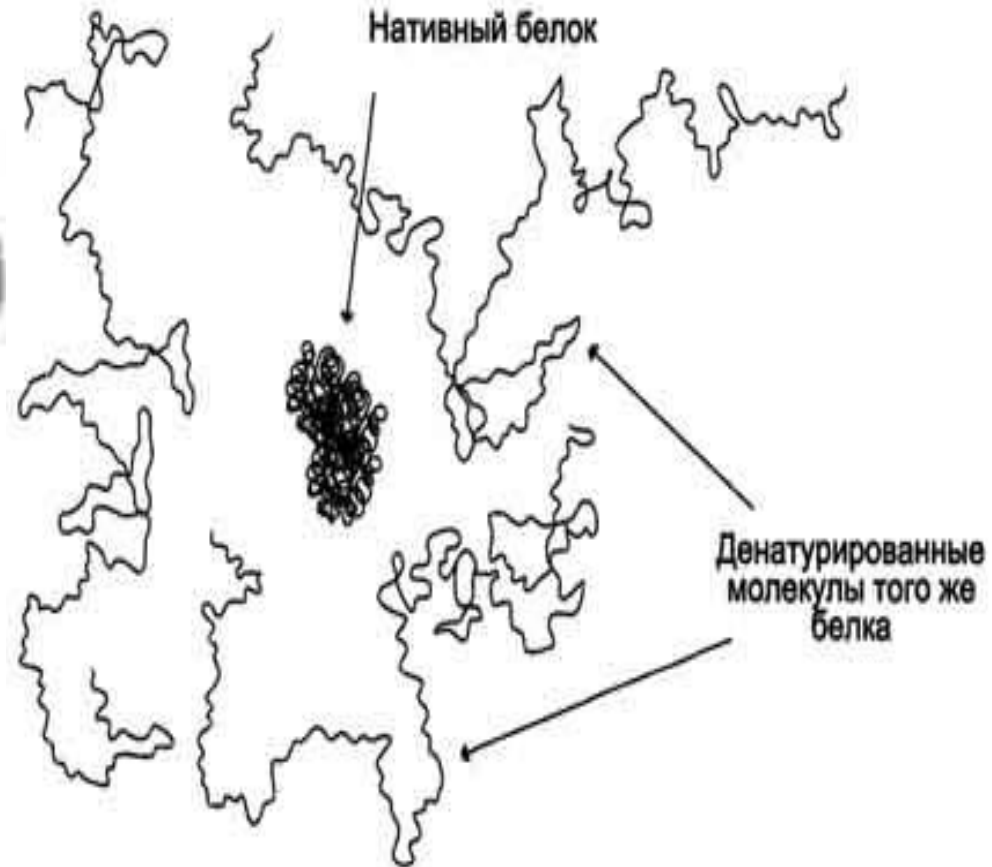


β -складчатый слой

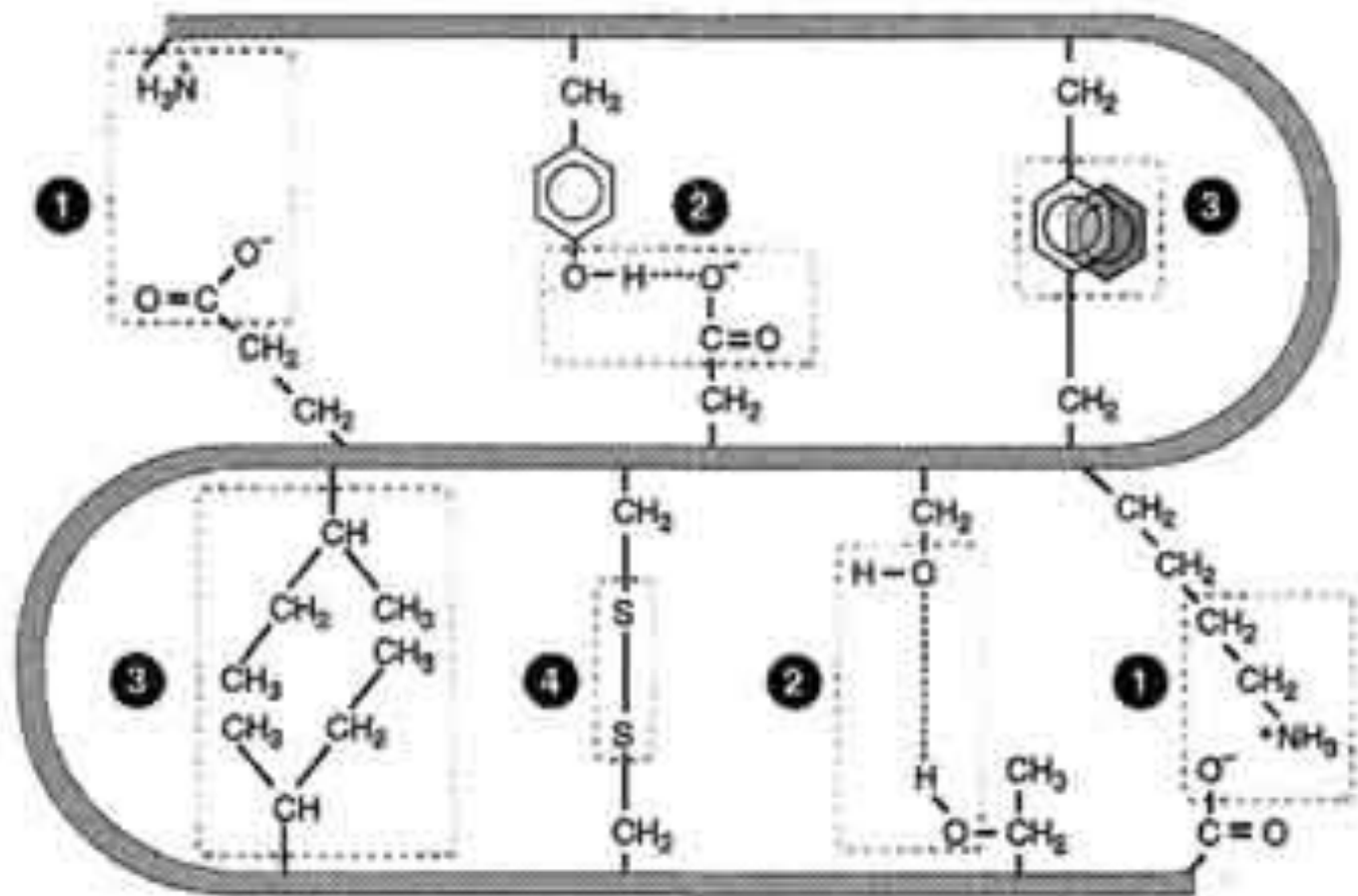
Третичная структура белков



Пространственная
структура миоглобина

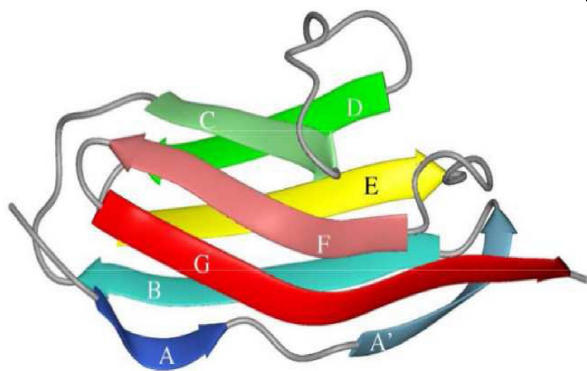


Типы связей, возникающих между радикалами аминокислот при формировании третичной структуры белка

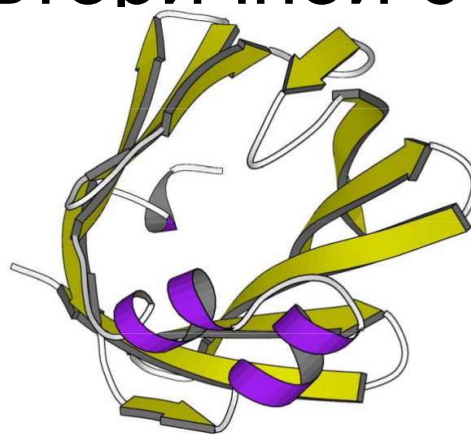


1 - ионные связи; 2 - водородные связи; 3 - гидрофобные связи;
4 - дисульфидные связи

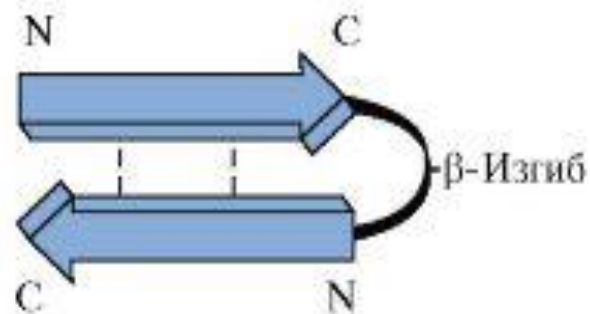
Комбинации вторичных структур часто называют супервторичной или надвторичной структурой



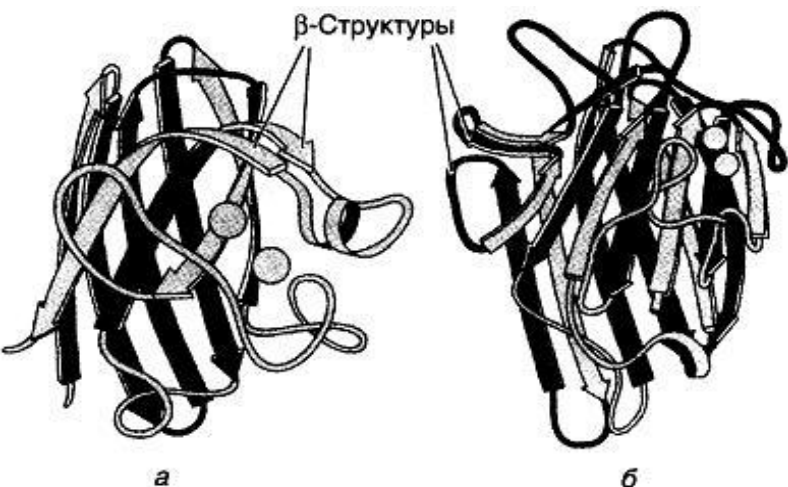
β -сэндвич



β -бочонок



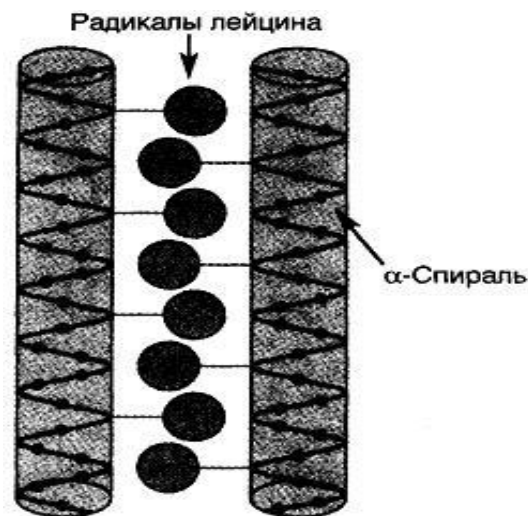
β -изгиб



а

б

α -спираль—поворот— α -спираль



Лейциновая застежка-молния

По наличию α -спиралей и β -структур глобулярные белки могут быть разделены на четыре категории:

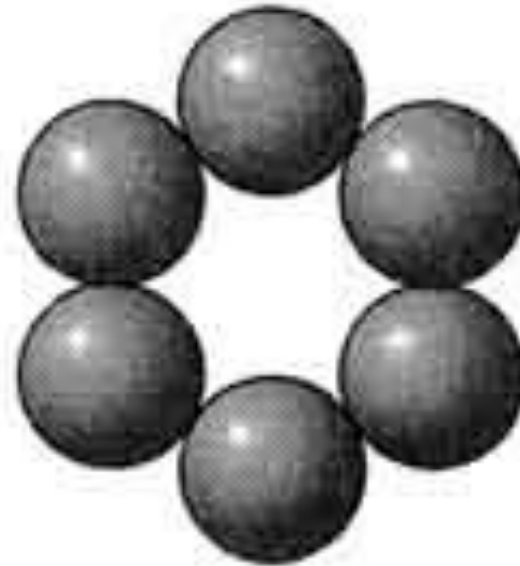
1. **α -белки** – белки, состоящие главным образом из α -спиралей, которые обычно образуют общее гидрофобное ядро (22%);
2. **β -белки** состоят в основном из β -цепей, сгруппированных в β -листы, стабилизированные множеством водородных связей. Эти белки обычно имеют несколько слоёв с общим гидрофобным ядром (16%);
3. **α / β -белки**, которые состоят из перемежающихся α - и β -структур (примерно 15%).
4. **$\alpha + \beta$ -белки**, в которых также присутствуют как α -, так и β -структуры, но в отличие от α / β -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, α -спирали и β -складчатые структуры (или β -пластинки).
- **Третичная структура** – укладка полипептидной цепи, включая α -спирали, β -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 NH_2 - и COOH -групп. Для них характерны все свойства кислот и оснований.

