

# Аминокислоты



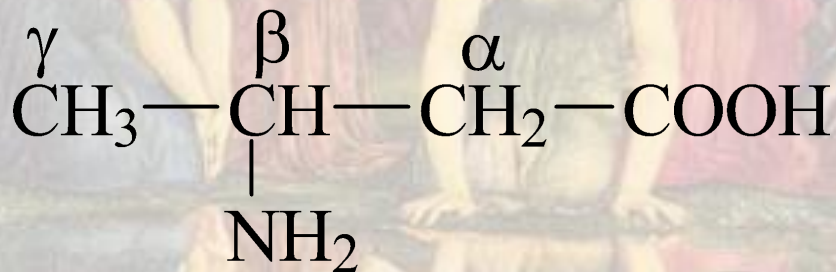
*Зеркало Венеры (1898), Sir Edward Burne-Jones / Museu Calouste Gulbenkian Lisbon / The Bridgeman Art Library)*

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.

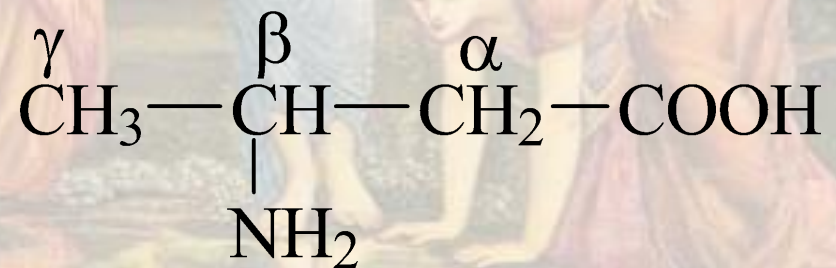
# Понятие аминокислот

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

## Классификации аминокислот



**α-аминомасляная кислота**

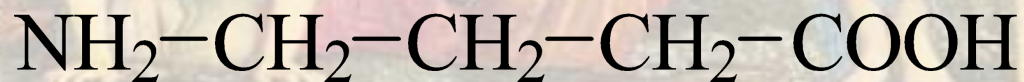


**β-аминомасляная кислота**

# Понятие аминокислот

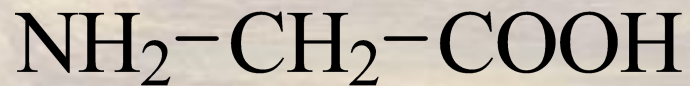
**Аминокислоты** – соединения, в молекулах которых одновременно присутствуют амино- и карбоксильные группы

## **Классификации аминокислот**

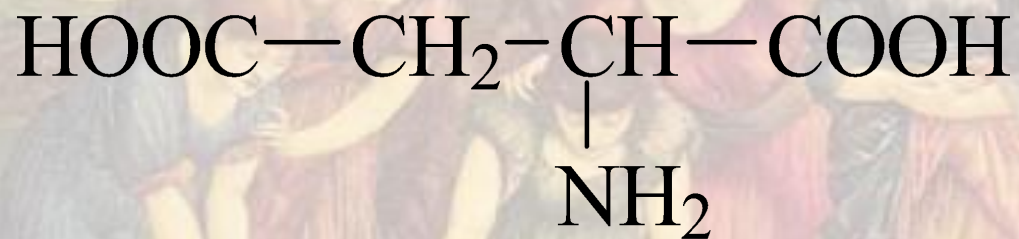


**γ-аминомасляная кислота**

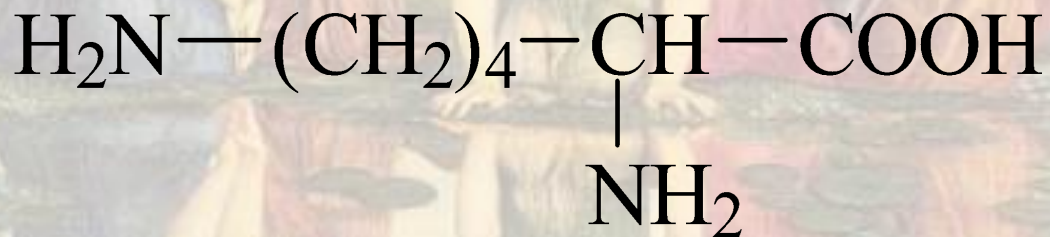
# Классификации аминокислот



**Глицин,  
моноаминомонокарбоновая  
кислота**



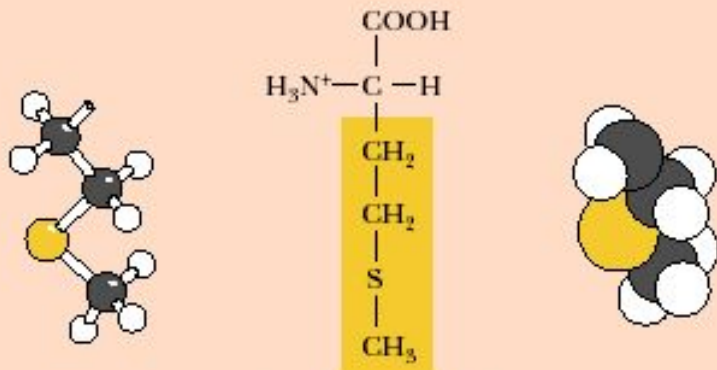
**Аспаргиновая кислота,  
моноаминодикарбоновая  
кислота**



**Лизин,  
диаминомонокарбоновая  
кислота**

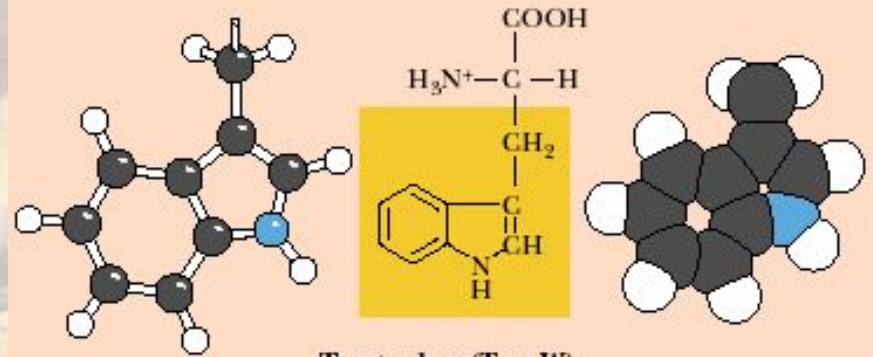
# Классификации аминокислот

## Нейтральные гидрофобные аминокислоты



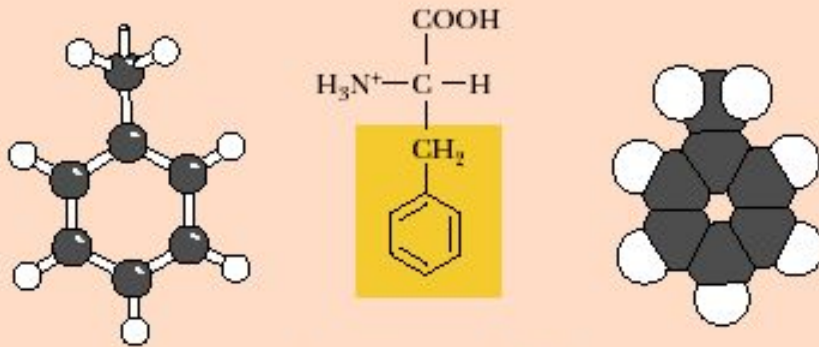
Methionine (Met, M)

**Метионин**



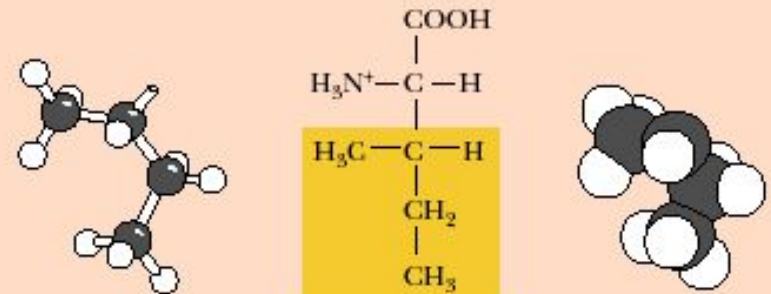
Tryptophan (Trp, W)

**Триптофан**



Phenylalanine (Phe, F)

**Фенилаланин**

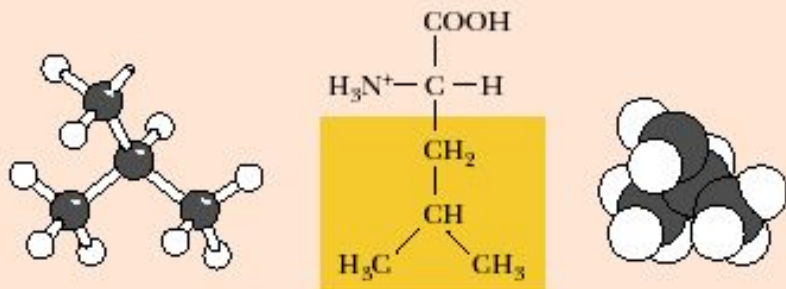


Isoleucine (Ile, I)

**Изолейцин**

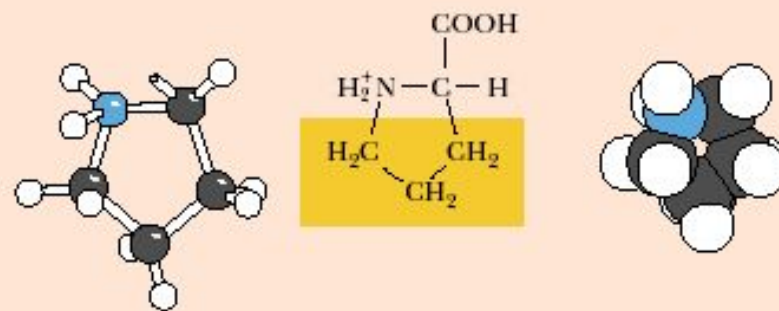
# Классификации аминокислот

## Нейтральные гидрофобные аминокислоты



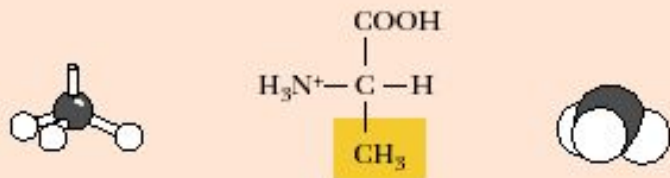
Leucine (Leu, L)

**Лейцин**



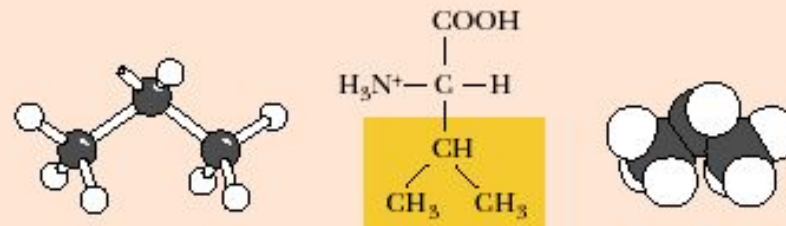
Proline (Pro, P)

**Пролин**



Alanine (Ala, A)

**Аланин**

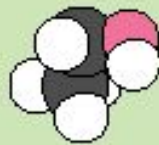
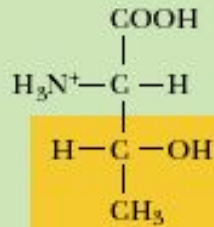
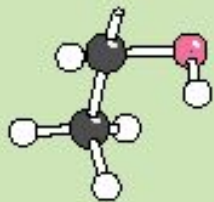


Valine (Val, V)

**Валин**

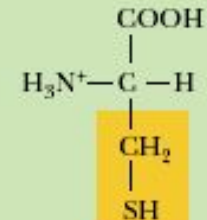
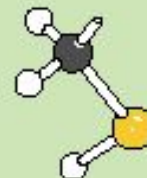
# Классификации аминокислот

## Нейтральные гидрофильные аминокислоты



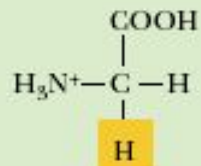
Threonine (Thr, T)

Треонин



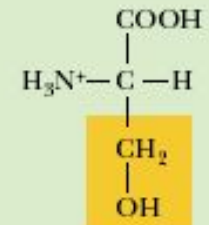
Cysteine (Cys, C)

Цистеин



Glycine (Gly, G)

Глицин

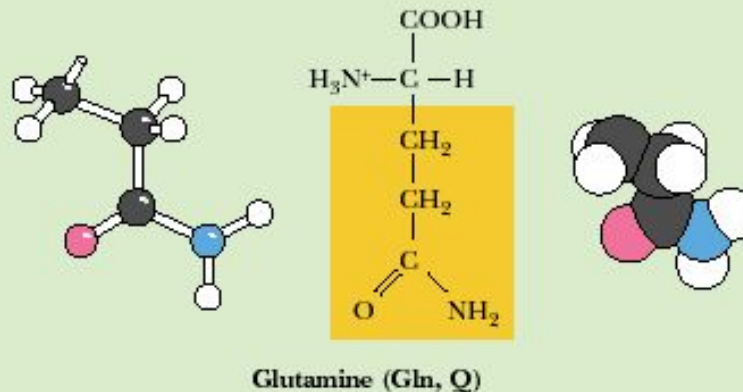
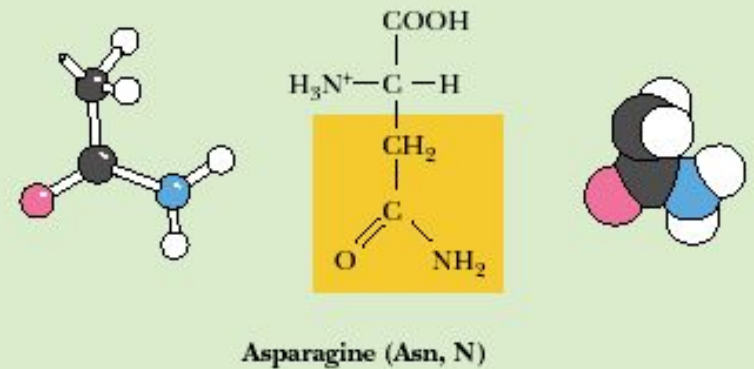
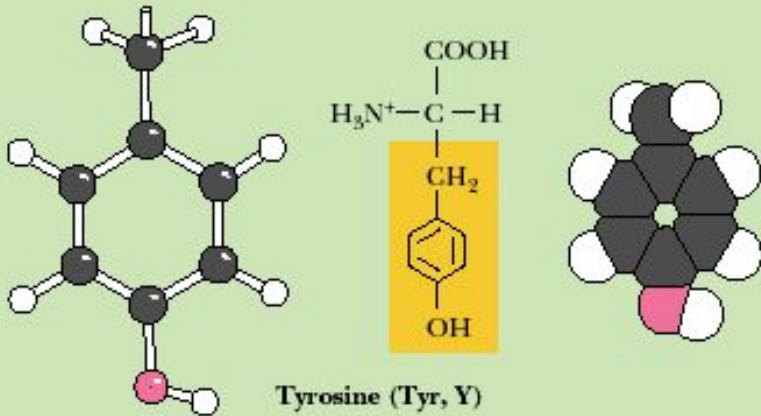


Serine (Ser, S)

