

# Аминокислоты



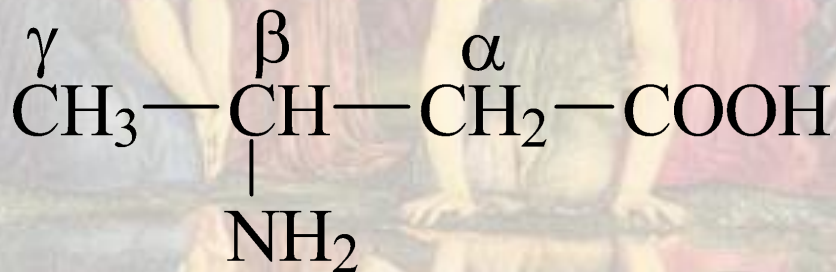
*Зеркало Венеры (1898), Sir Edward Burne-Jones / Museu Calouste Gulbenkian Lisbon / The Bridgeman Art Library)*

Все объекты этой картины имеют зеркальные отражения. Подобно многим биомолекулам, аминокислоты существуют в виде зеркальных изомеров (стереоизомеров). Обычно, только L-изомеры аминокислот участвуют в биологических процессах.

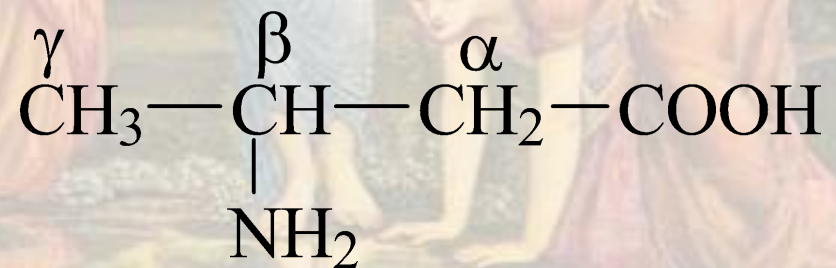
# Понятие аминокислот

**Аминокислоты** – соединения, в молекулах которых одновременно присутствуют амино- и карбоксильные группы

## Классификации аминокислот



**α-аминомасляная кислота**

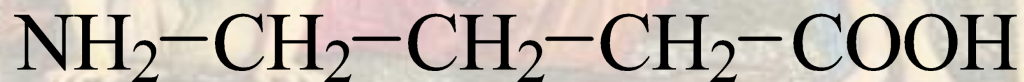


**β-аминомасляная кислота**

# Понятие аминокислот

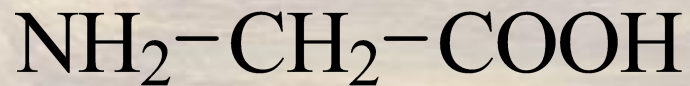
**Аминокислоты** – соединения, в молекулах которых одновременно присутствуют амино- и карбоксильные группы

## Классификации аминокислот

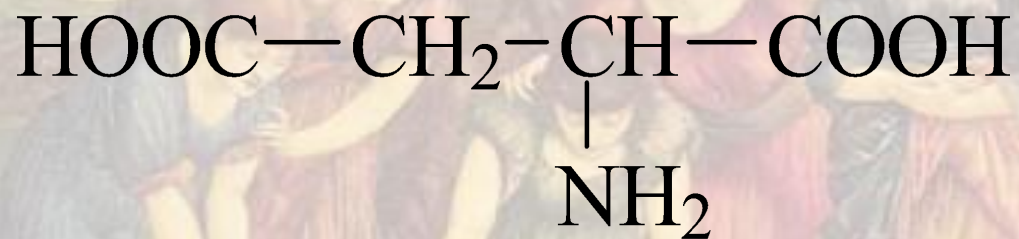


**γ-аминомасляная кислота**

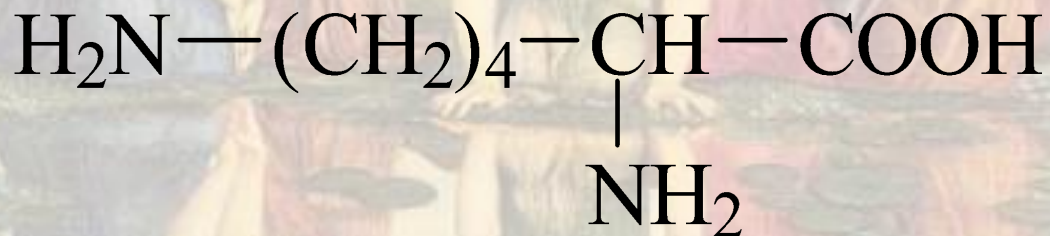
# Классификации аминокислот



**Глицин,  
моноаминомонокарбоновая  
кислота**



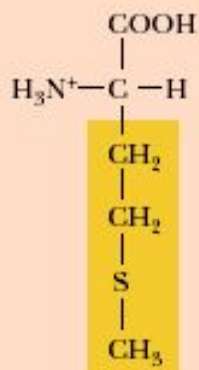
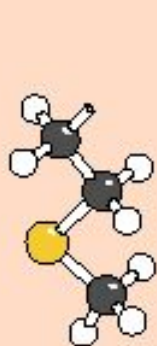
**Аспаргиновая кислота,  
моноаминодикарбоновая  
кислота**



**Лизин,  
диаминомонокарбоновая  
кислота**

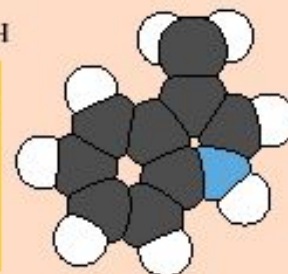
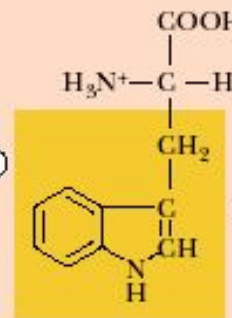
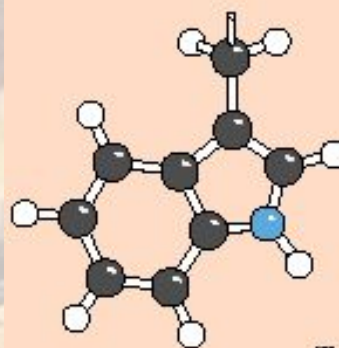
# Классификации аминокислот

## Нейтральные гидрофобные аминокислоты



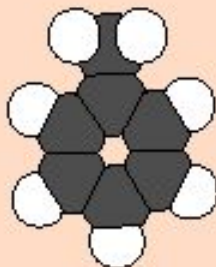
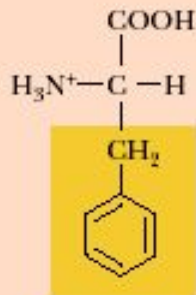
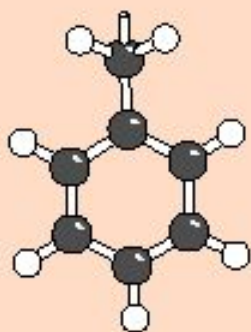
Methionine (Met, M)

**Метионин**



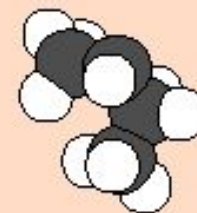
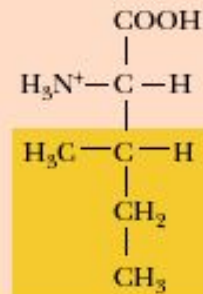
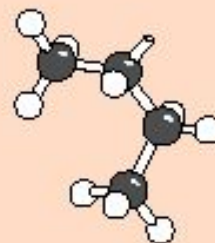
Tryptophan (Trp, W)

**Триптофан**



Phenylalanine (Phe, F)

**Фенилаланин**

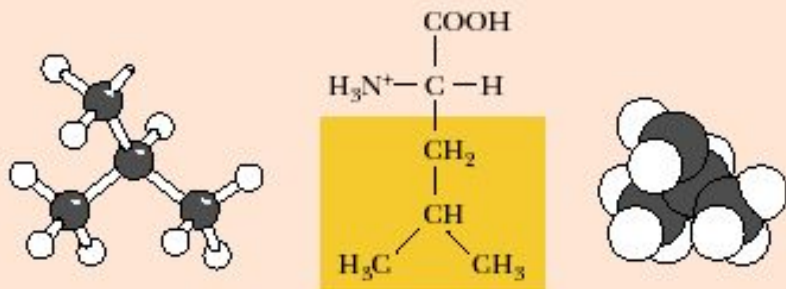


Isoleucine (Ile, I)

**Изолейцин**

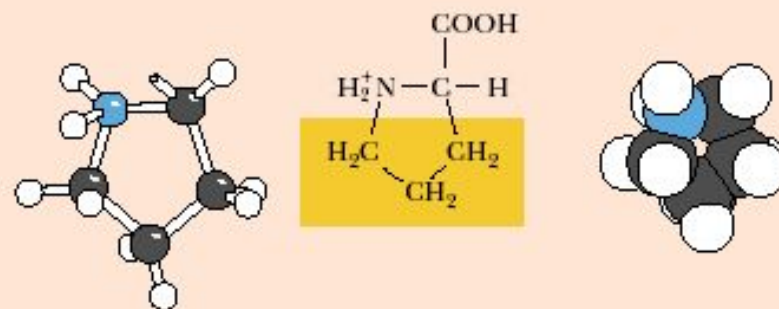
# Классификации аминокислот

## Нейтральные гидрофобные аминокислоты



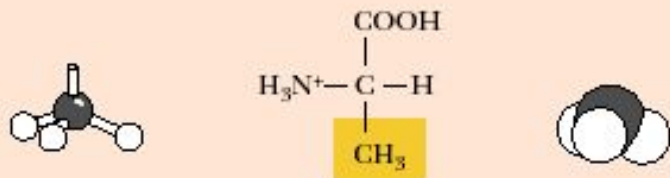
Leucine (Leu, L)

Лейцин



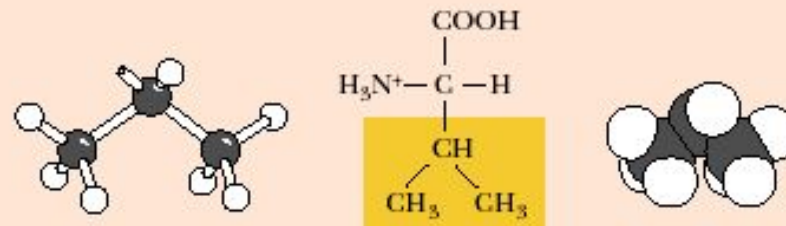
Proline (Pro, P)

Пролин



Alanine (Ala, A)

Аланин

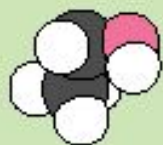
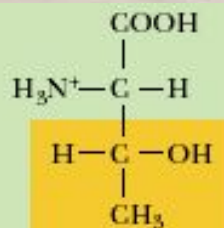
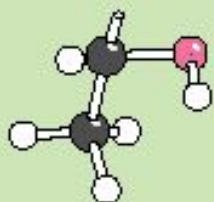


Valine (Val, V)

Валин

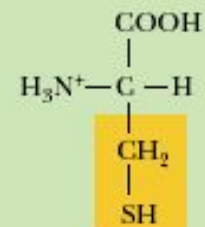
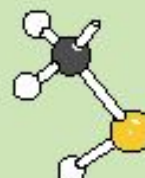
# Классификации аминокислот

## Нейтральные гидрофильные аминокислоты



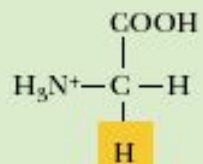
Threonine (Thr, T)

Треонин



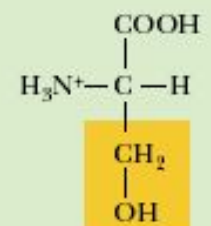
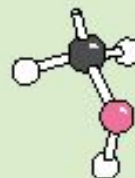
Cysteine (Cys, C)

Цистеин



Glycine (Gly, G)

Глицин

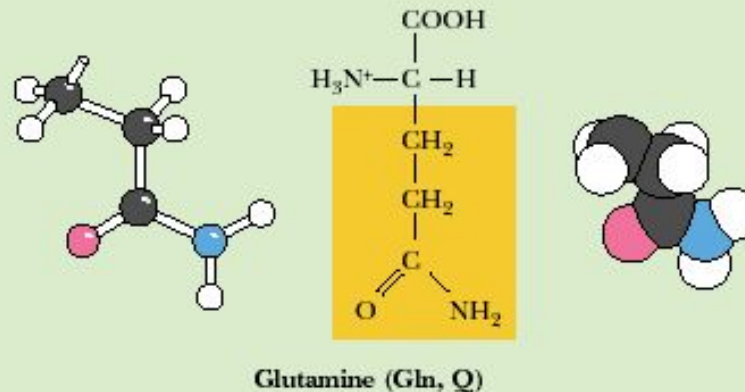
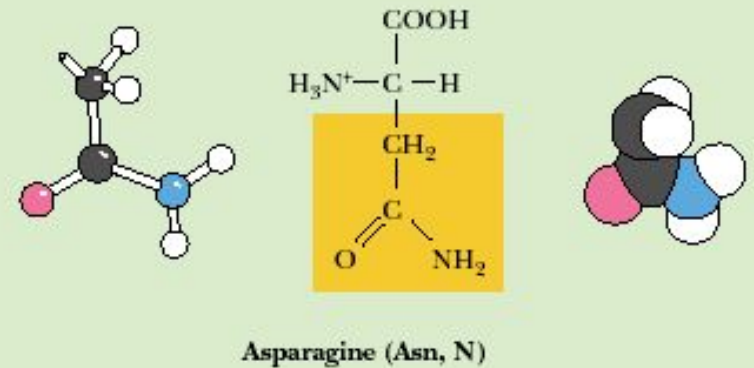
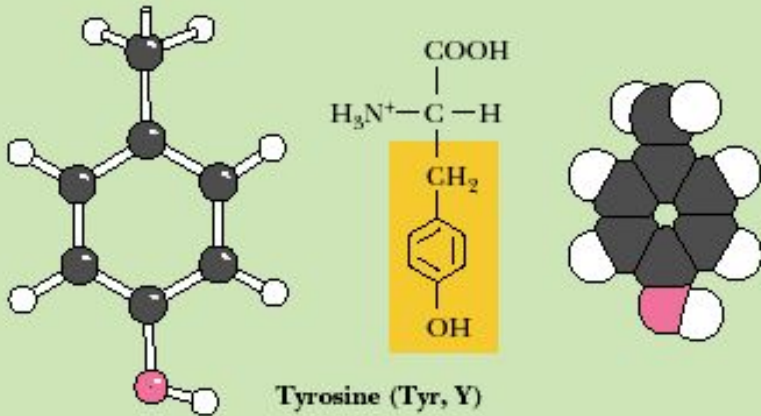


Serine (Ser, S)

Серин

# Классификации аминокислот

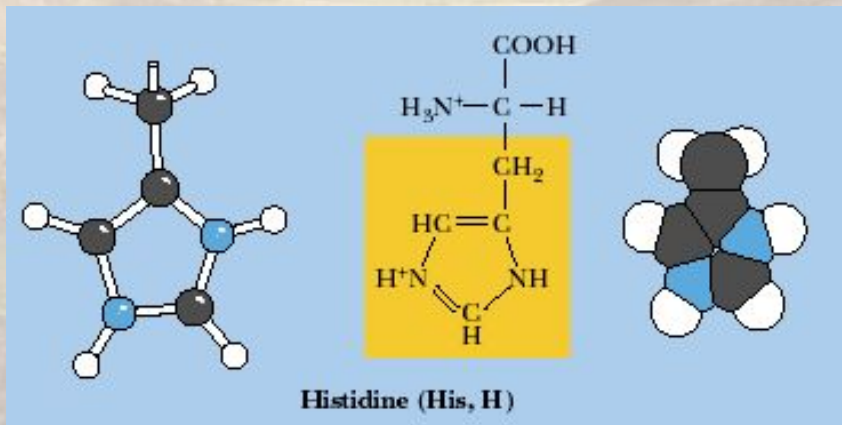
## Нейтральные гидрофильные аминокислоты