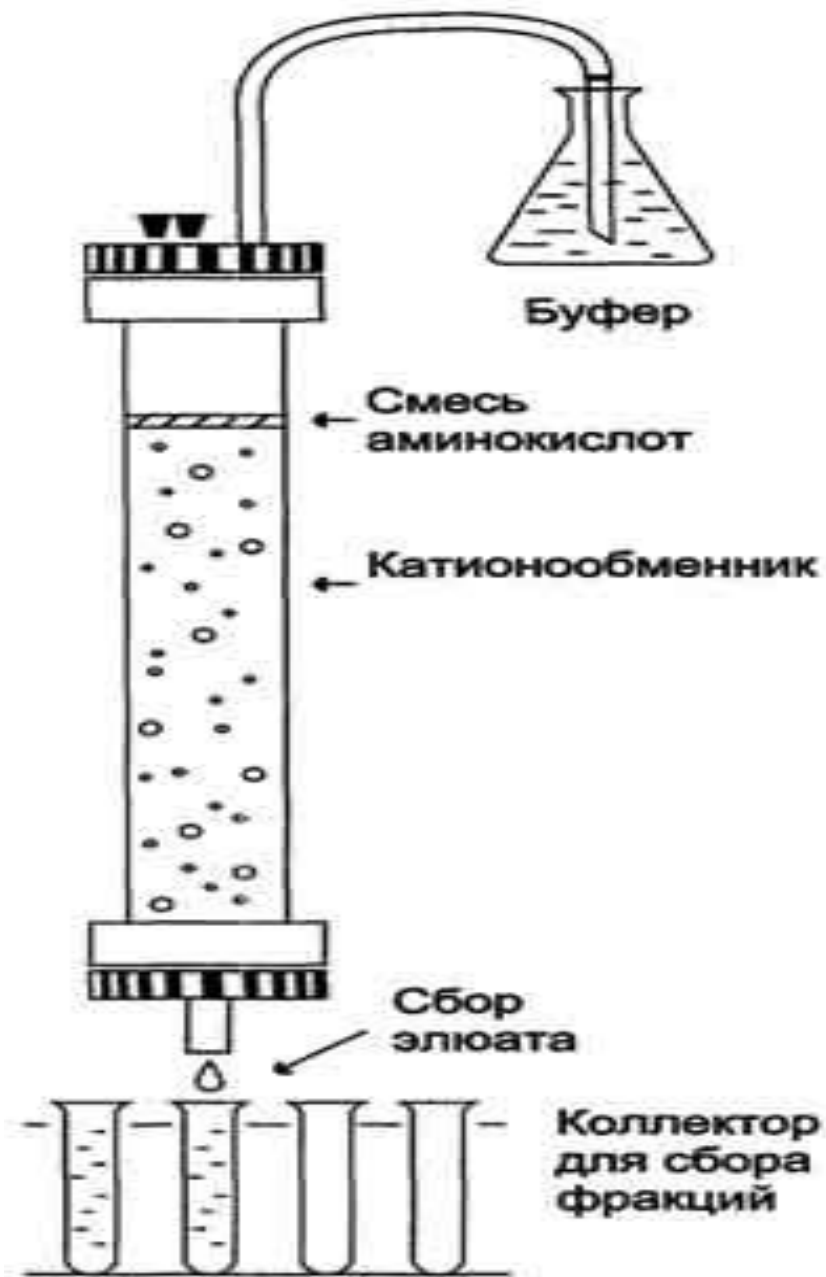
Методы выделения и очистки белков

- 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

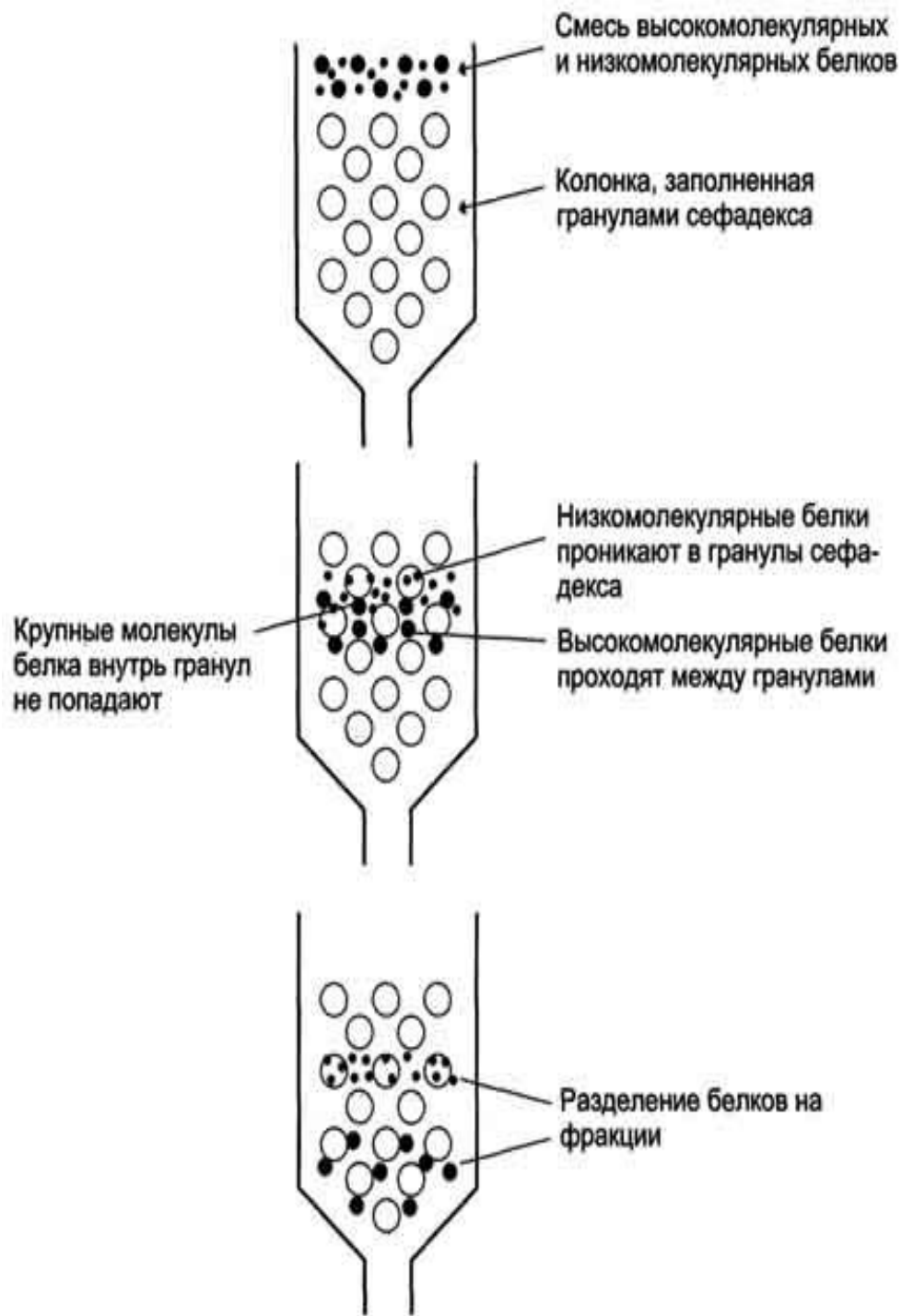
Грубое фракционирование:

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

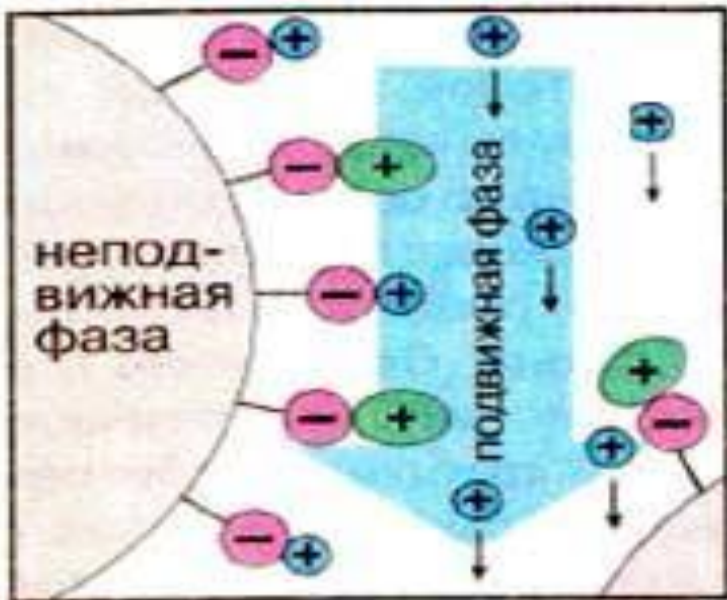


Методы тонкого фракционирования: хроматография

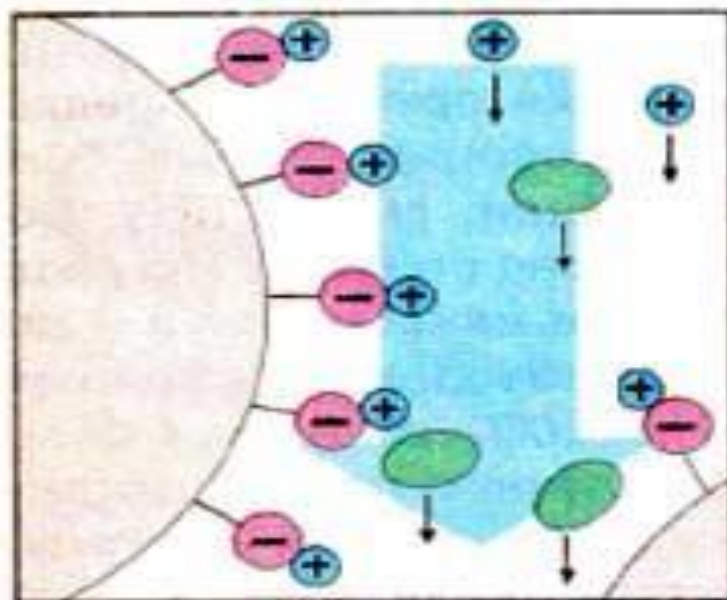
Методы тонкого фракционирования: гель-фильтрация (гель-проникающая хроматография)



