

НАУЧНО-
ПОПУЛЯРНАЯ
ЛИТЕРАТУРА

А. АЗИМОВ

Мир азота



ISAAC ASIMOV

THE WORLD OF NITROGEN

New, Revised Edition



COLLIER BOOKS
NEW YORK, N.Y.



А. АЗИМОВ

Мир азота

ПЕРЕВОД
С АНГЛИЙСКОГО
А. Д. ИОРДАНСКОГО



Москва
«Химия» 1981

Азимов А.

А35 Мир азота. США. 1962. Пер. с англ.— М.: Химия, 1981.— 160 с., ил.

Предлагаемая читателю книга написана известным американским ученым, писателем-фантастом и популяризатором науки и является логическим продолжением изданной на русском языке в 1978 г. книги «Мир углерода». Автор рассказывает об органических соединениях, в молекулу которых, кроме углерода, водорода и кислорода, обязательно входит и азот. Круг этих соединений очень велик — от аминокислот и белков до красителей; они играют огромную роль как в живом мире, так и в промышленности. Автор ведет рассказ увлекательно, читается книга легко, с интересом.

Книга рассчитана на самый широкий круг читателей неспециалистов в области химии, желающих познакомиться с этой замечательной наукой. Особенно интересна она будет школьникам.

А 20504-122
050(01)-81 122.80.1803000000

547

© Перевод на русский язык,
Издательство «Химия», 1981 г.

ОГЛАВЛЕНИЕ

| | |
|------------------------------------|-----|
| Введение | 7 |
| Глава 1 «Знакомьтесь, азот!» | 21 |
| Глава 2 Самые необходимые | 35 |
| Глава 3 Жизнь и смерть | 55 |
| Глава 4 Запах преисподней | 71 |
| Глава 5 Множество разных атомов | 91 |
| Глава 6 Множество разных колец | 99 |
| Глава 7 Лекарства и яды | 119 |

Глава 8

Больше одного

135

Глава 9

И наконец — жизнь!

147



СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|-------------------------------|----|
| Органические вещества | 8 |
| Связи и символы | 9 |
| Кольца и боковые цепи | 12 |
| Хлор и кислород | 15 |
| Кислород в других обличиях | 17 |

ОРГАНИЧЕСКИЕ ВЕЩЕСТВА

Вещества, из которых состоит наше с вами тело, многим отличаются от тех веществ, из которых состоит камень. Те химические соединения, которые входят в состав нашего или любого другого живого организма, большей частью очень неустойчивы. Если их даже ненадолго нагреть, подвергнуть воздействию солнечного света или некоторых химических веществ, они превращаются в другие соединения, часто ненужные организму. А такие вещества, как камни или металлы, вода или соль, воздух или стекло, легко переносят все воздействия, от которых химические соединения нашего организма разрушаются.

Те, кто читал мою книгу «Мир углерода», могут пропустить этот раздел и начать сразу с главы 1. А тем, кто ее не читал или читал, но плохо помнит, лучше сначала прочесть это введение.

Это позволило химикам уже полтора столетия назад разделить все химические вещества на две группы: органические соединения (те, что встречаются в живых организмах) и неорганические соединения (те, что содержатся в неживой при-

роде, в воздухе, воде и земле). Было замечено, что вещества живых тканей в большинстве случаев содержат в своем составе атомы углерода, а неорганические вещества их не содержат. Поэтому считается, что органическая химия — это химия тех соединений, которые содержат углерод, независимо от того, входит ли данное соединение в состав живой ткани или нет. (Вы можете себе представить, каков из себя углерод, если когда-нибудь видели кусок каменного угля. Уголь почти целиком состоит из атомов углерода.)

Я решил написать книгу про органическую химию, в которой бы описывались самые важные соединения, содержащие углерод, и написал «Мир углерода». Но когда эта книга была закончена, оказалось, что в ней нашлось место лишь для половины тех соединений, о которых следовало бы написать.

Вы можете удивиться — почему так получилось, если книга была посвящена соединениям, содержащим в основном всего-навсего одну разновидность атомов? Ведь всего таких разновидностей насчитывается больше ста, а я когда-то уже написал книгу о всех этих разновидностях (она называлась «Кирпичи Вселенной»), и в ней даже кое-что говорилось об углероде, и все это уместилось в одной книжечке. Почему же так получилось на этот раз?