Серин

# Классификации аминокислот

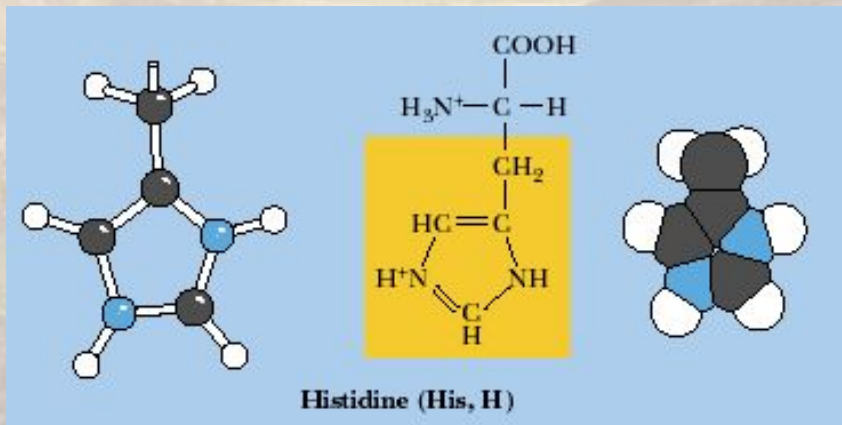
## Нейтральные гидрофильные аминокислоты



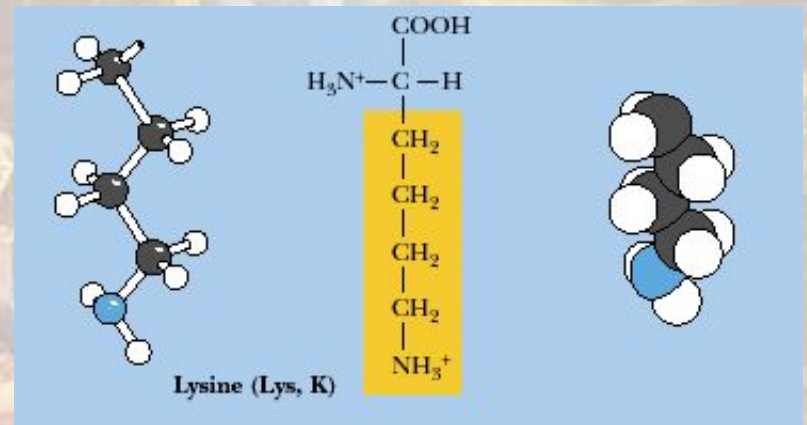


# Классификации аминокислот

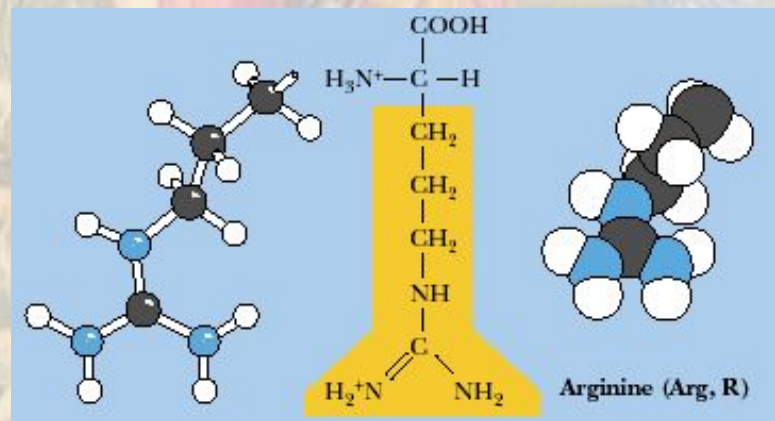
## Основные аминокислоты



Гистидин



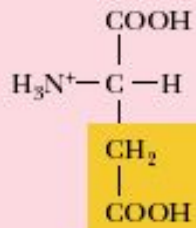
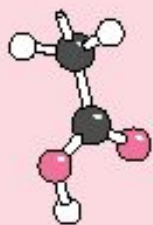
Лизин



Аргинин

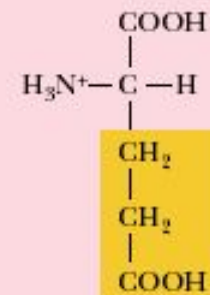
# Классификации аминокислот

## 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

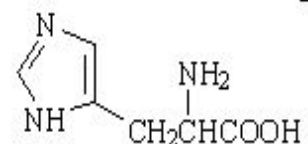
# Природные источники аминокислот

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

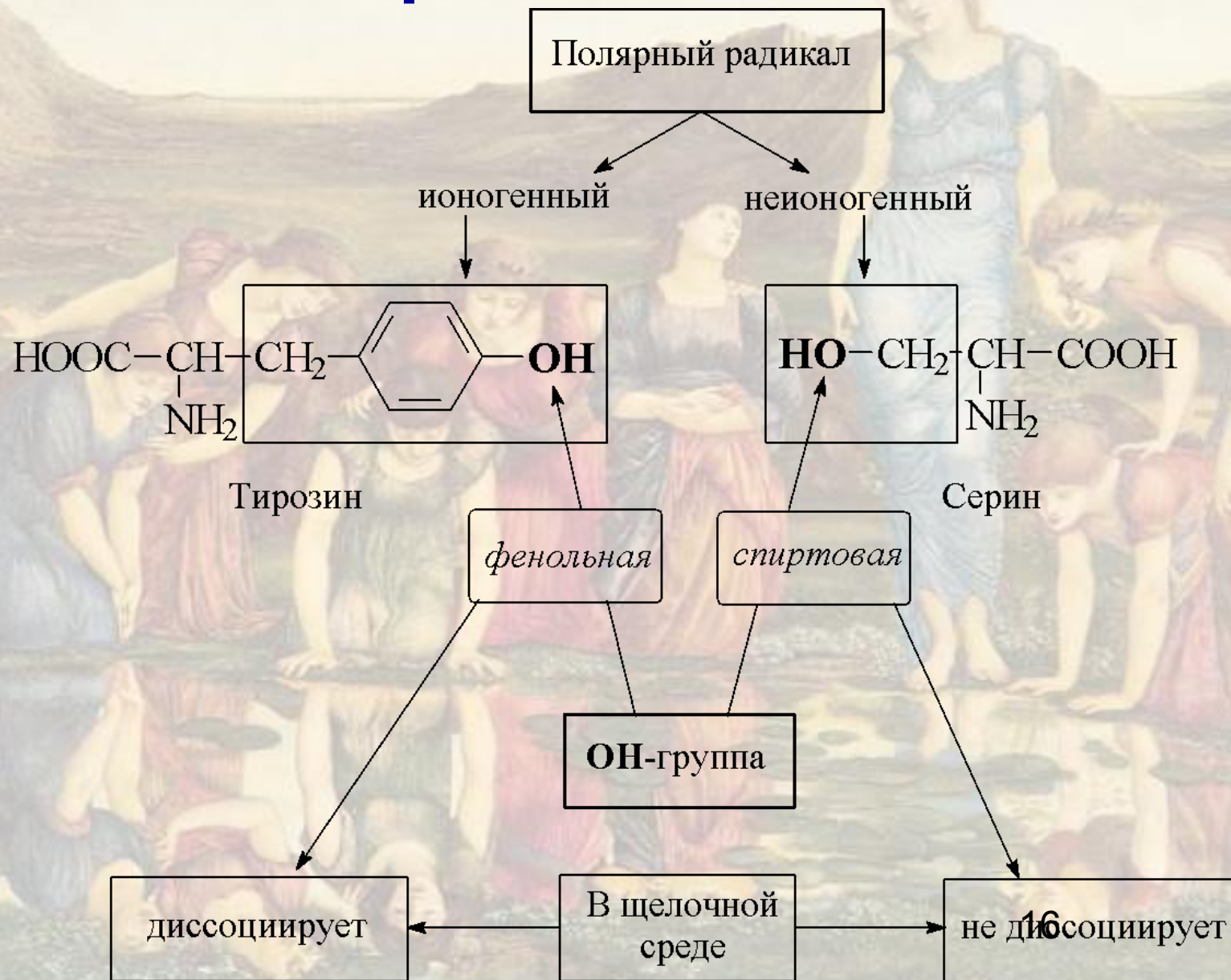
# Классификации аминокислот

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%), трипсиноген (16,7%), 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%), 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%), 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%), кератин перьев (8,2%), кератин шерсти (11,9%)	5.02

# Классификации аминокислот

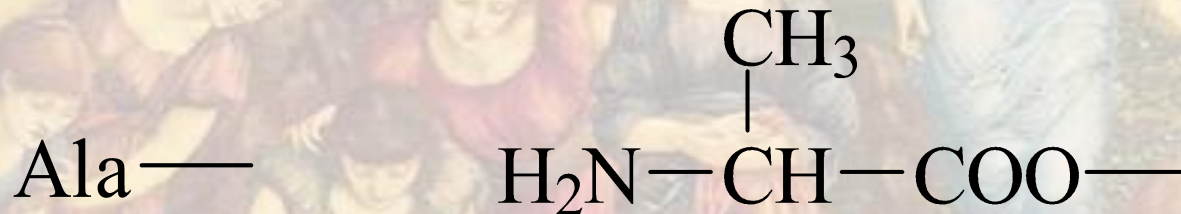
в) Кислые аминокислоты (ионогенные)					
Аспарагиновая кислота	Asp	$\text{HOOC}-\text{CH}_2-\underset{\text{NH}_2}{\text{CH}}-\text{COOH}$	Риттхаузен, бобовые (1868)	эдестин (12,0%), глобулин ячменя (10,3%)	3,20
Глутаминовая кислота	Glu	$\text{HOOC}-\text{CH}_2\text{CH}_2-\underset{\text{NH}_2}{\text{CH}}-\text{COOH}$	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	$\text{H}_2\text{N}-\underset{\text{H}_2\text{N}}{\text{C}}=\text{NH}-\text{NH}-\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\underset{\text{NH}_2}{\text{CH}}\text{COOH}$	Шульце и др., проростки люпина (1886)	сальмин (86,4%), желатин (8,3%)	10.7 6
Гистидин	His		Коссель, стурин (1896)	гемоглобин (7,0%)	7.58

# Классификации аминокислот

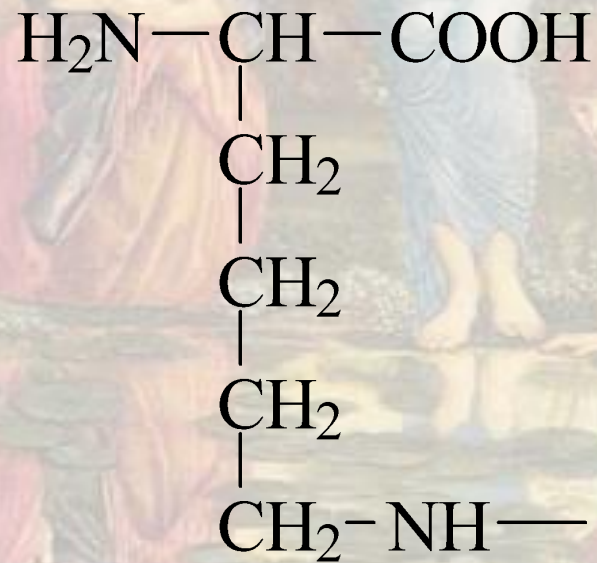
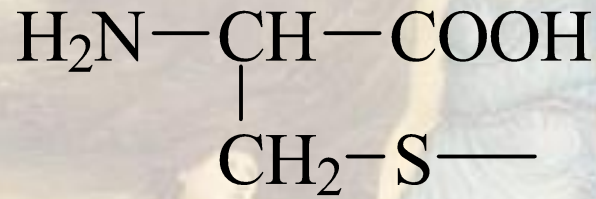




# Номенклатура аминокислот



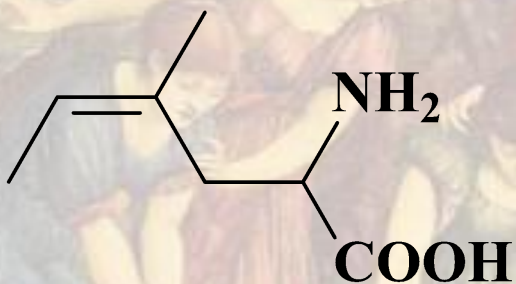
# Номенклатура аминокислот



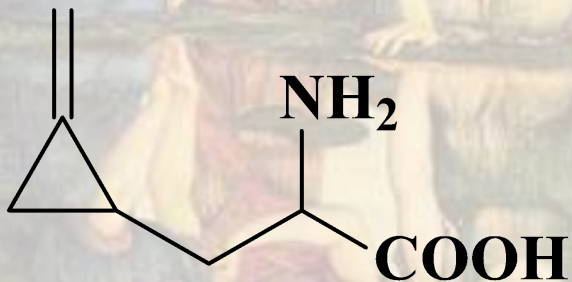
# Природные аминокислоты

## Протеиногенные аминокислоты

## Некоторые непротеиногенные аминокислоты



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



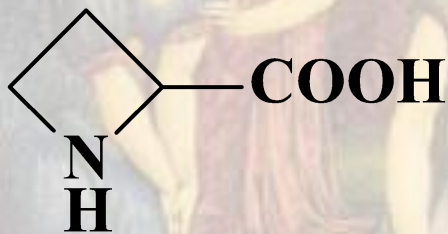
Гипоглицин А (*Blighia sapida*)

# Природные аминокислоты

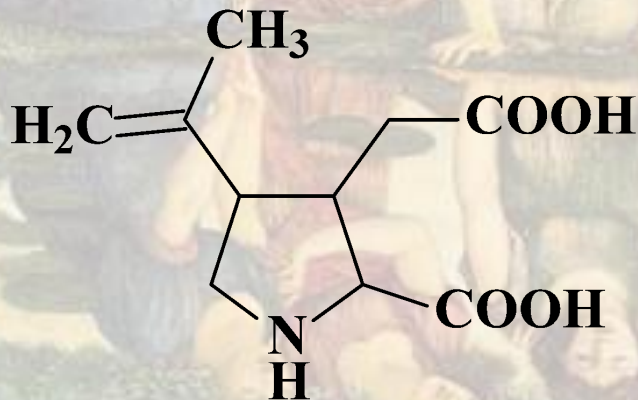
## Некоторые непротеиногенные аминокислоты



1-аминоциклопропанкарбоновая кислота  
(биологический источник этилена в растениях)



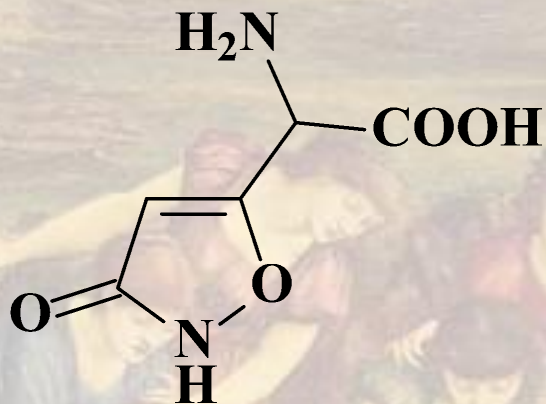
Азетидин-2-карбоновая кислота (*Liliaceae*)



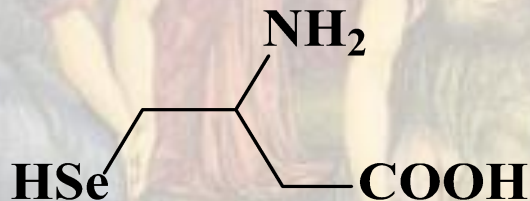
Каинова кислота (из водоросли *Digneia simplex*)

