

Д. Гринштейн, М. Вениц

Химия аминокислот и пептидов

**Москва
«Книга по Требованию»**

УДК 57
ББК 28
Д11

Д11 **Д. Гринштейн**
Химия аминокислот и пептидов / Д. Гринштейн, М. Вениц – М.: Книга по Требованию, 2023. – 822 с.

ISBN 978-5-458-37034-9

Исследования по химии аминокислот и пептидов приобретают в последние годы все большее значение в связи с тем что достижения этой области «неорганической химии уже сейчас широко используются при решении важных проблем медицины и сельского хозяйства, а также вопросов создания синтетической пищи и т.п. В книгу включены избранные главы из уникальной трехтомной монографии, получившей всемирное признание. Вошедшие в книгу главы являются наиболее важными и неразрывно связанными между собой. Книга дополнена новыми материалами с учетом работ, появившихся в печати в последние два года. Книга представляет собой не только творческое, но и практическое, настольное руководство по химии аминокислот и пептидов. Она предназначена для биохимиков, биологов, биофизиков и медиков, а также для химиков-органиков, работающих в области природных соединений.

ISBN 978-5-458-37034-9

© Издание на русском языке, оформление
«YOYO Media», 2023
© Издание на русском языке, оцифровка,
«Книга по Требованию», 2023

Эта книга является репринтом оригинала, который мы создали специально для Вас, используя запатентованные технологии производства репринтных книг и печати по требованию.

Сначала мы отсканировали каждую страницу оригинала этой редкой книги на профессиональном оборудовании. Затем с помощью специально разработанных программ мы произвели очистку изображения от пятен, клякс, перегибов и попытались отбелить и выровнять каждую страницу книги. К сожалению, некоторые страницы нельзя вернуть в изначальное состояние, и если их было трудно читать в оригинале, то даже при цифровой реставрации их невозможно улучшить.

Разумеется, автоматизированная программная обработка репринтных книг – не самое лучшее решение для восстановления текста в его первоизданном виде, однако, наша цель – вернуть читателю точную копию книги, которой может быть несколько веков.

Поэтому мы предупреждаем о возможных погрешностях восстановленного репринтного издания. В издании могут отсутствовать одна или несколько страниц текста, могут встретиться невыводимые пятна и кляксы, надписи на полях или подчеркивания в тексте, нечитаемые фрагменты текста или загибы страниц. Покупать или не покупать подобные издания – решать Вам, мы же делаем все возможное, чтобы редкие и ценные книги, еще недавно утраченные и несправедливо забытые, вновь стали доступными для всех читателей.

НОМЕНКЛАТУРА, СТРОЕНИЕ И НАХОЖДЕНИЕ АМИНОКИСЛОТ В ПРИРОДЕ

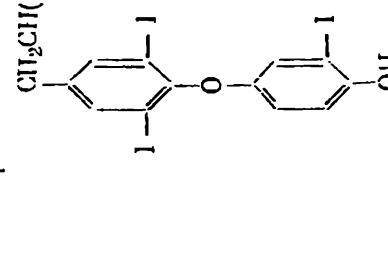
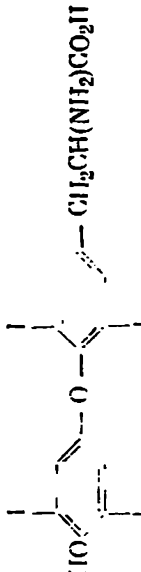
1. Строение и классификация аминокислот белкового происхождения. В соответствии со строгим определением, к аминокислотам можно отнести любую органическую кислоту, содержащую одну или несколько аминогрупп. Такое определение по самой своей природе должно включать вещества весьма различной структуры, например, β -аланин ($\text{NH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CO}_2\text{H}$), таурин ($\text{NH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{SO}_3\text{H}$), карбаминую кислоту ($\text{NH}_2\text{CO}_2\text{H}$), глицин ($\text{NH}_2\text{CH}_2\text{CO}_2\text{H}$) и аминомалоновую кислоту [$\text{NH}_2\text{CH}(\text{CO}_2\text{H})_2$], а также, по-видимому, бесконечное множество сходных соединений разной величины и строения, имеющих различного рода функциональные группы. Из большого числа возможных соединений этого типа с целью более подробного изучения часто выделяют сравнительно небольшую группу α -аминокислот — составных частей белков — и, кроме того, несколько большее число аналогичных синтетических и природных соединений. За немногими исключениями, все они имеют общее строение $\text{NH}_2\text{CHRCO}_2\text{H}$, причем аминогруппа связана с атомом углерода, находящемся в α -положении к карбоксильной группе, а боковая цепь R может иметь различные состав и строение.