1. Основы метода

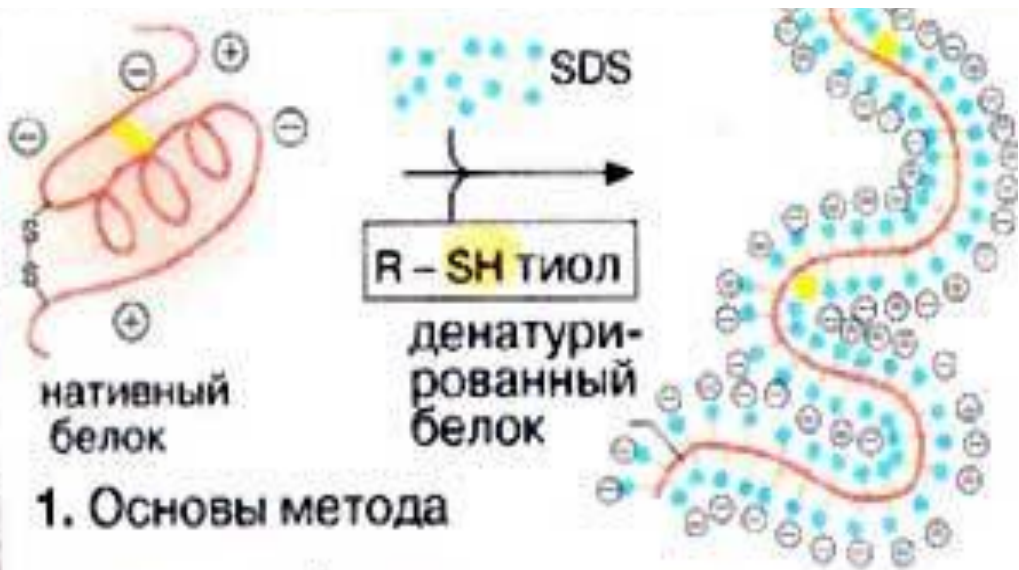


1а. Низкие значения pH

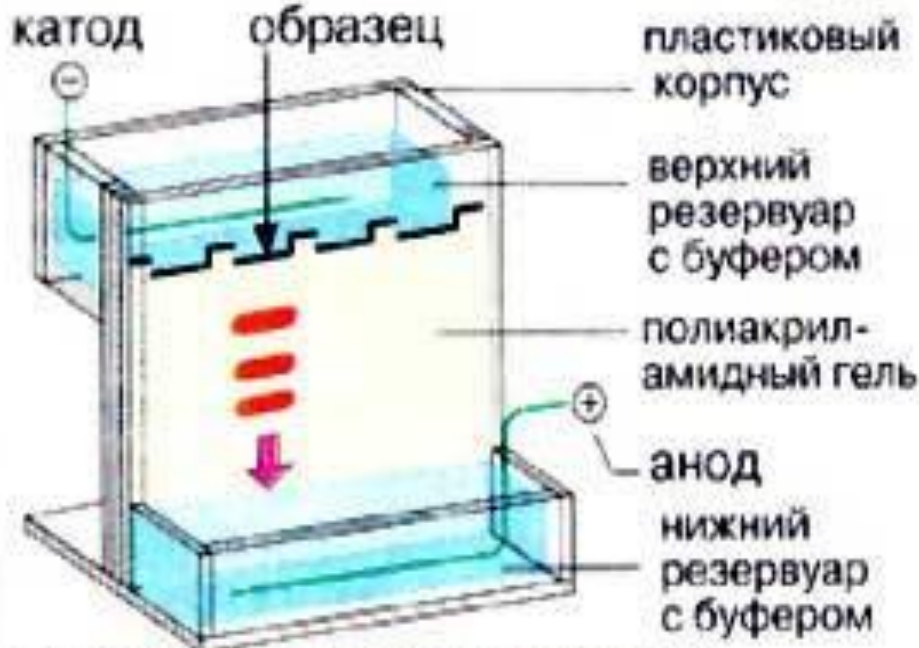


1б. Высокие значения pH

Методы тонкого фракционирования:
ионообменная хроматография



1. Основы метода

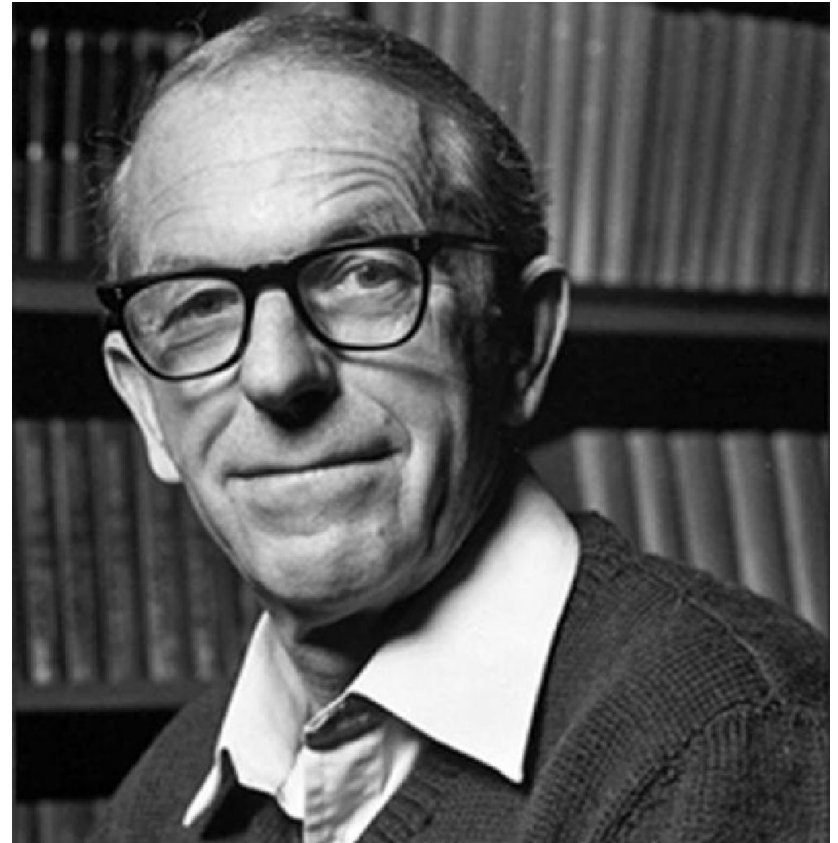


2. Камера для электрофореза

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).



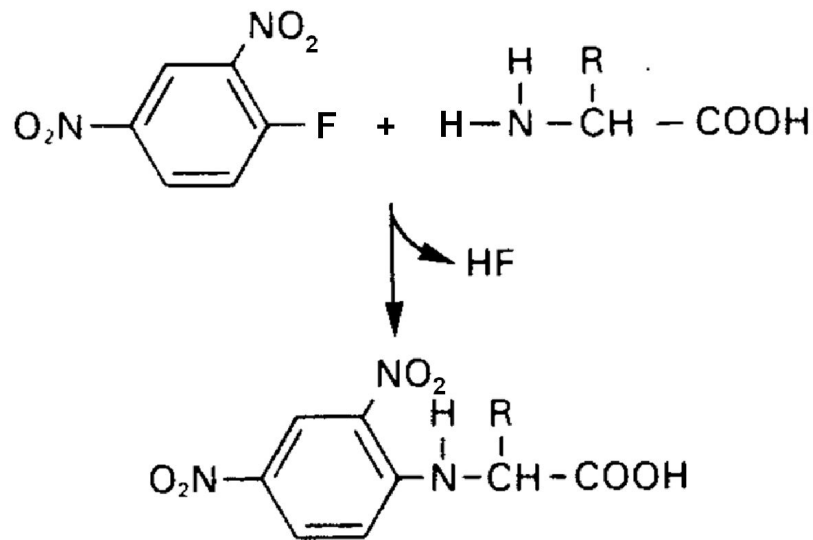
В 1980г. часть Нобелевской премии по химии «за вклад в установлении основных последовательностей в нуклеиновых кислотах»

Определение аминокислотного состава белков: аминокислотный анализатор. Деградация по Сенгеру



Современный
аминокислотный
анализатор

1-фтор-2,4-динитробензол (FDNB)