# Природные аминокислоты

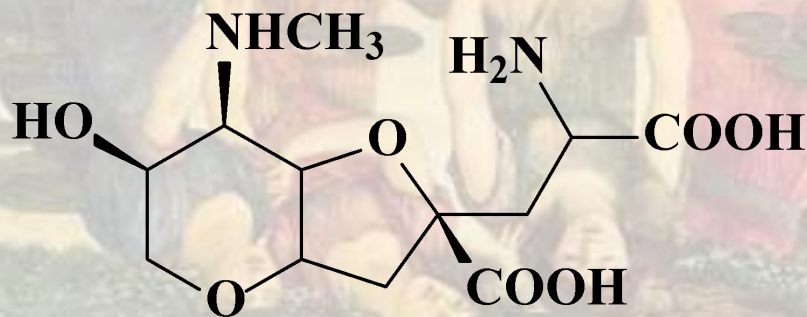
## Некоторые непротеиногенные аминокислоты



Иботеновая кислота (из мухомора, инсектицид)

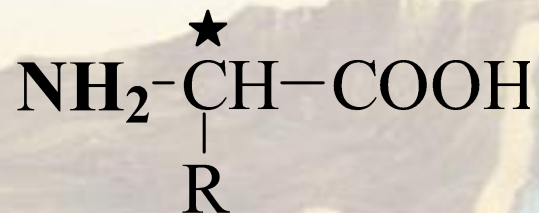


Селеноцистеин (активный центр ферментов типа глутатион пероксидазы)