К моменту написания этой книги было установлено, что в белках тканей млекопитающих встречается около 25 различных аминокислот. Все они в общем обладают первичной аминогруппой, карбоксилем и атомом водорода, связанным с α -углеродным атомом. Имнокислоты — пролин и оксипролин — можно рассматривать как α -аминокислоты, аминогруппы которых включены в систему пирролидинового кольца. В табл. 1 приведены аминокислоты, которые были выделены из белковых гидролизатов и большей частью настолько хорошо исследованы, что их присутствие в исходном белке не вызывает сомнений [1—28]. Большинство этих аминокислот широко распространено в различного рода белках. Однако некоторые аминокислоты, например, тироксин, триодтиронин, диодтирозин, дибромтирозин, оксплизин и окспролин, распространены в меньшей степени.

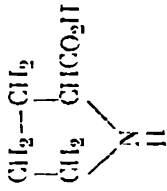
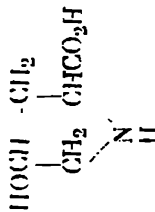

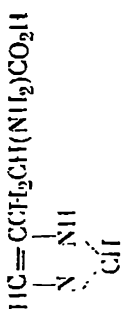
Следует особо отметить аминокислоту цистеин $\text{HSCH}_2\text{CH}(\text{NH}_2)\text{CO}_2\text{H}$, которая легко превращается при мягком окислении в цистин. В силу этой заметной склонности к окислению гидролиз белка, в нативной форме которого присутствует цистеин, в обычных условиях приводит к выделению цистина вместо восстановленной формы аминокислоты. Тем не менее в действительности не возникает сомнений в реальном присутствии цистеина во многих белках, не подвергавшихся обработке. Это доказывается, например, наличием красного окрашивания, появляющегося при действии нитропруссиды натрия — реагента на сульфгидрильную группу — на белки как в нативной, так и в денатурированной формах, а также на продукты их гидролиза.

Природные α-аминокислоты, найденные в белках

Класс	Аминокислота	Формула	Впервые выделена из белковых гидролизатов	Год	Белок
I. Аминокислоты А. Моноамино- карбоновые кислоты	1. Глицин	$\begin{array}{c} \text{CH}_2(\text{NH}_2)\text{CO}_2\text{H} \\ \text{CH}_3\text{CH}(\text{NH}_2)\text{CO}_2\text{H} \\ (\text{CH}_3)_2\text{CHCH}(\text{NH}_2)\text{CO}_2\text{H} \\ (\text{CH}_3)_2\text{CHCH}_2\text{CH}(\text{NH}_2)\text{CO}_2\text{H} \\ \text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}(\text{CH}_2\text{CH}(\text{NH}_2)\text{CO}_2\text{H})\text{CO}_2\text{H} \\ \text{CH}_2(\text{OH})\text{CH}(\text{NH}_2)\text{CO}_2\text{H} \\ \text{CH}_3\text{CH}(\text{OH})\text{CH}(\text{NH}_2)\text{CO}_2\text{H} \end{array}$	Браконно [1]	1820	Желатин
	2. Аланин		Вейль [2]	1888	Фиброин шелка
	3. Валин		Шютценбергер [3]	1879	Казеин
	4. Лейцин		Фишер [4]	1901	Мышечные волокна, шерсть
	5. Изолейцин		Браконно [1]	1820	Фибрин
	6. Серин		Эрлих [5]	1904	Серидин
	7. Треонин		Крамер [6]	1865	Белок овса
II. Дикарбино- карбоновые кислоты	8. Лизин	$\begin{array}{c} \text{CH}_2(\text{NH}_2)\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}(\text{NH}_2)\text{CO}_2\text{H} \\ \text{CH}_2(\text{NH}_2)\text{CH}(\text{OH})\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}(\text{NH}_2)\text{CO}_2\text{H} \\ \text{H}_2\text{NC}(=\text{NH})\text{NHCH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}(\text{NH}_2)\text{CO}_2\text{H} \end{array}$	Шрайвер, Бастон [7]	1925	Белок овса
	9. δ-Оксивалин		Гортнер, Горман [8]		Теозин
	10. Аргинин		Дрексель [9]	1889	Казеин
III. Монодикарбино- новые кислоты и их амиды	11. Аспарагиновая кислота	$\begin{array}{c} \text{CH}(\text{NH}_2)\text{CO}_2\text{H} \\ \\ \text{CH}_2\text{CO}_2\text{H} \\ \text{CH}(\text{NH}_2)\text{CO}_2\text{H} \\ \\ \text{CH}_2\text{CONH}_2 \\ \text{CH}(\text{NH}_2)\text{CO}_2\text{H} \\ \\ \text{CH}_2\text{CH}_2\text{CO}_2\text{H} \\ \text{CH}(\text{NH}_2)\text{CO}_2\text{H} \\ \\ \text{CH}_2\text{CH}_2\text{CONH}_2 \end{array}$	Шрайвер, Бастон и Мункхердзи [10]	1925	Рыбий желатин
	12. Аспарагин		Хедли [11]	1895	Рог
	13. Глутаминовая кислота		Риттхаузен [12]	1868	Конглутин, леуцин
	14. Глутамин		Дамодаран [13]	1932	Эластин
			Риттхаузен [14]	1866	Глутенфибрин
			Дамодаран, Джабэк и Чибнал [15]	1932	Глутамин