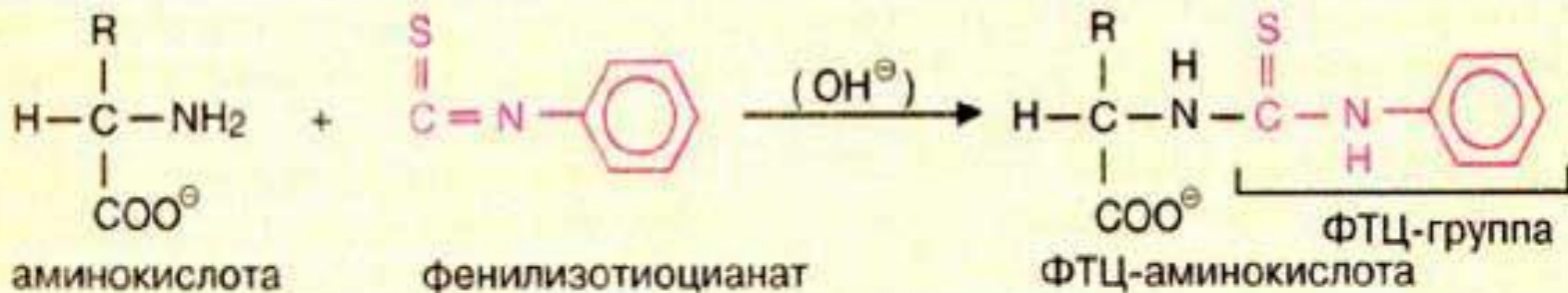


FDNB- производное аминокислоты

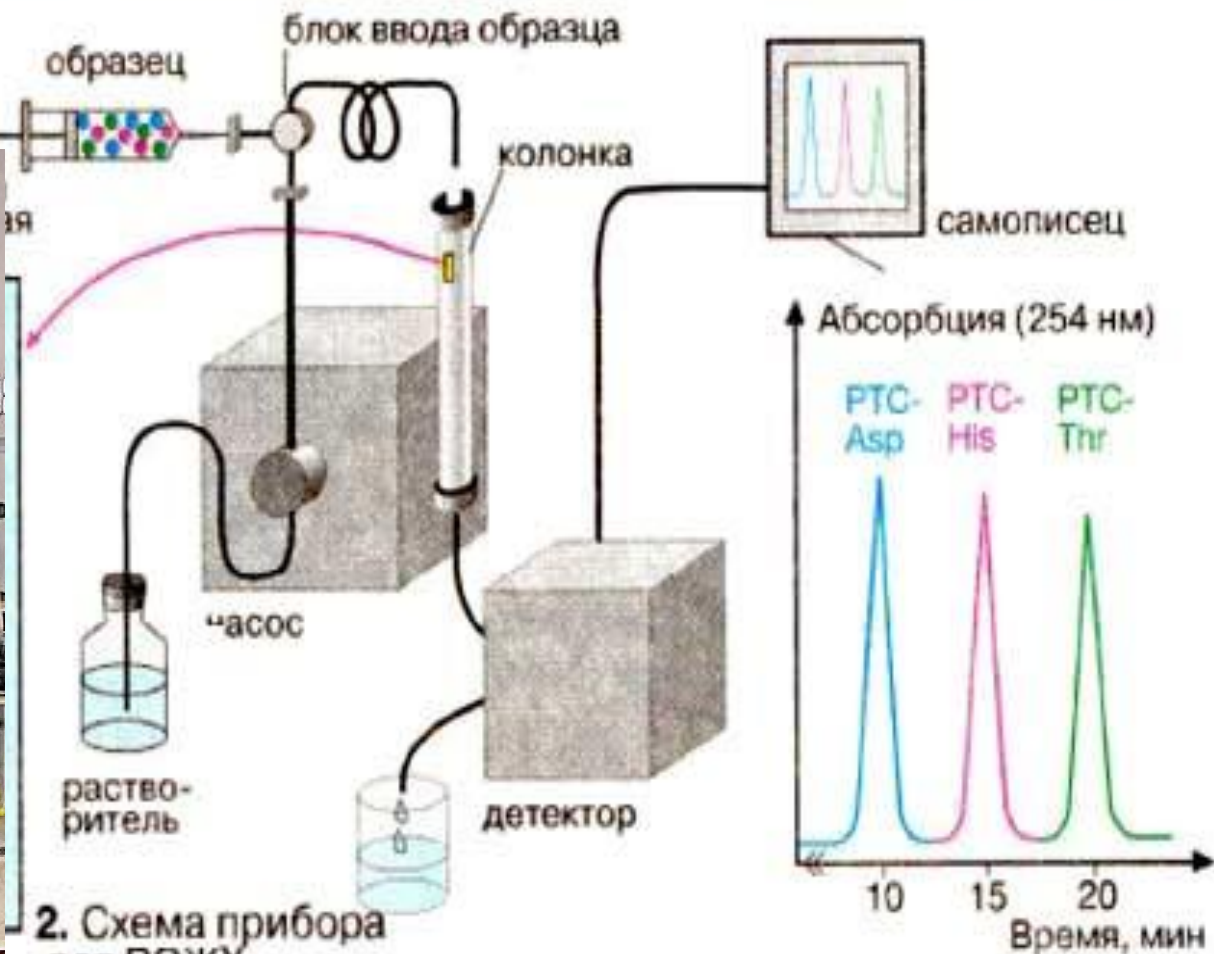


Следующий подход предложил **В. Эдман (1967)**

- 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 родственными 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.

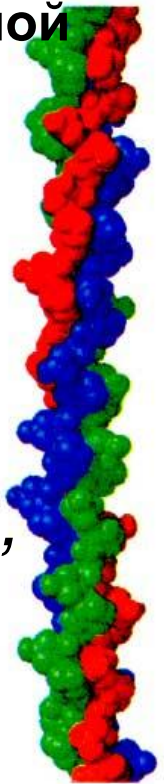
Гемоглобин, миоглобин



фибриллярные.

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

Коллаген, кератин, фиброин 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.