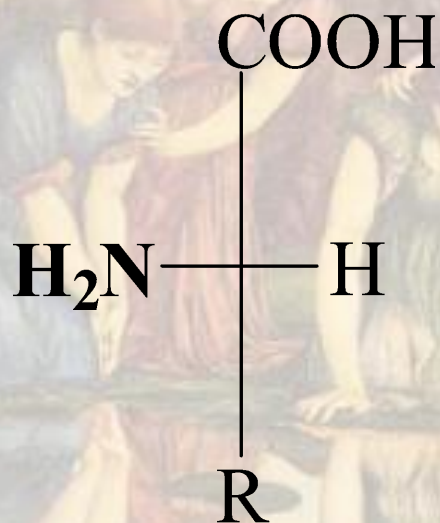


Дисигербарин (*Dysiherbarine*); нейротоксин из морской губки *Dysidea herbacea*

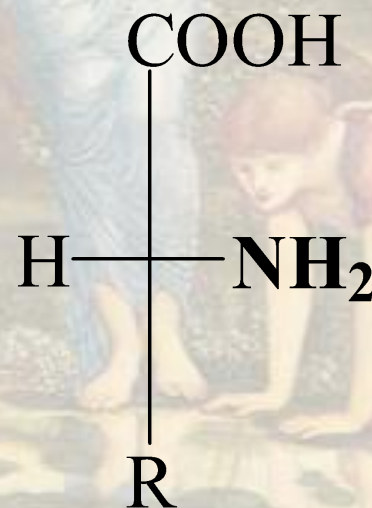
# Стереохимия аминокислот



**α-аминокислота**

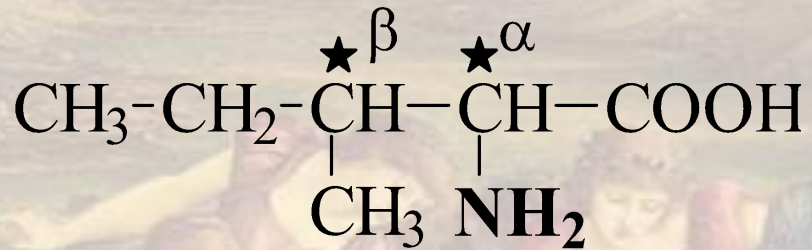


**L-α-аминокислота**

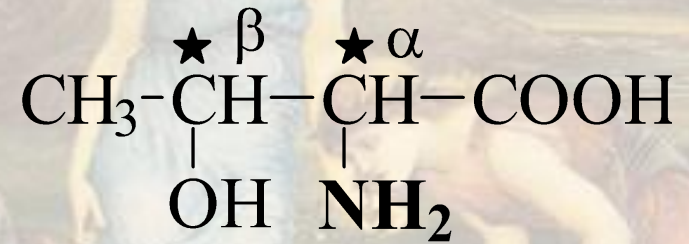


**D-α-аминокислота**

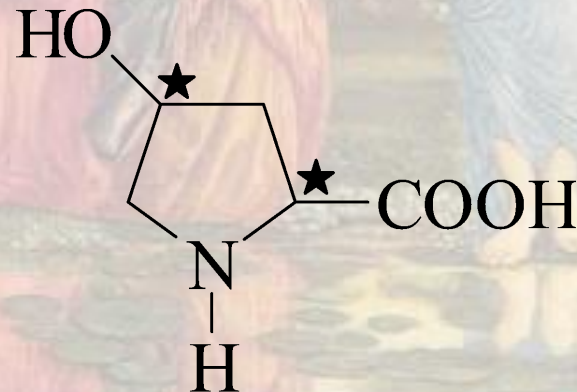
# Стереохимия аминокислот



Изолейцин

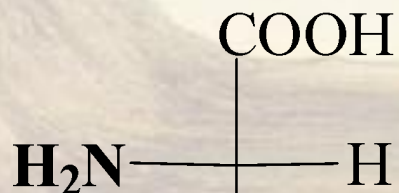


Треонин



4-гидроксипролин

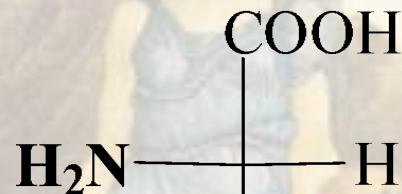
# Стереохимия аминокислот



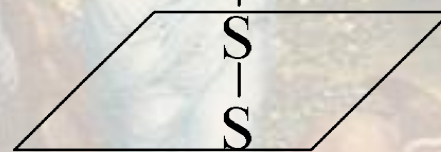
**L-цистин**



**D-цистин**



**Мезоформа цистина**

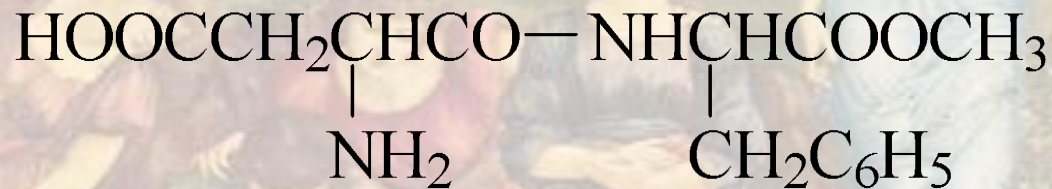


*плоскость  
симметрии*



# Стереохимия аминокислот

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

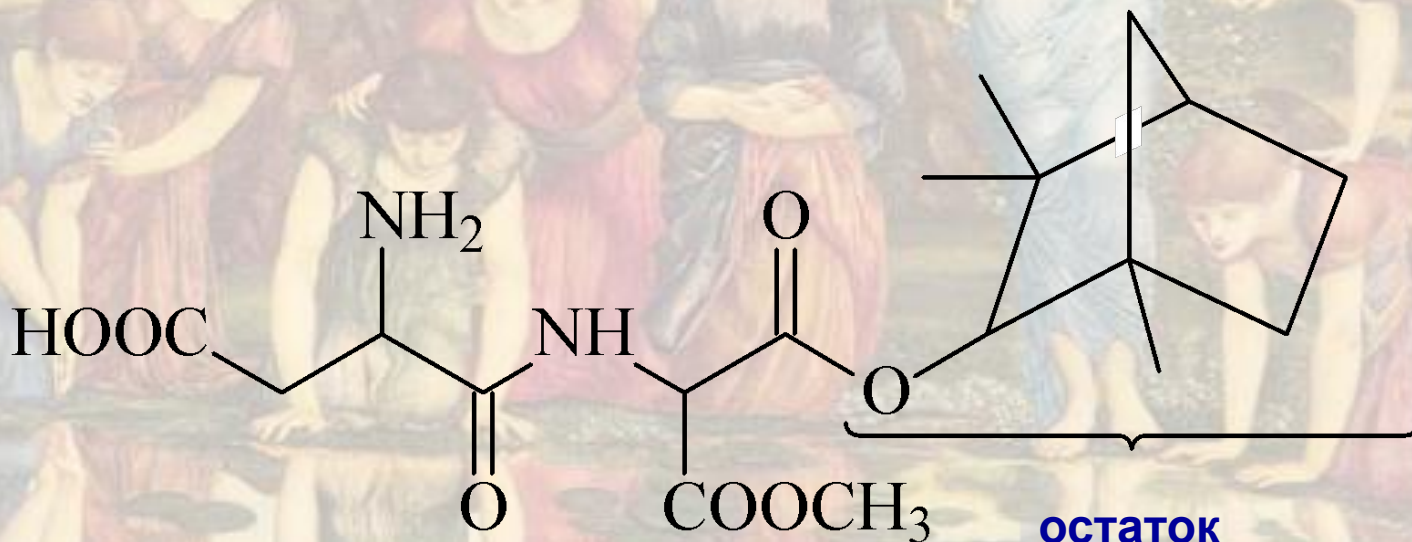


Остаток  
L-аспарагиновой  
кислоты

Остаток  
метилового эфира  
L-фенилаланина

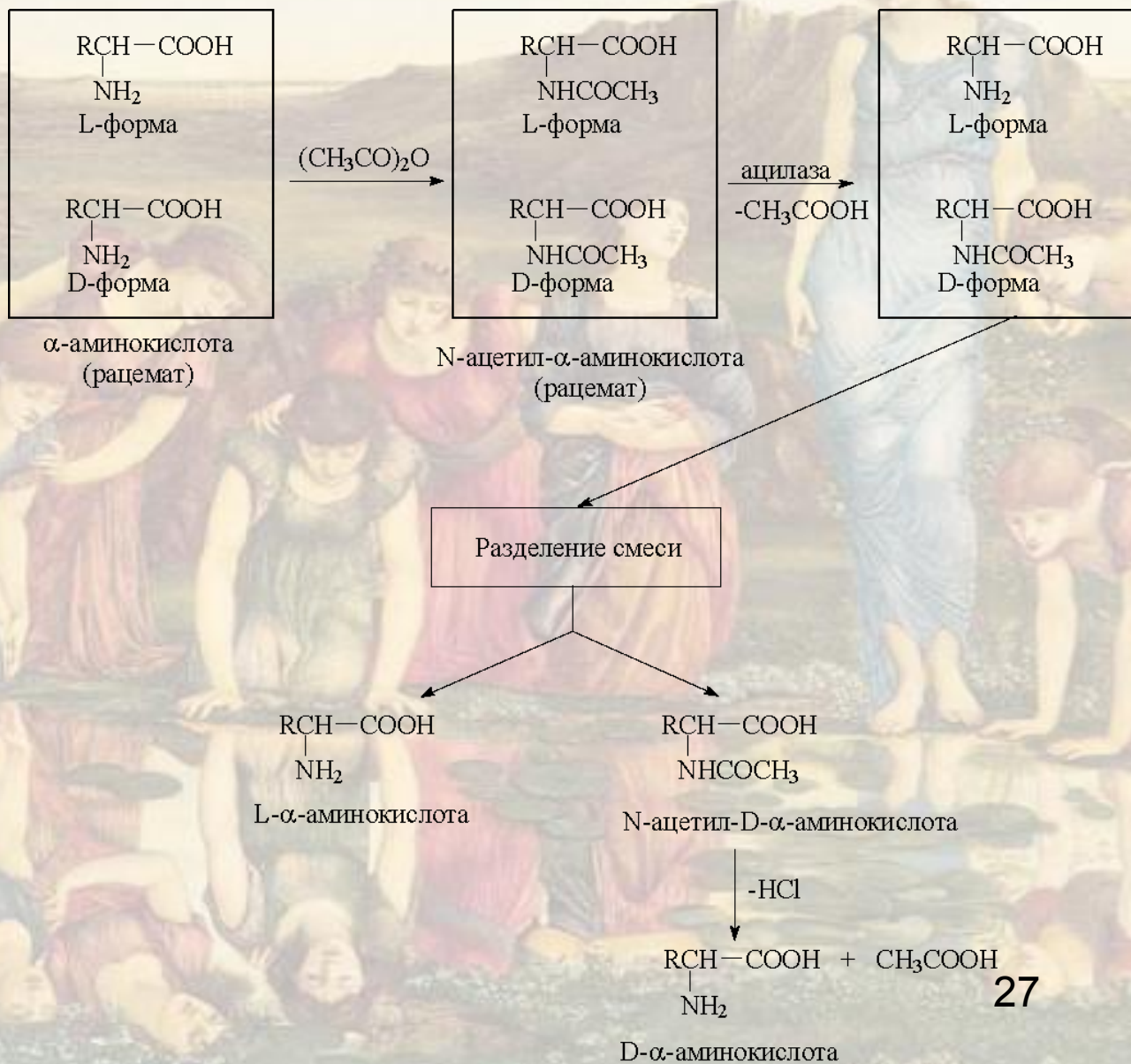
# Стереохимия аминокислот

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

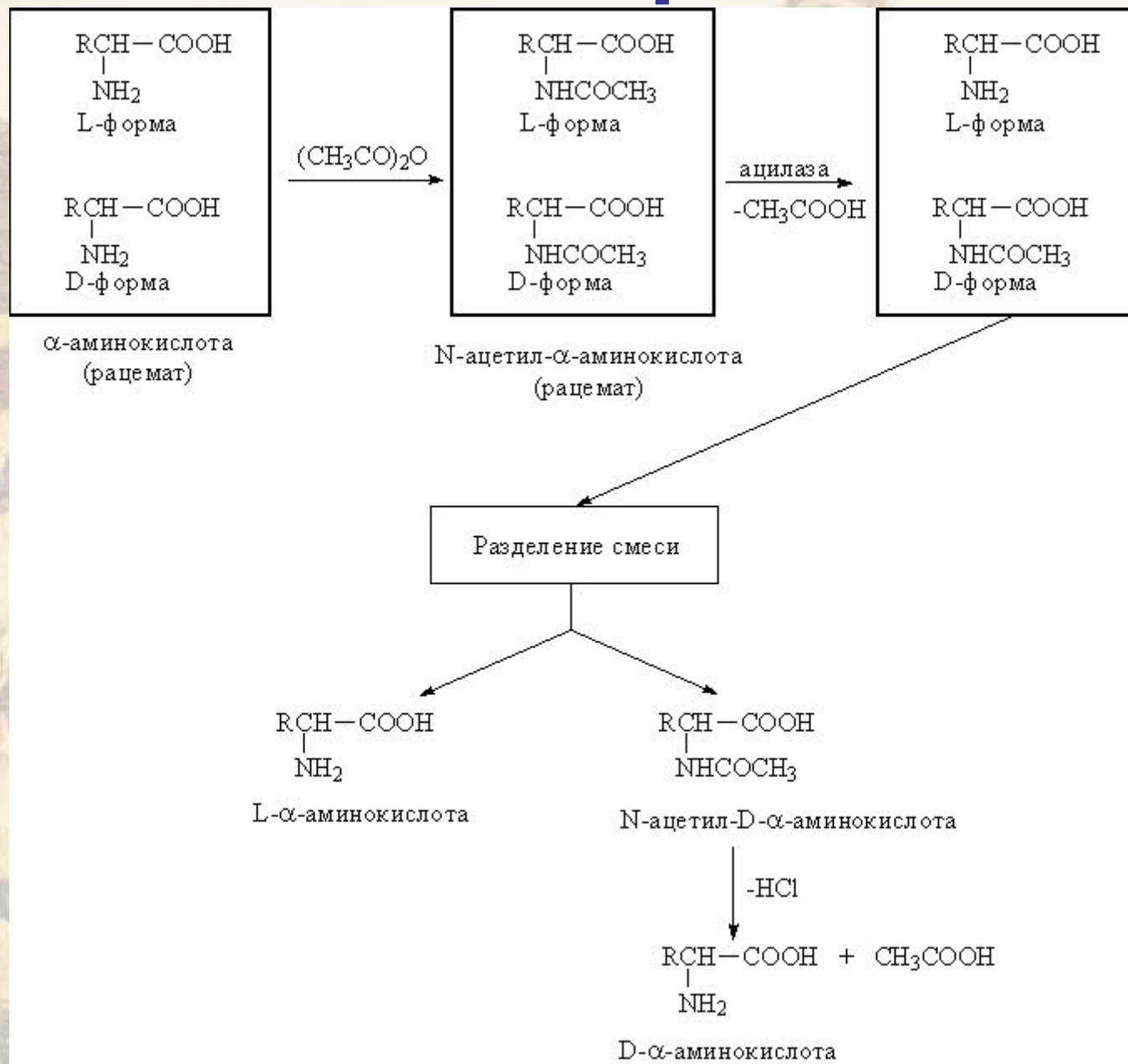


остаток  
спирта  
фенхола

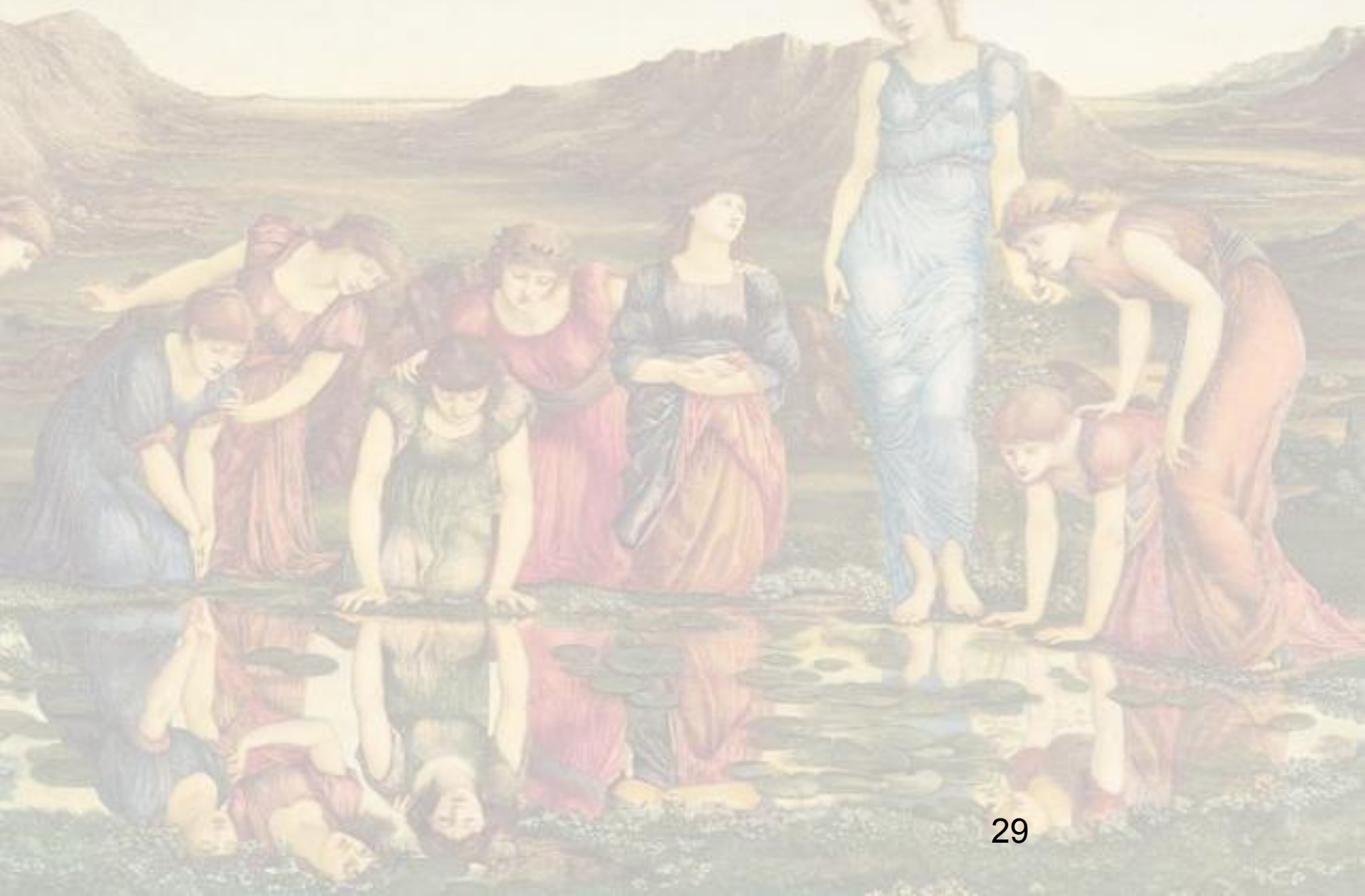
# Расщепление рацематов



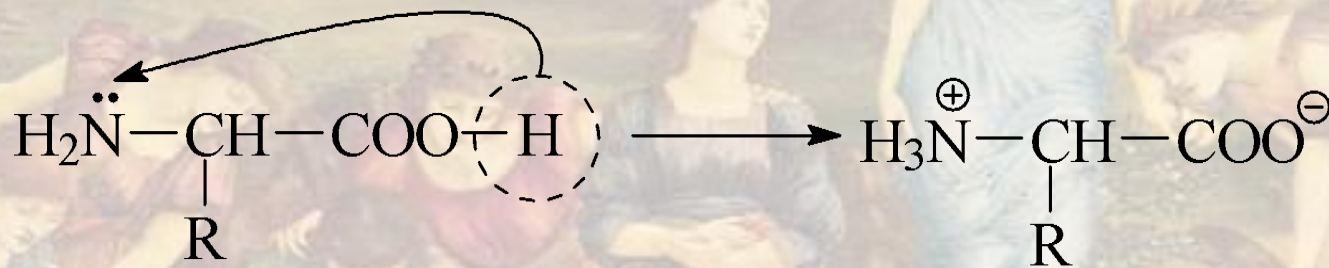
# Расщепление рацематов



# Разделение аминокислот (эллюирование)



# Физические и химические свойства



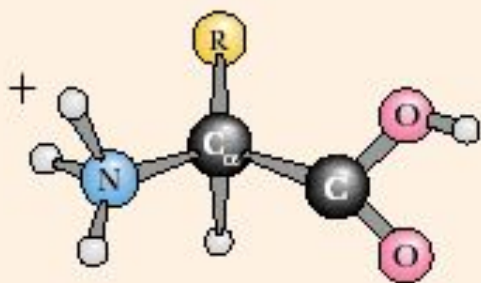
**Несуществующая  
в природе форма**

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

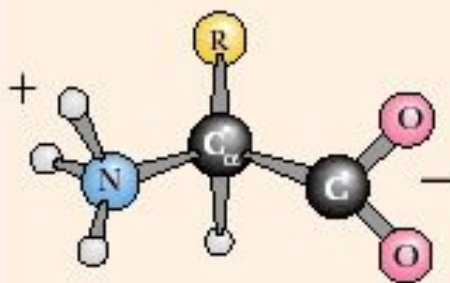
# Физические и химические свойства

## Кислотно-основные свойства

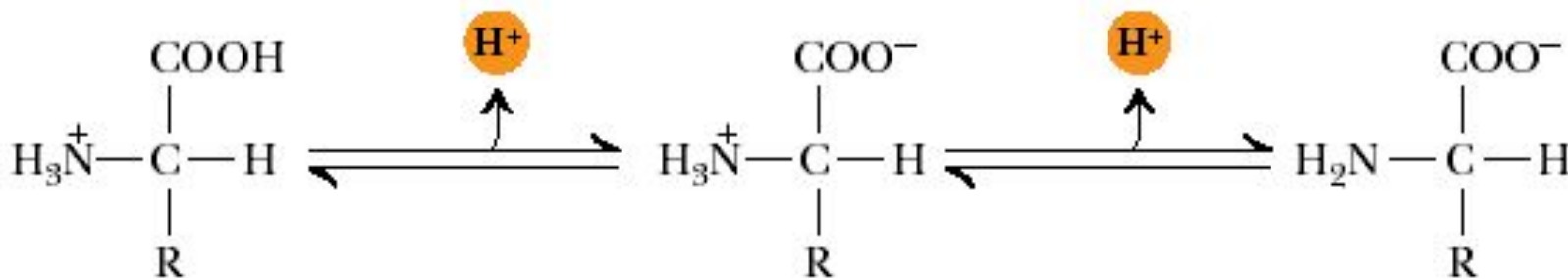
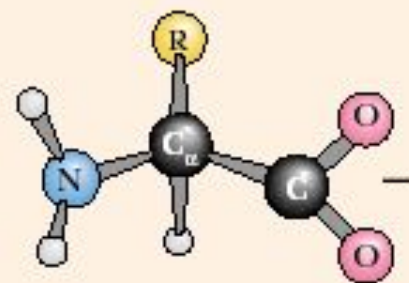
pH 1 Заряд +1



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

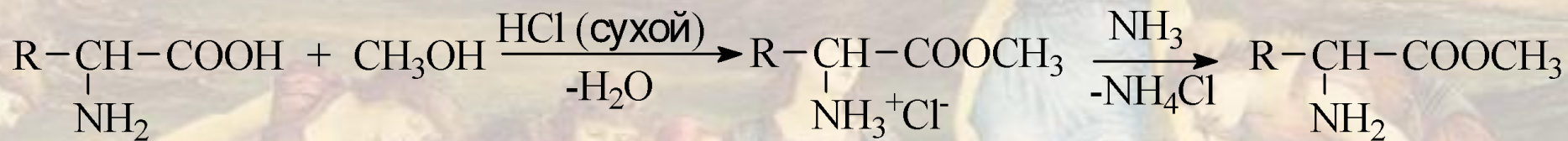
# Физические и химические свойства

## 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

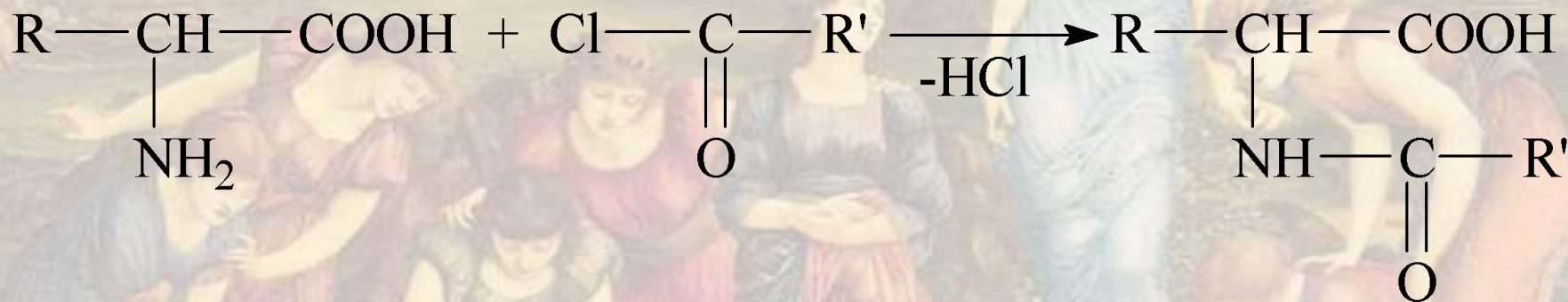
$T_{\text{кип}} = 130^\circ\text{C}$ .

Э. Фишер (1901)



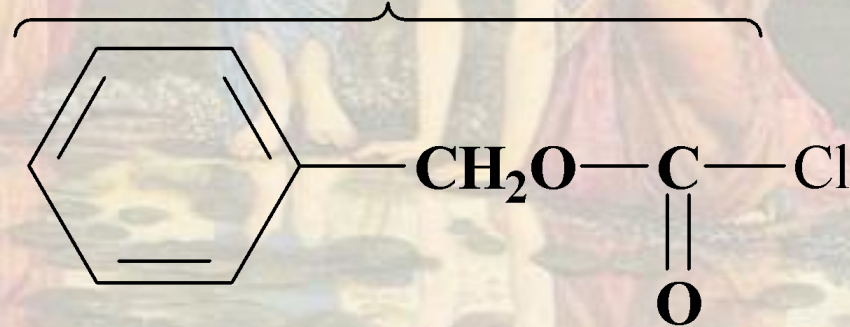
# Физические и химические свойства

## Образование N-ацильных производных



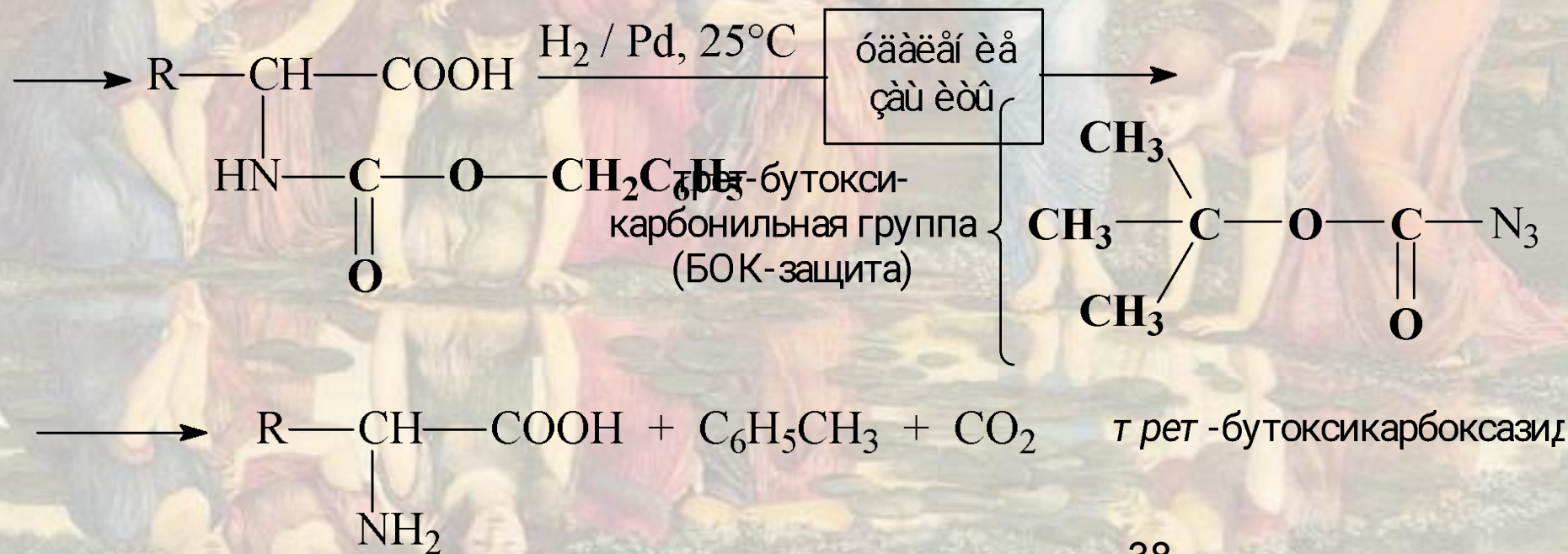
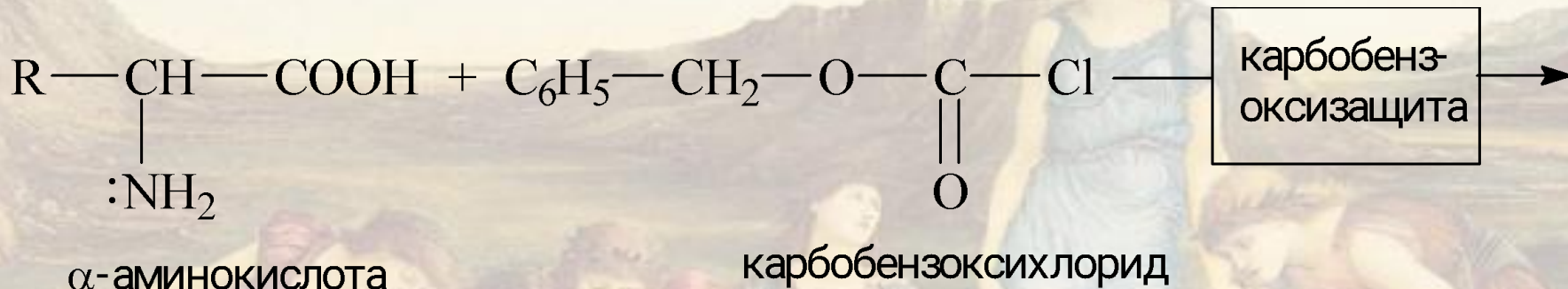
карбобензоксигруппа