Г. Серусодержа- щие аминокис- лоты	15. Цистин			Мёрнер [16]	1899	Рог
II. Ароматиче- ские аминокислоты	16. Метноцин		$\begin{array}{c} \text{SCH}_2\text{CH}(\text{NH}_2)\text{CO}_2\text{H} \\ \\ \text{SCH}_2\text{CH}(\text{NH}_2)\text{CO}_2\text{H} \\ \\ \text{CH}_3\text{SCH}_2\text{CH}_2\text{CH}(\text{NH}_2)\text{CO}_2\text{H} \end{array}$	Мюллер [17]	1922	Казахи
	17. Фенилаланин		$\text{HO}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{CH}_2\text{CH}(\text{NH}_2)\text{CO}_2\text{H}$	Шульце, Барбьер [18]	1881	Ростки люпина
	18. Тирозин		$\text{HO}-\text{C}_6\text{H}_3(\text{Br})-\text{CH}_2\text{CH}(\text{NH}_2)\text{CO}_2\text{H}$	Бопи [19]	1849	Казахи
	19. 3,5-Дибромтиро- зин		$\text{HO}-\text{C}_6\text{H}_2(\text{Br})_2-\text{CH}_2\text{CH}(\text{NH}_2)\text{CO}_2\text{H}$	Мёрнер [20]	1913	Скелет коралла
	20. 3,5-Диодтиро- зин		$\text{HO}-\text{C}_6\text{H}_2(\text{I})_2-\text{CH}_2\text{CH}(\text{NH}_2)\text{CO}_2\text{H}$	Дрексель [21]	1896	Скелет коралла
	21. Триодтирозин (3,5,3')		$\text{CH}_2\text{CH}(\text{NH}_2)\text{CO}_2\text{H}$ 	Гросс, Цитт-Рл-верс [22]	1953	Ткань щитовид- ной железы
	22. Тироксин			Кендал [23]	1915	То же

Продолжение

Класс	Аминокислоты	Формула	Впервые выделена из белковых гидролизатов	Год	Исход
III. Гетероциклические аминокислоты	23. Пролин		Финшер [24]	1901	Каасин
	24. Оксипролин		Финшер [25]	1902	Жеу
	25. Триптофан		Гопкинс, Кол [26]	1902	Каасин
	26. Гистидин		Коссель [27] Хедди [28]	1896	Стурин Различные белковые гидролизаты

Аминокислоты, перечисленные в табл. 1, разбиты по категориям в соответствии с некоторыми основными структурными различиями, такими, как наличие алифатической, ароматической или гетероциклической боковой цепи. Алифатические аминокислоты подразделяются далее по числу содержащихся в них амино- и карбоксильных заместителей. Следует отметить, что использовались также методы классификации, основанные на кислотном, основном или нейтральном характере той или иной аминокислоты, либо на ее полярном или неполярном характере.