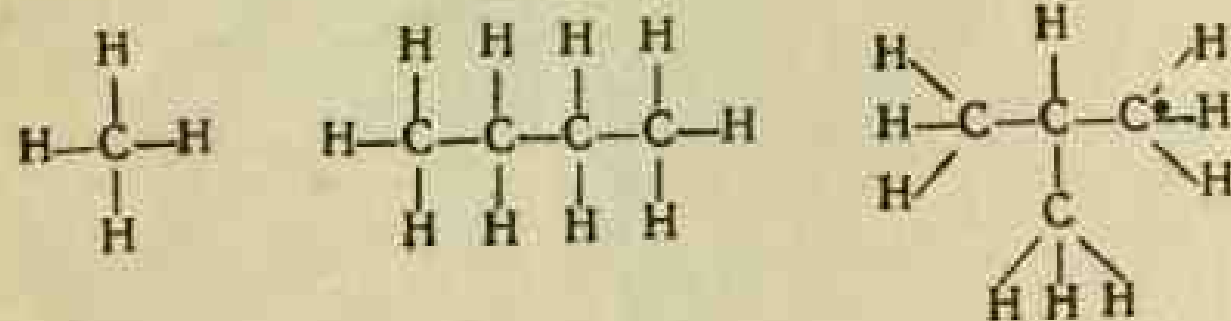
Дело, оказывается, в том, что про атом углерода можно рассказать больше, чем про все остальные разновидности атомов, вместе взятые. Именно благодаря этому возможна та жизнь, которую мы знаем.

СВЯЗИ И СИМВОЛЫ

Начнем с того, что каждый углеродный атом может быть соединен так называемыми связями с четырьмя другими атомами. Чаще всего к атомам углерода присоединяются таким способом атомы водорода — легкого горючего газа, которым раньше надували воздушные шары.

Атом же водорода может присоединяться только к одному атому. Другими словами, атом углерода имеет четыре связи, а атом водорода — только одну.

Мы можем представить себе молекулу (то есть группу атомов, соединенных между собой связями), состоящую из одного атома углерода, к которому присоединены четыре атома водорода. Химики обозначают атомы углерода и водорода символами — первыми буквами их латинских названий: С и Н, а связи изображают черточками. В результате получается формула А.



А

Б

В

Как видите, у атома углерода четыре связи, а у каждого атома водорода — по одной. Эта формула изображает молекулу газа метана. Метан — углеводород, то есть вещество, молекула которого состоит только из атомов углерода и водорода.

Вы можете подумать, что раз у атома углерода четыре связи, а у атома водорода — одна, то это единственный способ их соединения. На самом же деле это далеко не так — в этом и заключается самая суть органической химии и вообще химии жизни.

Используя свои связи, атом углерода может самыми разными способами соединиться с другими атомами углерода. Так могут образовываться сложные сочетания атомов углерода, связанных между собой. Ни одна из известных нам разновидностей атомов не наделена в такой степени этой способностью.

Например, представьте себе четыре атома углерода, связанных между собой и образующих прямую цепочку. У двух средних атомов заняты по две связи, у двух крайних — по

одной. А к оставшимся связям могут быть присоединены атомы водорода. Впрочем, необязательно все это держать в голове — это прекрасно видно на формуле (Б), чем формулы и полезны. У каждого атома углерода по-прежнему по четыре связи, а у атомов водорода — по одной. Это соединение, которое называется нормальным бутаном, — тоже углеводород, но это уже совсем другое вещество, непохожее на метан. Оно состоит из тех же двух элементов, углерода и водорода, но их количество в его молекуле иное. И в результате метан при обычных температурах — газ, и в жидкость он превращается лишь при очень низкой температуре, а бутан хотя тоже представляет собой газ, но может быть сжижен в морозильном отделении домашнего холодильника. Есть между ними и другие различия.

Больше того, могут быть различными даже такие вещества, в молекулах которых содержится одинаковое число атомов и углерода, и водорода, но расположены эти атомы по-разному. Например, четыре углеродных атома бутана необязательно должны образовывать прямую цепочку. Представьте себе, что они расположены в виде буквы Т (формула В).

Это соединение называется изобутаном. Как и у нормального бутана, его молекула состоит из четырех атомов углерода и десяти атомов водорода, — можете проверить сами. Но из-за иного расположения атомов у этих соединений различные свойства. Изобутан, например, сжижается не так легко, как нормальный бутан.