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



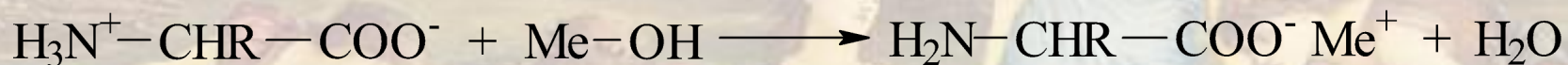
карбобензоксихлорид

# Физические и химические свойства

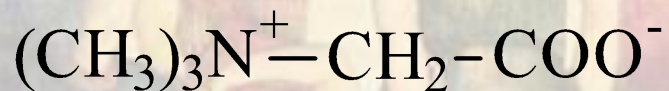
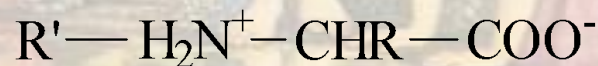
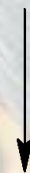
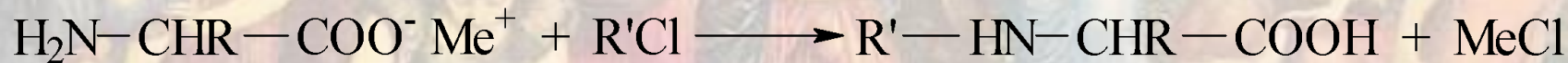


# Физические и химические свойства

## Реакции с участием только аминогруппы



### Алкилирование

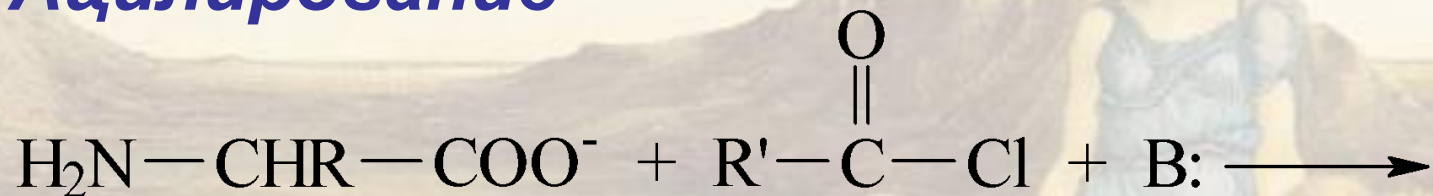


N,N,N-триметилглицин

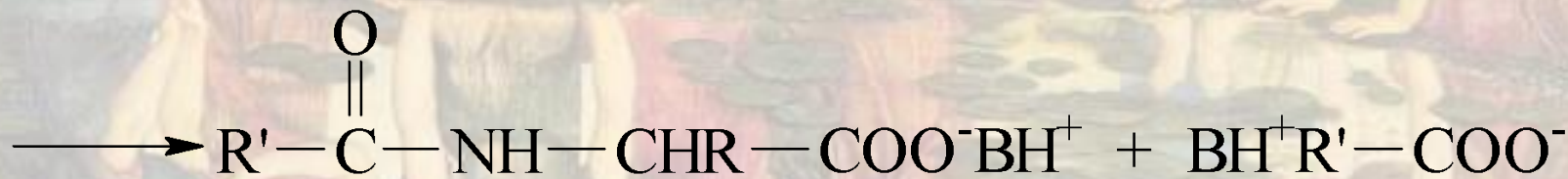
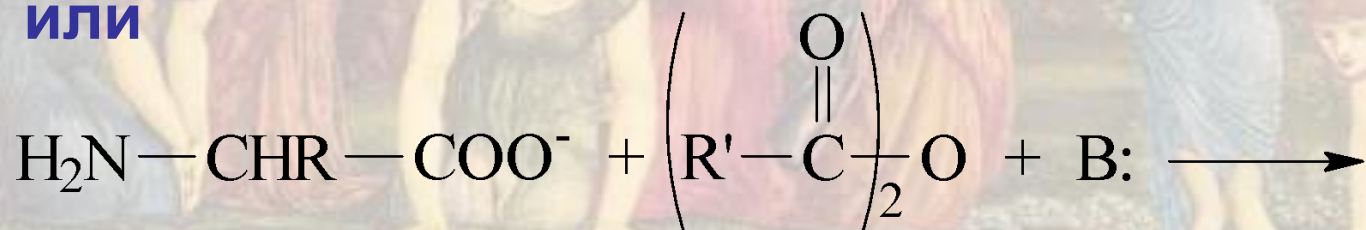
Простейший бетаин -  
производное глицина - был  
впервые обнаружен в соке  
столовой свеклы *Beta vulgaris*

# Физические и химические свойства

## Ацилирование



или

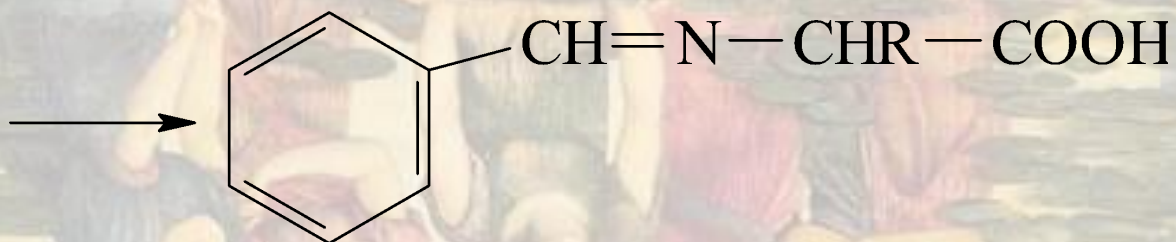
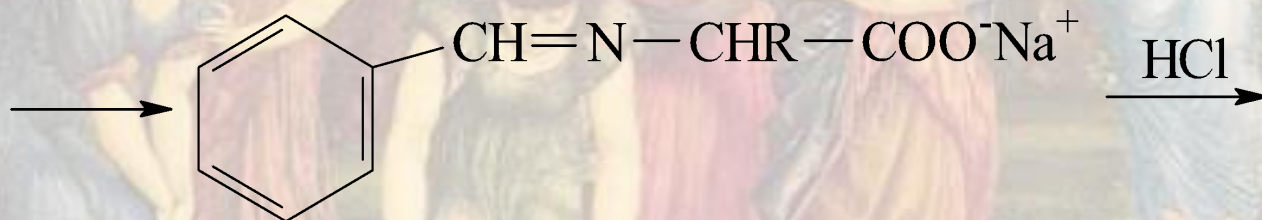
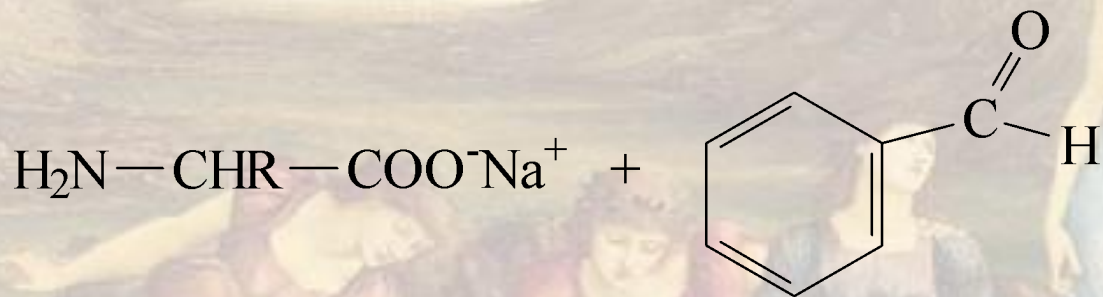


Ацилирование в условиях Шоттена-Бауманна



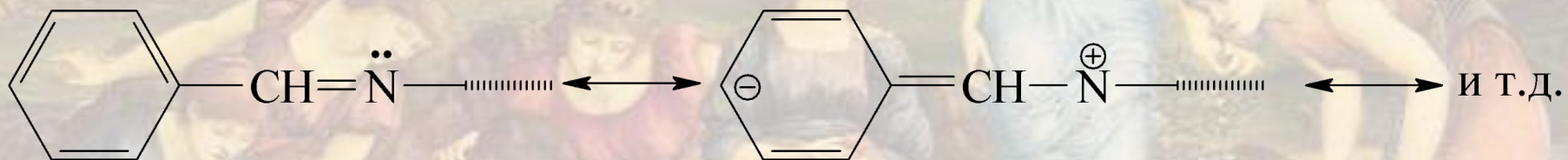
# Физические и химические свойства

## Образование оснований Шиффа



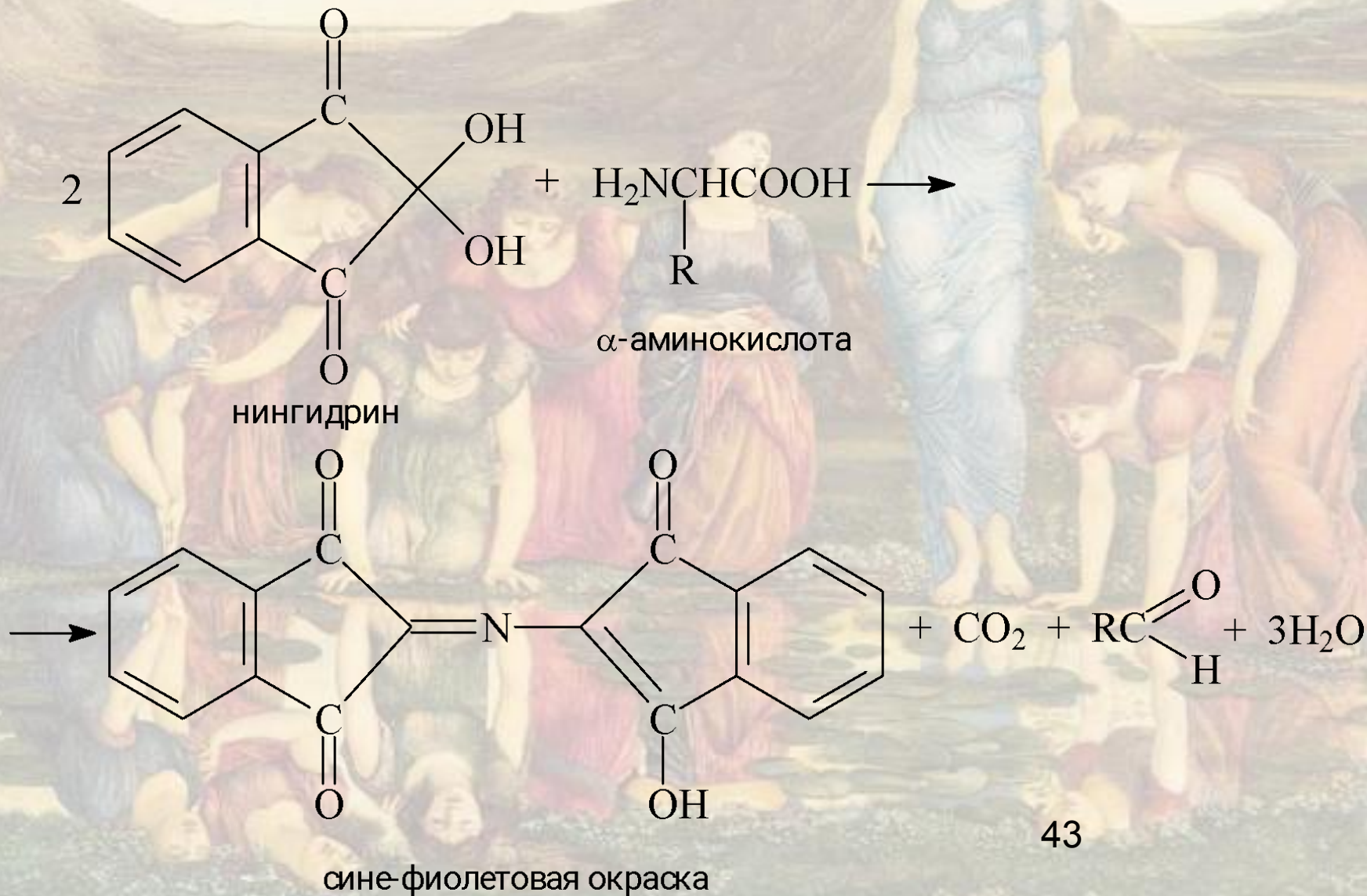
# Физические и химические свойства

## Образование оснований Шиффа



# Физические и химические свойства

## «Нингидриновая реакция»



# Физические и химические свойства *«Нингидриновая реакция»*



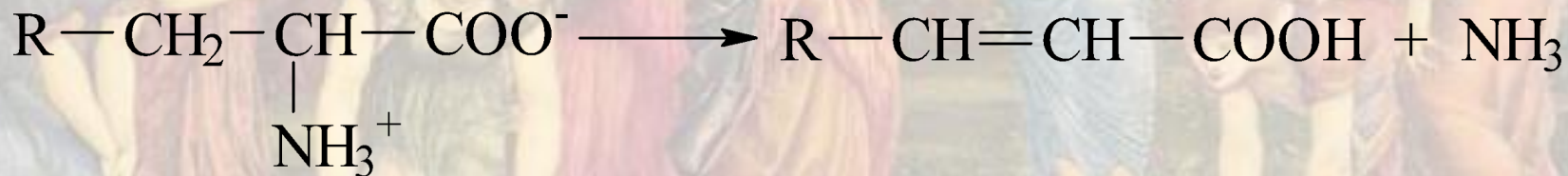
# Физические и химические свойства

## Дезаминирование аминокислот



*Метод Ван-Слайка*

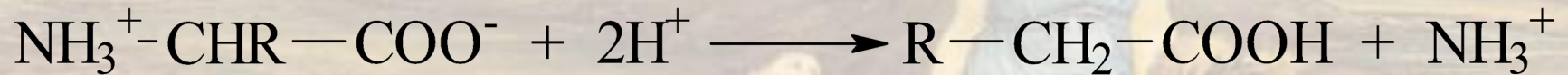
### ***А. Внутримолекулярное дезаминирование***



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

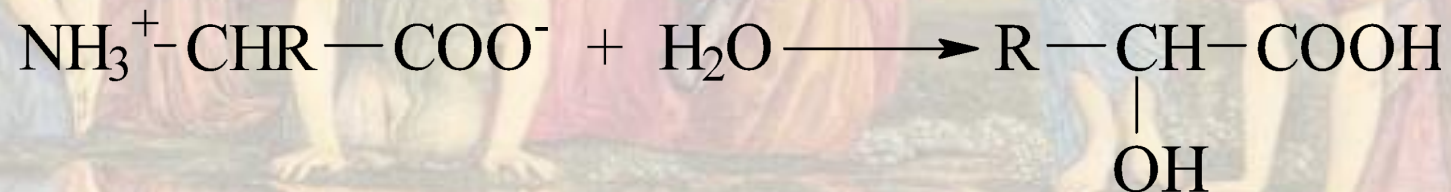
# Физические и химические свойства

## Б. Восстановительное дезаминирование



(у некоторых микроорганизмов )