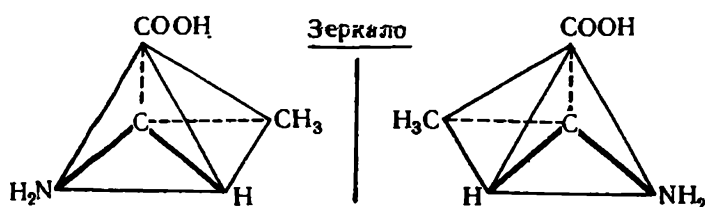
Некоторые аминокислоты, помимо приведенных в табл. 1, привлекли внимание исследователей как возможные составные части белков. Среди них особенно следует отметить орнитин, β -оксиглутаминовую кислоту, орнитин и цитруллин. В этом отношении первые две аминокислоты, существование которых в природе еще окончательно не выяснено, явились в прошлом предметом многочисленных споров. Историческая обстановка дискуссии более полно рассматривается ниже. С другой стороны, показано, что две другие аминокислоты широко распространены в природе. Однако они распространены почти исключительно или в свободном состоянии, или в виде химических соединений с веществами небелкового характера. Периодически появляющиеся в литературе сообщения о нахождении этих аминокислот в белках позднее опровергаются биохимиками. Так, в 1933 г. Вада [29] сообщил о выделении цитруллина из продуктов расщепления казеина трипсином. Это открытие, однако, трудно согласовать с позднейшими работами большого числа исследователей, которые, пользуясь более современной хроматографической техникой, не только не смогли обнаружить цитруллин в кислотных, щелочных или ферментных гидролизатах казеина, но им даже не удалось установить присутствие в них орнитина, который мог бы возникнуть при последующем расщеплении цитруллина. Недавно Смит и Юнг [30] сообщили о нахождении цитруллина и орнитина в белковых гидролизатах некоторых видов морских водорослей. Первая аминокислота идентифицирована хроматографически, выделена и затем охарактеризована рентгенограммой. Второе соединение не удалось выделить, и оно было идентифицировано только с помощью хроматографического и ионообменного методов. Однако сообщение о присутствии цитруллина в гидролизате вызывает сомнение ввиду того, что белок подвергался гидролизу сильной кислотой в течение 24 час. Во всяком случае, из-за отсутствия дальнейших сведений вопрос о существовании орнитина и цитруллина в белках остается пока лишь предметом обсуждения.

2. Оптические свойства. За исключением глицина и аминомалоновой кислоты, все α -аминокислоты типа $\text{RCH}(\text{NH}_2)\text{COOH}$ могут быть получены в виде по крайней мере двух различных изомерных форм. Эти формы, имеющие одну и ту же брутто-формулу и обладающие одинаковыми группировками атомов в молекуле, не отличимы одна от другой по всем своим химическим и физическим свойствам, за исключением одного — влияния на плоско поляризованный свет. Это можно пояснить на примере двух форм аланина, одна из которых обладает способностью вращать плоскость поляризованного света влево, тогда как другая вращает ее вправо. Такие формы называют соответственно *левовращающей* и *правовращающей*. Хотя *оптическая вращательная способность*, проявляемая этими двумя изомерами, различна по направлению, она имеет тем не менее одну и ту же величину.

Способность молекулы аланина существовать в вышеупомянутых *стереоизомерных* формах можно приписать тому факту, что α -атом углерода этого соединения соединен с четырьмя различными группами, которые

могут по-разному располагаться в *трехмерном* пространстве. Соединения этого типа в общем называют *асимметрическими*, потому что с чисто геометрической точки зрения они не обладают полной симметрией. Изучение такой молекулярной асимметрии исходит из представлений, высказанных в 1874 г. независимо друг от друга Ле Белем и Вант-Гоффом, о том, что четыре ковалентные связи атома углерода направлены от него радиально в трех измерениях. Согласно их представлениям, эти валентные связи расположены таким образом, что прямые, соединяющие их концы, образуют правильный тетраэдр. Эта гипотеза впоследствии была подтверждена огромным количеством накопленных экспериментальных данных.