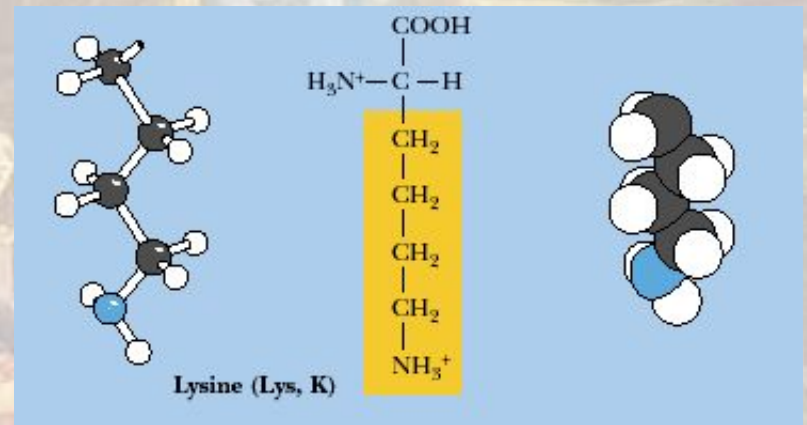


# Классификации аминокислот

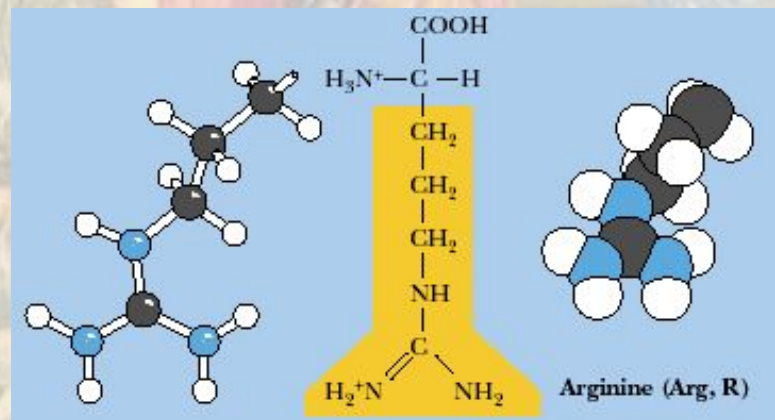
## Основные аминокислоты



Гистидин



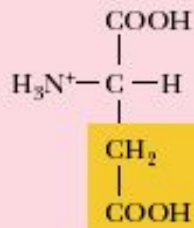
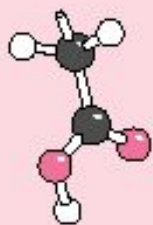
Лизин



Аргинин

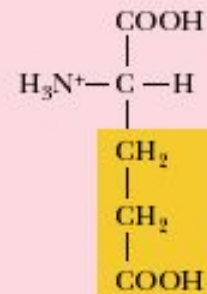
# Классификации аминокислот

## Кислые аминокислоты



Aspartic acid (Asp, D)

Аспарагиновая кислота



Glutamic acid (Glu, E)

Глутаминовая кислота

# Природные источники аминокислот

| Название                                       | Открыватель, исходный материал          | Материал с наибольшим содержанием   | (pI) |
|--|---|---|------|
| <i>а) Нейтральные гидрофобные аминокислоты</i> |   |   |      |
| Аланин   | Вейль, фиброин шелка (1888)             | фиброин шелка (29,7%)   | 6.02 |
| Валин  | Горуп-Безане, экстракт желез (1856)     | эластин (17,4%), сухожилия и аорта быка (17,6%)                           | 5.97 |
| Лейцин   | Пруст, творог (1819)                    | сывороточный альбумин быка (12,8%), кукуруза (19%)                        | 5.98 |
| Изолейцин                                      | Эрлих, патока (1904)                    | сывороточный альбумин быка (2,6%), белок овса (4,3%)                      | 6.1  |
| Фенилаланин                                    | Шульце и Барбьери, ростки люпина (1879) | сывороточный альбумин (7,8%), $\gamma$ -глобулин (4,6%), вальбумин (7,7%) | 5.88 |
| Метионин                                       | Мюллер, казеин (1921)                   | $\gamma$ -казеин (4,1%), овальбумин (5,2%), $\beta$ -лактоглобулин (3,2%) | 5.8  |
| Триптофан                                      | Гопкинс и Кол, казеин (1901)            | лизоцим (яйца) (10,6%), $\alpha$ -лактальбумин (7%)                       | 5.88 |
| Пролин   | Фишер, казеин (1901)                    | сальмин (6,9%), казеин (10,6%), желатин (16,3%)                           | 6.10 |

# Природные источники аминокислот

| Название  | Открыватель, исходный материал  | Материал с наибольшим содержанием                                    | (pI) |
|---|---------------------------------|--|------|
| <i>б) Нейтральные гидрофильные аминокислоты</i> |                                 |  |      |
| Глицин  | Браконно, шелк (1820)           | фиброин шелка (29,7%)  | 5.97 |
| Серин   | Крамер, шелковый клей (1865)    | фиброин шелка (16,2%), трипсиноген (16,7%), пепсин (12,2%)           | 5.70 |
| Треонин   | Розе и др., фибрин (1935)       | кератин волос (8,5%), яичный белок (10,5%)                           | 6.50 |
| Тирозин   | Либих, сыр (1846)               | фиброин шелка (12,8%), папаин (14,7%)                                | 5.65 |
| Аспарагин                                       | Вокелин и Робике, спаржа (1806) |  | 5.41 |
| Глутамин  | Шульце, сахарная свекла (1877)  |  |      |
| Цистеин   | Бауман, цистин (1884)           | кератин волос (14,4%), кератин перьев (8,2%), кератин шерсти (11,9%) | 5.02 |

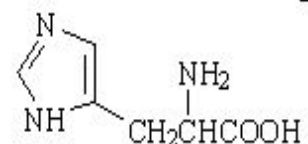
# Природные источники аминокислот

| Название                                     | Открыватель, исходный материал        | Материал с наибольшим содержанием                                    | (pI)  |
|--|---------------------------------------|--|-------|
| <i>в) Кислые аминокислоты (ионогенные)</i>   |                                       |  |       |
| Аспарагиновая кислота                        | Риттхаузен, бобовые (1868)            | эдестин (12,0%),<br>глобулин ячменя (10,3%)                          | 3,20  |
| Глутаминовая кислота                         | Риттхаузен, бобовые (1866)            | глиадин пшеницы (39,2%),<br>глиадин ржи (37,7%),<br>кукуруза (22,9%) | 3.22  |
| <i>г) Основные аминокислоты (ионогенные)</i> |                                       |  |       |
| Лизин  | Дрехсель, казеин (1899)               | миоглобин лошади (15,5%),<br>сывороточный альбумин<br>быка (12,8%)   | 9.74  |
| Аргинин                                      | Шульце и др., проростки люпина (1886) | сальмин (86,4%),<br>желатин (8,3%)                                   | 10.76 |
| Гистидин                                     | Коссель, стурин (1896)                | гемоглобин (7,0%)  | 7.58  |

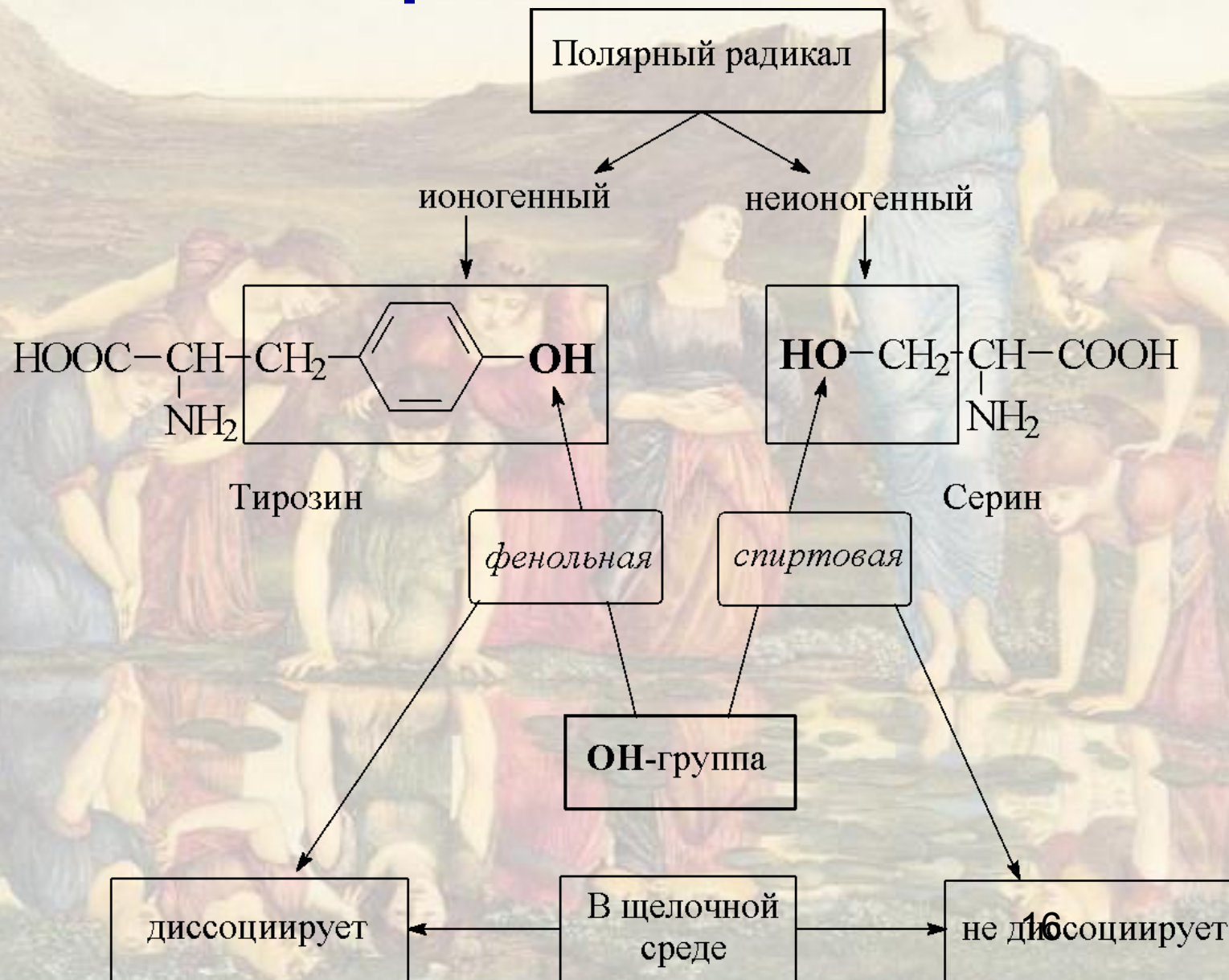
# Классификации аминокислот

| б) Нейтральные гидрофильные аминокислоты |     |  |                                 |  |      |
|--|-----|--|---------------------------------|--|------|
| Глицин                                   | Gly | $\begin{array}{c} \text{H}_2\text{NCH}_2\text{COOH} \\ \text{HOCH}_2-\text{CH}-\text{COOH} \\   \\ \text{NH}_2 \end{array}$                  | Браконно, шелк (1820)           | фибронин шелка (29,7%)   | 5.97 |
| Серин                                    | Ser | $\begin{array}{c} \text{H}_2\text{NCH}_2\text{COOH} \\ \text{HOCH}_2-\text{CH}-\text{COOH} \\   \\ \text{NH}_2 \end{array}$                  | Крамер, шелковый клей (1865)    | фибронин шелка (16,2%),<br>трипсиноген (16,7%),<br>пепсин (12,2%)          | 5.70 |
| Треонин                                  | Thr | $\begin{array}{c} \text{CH}_3\text{CH}-\text{CH}-\text{COOH} \\   \quad   \\ \text{OH} \quad \text{NH}_2 \end{array}$                        | Розе и др., фибрин (1935)       | кератин волос (8,5%),<br>яичный белок (10,5%)                              | 6.50 |
| Тирозин                                  | Tyr | $\begin{array}{c} \text{HO}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{CH}_2\text{CHCOOH} \\   \\ \text{NH}_2 \end{array}$                                   | Либих, сыр (1846)               | фибронин шелка (12,8%),<br>папаин (14,7%)                                  | 5.65 |
| Аспарагин                                | Asn | $\begin{array}{c} \text{NH}_2-\text{C}-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{COOH} \\    \quad   \\ \text{O} \quad \text{NH}_2 \end{array}$            | Вокелли и Робике, спаржа (1806) |  | 5.41 |
| Глутамин                                 | Gln | $\begin{array}{c} \text{NH}_2-\text{C}-\text{CH}_2\text{CH}_2-\text{CH}-\text{COOH} \\    \quad   \\ \text{O} \quad \text{NH}_2 \end{array}$ | Шульце, сахарная свекла (1877)  |  |      |
| Цистеин                                  | Cys | $\begin{array}{c} \text{H}_2\text{NCH}_2\text{COOH} \\ \text{H}_2\text{NCH}_2-\text{CH}-\text{COOH} \\   \\ \text{NH}_2 \end{array}$         | Бауман, цистин (1884)           | кератин волос (14,4%),<br>кератин перьев (8,2%),<br>кератин шерсти (11,9%) | 5.02 |

# Классификации аминокислот

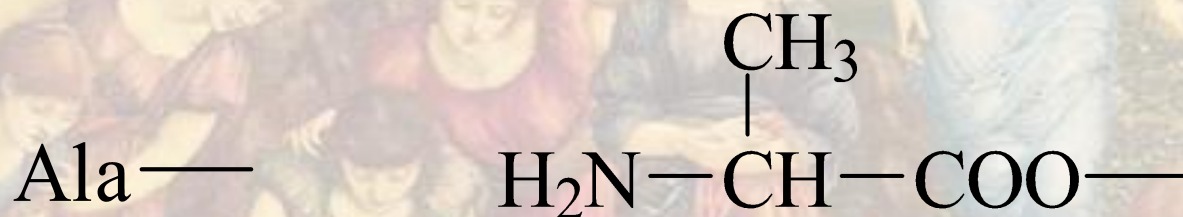
| в) Кислые аминокислоты (ионогенные)   |     |  |                                       |  |           |
|---------------------------------------|-----|--|---------------------------------------|--|-----------|
| Аспарагиновая кислота                 | Asp | $\text{HOOC}-\text{CH}_2-\underset{\text{NH}_2}{\text{CH}}-\text{COOH}$  | Риттхаузен, бобовые (1868)            | эдестин (12,0%), глобулин ячменя (10,3%)                       | 3,20      |
| Глутаминовая кислота                  | Glu | $\text{HOOC}-\text{CH}_2\text{CH}_2-\underset{\text{NH}_2}{\text{CH}}-\text{COOH}$   | Риттхаузен, бобовые (1866)            | глиадин пшеницы (39,2%), глиадин ржи (37,7%), кукуруза (22,9%) | 3.22      |
| г) Основные аминокислоты (ионогенные) |     |  |                                       |  |           |
| Лизин                                 | Lys | $\text{H}_2\text{NCH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\underset{\text{NH}_2}{\text{CH}}\text{COOH}$  | Дрехсель, казеин (1899)               | миоглобин лошади (15,5%), сывороточный альбумин быка (12,8%)   | 9.74      |
| Аргинин                               | Arg | $\text{H}_2\text{N}-\text{C}(\text{NH}_2)=\text{NH}-\text{NH}-\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\underset{\text{NH}_2}{\text{CH}}\text{COOH}$ | Шульце и др., проростки люпина (1886) | сальмин (86,4%), желатин (8,3%)                                | 10.7<br>6 |
| Гистидин                              | His |    | Коссель, стурин (1896)                | гемоглобин (7,0%)  | 7.58      |

# Классификации аминокислот

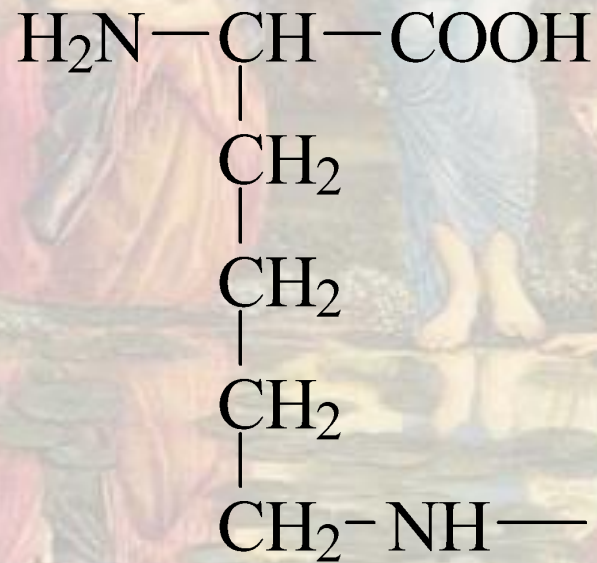
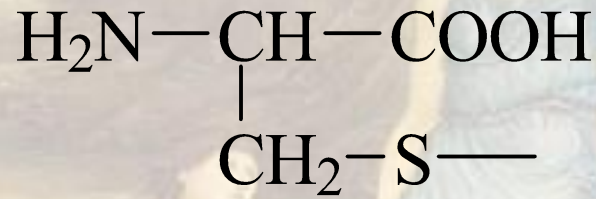