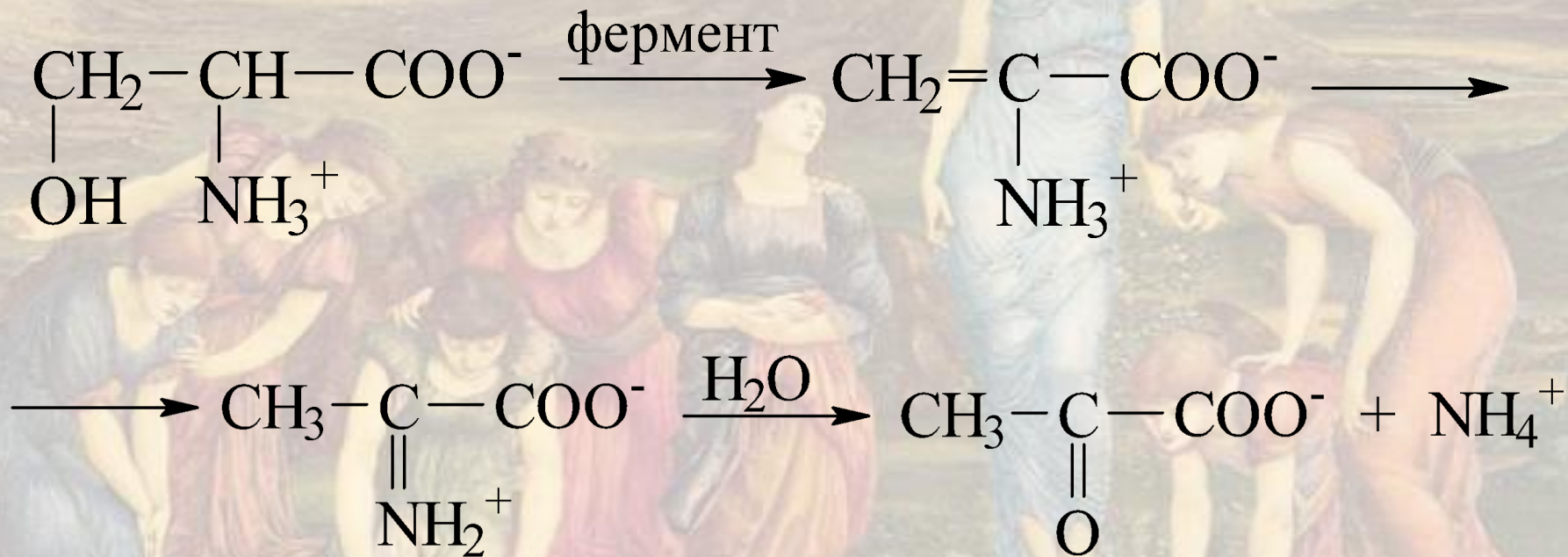
## В. Гидролитическое дезаминирование



(тип дезаминирования, характерный для микроорганизмов)

# Физические и химические свойства

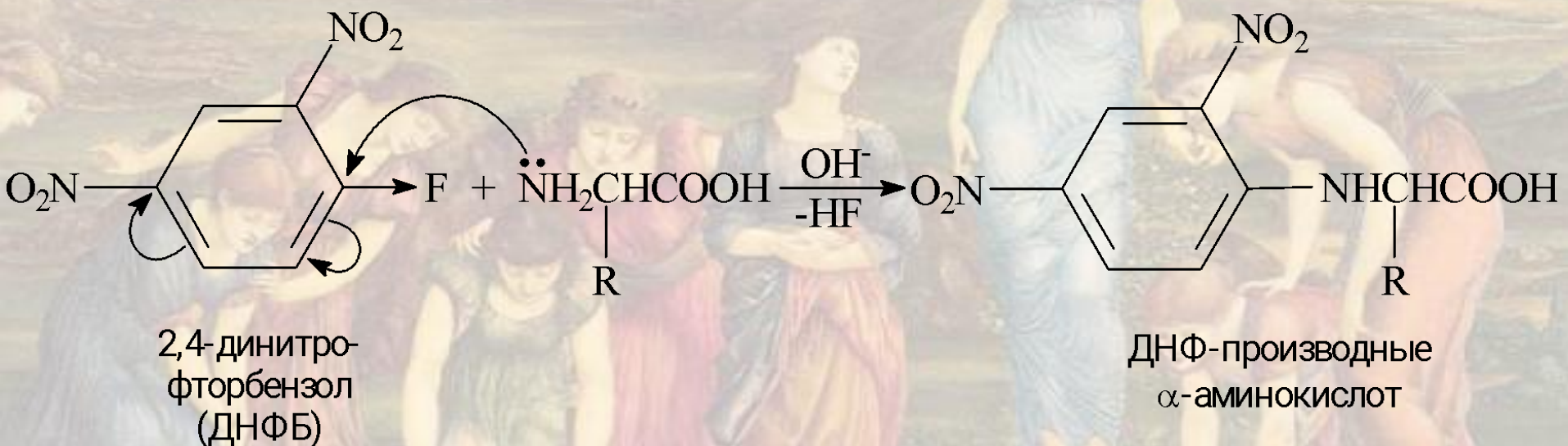
## Г. Дегидратазное дезаминирование



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

# Физические и химические свойства

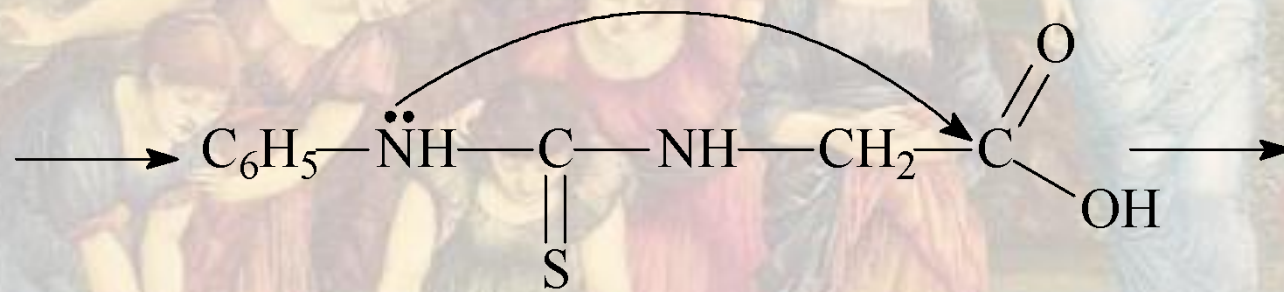
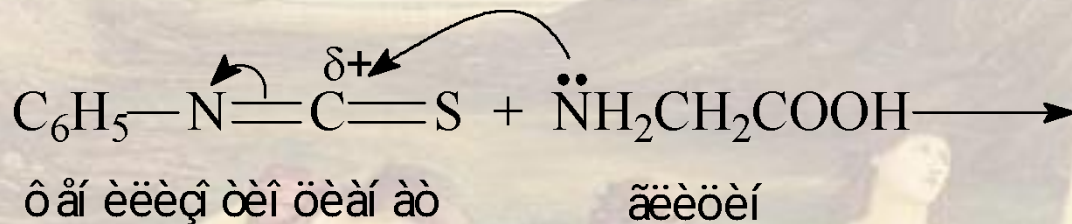
## Образование ДНФ-производных





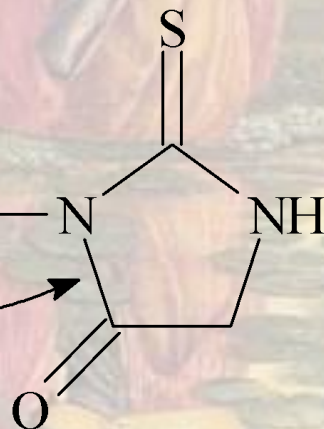
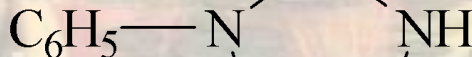
# Физические и химические свойства

## Образование ФТГ-производных (реакция Эдмана)



циклизация;  $\text{H}^+$

$-\text{H}_2\text{O}$



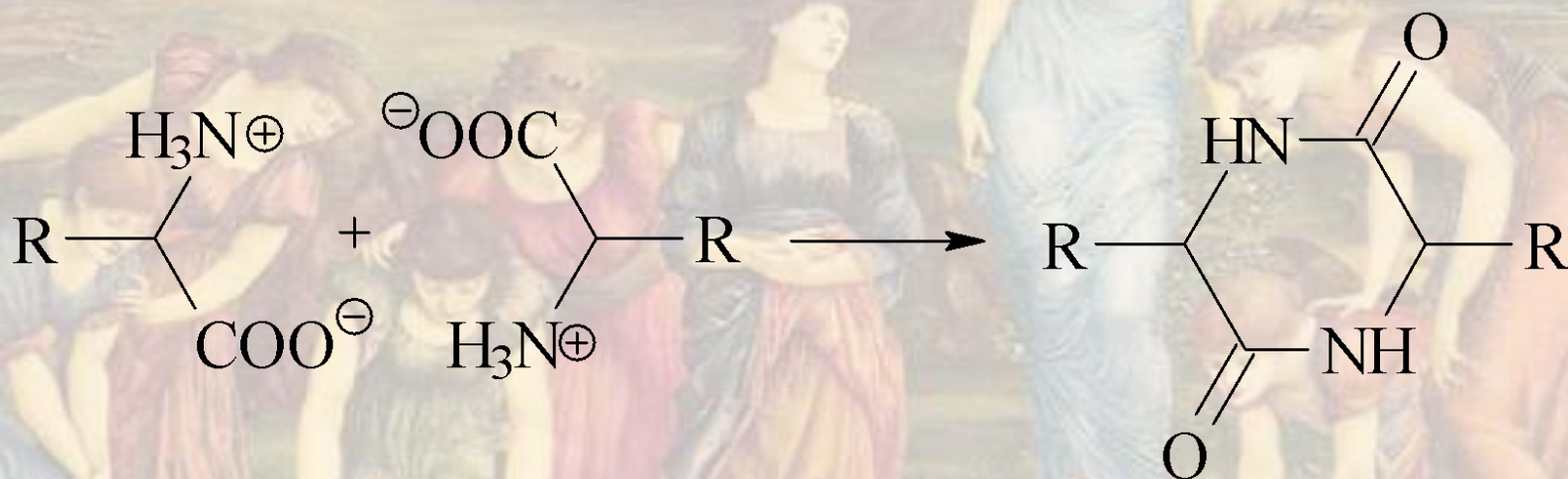
Амидная связь

фенилтиогидантоин

# Физические и химические свойства

*Отношение аминокислот к нагреванию*

**α-аминокислоты**

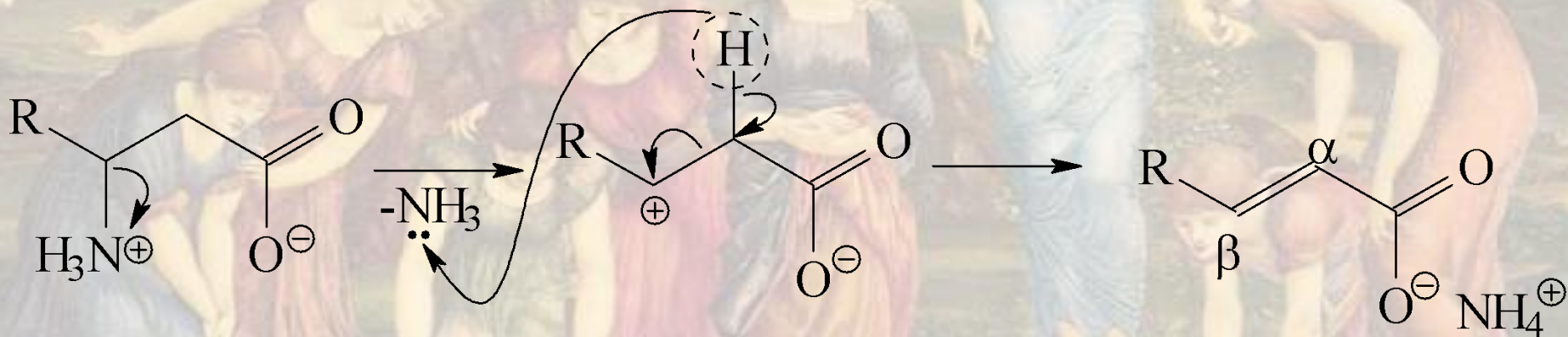


дикетопиперазин

# Физические и химические свойства

## Отношение аминокислот к нагреванию

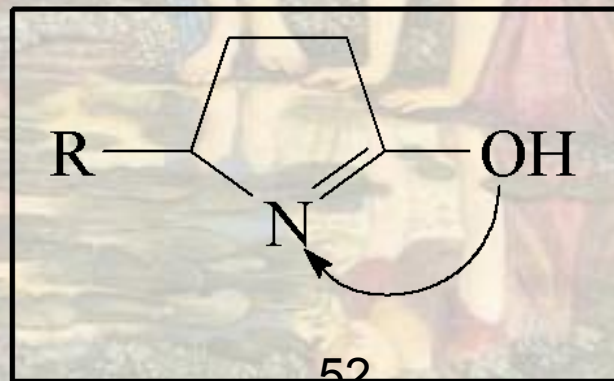
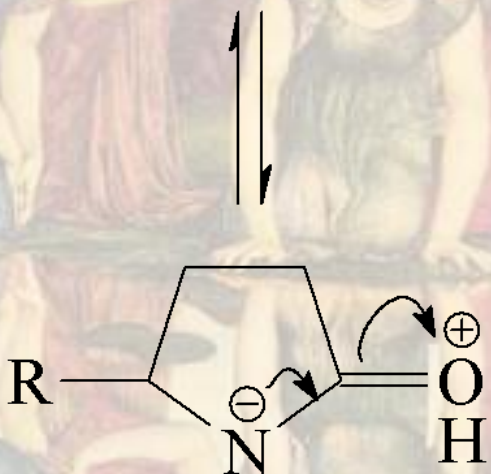
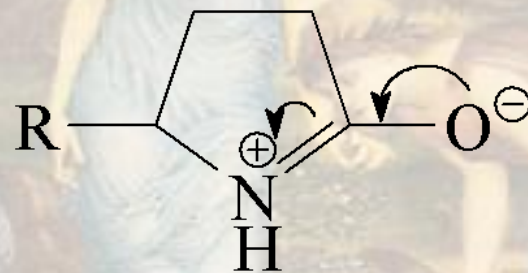
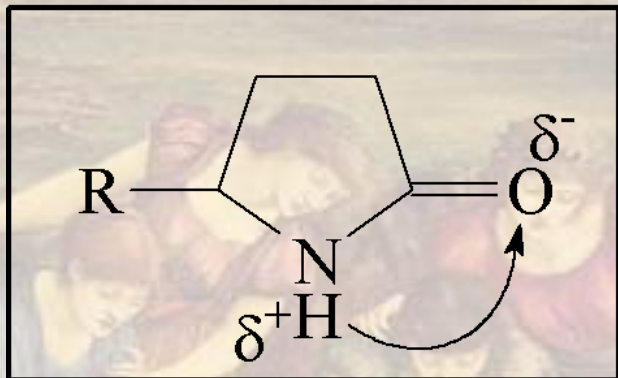
### $\beta$ -аминокислоты