Если иметь в виду, что углеродные цепочки могут иметь практически любую длину и разветвляться чуть ли не любым способом, то не приходится удивляться, что только из атомов углерода и водорода можно построить миллиарды различных соединений. Вот теперь вы, может быть, начинаете понимать, почему мне не удалось уместить всю органическую химию в одной небольшой книжке.

Но мы еще не покончили с удивительными свойствами атома углерода. Два углеродных атома могут быть соединены

между собой двумя связями (двойная связь) или даже тремя (тройная связь). Вот простые примеры таких соединений:

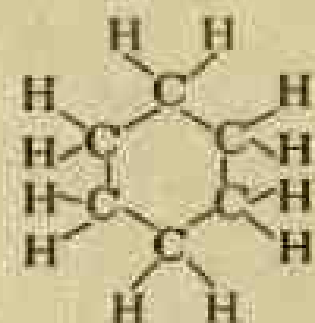


Углеводород с двойной связью — это *этилен*, а с тройной — *ацетилен*. Это *непредельные углеводороды*, потому что в них содержатся не все атомы водорода, которые могли бы в них содержаться, если бы часть связей атомов углерода не была потрачена на соединение их между собой.

В любой мыслимой цепочке атомов углерода двойные и тройные связи могут располагаться почти в любом месте и почти в любом количестве. Это еще больше увеличивает число возможных органических соединений.

КОЛЬЦА И БОКОВЫЕ ЦЕПИ

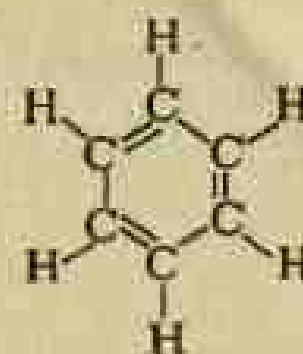
А кто сказал, что атомы углерода могут образовывать только прямые или разветвленные цепочки? Они могут образовывать и кольца. Чаще всего такие кольца состоят из пяти и особенно шести атомов, например:



Это *циклогексан*; свойства его несколько отличаются от свойств *нормального гексана*, у которого атомы углерода образуют прямую цепочку.

Атомы углерода в кольце могут быть соединены и двойными связями. Есть такое очень важное углеродное кольцо, в

котором из шести связей, соединяющих его шесть углеродных атомов, три двойных. Такое соединение называется *бензолом*, и его молекула выглядит так:



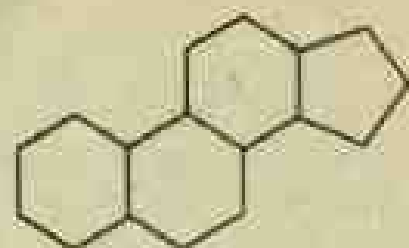
Обратите внимание, что в бензольном кольце связи расположены так: двойная — ординарная (простая) — двойная и так далее. Такое расположение связей называется *сопряженным*. Соединения, в молекулах которых есть сопряженные двойные связи, отличаются особой устойчивостью — это значит, что они менее склонны изменять свое строение, чем такие же соединения без сопряженных двойных связей.

Чтобы сэкономить время, химики часто изображают кольца углеродных атомов просто в виде многоугольников. Например, формула циклогексана может быть изображена в виде шестиугольника, а формула бензола — в виде шестиугольника с тремя двойными связями в нужных местах:



Людям непосвященным такие формулы могут показаться непонятными, но на самом деле нужно помнить всего лишь два простых правила: во-первых, подразумевается, что в каждом углу такой фигуры стоит один атом углерода, и, во-вторых, что ко всем свободным связям, не использованным на построение кольца, присоединены атомы водорода. (Если в состав кольца входит какой-нибудь другой атом, кроме углерода, или к кольцу присоединен какой-нибудь другой атом, кроме водорода, эти атомы всегда указываются полностью даже при написании таких сокращенных формул.)

Кольца углеродных атомов могут соединяться между собой почти в любом числе и располагаться любым способом, как облицовочные плитки в ванной; для таких соединений особенно удобны краткие формулы с многоугольниками. Например, в некоторых очень важных веществах нашего организма атомы образуют четыре соединенных между собой кольца. Такую систему колец можно изобразить так:



(Обратите внимание, что правое верхнее кольцо представляет собой не шестиугольник, а пятиугольник — оно состоит только из пяти атомов углерода.)