# Номенклатура аминокислот



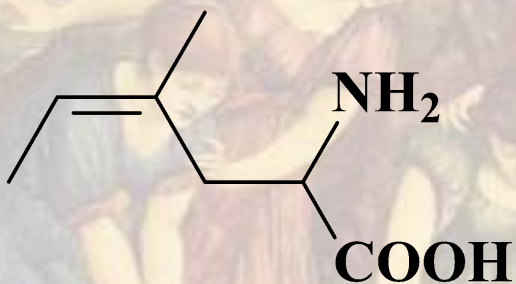
# Номенклатура аминокислот



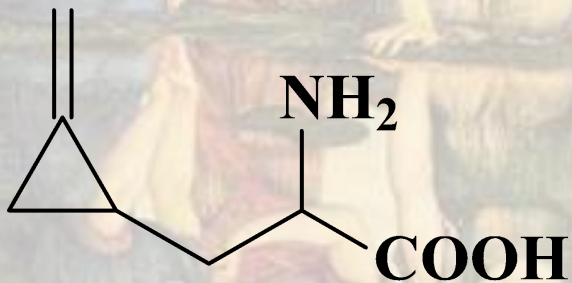
# Природные аминокислоты

## Протеиногенные аминокислоты

## Некоторые непротеиногенные аминокислоты



2-амино-4-метил-гекс-4-еновая кислота  
(*Hecsculus californica*)



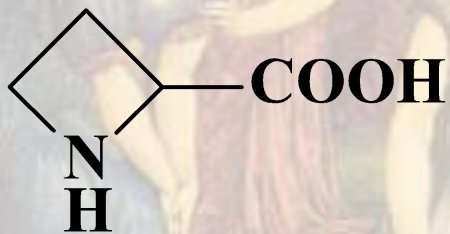
Гипоглицин А (*Blighia sapida*)

# Природные аминокислоты

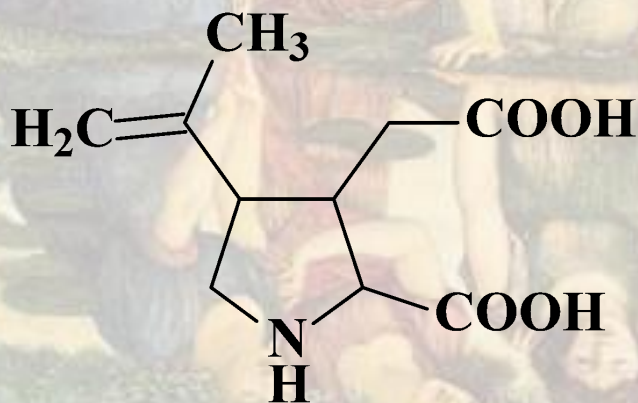
## Некоторые непротеиногенные аминокислоты



1-аминоциклопропанкарбоновая кислота  
(биологический источник этилена в растениях)



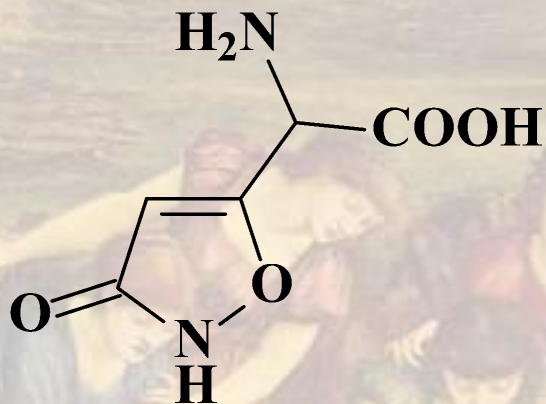
Азетидин-2-карбоновая кислота (*Liliaceae*)



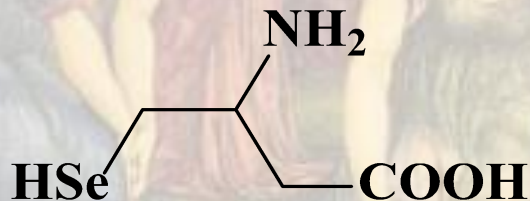
Каинова кислота (из водоросли *Digneia simplex*)

# Природные аминокислоты

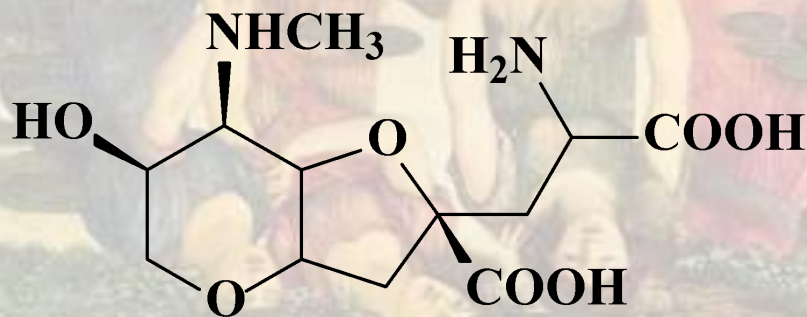
## Некоторые непротеиногенные аминокислоты



Иботеновая кислота (из мухомора, инсектицид)

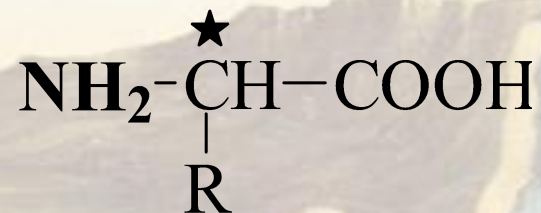


Селеноцистеин (активный центр ферментов типа глутатион пероксидазы)