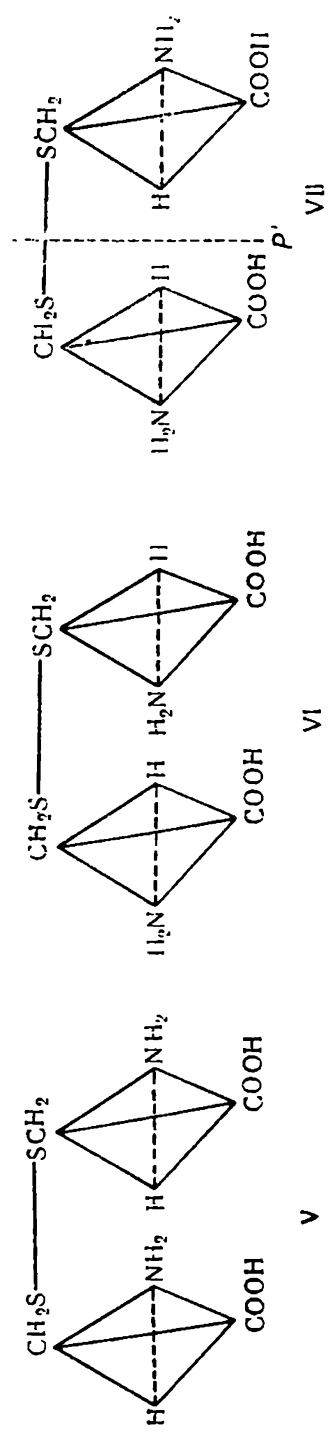
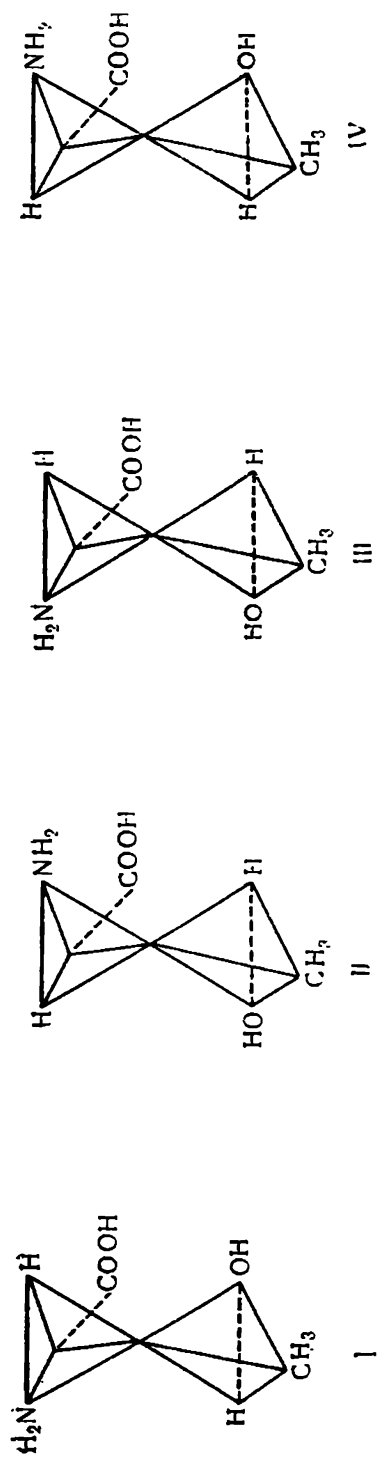
Вследствие асимметрии молекулы аланина можно представить два тетраэдрических расположения групп атомов таким образом, что эти структуры будут относиться друг к другу так же, как предмет относится к своему



Р и с. 1. Трехмерные проекции оптических антиподов аланина.

зеркальному отражению или как правая рука относится к левой (рис. 1). Такие молекулы, а также молекулы, являющиеся несовмещающимися с ними зеркальными отражениями, часто называют *энантиоморфными формами*, *энантиомерами*, или *оптическими антиподами*. Они обладают оптической активностью. Однако если смешать равные количества *право-* и *левоповорачивающего* энантиомеров, оптический эффект одного изомера нейтрализуется эффектом другого, и в результате получается неактивный продукт, известный под названием *рацемической модификации*, или *рацемата*.