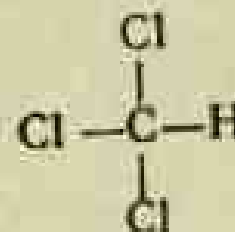
Такое сочетание четырех колец содержится во всех стероидных соединениях. К этой группе веществ относятся кортизон и различные половые гормоны. Стероиды отличаются друг от друга различными атомами или группами атомов, присоединенными к определенным атомам колец. Такие группы атомов, присоединенные к кольцу, называют боковыми цепями. Можно сказать, что стероиды различаются своими боковыми цепями.

Эти боковые цепи обычно называют по тем веществам, которые они напоминают. Если к кольцу (или к любому другому сочетанию атомов) присоединен один атом углерода (разумеется, со всеми полагающимися ему атомами водорода), то он называется *метильной группой* — от названия метана. Группа из двух атомов углерода называется *этильной* (по двухуглеродному углеводороду этану). Группа из четырех атомов углерода получила название *бутильной* или *изобутильной*, в зависимости от того, прямую или разветвленную цепочку образуют эти четыре атома.

Наиболее важное исключение из этого правила составляет бензольное кольцо. Когда оно присоединено к какому-нибудь другому сочетанию атомов, его называют *фенильной группой*.

До сих пор речь шла только о двух типах атомов — об углероде и водороде. Но это не единственные разновидности атомов, которые часто встречаются в составе органических соединений. Например, атом хлора, как и атом водорода, может образовывать одну связь и способен занимать место почти любого водородного атома почти во всех органических соединениях. (Между прочим, хлор — ядовитый газ зеленоватого цвета, но в сочетании с другими элементами он необходим для жизни.)

Вернемся к нашей первой формуле — к формуле метана. Это вещество состоит из одного атома углерода и четырех атомов водорода. Если три атома водорода будут замещены на атомы хлора, получится новое соединение — *хлороформ*:



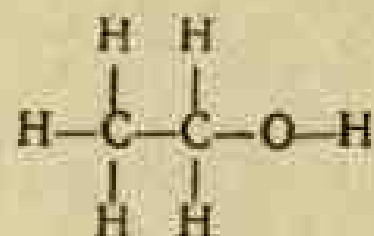
Заметьте, что символ хлора — Cl. Здесь одной начальной буквы недостаточно, потому что она уже использована для обозначения углерода. И чтобы отличать в формулах хлор от углерода, пришлось добавить еще одну букву.

Однако чаще всего после углерода и водорода в составе органических соединений встречается не хлор, а кислород, который в формулах обозначают символом O. (Кислород содержится в атмосфере, которая состоит из него на одну пятую, и необходим для жизни. Мы дышим только для того, чтобы доставлять кислород в легкие, откуда он разносится по всему организму.)

У атома кислорода — две связи, и они могут быть использованы по-разному. Например, одна из них может присоеди-

нять атом углерода, а другая — атом водорода; получается такое сочетание — C—O—H . Всякое соединение, в котором есть такое сочетание атомов, называется спиртом.

Самый известный спирт — именно его мы обычно и имеем в виду, когда просто говорим «спирт», — это этиловый спирт, который содержит в своей молекуле двухуглеродную этильную группу и гидроксильную группу (OH):



Спиртов может быть несметное множество, еще больше, чем углеводов, потому что к каждому углеводу в любом месте его цепи или кольца можно присоединить гидроксильную группу. Можно даже присоединять по нескольку таких групп — две, три, дюжину, хоть несколько сотен.

Когда гидроксильная группа присоединена к бензольному кольцу, получается особая разновидность спиртов — фенол.

Тут возникает один важный вопрос. Дело в том, что атом водорода, входящий в состав гидроксильной группы, имеет некоторую склонность от нее отделиться. Любое соединение, содержащее такой атом водорода, называется кислотой, и чем слабее он стремится отделиться, тем кислота слабее. Этиловый спирт — очень слабая кислота, такая слабая, что это ее свойство обнаруживается лишь в особых, редко встречающихся условиях. А гидроксильная группа фенола теряет свой атом водорода немного легче, так что фенолы — более сильные кислоты, чем обычные спирты. Поэтому фенол нередко называют карболовой кислотой.

Водород, который теряет кислота, — это на самом деле не целый атом водорода, а лишь его часть. Эта часть называется ионом водорода. Остальная часть атома водорода все еще остается присоединенной в виде довеска к первоначальной

молекуле кислоты. Всякий атом или группа атомов, в которых таких субатомных частичек меньше или больше, чем нужно, называется ионом.