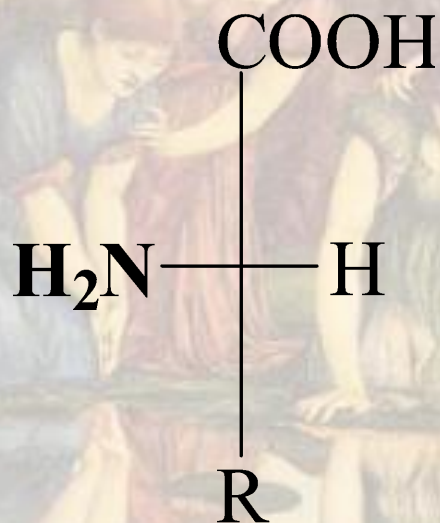


Дисигербарин (*Dysiherbarine*); нейротоксин из морской губки *Dysidea herbacea*

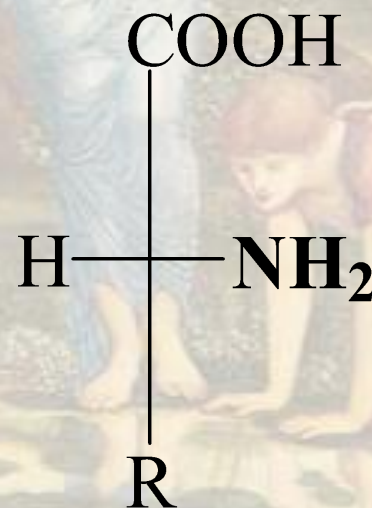
# Стереохимия аминокислот



**α-аминокислота**

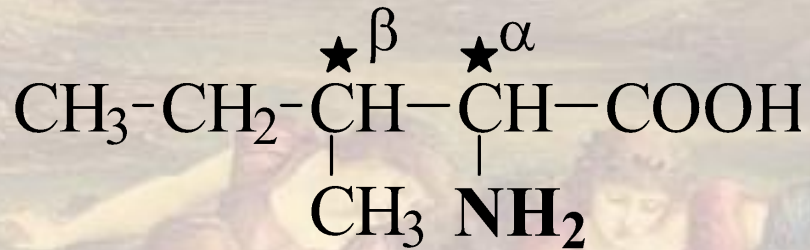


**L-α-аминокислота**

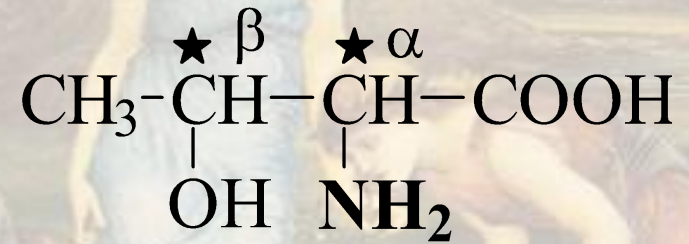


**D-α-аминокислота**

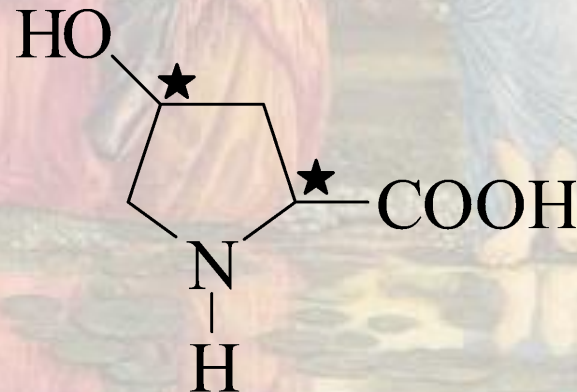
# Стереохимия аминокислот



Изолейцин

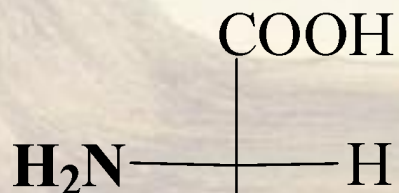


Треонин



4-гидроксипролин

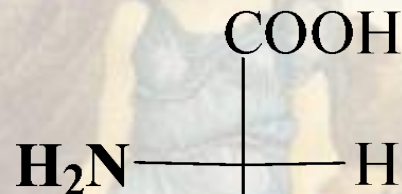
# Стереохимия аминокислот



L-цистин



D-цистин



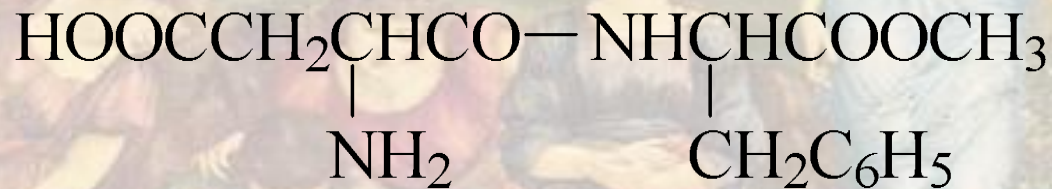
Мезоформа цистина





# Стереохимия аминокислот

*$\alpha$ -Аминокислоты D- и L-стереохимических рядов*

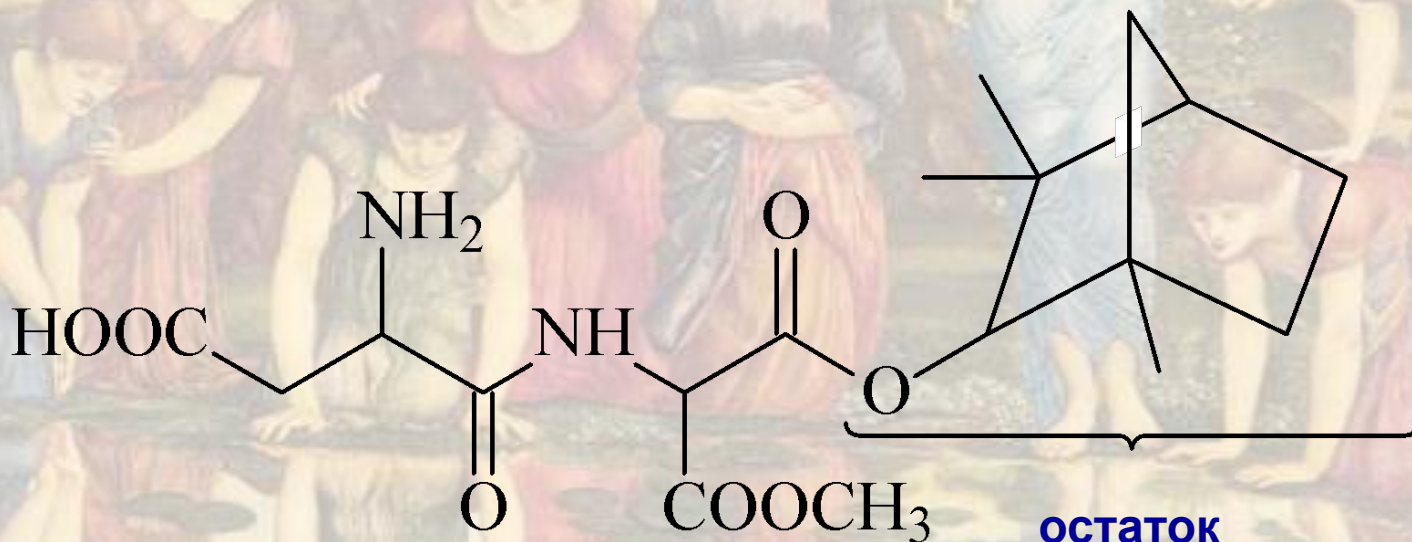


Остаток  
L-аспарагиновой  
кислоты

Остаток  
метилового эфира  
L-фенилаланина

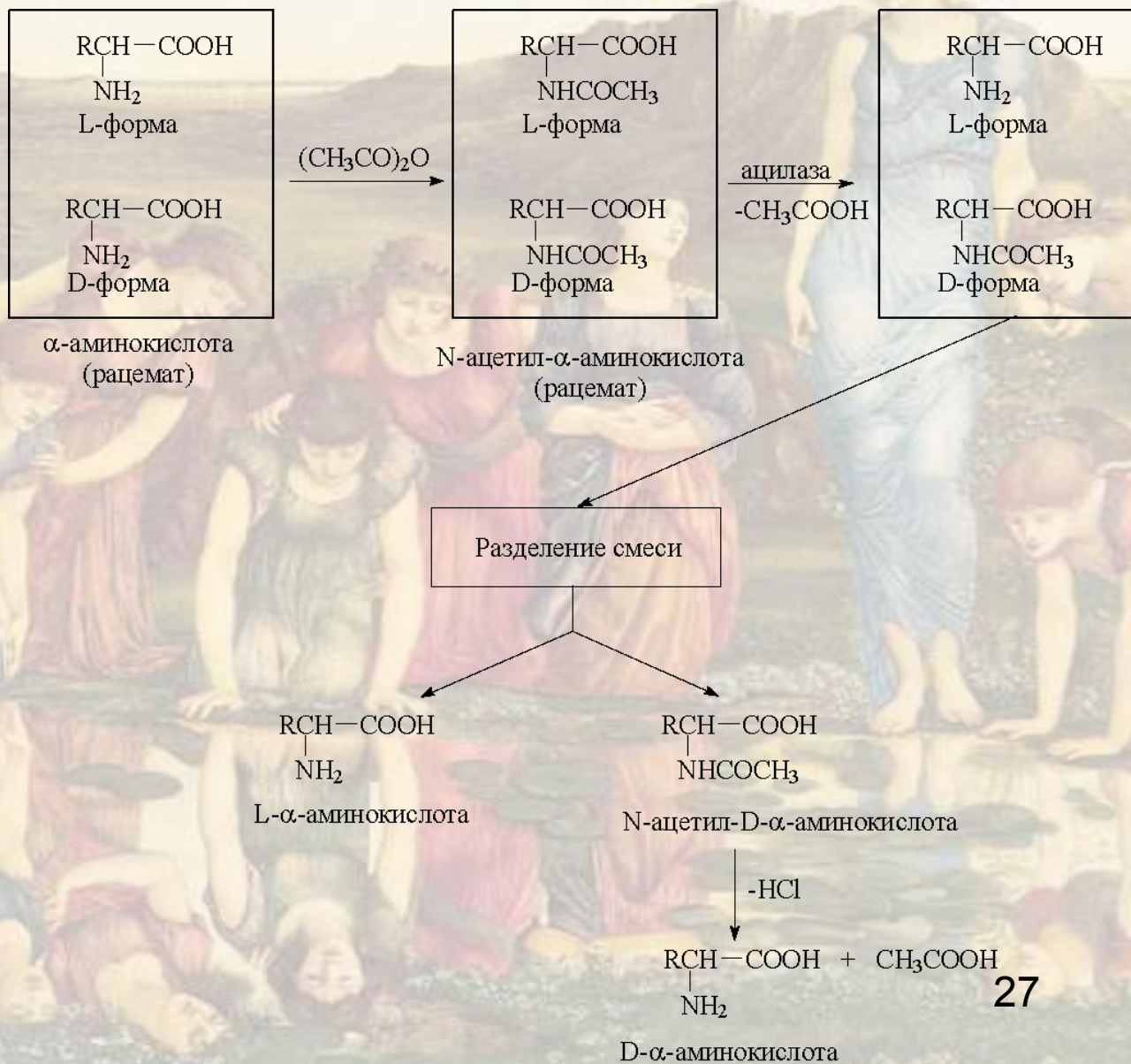
# Стереохимия аминокислот

*$\alpha$ -Аминокислоты D- и L-стереохимических рядов*

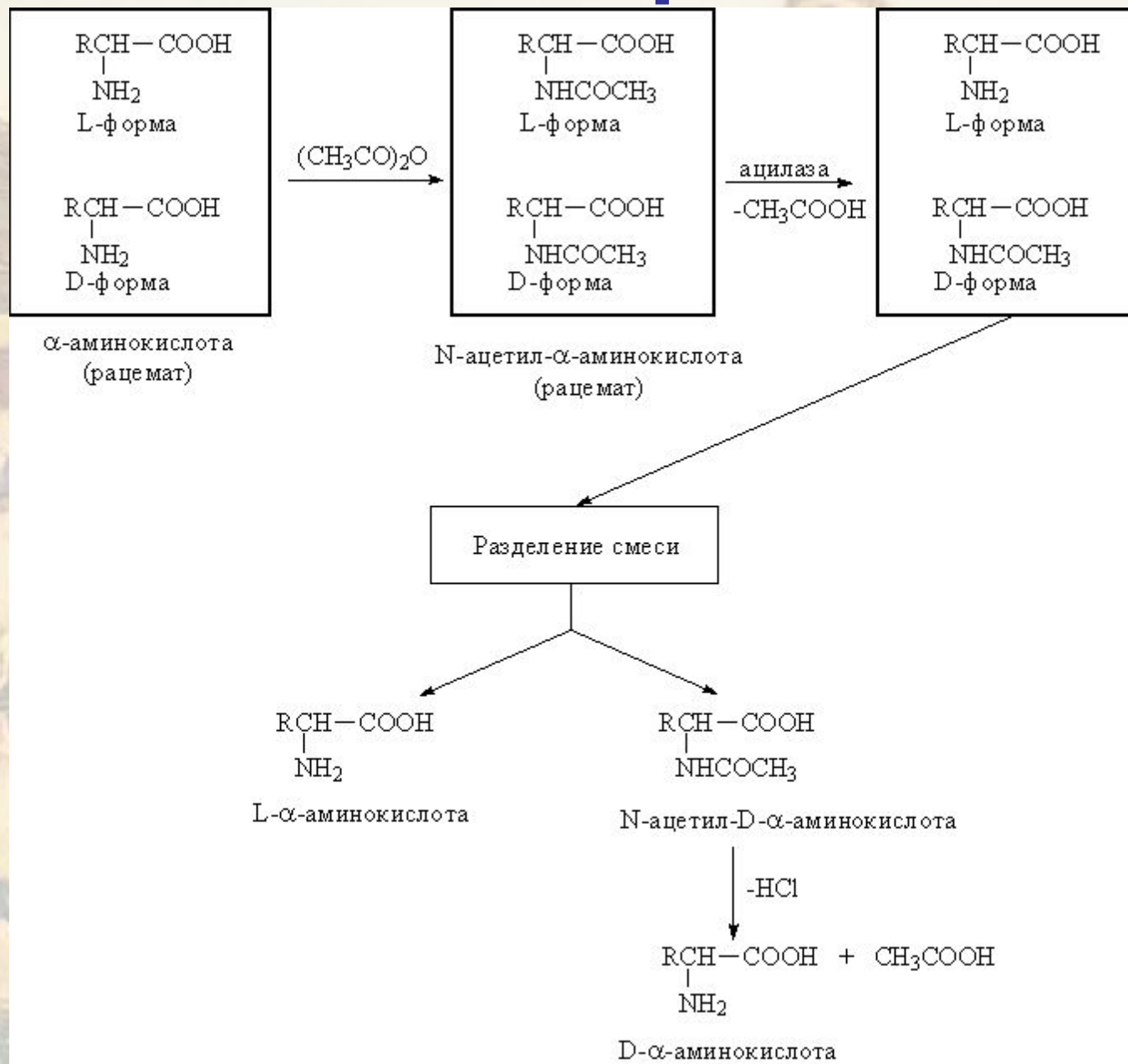


остаток  
спирта  
фенхола

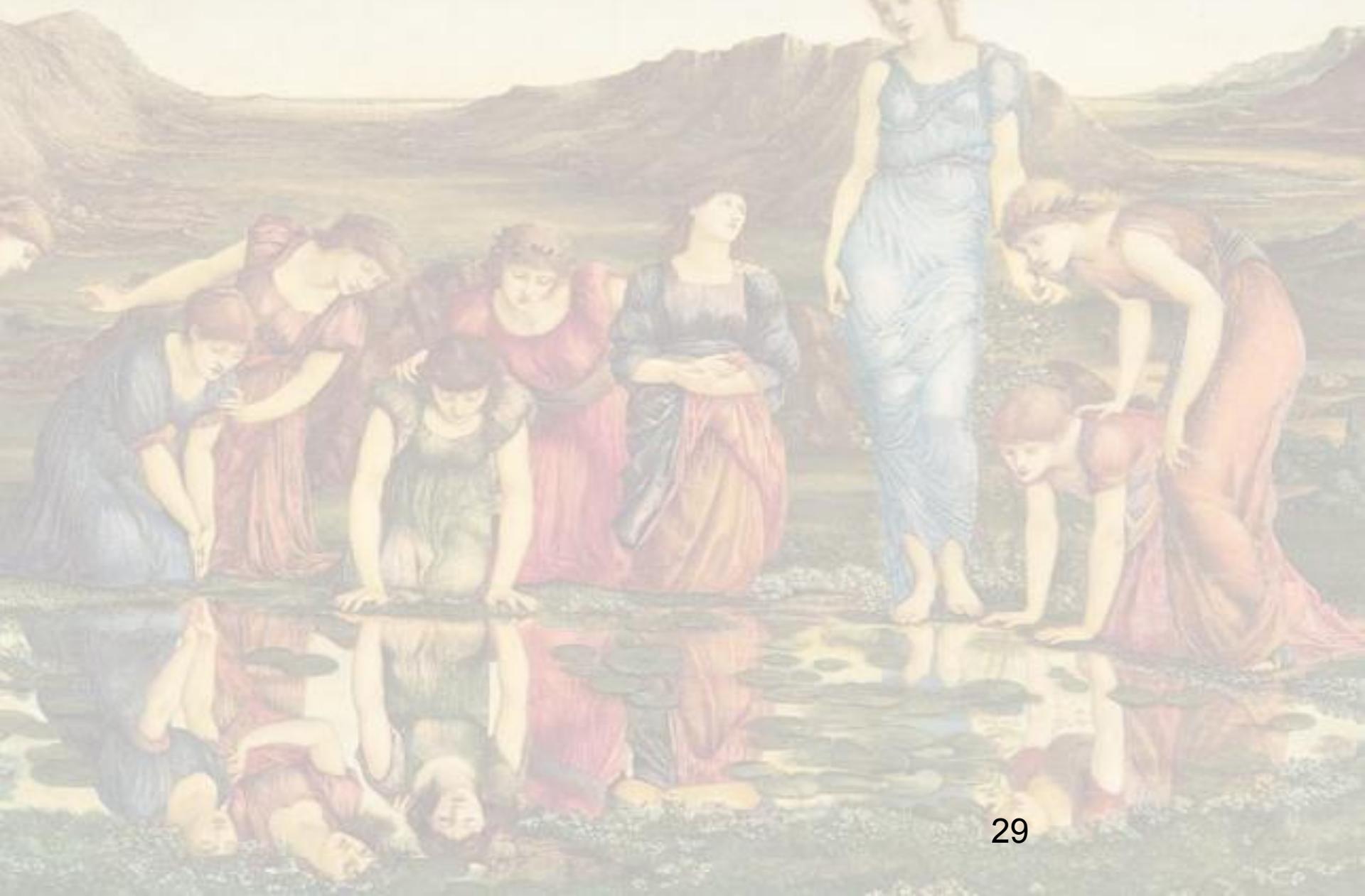
# Расщепление рацематов



# Расщепление рацематов



# Разделение аминокислот (эллюирование)



# Физические и химические свойства



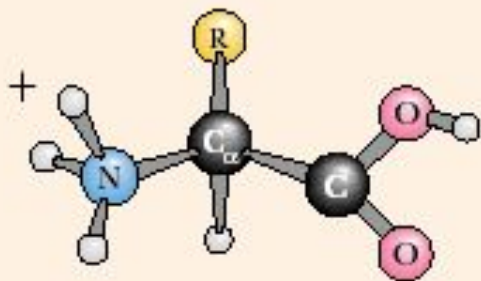
**Несуществующая  
в природе форма**

**Биполярный ион  
(цвиттер-ион),  
внутренняя соль**

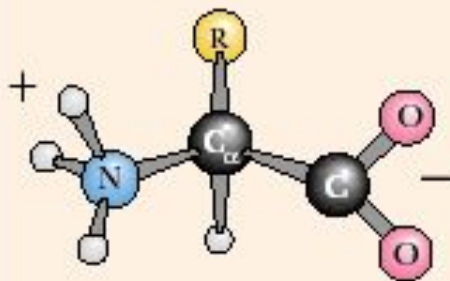
# Физические и химические свойства

## Кисотно-основные свойства

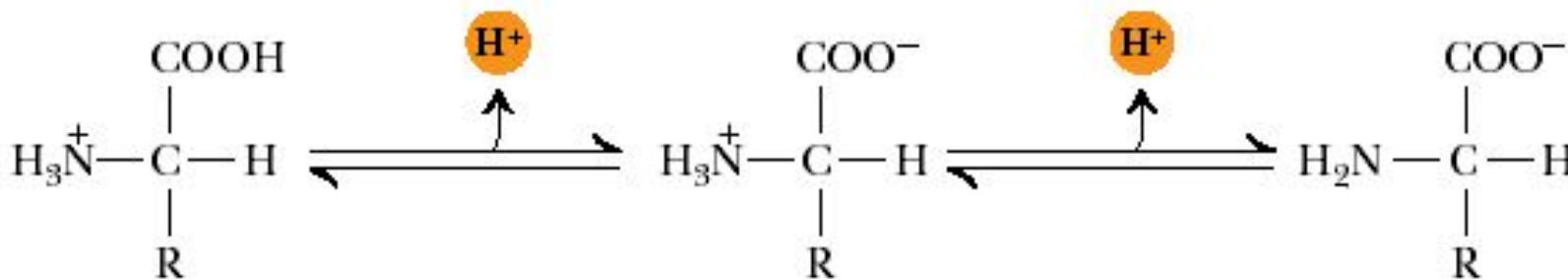
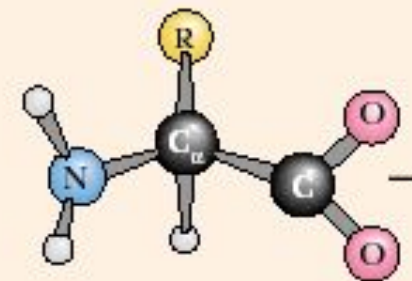
pH 1 Заряд +1



pH 7 Заряд 0



pH 13 Заряд -1



Катионная форма

Цвиттерион (нейтральный)

Анионная форма

# Физические и химические свойства

## Кислотно-основные свойства





# Физические и химические свойства

## Кисотно-основные свойства

| Аминокислота          | $pK_{a_1}$ | $pK_{a_2}$ |
|-----------------------|------------|------------|
| $CH_3CH_2COOH$        | 4,38       | нет        |
| $H_3N^+CH(CH_3)COO^-$ | 2,34       | 9,69       |
| $CH_3CH_2NH_2$        | нет        | 10,67      |

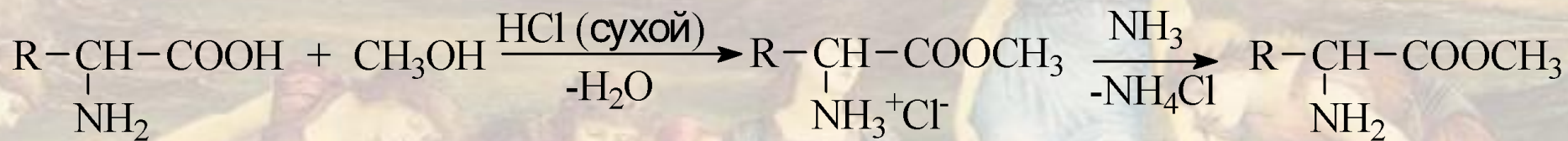
# Физические и химические свойства

## Кисотно-основные свойства

| Аминокислота   | pKa                       |                             |                |                |
|--|---------------------------|-----------------------------|----------------|----------------|
|  | $\alpha$ -NH <sub>2</sub> | $\epsilon$ -NH <sub>2</sub> | $\alpha$ -COOH | $\gamma$ -COOH |
| (Lys) $\text{H}_2\text{NCH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}(\text{NH}_2)\text{COOH}$ | 9,0                       | 10,5                        | 2,2            | нет            |
| (Glu) $\text{HOOC}-\text{CH}_2\text{CH}_2-\text{CH}(\text{NH}_2)-\text{COOH}$                    | 9,7                       | нет                         | 2,2            | 4,3            |

# Физические и химические свойства

## Образование эфиров



метилловый эфир  
 $\alpha$ -аминокислоты

глицин — кристаллическое вещество с

$T_{\text{пл}} = 292^\circ\text{C}$

метилловый эфир глицина — жидкость с

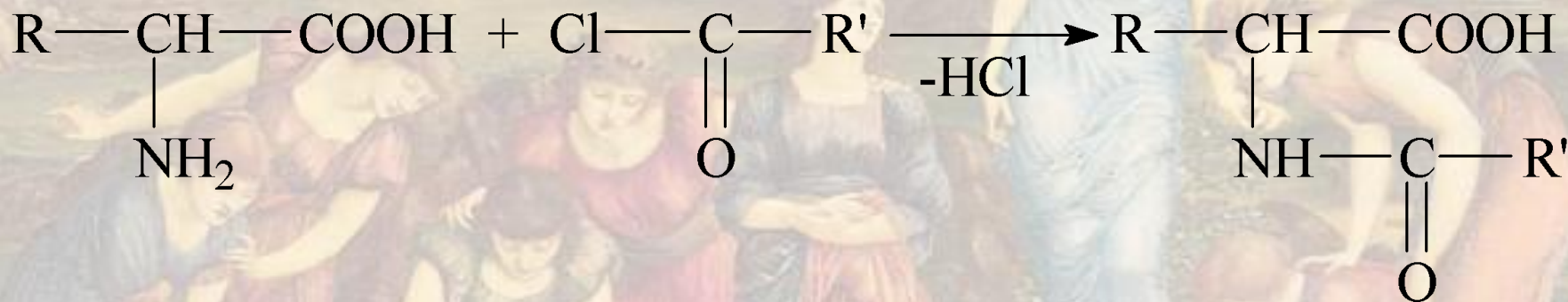
$T_{\text{кип}} = 130^\circ\text{C}$ .