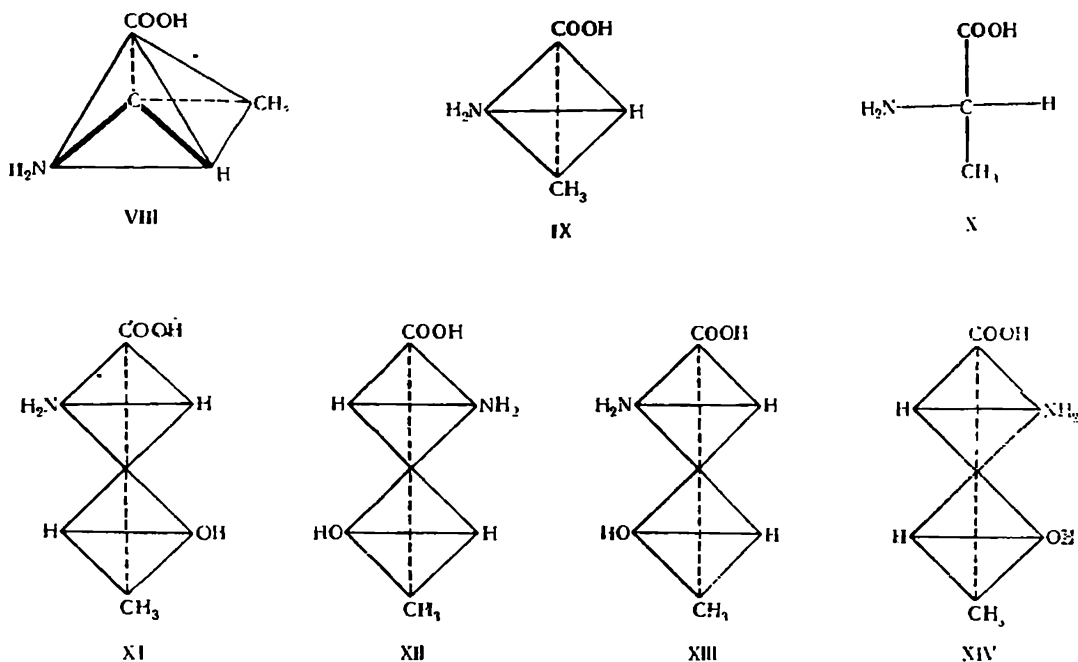
Помимо α -центра асимметрии, некоторые аминокислоты, например, треонин, фенилсерин и изолейцин, могут обладать вторым центром асимметрии и потому способны существовать в четырех *стереоизомерных* формах. Эти формы для треонина изображены на стр. 13, где I и II представляют оптические антиподы треонина, а III и IV — оптические антиподы *алло*-треонина. Молекула треонина I является оптическим антиподом молекулы II: эквимольная смесь I и II представляет собой рацемическую модификацию. Аналогичные стереохимические отношения существуют между антиподами *алло*-треонина III и IV. Однако отношения между любым из антиподов треонина — I или II — с одним или другим антиподом *алло*-треонина — III или IV — совершенно иные, в чем легко убедиться при тщательном сопоставлении этих моделей. Ни одна из первых двух молекул не идентична двум последним и ни одна не является их зеркальным изображением. Стереоизомерные молекулы, находящиеся в таком отношении друг к другу, называются *диастереомерами*, или *эпимерами*. В противоположность оптическим антиподам диастереомеры отличаются по таким физическим свойствам, как величина оптического вращения, растворимость, инфракрасные спектры и температуры плавления; в то же время их химические реакции, хотя в общем и одинаковые, могут часто протекать с заметно различающимися скоростями. Существование диастереомеров не ограничивается только упомянутым типом α , β -диасимметричных молекул, но наблюдается также среди аминокислот, в которых два асимметрических центра не находятся



рядом. например, в δ -оксилизине, γ -оксипролине, октопине и подобных им соединениях.