# Физические и химические свойства

## Лактим-лактамная таутомерия

лактам

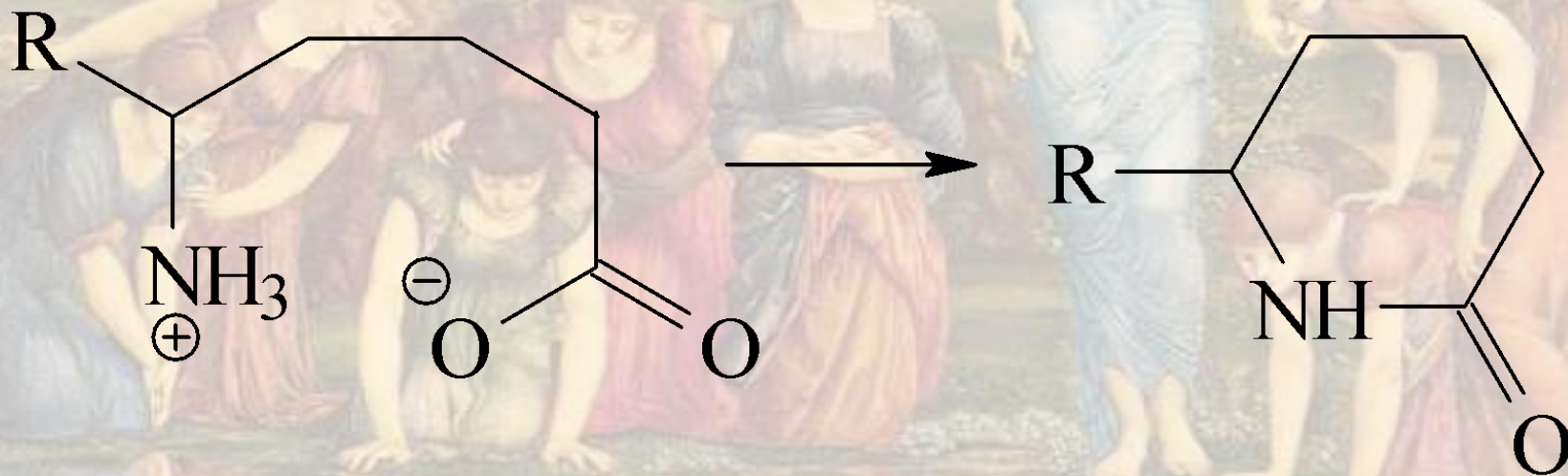


52  
лактим

# Физические и химические свойства

## Отношение аминокислот к нагреванию

### δ-аминокислоты



δ-лактим

# Физические и химические свойства

## Отношение аминокислот к нагреванию

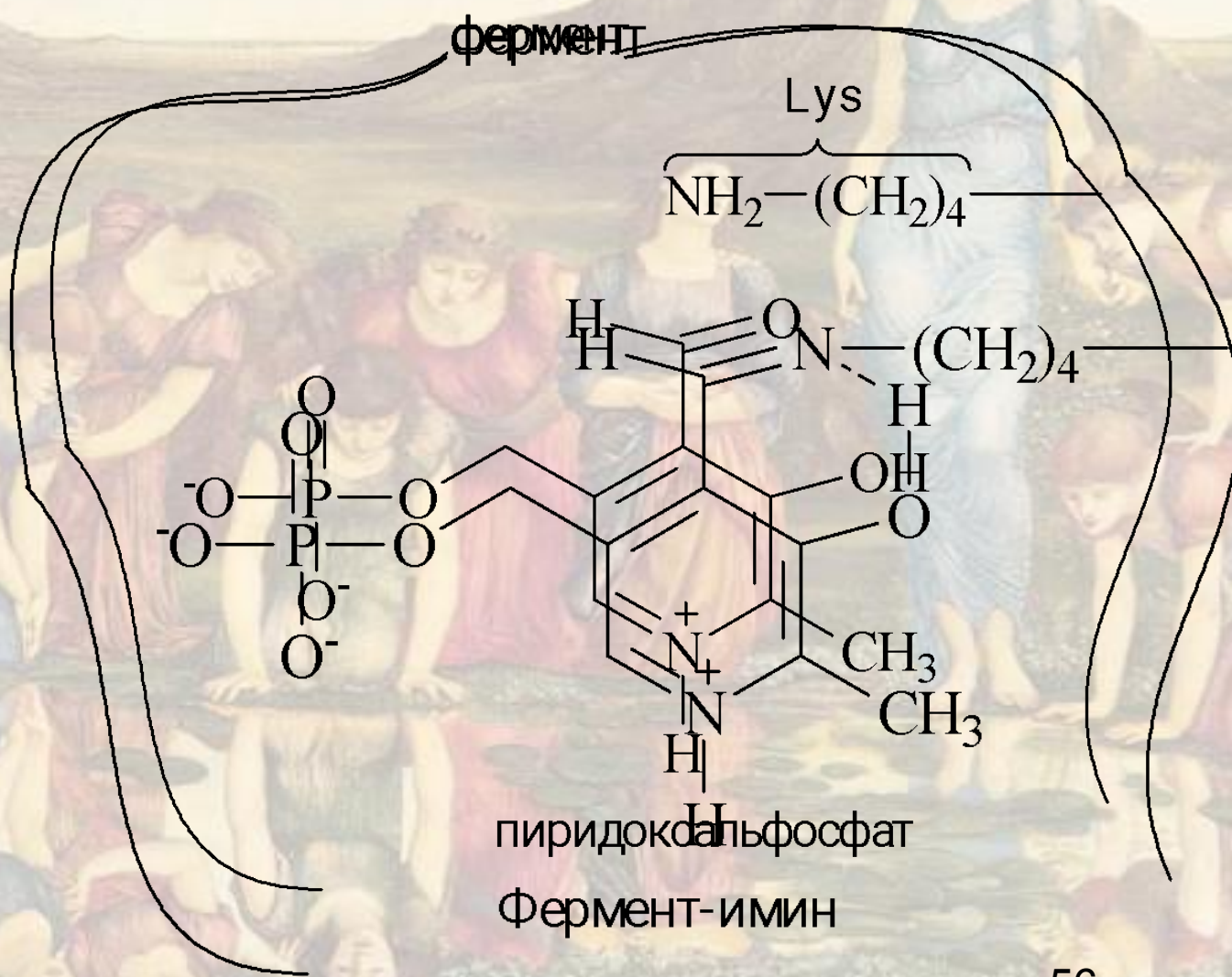
### $\omega$ -аминокислоты



# Биологически важные химические реакции



# Биологически важные химические реакции



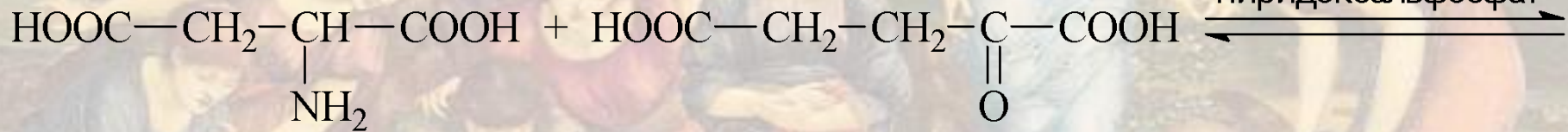


# Биологически важные химические реакции

## Трансаминирование

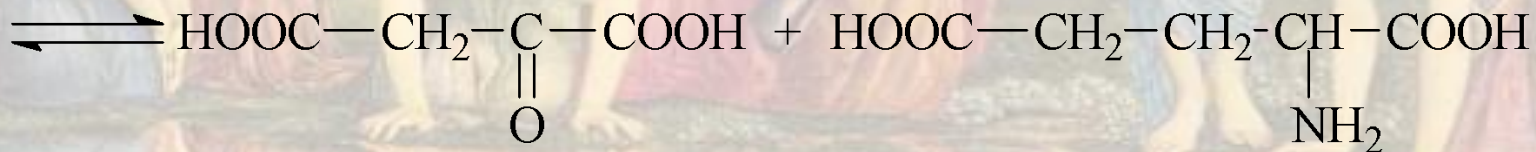
Донорная  
 $\alpha$ -аминокислота

Акцепторная  
 $\alpha$ -оксокислота



L-аспаргиновая кислота

$\alpha$ -оксоглутаровая кислота



Щавелевоуксусная  
кислота

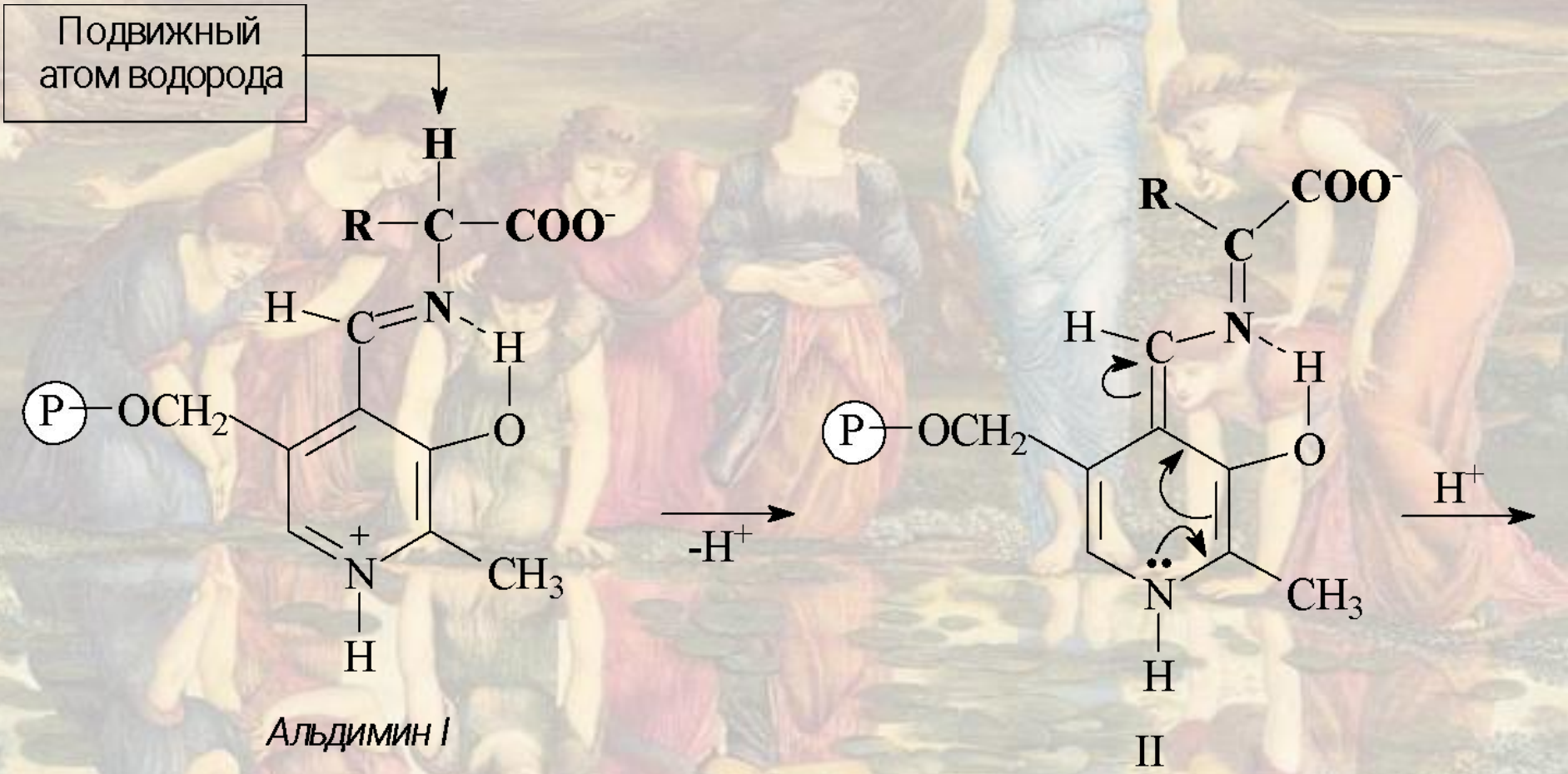
L-глутаминовая  
кислота

Акцепторная  
 $\alpha$ -оксокислота

Донорная  
 $\alpha$ -аминокислота

# Биологически важные химические реакции

## Перенос аминокетильной группы



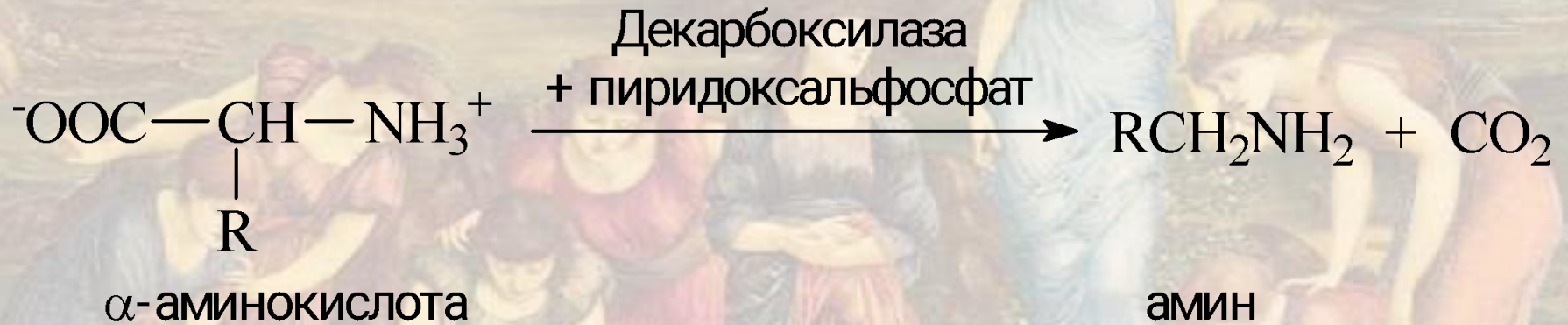
# Биологически важные химические реакции

## Перенос аминокетильной группы



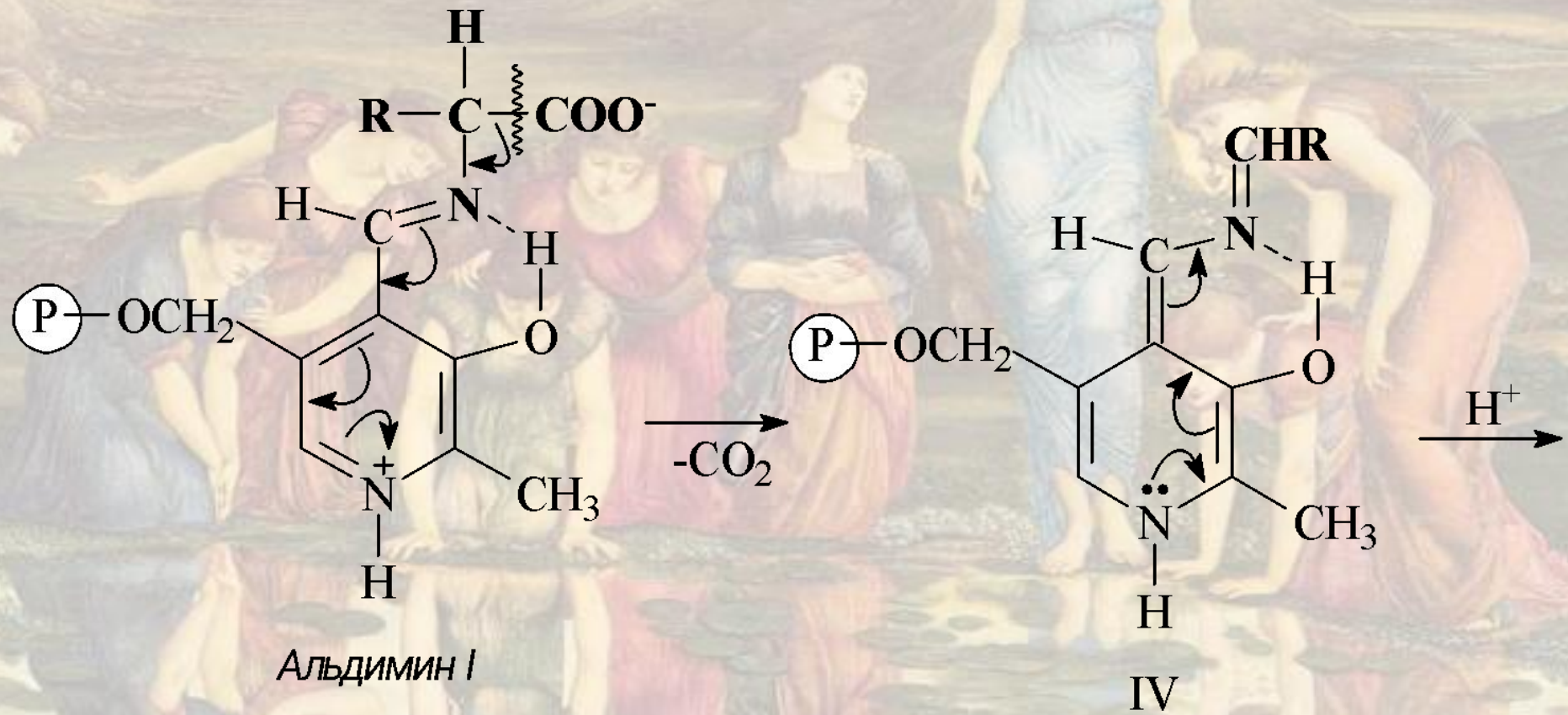
# Биологически важные химические реакции