Э. Фишер (1901)



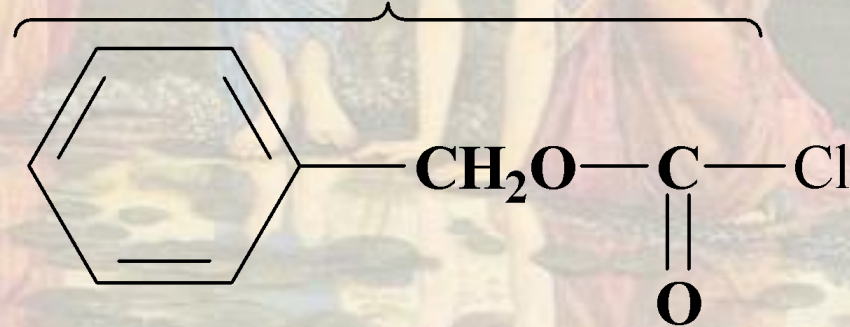
# Физические и химические свойства

## Образование N-ацильных производных



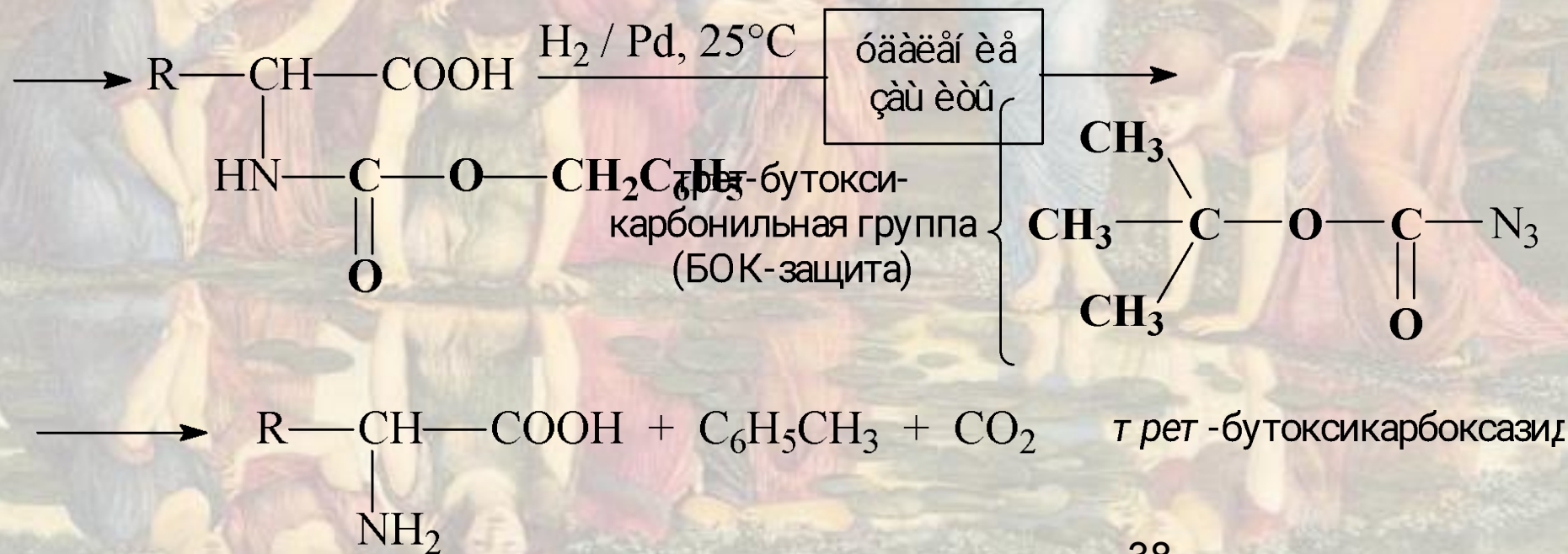
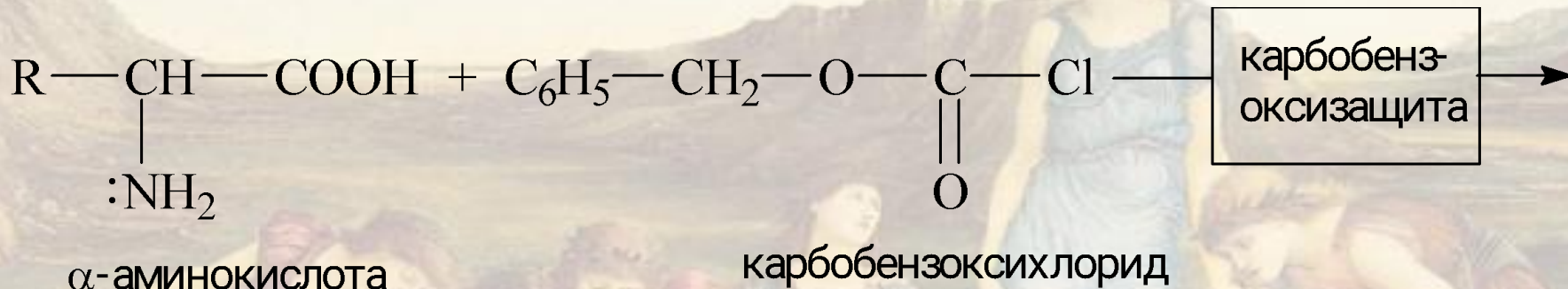
карбобензоксигруппа

**Карбобензоксизащита (1932 г)**  
**карбобензоксихлорид**  
**(бензиловый эфир**  
**хлормуравьиной кислоты).**



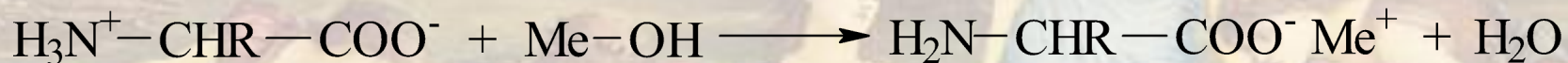
карбобензоксихлорид

# Физические и химические свойства

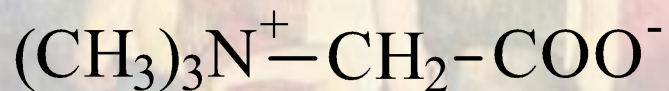
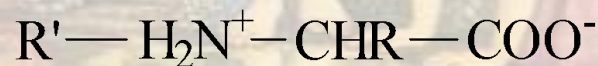
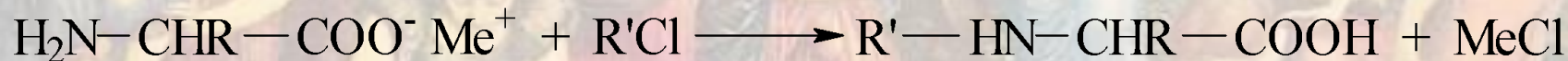


# Физические и химические свойства

## Реакции с участием только аминогруппы



### Алкилирование

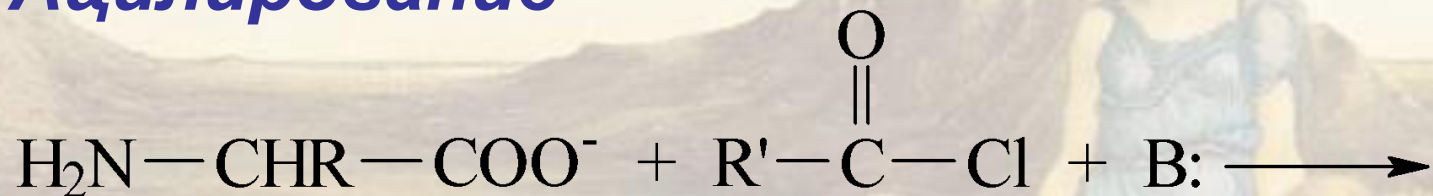


N,N,N-триметилглицин

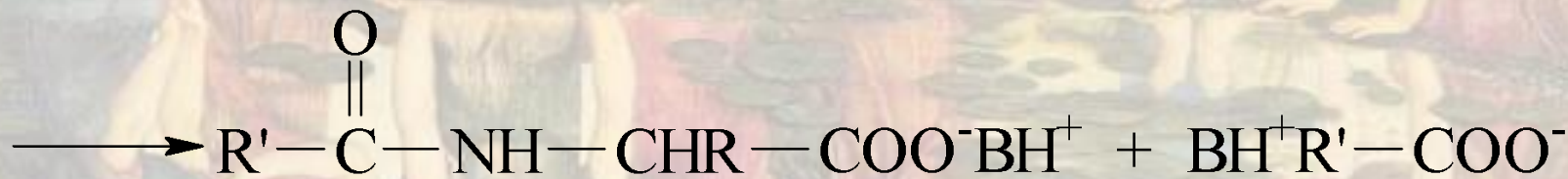
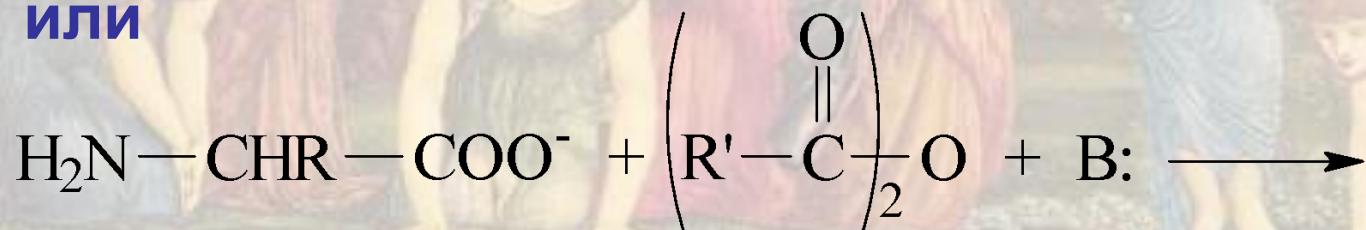
Простейший бетаин -  
производное глицина - был  
впервые обнаружен в соке  
столовой свеклы *Beta vulgaris*

# Физические и химические свойства

## Ацилирование



или

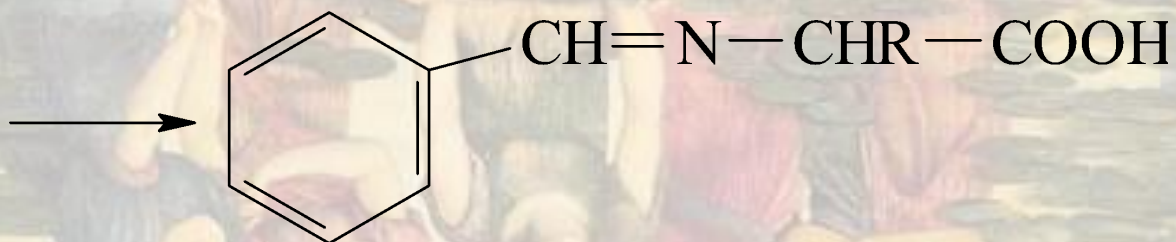
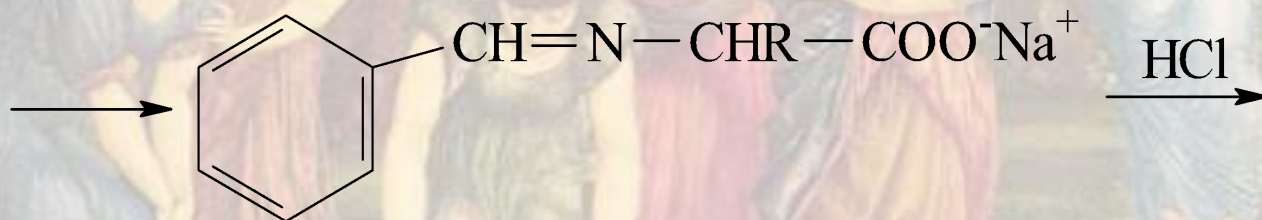
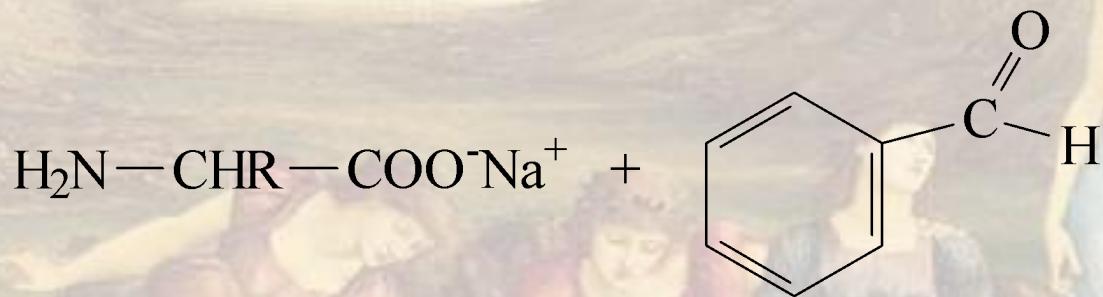


Ацилирование в условиях Шоттена-Бауманна



# Физические и химические свойства

## Образование оснований Шиффа



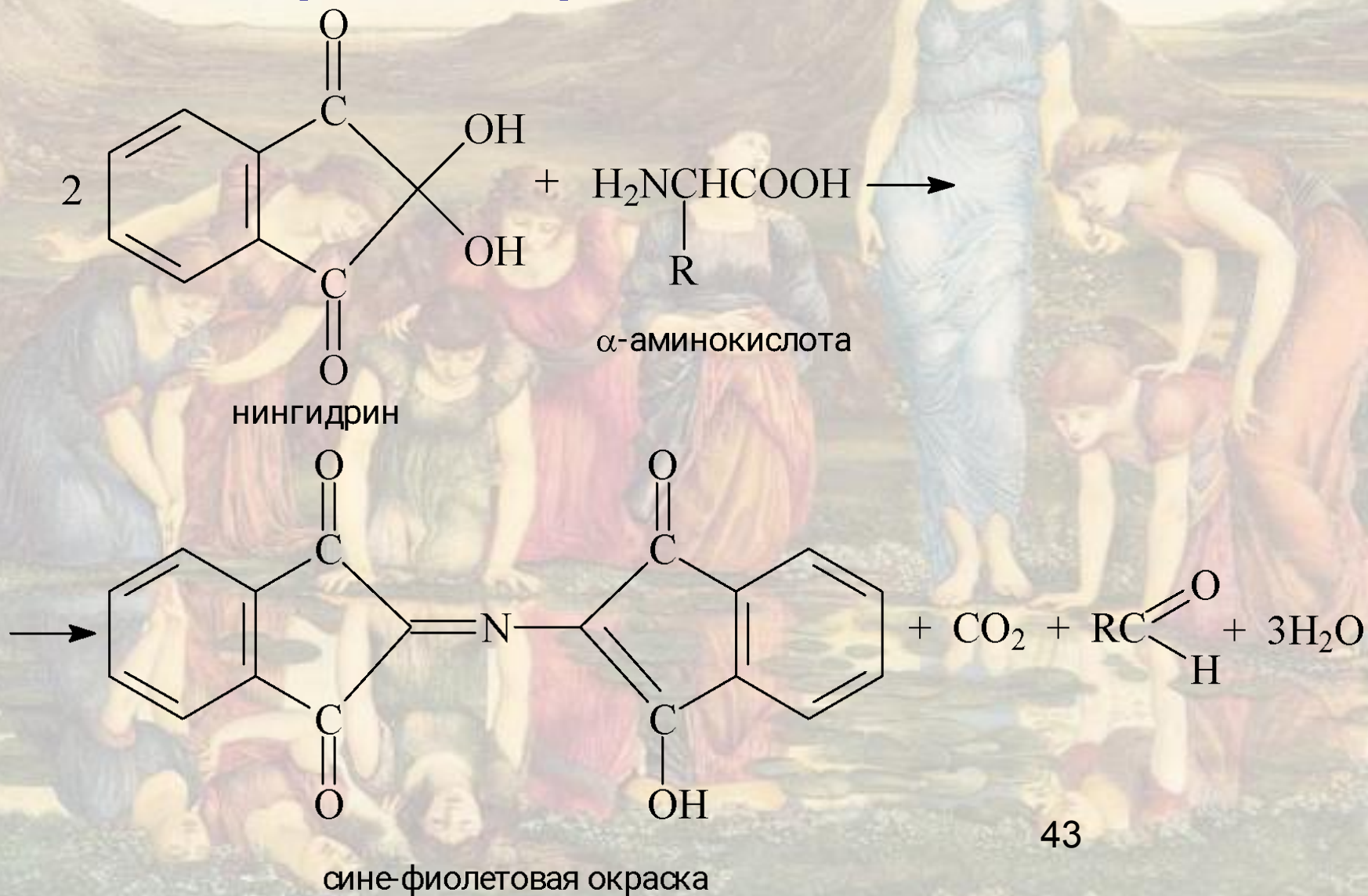
# Физические и химические свойства

## Образование оснований Шиффа



# Физические и химические свойства

## «Нингидриновая реакция»



# Физические и химические свойства *«Нингидриновая реакция»*



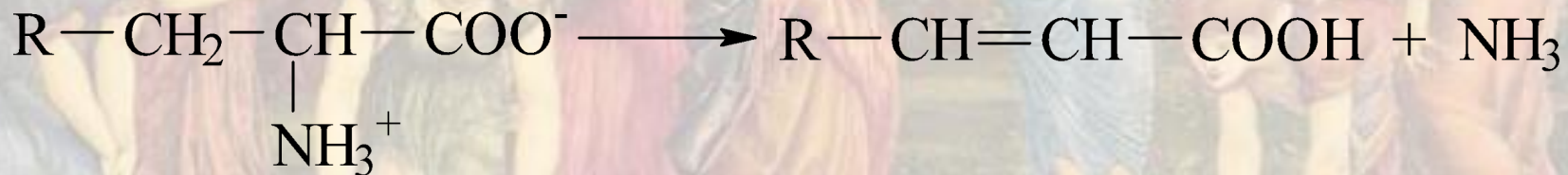
# Физические и химические свойства

## Дезаминирование аминокислот



*Метод Ван-Слайка*

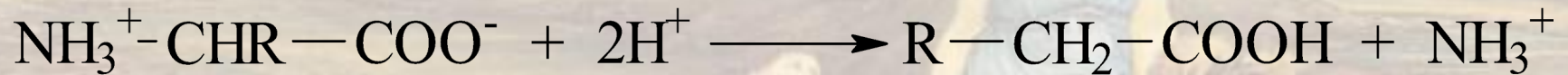
### ***А. Внутримолекулярное дезаминирование***



(таким образом у некоторых микроорганизмов и высших растений аспарагиновая кислота превращается в фумаровую)

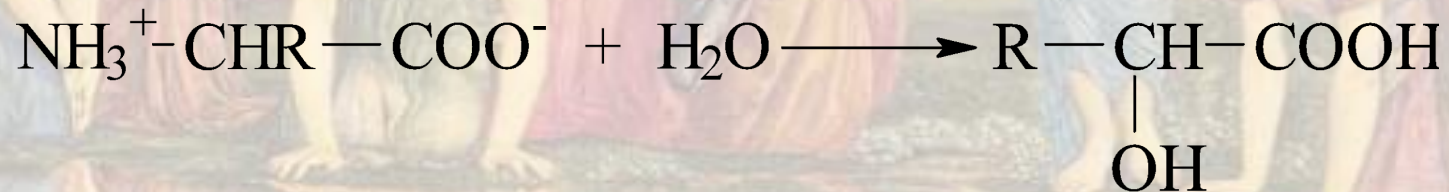
# Физические и химические свойства

## Б. Восстановительное дезаминирование



(у некоторых микроорганизмов )