Цистин и α , ϵ -диаминопимелиновая кислота являются представителями особого типа дисимметричных аминокислот, которые существуют в виде только трех различных стереоизомерных форм. Для первой аминокислоты это проиллюстрировано на стр. 13, где V и VI изображают соответственно лево- и правовращающий цистин, а VII — оптически неактивный мезо-цистин. Последнее соединение оптически неактивно в силу того, что плоскость симметрии PP' , проходящая через центр молекулы, теоретически делит молекулу на две половины, из которых каждая является зеркальным отражением другой. Хотя каждая половина вращает плоскость поляризованного света на одинаковое число градусов, направления этого вращения противоположны и поэтому суммарное вращение равно нулю. Такие соединения, которые являются оптически неактивными вследствие *внутренней компенсации*, называются мезо-формами. Существует только одна форма мезо-цистина, поскольку взаимная перестановка атома водорода и аминогруппы в формуле VII приводит снова к тому же соединению. Как и для других дисстереомеров, рассмотренных выше, физические свойства мезо-цистина отличаются от свойств любой из оптически активных форм, так же как и от свойств эквимолекулярной смеси последних, т. е. рацемата.

Приведенные трехмерные проекции молекул оказались слишком неудобными для изображения на плоскости. Столкнувшись с этой проблемой, Э. Фишер разработал в конце прошлого века легко воспринимаемую схему



отображения пространственных отношений в тетраэдре с помощью плоских проекций. Для иллюстрации этой схемы здесь изображена конфигурация правовращающего аланина в соответствии с общепринятой диаграммой Фишера. Если взять атом водорода в качестве вершины непрозрачного тетраэдра (VIII) и посмотреть вниз вдоль связи $\text{C} - \text{H}$ на другие три группы, то они, очевидно, будут располагаться в последовательности: метил, аминогруппа и карбоксил (при движении по часовой стрелке), что ясно видно из формулы IX. Следует иметь в виду, что пунктирная линия в IX обо-

значает невидимое ребро тетраэдра (VIII). При этом условии можно однозначно получить другие изображения такого же энантиомера, если тетраэдр спроецировать на бумаге в шести различных положениях, соответствующих шести его ребрам. В соответствии с принятым способом изображения формула X правовращающего аланина представляет вариант написания формулы IX. По этому же типу может быть получена принятая формула энантиомерной левовращающей формы аланина, если тот же способ написания использовать для зеркального изображения формулы VIII.

Исходя из трехмерных моделей аминокислот, содержащих второй центр асимметрии, можно предложить для них аналогичные рассмотренным выше упрощенные формулы. Хадсон [31] ясно изложил одно из необходимых для этого условий, выдвинутых вначале Финшером [32], а именно, что «все вершины, соединяющие асимметрические атомы углерода, будут лежать на одной прямой в плоскости бумаги, причем эту прямую будут составлять нижние ребра всех этих тетраэдров, а другие их вершины будут находиться выше этой плоскости по противоположным сторонам от этой линии». Для иллюстрации этого положения на стр. 14 показаны стереоизомерные формы треонина (XI и XII) и *алло*-треонина (XIII и XIV), выведенные из структур I—IV. Эти модели можно далее упростить до структурной формулы, например типа X.

Представление молекул с помощью плоских проекций позволяет легко изображать *относительные* конфигурации. В связи с этим следует отметить, что, несмотря на то обстоятельство, что аминокислоты, полученные из белков, могут быть или лево- или правовращающими, все они, согласно имеющимся в настоящее время данным, принадлежат к одному и тому же *конфигурационному ряду*, т. е. обладают одним и тем же относительным расположением в пространстве. Поэтому *наблюдаемое направление оптического вращения данного соединения нельзя считать обязательным указанием на его конфигурацию*. Разработано множество химических, физических и биологических методов установления конфигурационных взаимоотношений между аминокислотами. Такие методы более подробно рассмотрены в гл. 4. Имеется несколько прекрасных изложений общих аспектов оптической изомерии [33, 34].

3. Правила номенклатуры. За исключением глицина, все аминокислоты, которые до сих пор получали из белков гидролитическим действием кислот или протеолитических ферментов, оказались оптически активными, поскольку каждую из них выделяли из различных белковых гидролизатов и после тщательной очистки подвергали поляризметрическому анализу. В ранней литературе оптические антиподы аминокислот обозначали префиксом *d*-или *l*- для того, чтобы показать, является ли данное соединение в нейтральном растворе право- или левовращающим. Следует иметь в виду, что при использовании этой терминологии встречались и исключения. Это относится, например, к чрезвычайно трудно растворимым истину и тирозину. Таким образом, названия с этими префиксами, например *d*-аргинин, *l*-триптофан и *l*-гистидин, применялись для оптических форм, выделенных из белковых гидролизатов.