## Декарбоксилирование



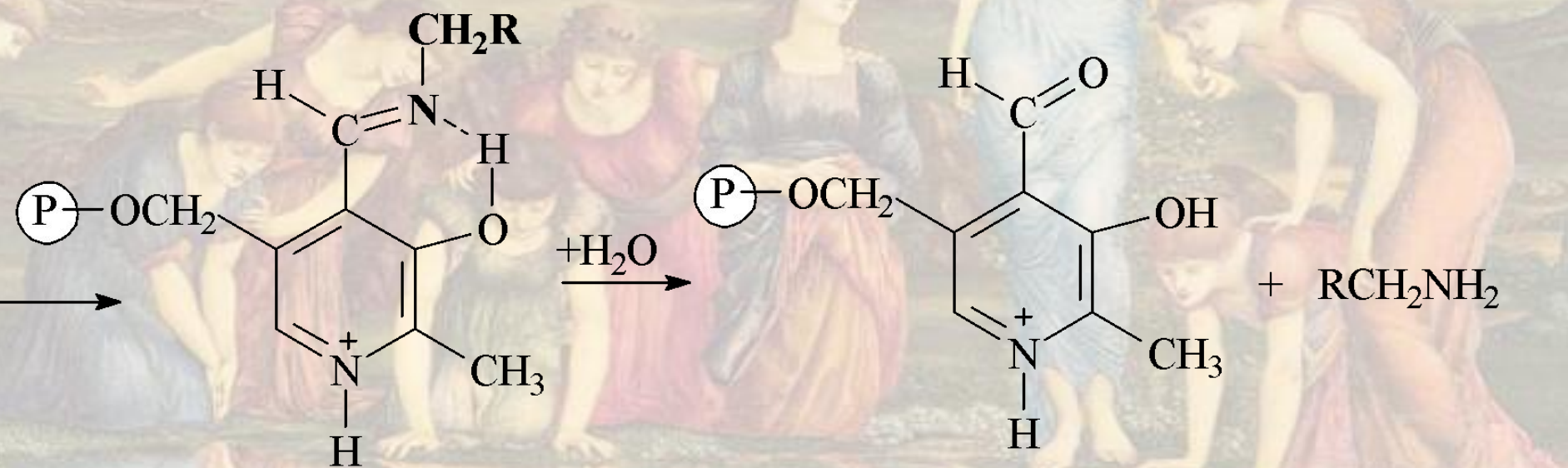
# Биологически важные химические реакции

## Декарбоксилирование в организме



# Биологически важные химические реакции

## Декарбоксилирование в организме



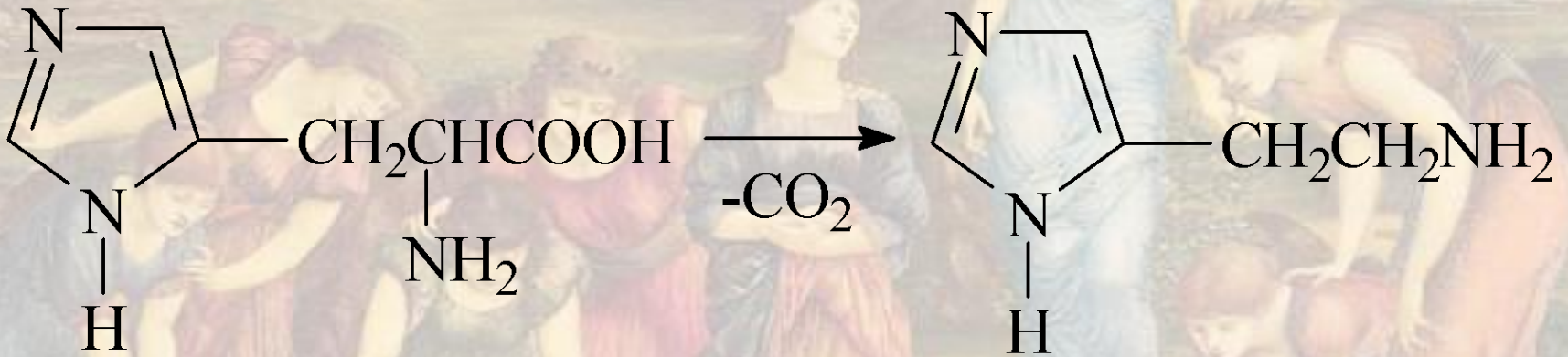
Альдимин Ia

Пиридоксальфосфат

биоге́нный амин

# Биологически важные химические реакции

## Декарбоксилирование в организме

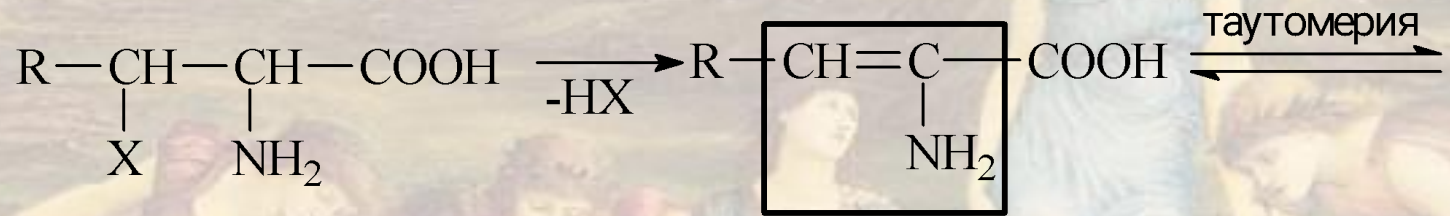


ГИСТИДИН

ГИСТАМИН

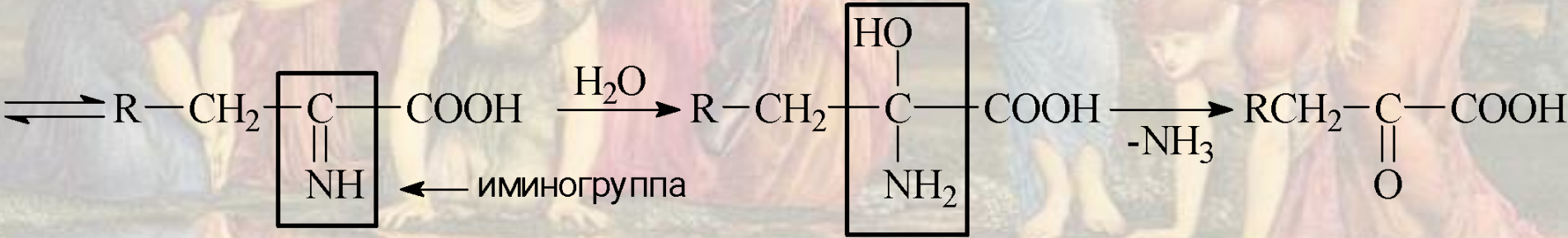
# Биологически важные химические реакции

## Элиминирование



β-замещенная α-аминокислота  
X=OH, SH

енаминный  
фрагмент



α-ИМИНОКИСЛОТА

← иминогруппа

карбинол-  
аминная группа

α-ОКСОКИСЛОТА

## элиминирование-гидратация



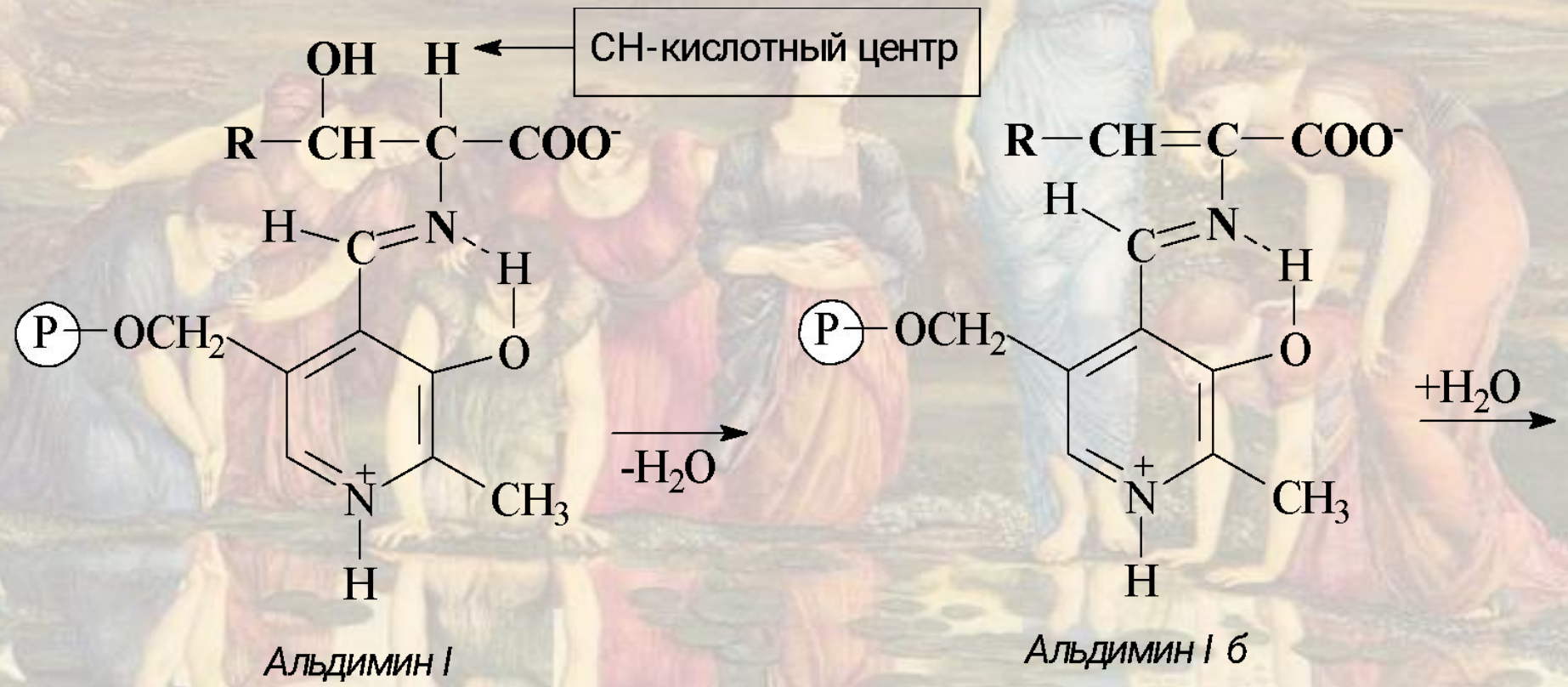
# Биологически важные химические реакции

## Элиминирование



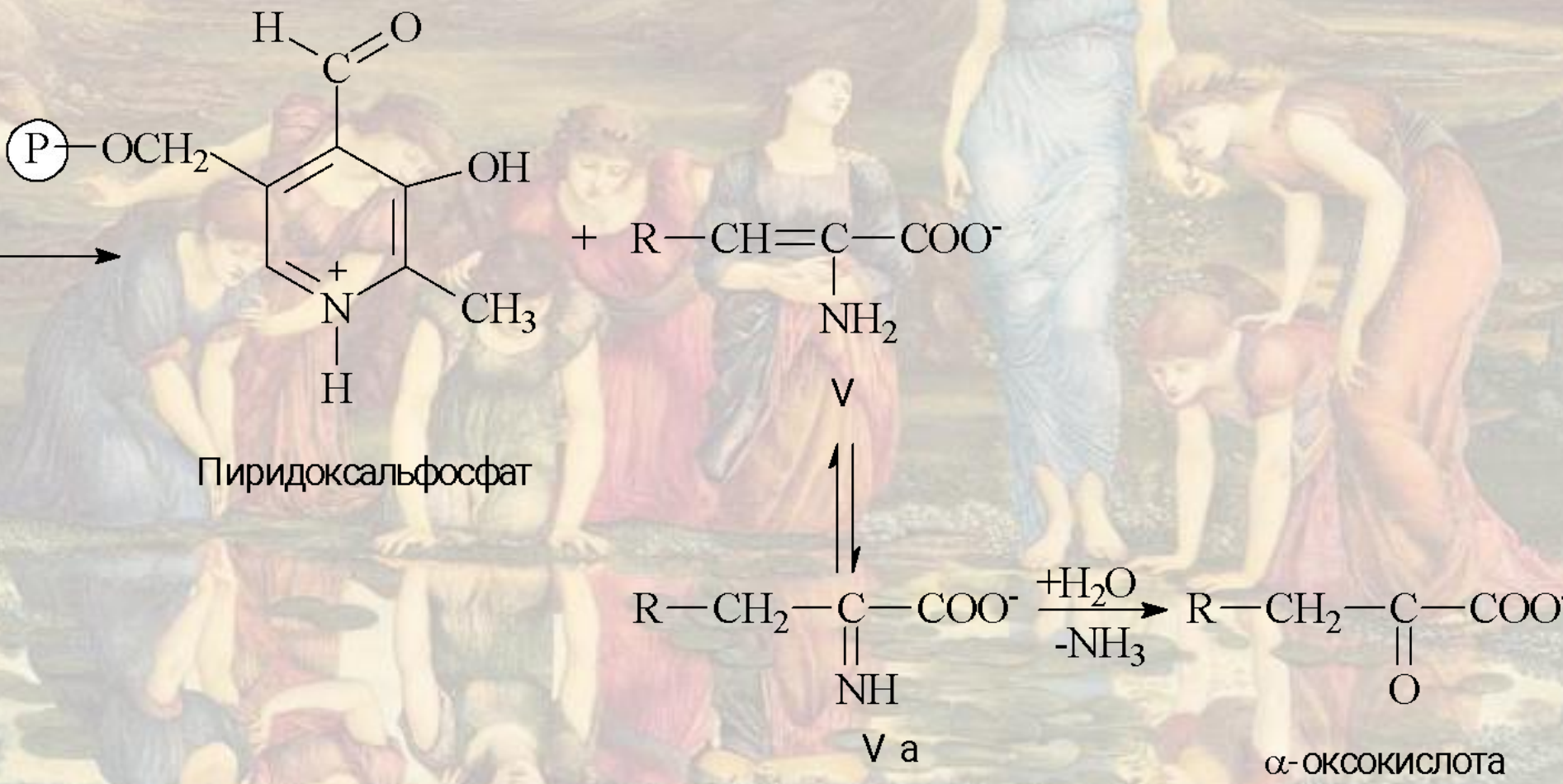
# Биологически важные химические реакции

## Элиминирование



# Биологически важные химические реакции

## Элиминирование





# Биологически важные химические реакции

## Окислительное дезаминирование