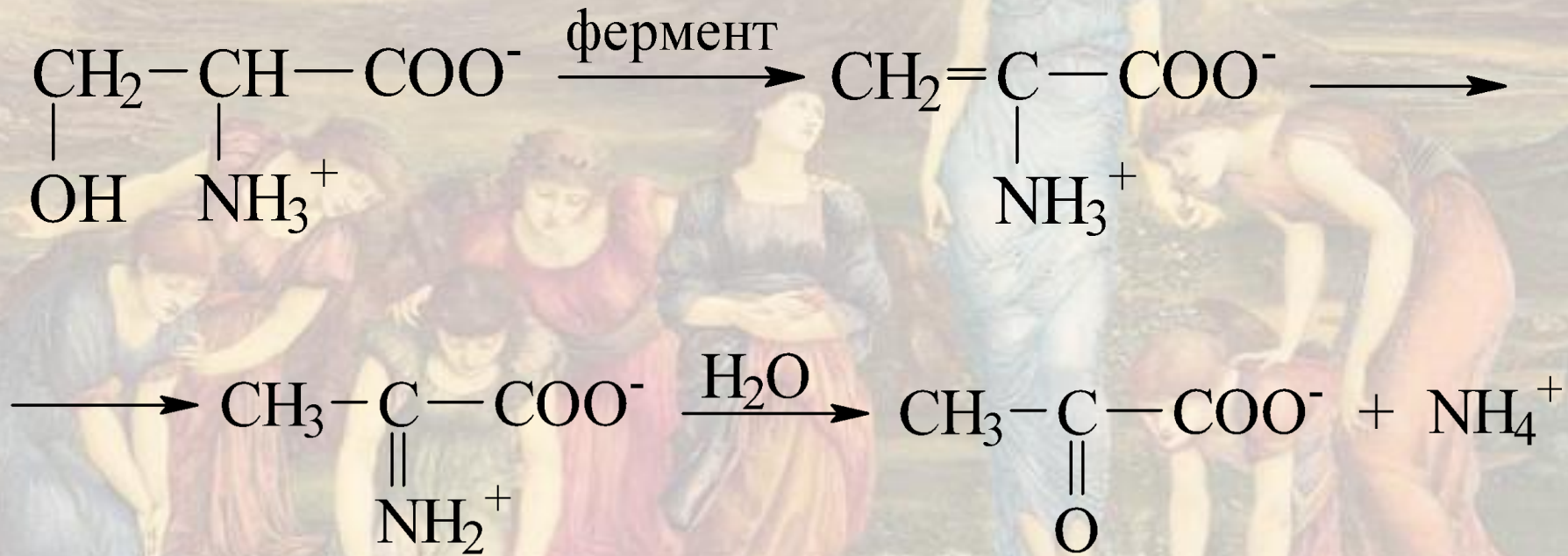
## В. Гидролитическое дезаминирование



(тип дезаминирования, характерный для микроорганизмов)

# Физические и химические свойства

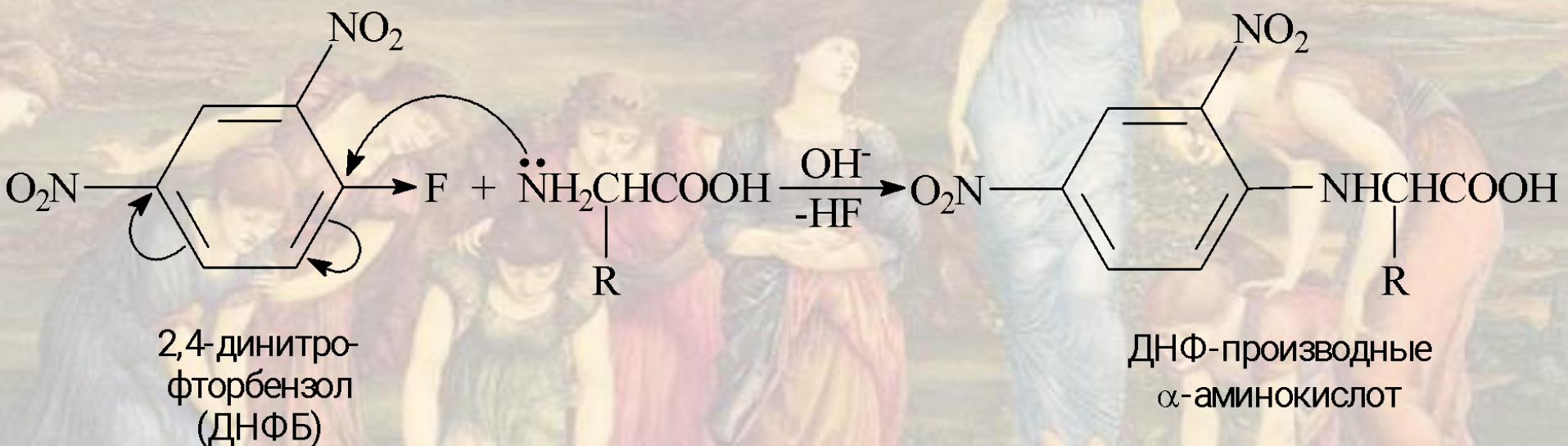
## Г. Дегидратазное дезаминирование



(этот тип дезаминирования характерен для таких аминокислот, как серин, треонин, цистеин, гомоцистеин)

# Физические и химические свойства

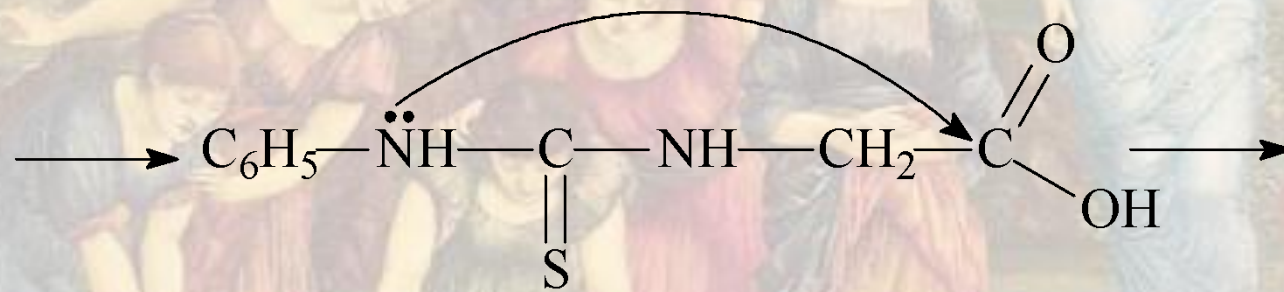
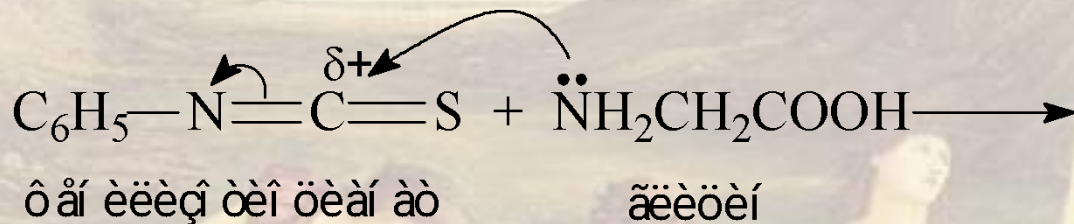
## Образование ДНФ-производных





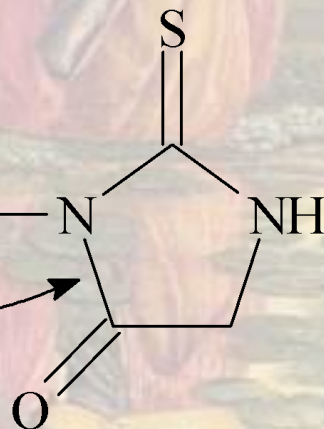
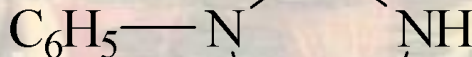
# Физические и химические свойства

## Образование ФТГ-производных (реакция Эдмана)



циклизация; H<sup>+</sup>

-H<sub>2</sub>O



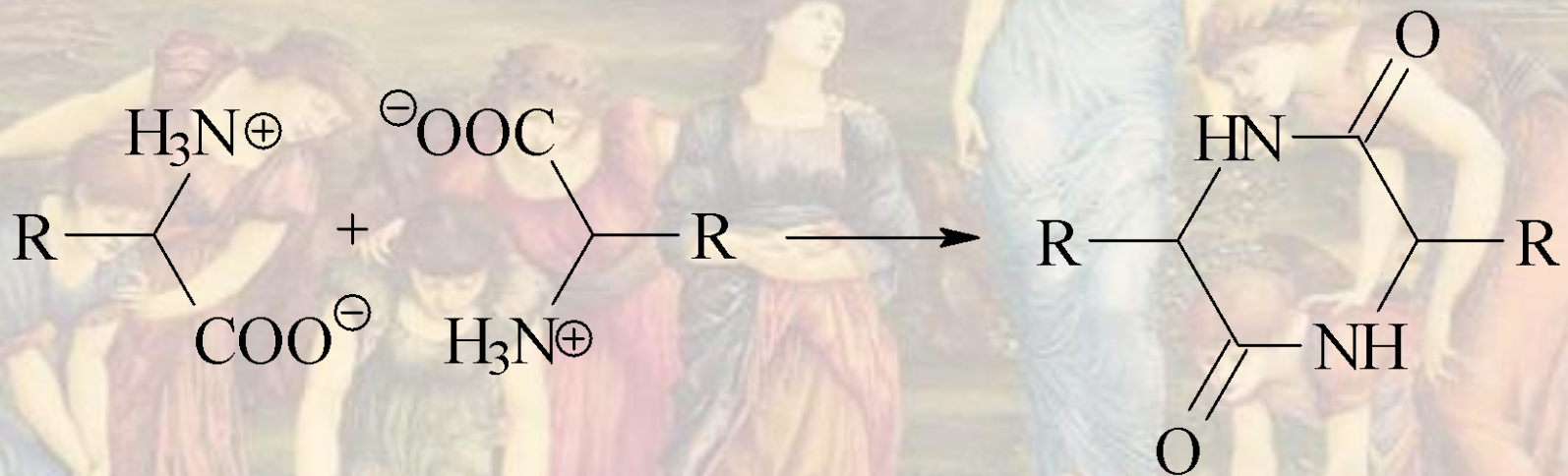
Амидная связь

фенилтиогидантоин

# Физические и химические свойства

*Отношение аминокислот к нагреванию*

**α-аминокислоты**

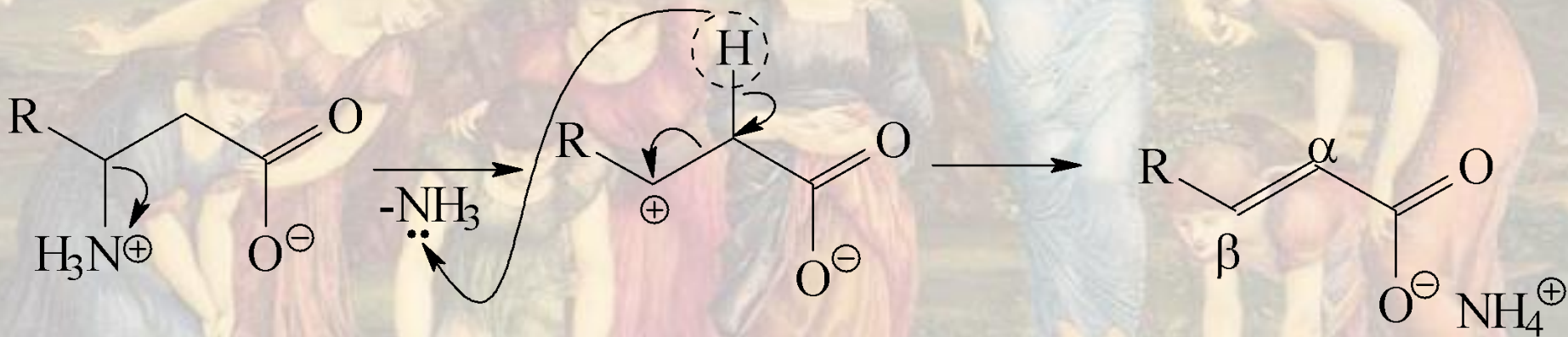


дикетопиперазин

# Физические и химические свойства

## Отношение аминокислот к нагреванию

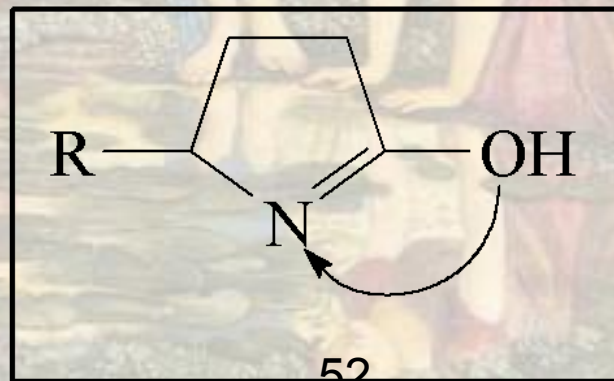
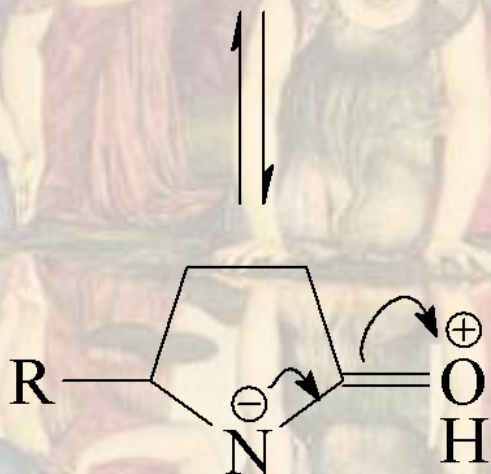
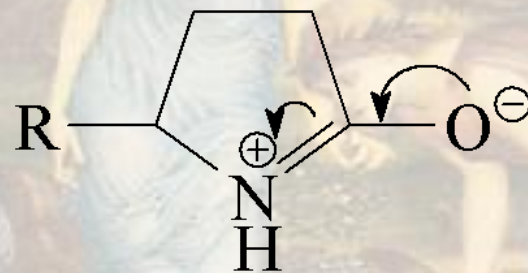
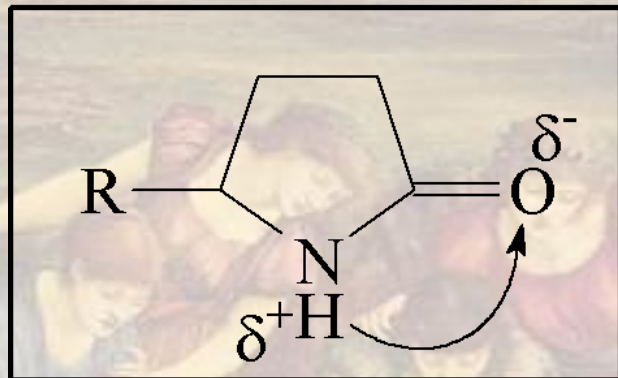
### $\beta$ -аминокислоты