Такие эмпирические обозначения перестали употреблять с того времени, когда на значительном количестве накопленных данных удалось однозначно доказать, что все очищенные аминокислоты, содержащиеся в белках, обладают одной и той же конфигурацией относительно асимметрического α -атома углерода. Эти доказательства, наиболее полно суммированные Нейбергером [35], основаны преимущественно на том, что: а) большую часть

этих аминокислот удалось превратить одну в другую или в структурно и конфигурационно идентичные соединения с помощью реакций, не затрагивающих α -атома углерода, б) изменения степени ионизации или длины волны (дисперсия вращения) вызывают сходные изменения в направлении оптического вращения аминокислот и в) эти аминокислоты или их производные чувствительны к действию одних и тех же оптически специфичных ферментов и, напротив, устойчивы к другим оптически специфичным ферментам. Все эти экспериментальные наблюдения согласуются друг с другом и не противоречат тому представлению, что очищенные аминокислоты, выделенные гидролизом белков, обладают одной и той же оптической конфигурацией относительно асимметрического α -углеродного атома.

Исходя из вышеупомянутых стереохимических отношений, Воль и Фрейденберг [36] в 1923 г. предложили схему номенклатуры, которая быстро завоевала всеобщее признание. Это предложение состоит в том, что действительное направление вращения обозначается знаком «минус», или «плюс», взятым в скобки, а буквенный префикс *d* или *l* применяется для указания конфигурационного ряда, к которому принадлежит α -асимметрический центр аминокислоты. Обозначения, принятые для аминокислот белкового происхождения по этой более новой системе, можно иллюстрировать следующими примерами: *l*-(+)-аргинин, *l*-(—)-триптофан и *l*-(—)-гистидин (вращение определено в водном растворе) и *l*-(+)-аргинин, *l*-(+)-триптофан и *l*-(+)-гистидин (измерение проводилось в кислом растворе). Однако из-за отсутствия общепринятого соглашения относительно системы растворителей, используемой при поляризметрическом анализе данной оптической формы, перед исследователями в конце концов возникла проблема выбора между нейтральным водным раствором и раствором, содержащим избыток минеральной кислоты. Хотя эти различия в растворителях в большинстве случаев приводят к одному и тому же знаку вращения, все же имеется несколько примеров, когда применение воды или кислоты приводит соответственно к названиям с префиксом *l*-(—) и *l*-(+). Такие расхождения в номенклатуре усугублялись в дальнейшем склонностью многих исследователей опускать знак плюс или минус, хотя такие пропуски часто вели к противоречиям в обозначениях вращения, примененных в более ранней литературе. Различные системы номенклатуры, приведенные в табл. 2, взяты из обзора Вилкери [37].

Обозначение *d*-(—), которое позднее было применено к треонину белкового происхождения, оказалось почти бесполезным, но зато внесло свою долю в путаницу, возникшую в системе номенклатуры аминокислот. Любопытен принцип, положенный в основу употребления префикса *d* для этой аминокислоты, обладающей на самом деле такой же конфигурацией у α -углерода, как и другие белковые аминокислоты. Лучше всего он иллюстрируется собственными словами исследователей [38]: «Предлагается, чтобы впредь природная α -амино- β -окси-*n*-масляная кислота именовалась *d*-(—)-треонин, поскольку она обладает пространственной конфигурацией, аналогичной конфигурации *d*-(—)-треозы.... Индекс *d* относится здесь, конечно, к конфигурационному ряду, точно так же как это имеет место при классификации сахаров». Ввиду того, что новая аминокислота родственна треозе и что при этом использовалась система номенклатуры углеводов, префикс *d* стал обозначать принадлежность β -атома углерода к *d*-конфигурационному ряду, хотя асимметрический α -углеродный атом принадлежит здесь к *l*-ряду. Такое обозначение совершенно не соответствовало правилу, принятому в номенклатуре аминокислот, а именно тому, что префикс, определяющий конфигурацию, относится к α -атому углерода аминокислоты.