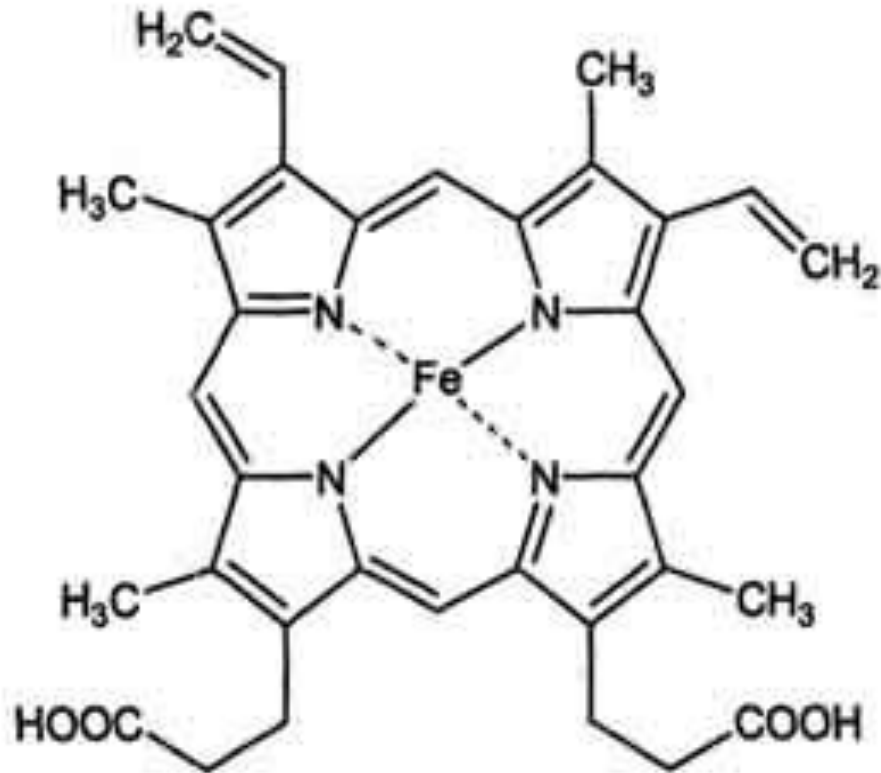
Хромопротеины

(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).