# Физические и химические свойства

## Лактим-лактамная таутомерия

лактам

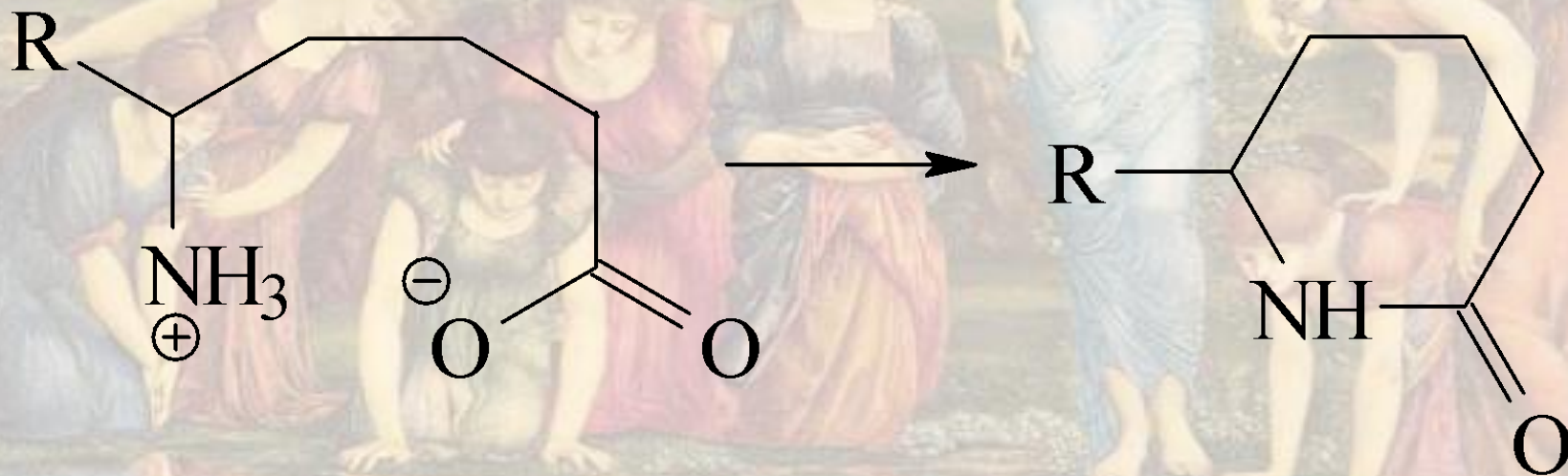


52  
лактим

# Физические и химические свойства

## Отношение аминокислот к нагреванию

### $\delta$ -аминокислоты



$\delta$ -лактим

# Физические и химические свойства

## Отношение аминокислот к нагреванию

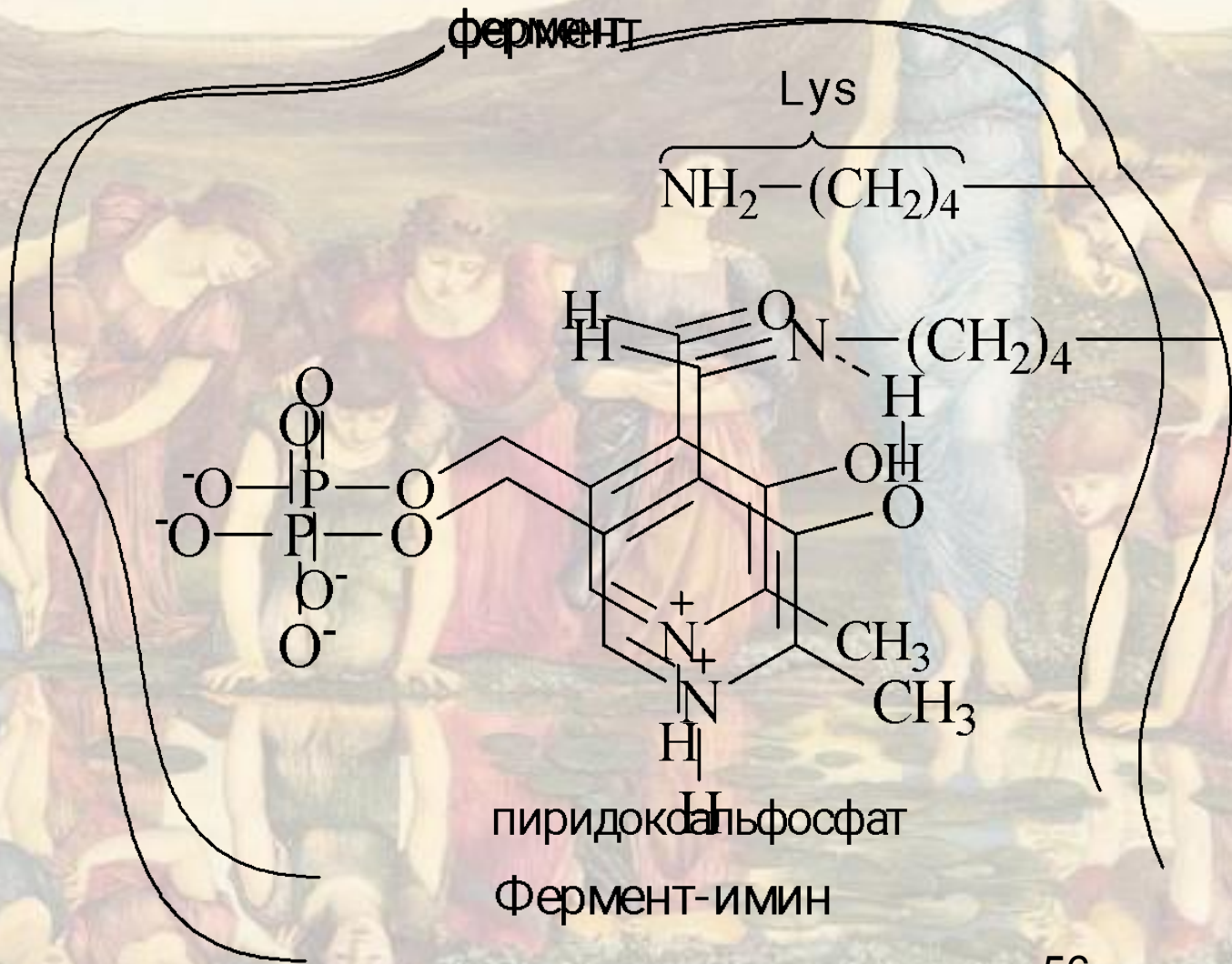
### $\omega$ -аминокислоты



# Биологически важные химические реакции



# Биологически важные химические реакции



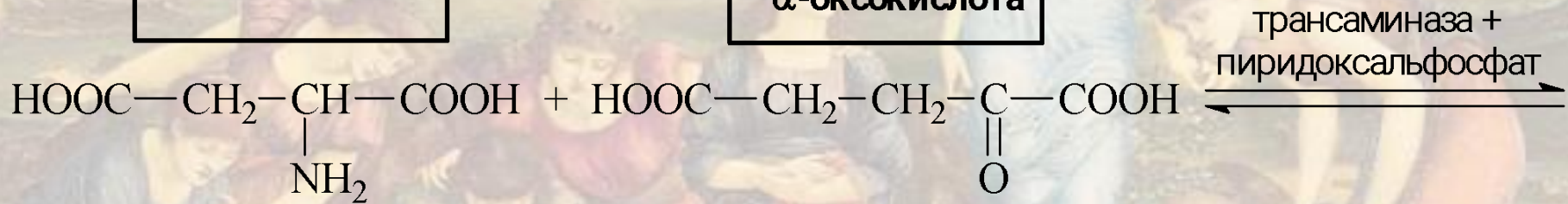


# Биологически важные химические реакции

## Трансаминирование

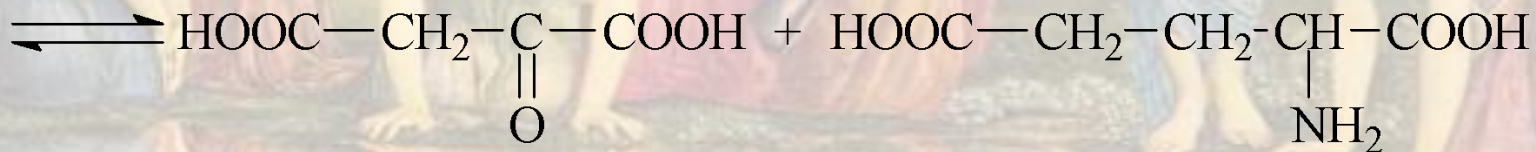
Донорная  
 $\alpha$ -аминокислота

Акцепторная  
 $\alpha$ -оксокислота



L-аспаргиновая кислота

$\alpha$ -оксоглутаровая кислота



Щавелевоуксусная  
кислота

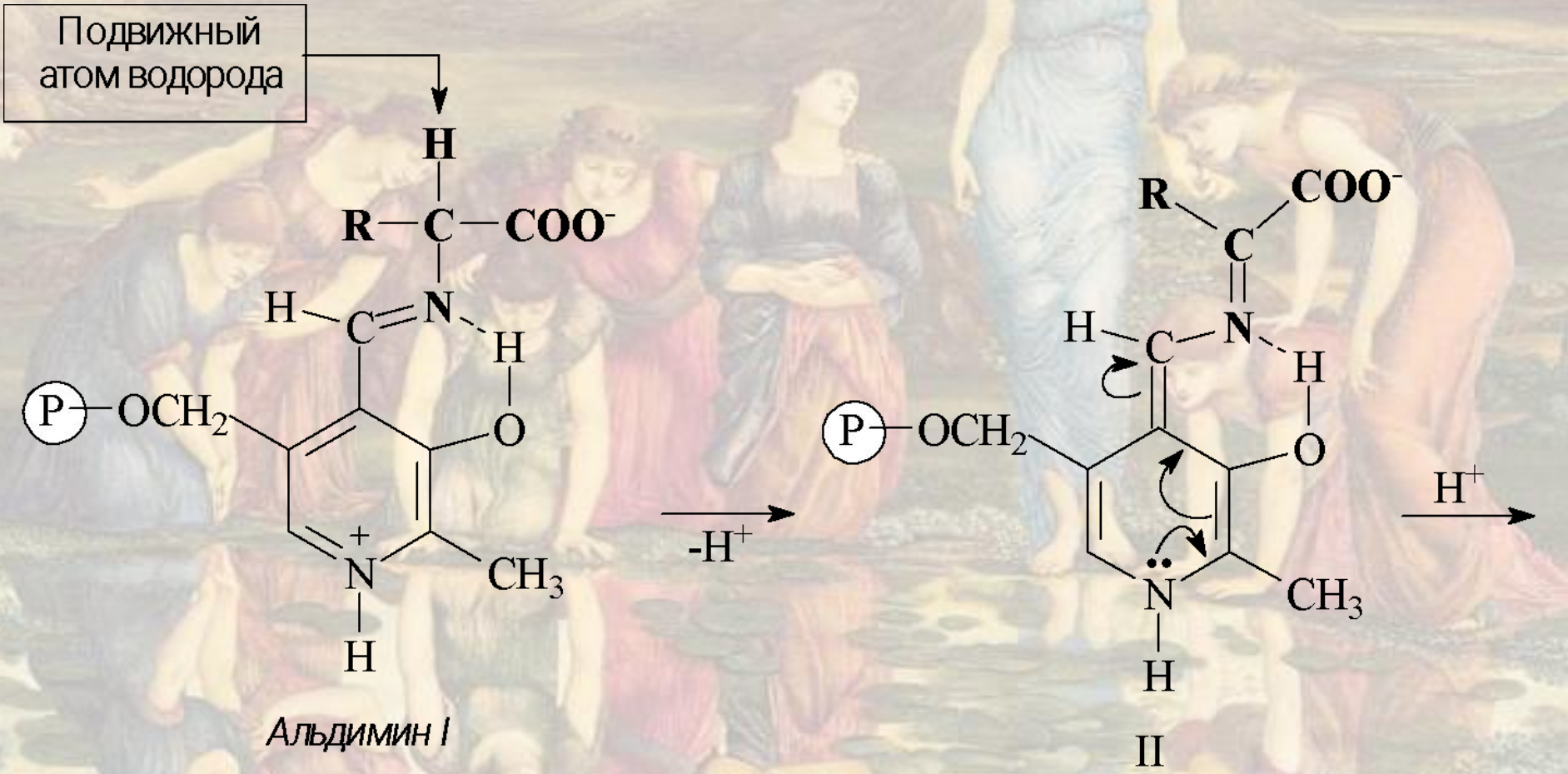
L-глутаминовая  
кислота

Акцепторная  
 $\alpha$ -оксокислота

Донорная  
 $\alpha$ -аминокислота

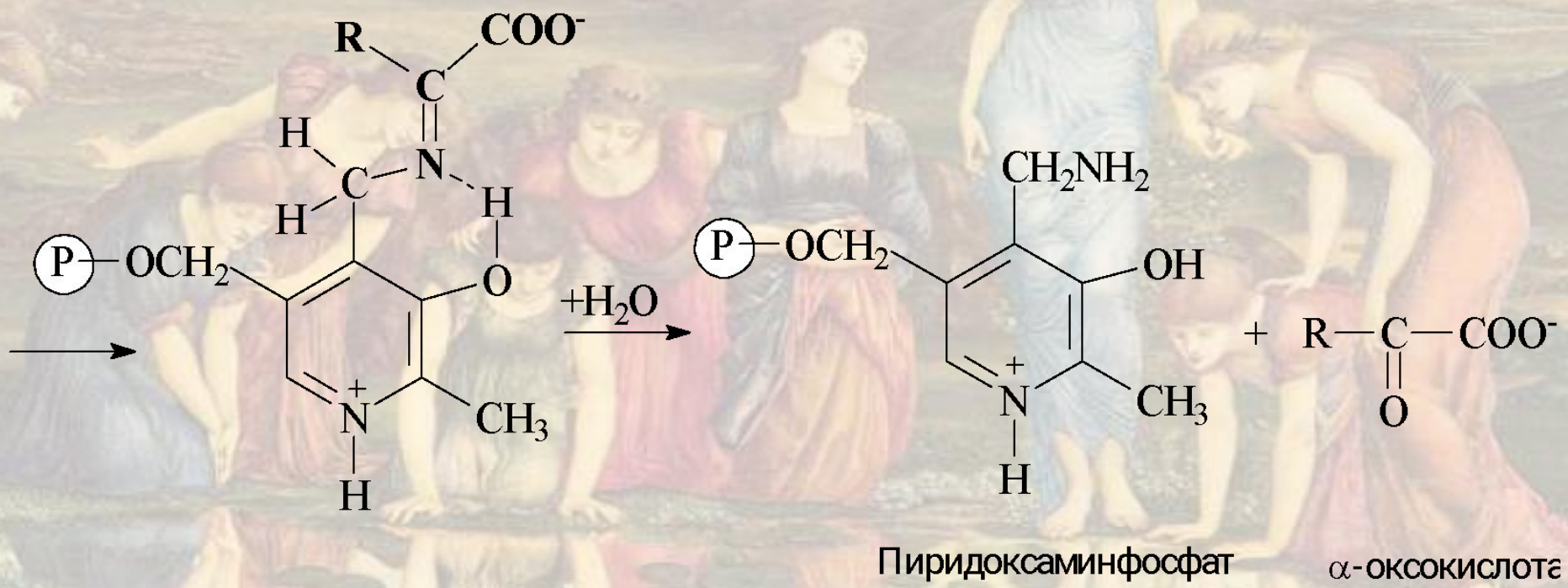
# Биологически важные химические реакции

## Перенос аминокетильной группы



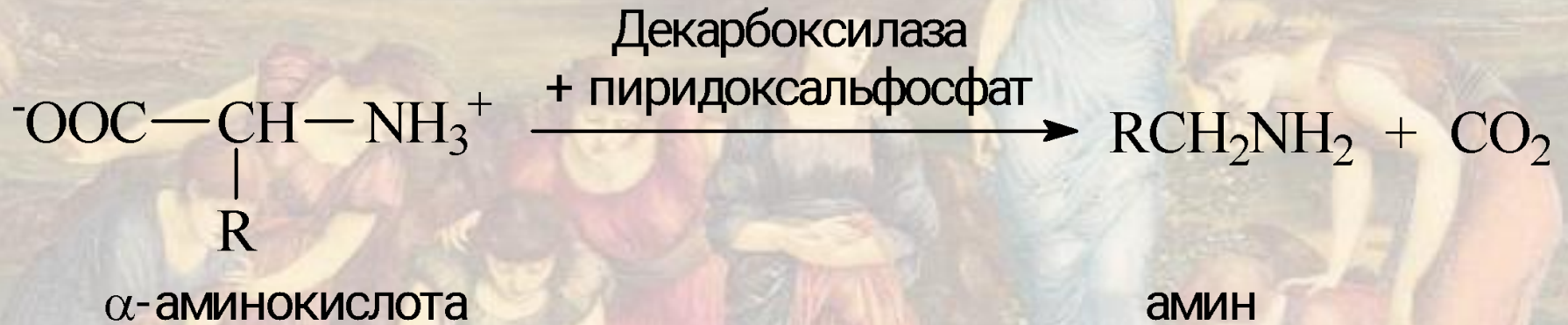
# Биологически важные химические реакции

## Перенос аминокетильной группы



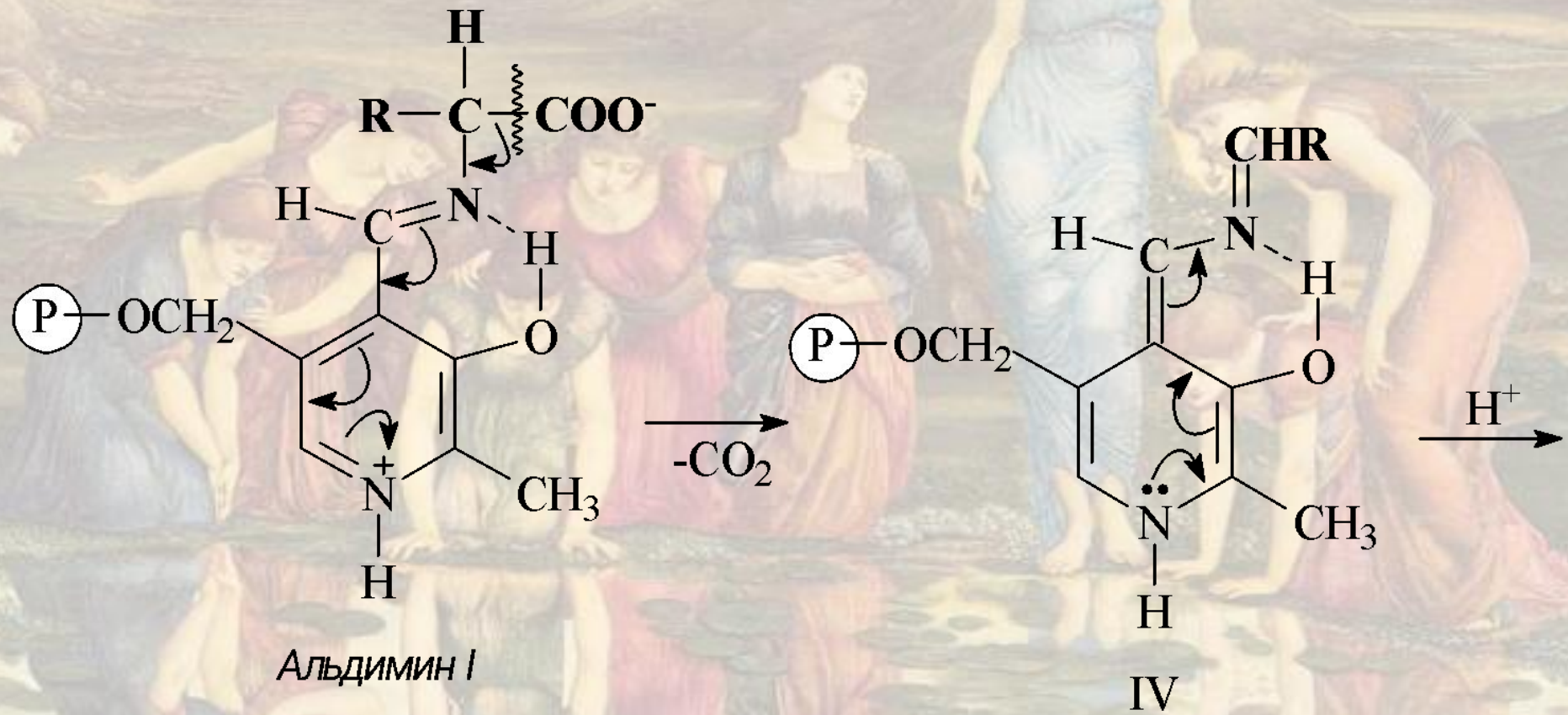
# Биологически важные химические реакции

## Декарбоксилирование



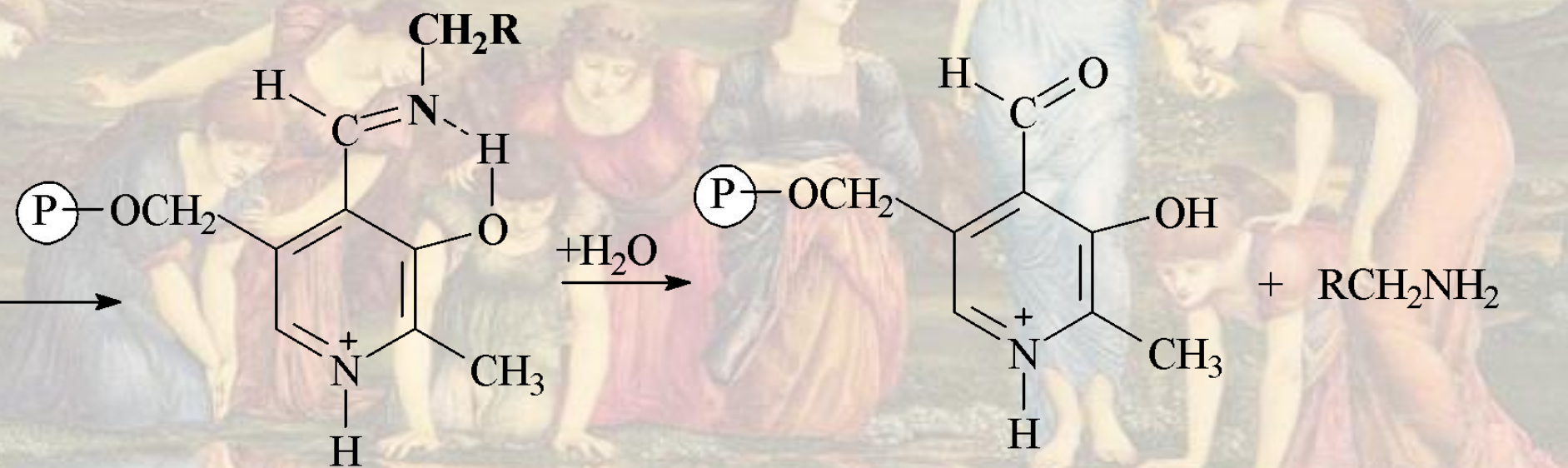
# Биологически важные химические реакции

## Декарбоксилирование в организме



# Биологически важные химические реакции

## Декарбоксилирование в организме



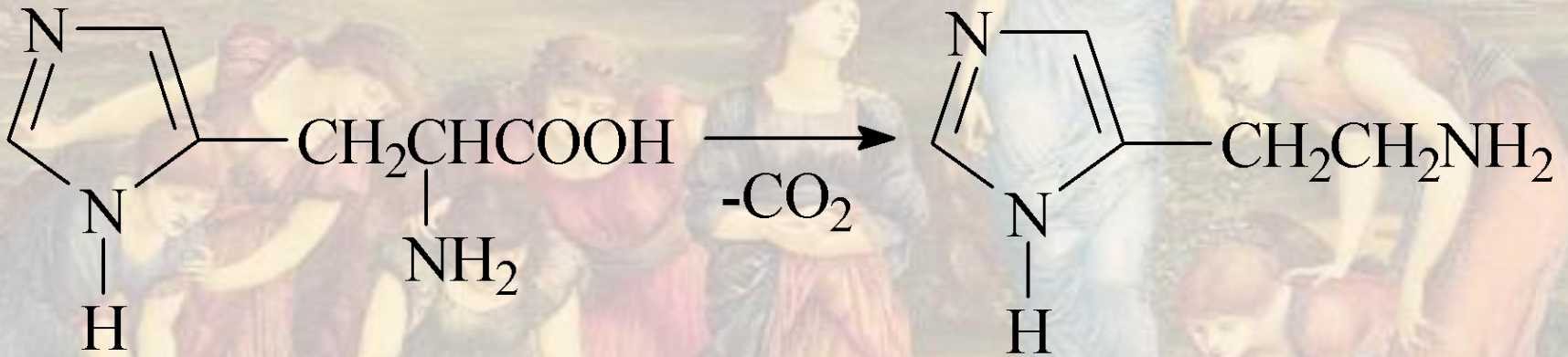
Альдимин Ia

Пиридоксальфосфат

биогенный амин

# Биологически важные химические реакции

## Декарбоксилирование в организме

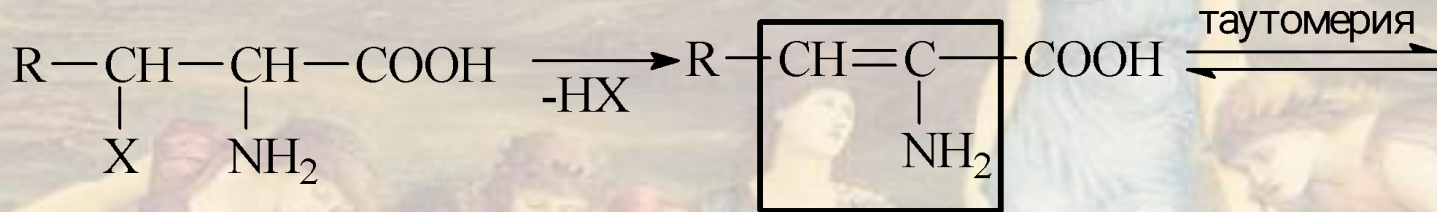


ГИСТИДИН

ГИСТАМИН

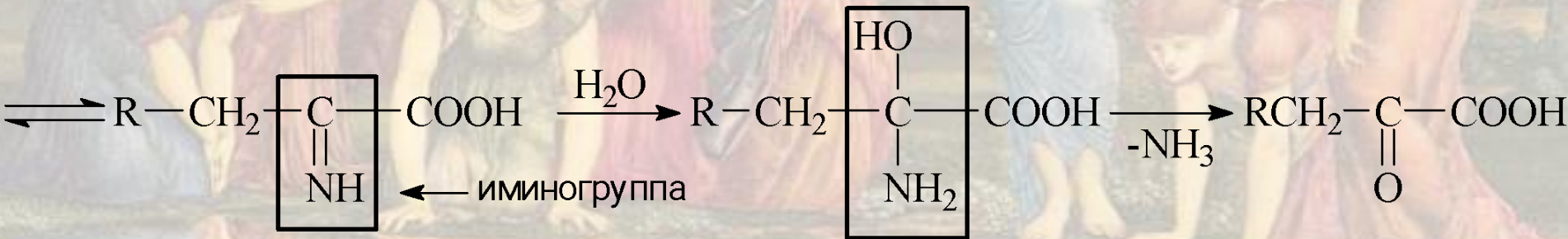
# Биологически важные химические реакции

## Элиминирование



$\beta$ -замещенная  $\alpha$ -аминокислота  
X=OH, SH

енаминный  
фрагмент



$\alpha$ -ИМИНОКИСЛОТА

← иминогруппа

карбинол-  
аминная группа

$\alpha$ -ОКСОКИСЛОТА

## элиминирование-гидратация



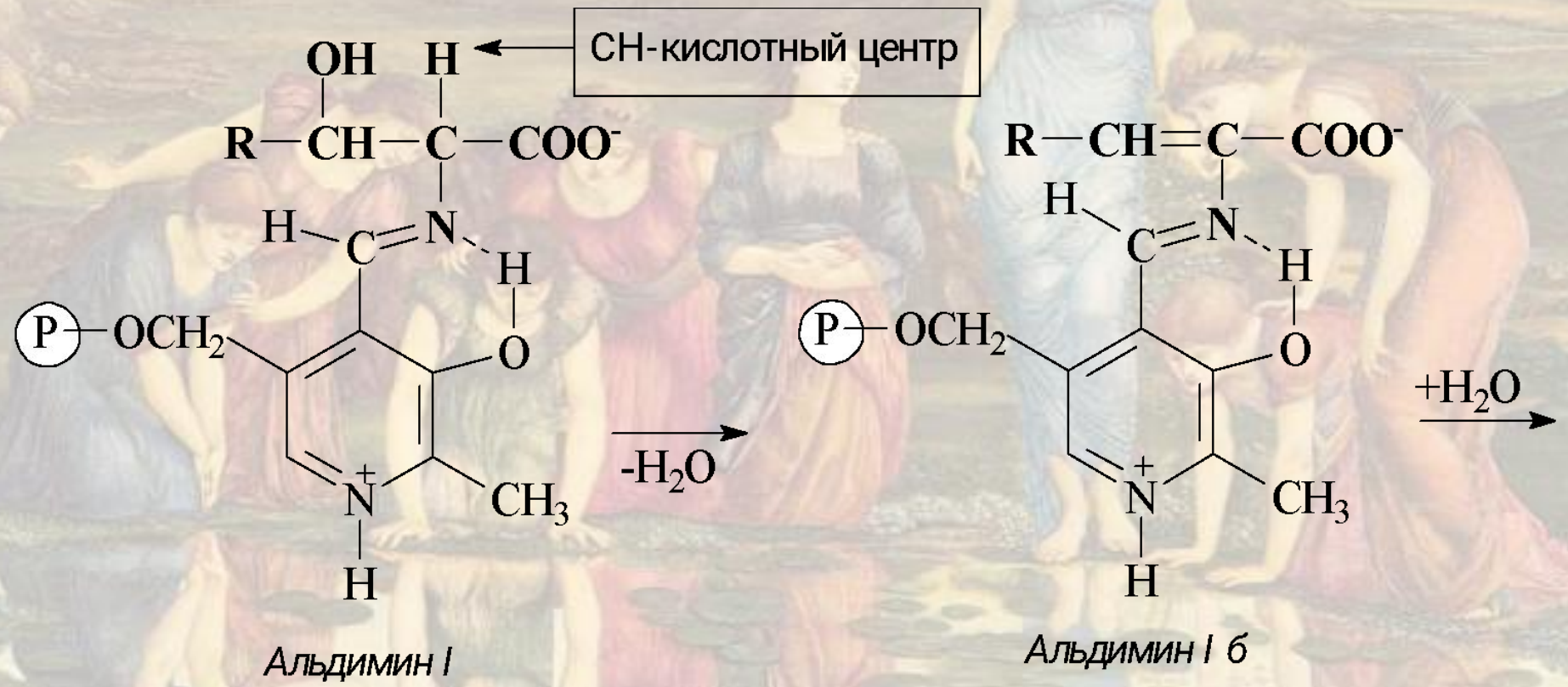
# Биологически важные химические реакции

## Элиминирование



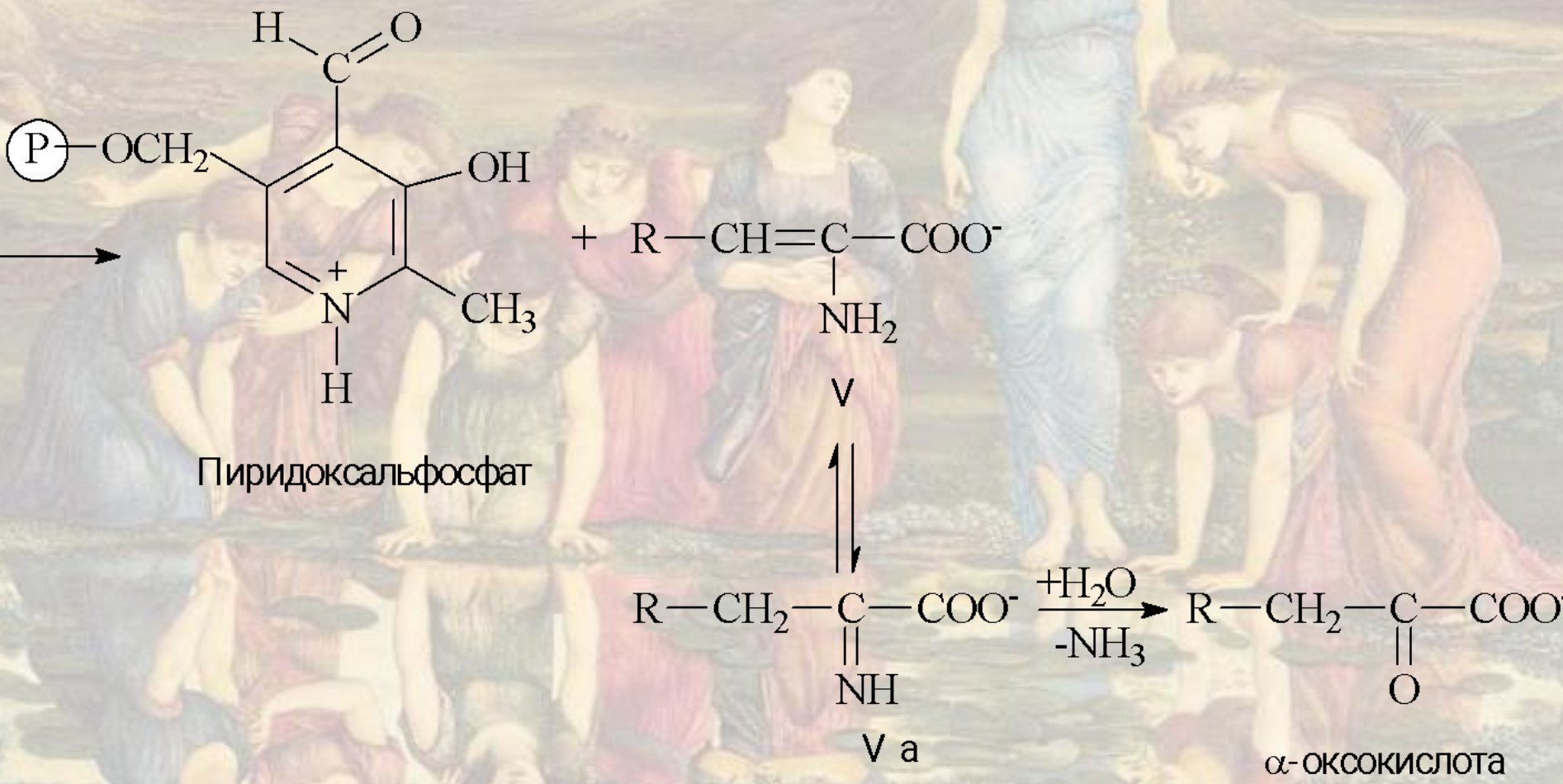
# Биологически важные химические реакции

## Элиминирование



# Биологически важные химические реакции

## Элиминирование





# Биологически важные химические реакции

## Окислительное дезаминирование