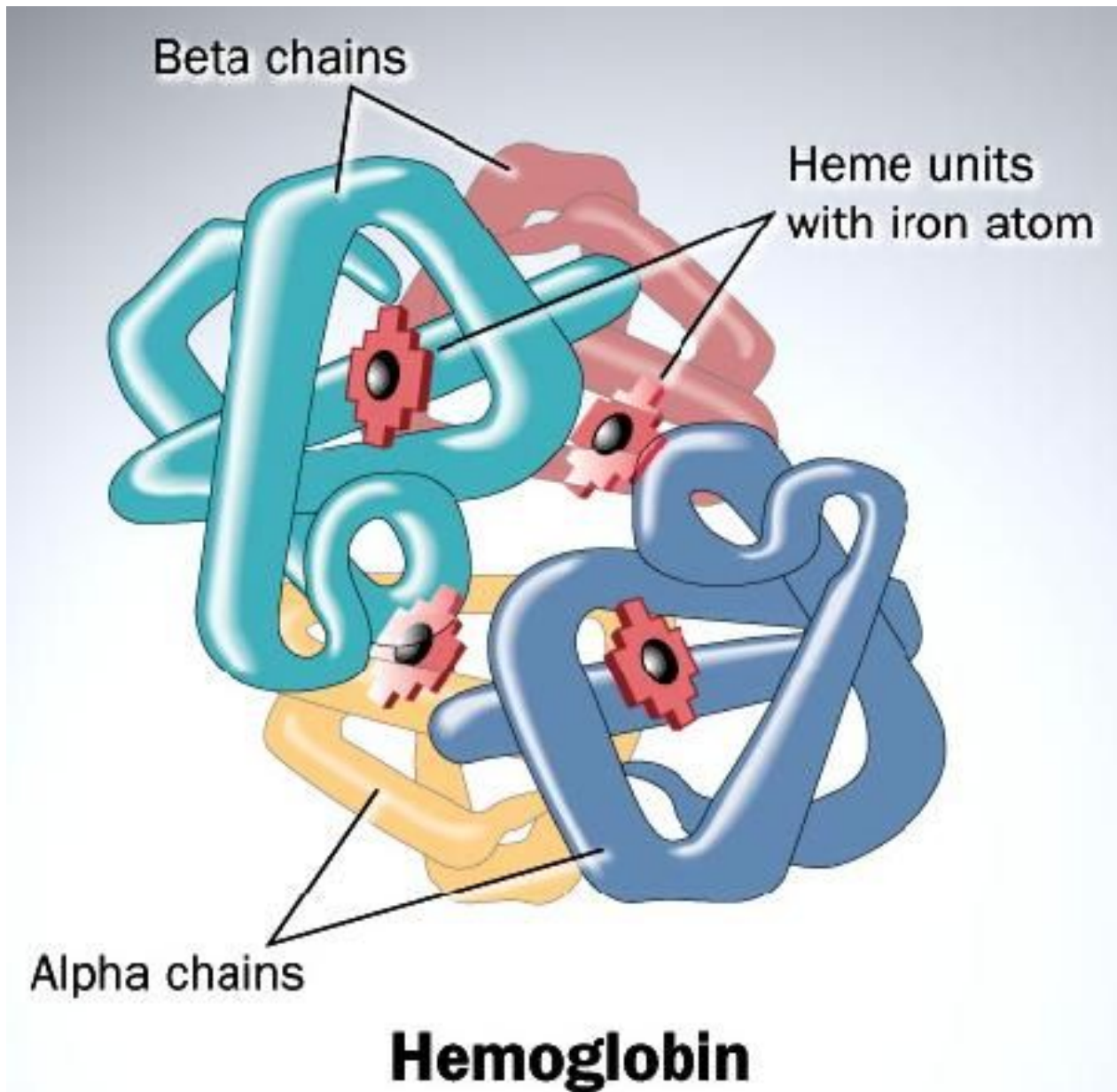
Гемопротейны



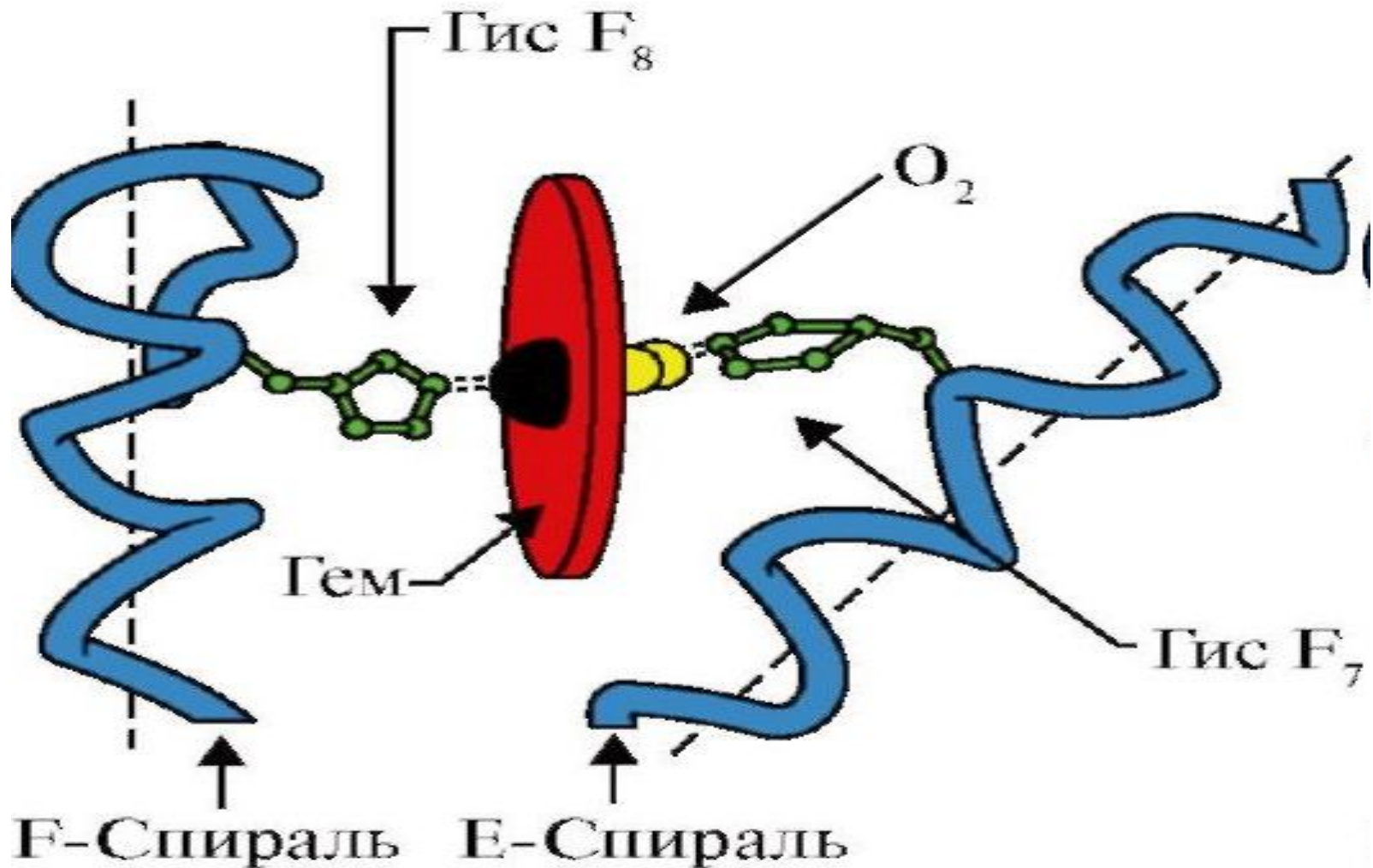
Гем гемоглобина

- 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...*

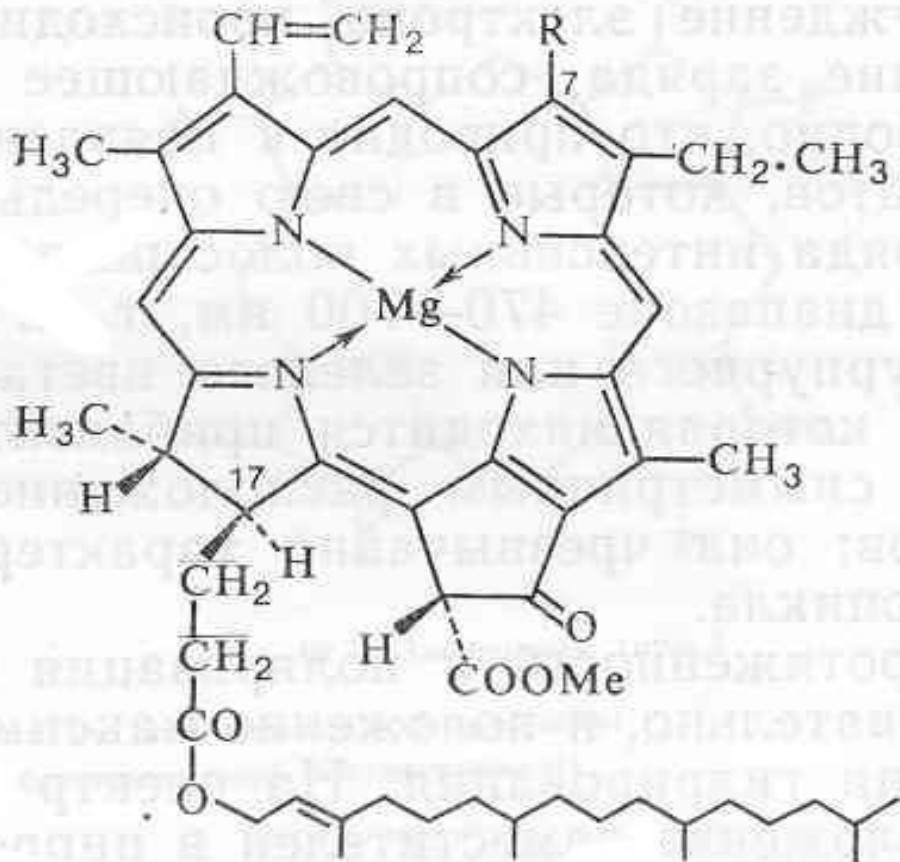
Четвертичная структура гемоглобина



Расположение гема и O_2 в активном центре миоглобина и протомеров гемоглобина



Магнийпорфирины



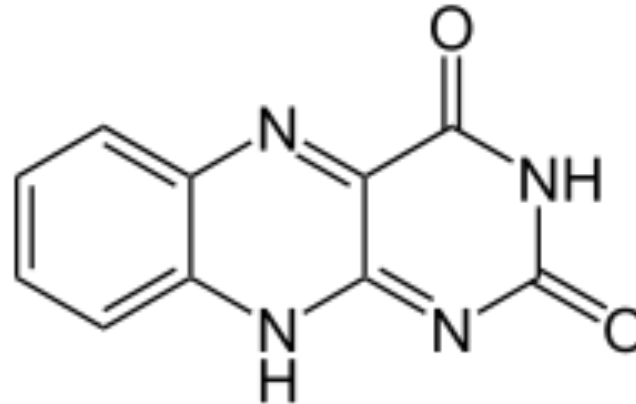
- Простетическая группа содержит тетрапиррольные кольца и структурно близка гему.
- Комплекс с Mg²⁺
- Участвует в осуществлении фотосинтеза.

Хлорофилл *a*: R = CH₃

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.

Липопротеины

- 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).

Нуклеопротейны

Дезоксирибонуклеопротейны (ДНП)

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

Рибонуклеопротейны (РНП)

- Простетическая группа – РНК.
- Нуклеопротейидные комплексы рибосомальных РНК (рРНП).
- Малые ядерные рибонуклеопротейиды (мяРНП).
- Матричные рибонуклеопротейиды (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.