Такие ионы (и те, что оставили частичку, то есть являются неполным атомом, и те, у которых эта частичка осталась) несут электрический заряд. Например, когда кислота отдает ион водорода, он заряжается положительно, а оставшаяся часть молекулы кислоты — отрицательно.

Свойства ионов сильно отличаются от свойств тех атомов, из которых они образуются. Например, ион водорода мало чем похож на атом водорода. Еще один пример — атомы натрия образуют ядовитый, очень активный металл, а атомы хлора (если они соединяются попарно) — ядовитый, очень активный газ; в то же время положительно заряженный ион натрия и отрицательно заряженный ион хлора безвредны и даже необходимы для жизни. Соединяясь между собой, они образуют обычную поваренную соль.

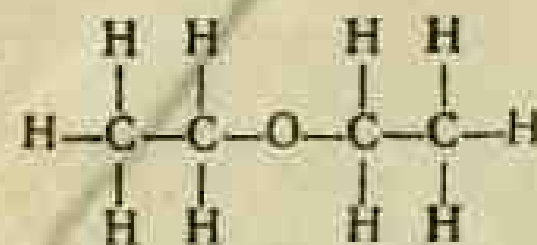
Существуют ионы или молекулы, которые стремятся присоединять к себе ионы водорода. Такие вещества называются основаниями. Заметьте, что основание — это противоположность кислоте: кислота отдает ионы водорода, а основание их присоединяет.

КИСЛОРОД В ДРУГИХ ОБЛИЧИЯХ

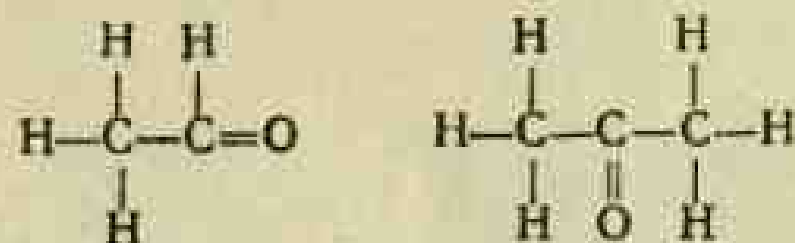
Вернемся к тому, как атом кислорода может использовать свои связи. Бывают случаи, когда обе его связи присоединены к атомам углерода, образуя сочетание C—O—C . Любое соединение, в молекуле которого есть такое сочетание атомов, называется эфиром.

Самый известный эфир — тот, который мы обычно имеем в виду, когда говорим просто «эфир», — это диэтиловый эфир.

В его молекуле кислород соединен с двумя этильными группами:



Может случиться и так, что обе связи кислородного атома будут присоединены к атому углерода. Такая комбинация $\text{C}=\text{O}$ называется *карбонильной группой*. У ее углеродного атома остаются еще две свободные связи, которые тоже могут быть использованы по-разному. Например, одна может присоединить водород, а другая — углерод. Получающееся при этом соединение называется *альдегид*. А могут и обе связи присоединить по атому углерода — тогда получится *кетон*. Вот примеры:



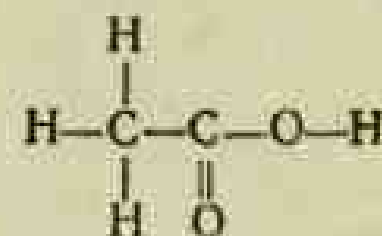
Первое из этих веществ — *ацетальдегид*, второе — *ацетон*.

Молекулы сахаров (к этому классу принадлежит много различных веществ) представляют собой цепи углеродных атомов, один из которых входит в состав карбонильной группы, а к остальным присоединены гидроксильные группы. Поэтому сахар является одновременно альдегидом (или кетоном) и спиртом. Молекулы сахара могут соединяться между собой эфирными связями $\text{C}-\text{O}-\text{C}$, тогда получается гигантская молекула, например молекула крахмала.

Одна из свободных связей карбонильной группы может присоединиться и к атому кислорода, к другой связи которо-

го присоединен атом водорода. Получающееся сочетание $\text{H}-\text{O}-\text{C}=\text{O}$ называется *карбоксильной группой*. Ее водородный атом отделяется от нее гораздо легче, чем водородный атом обычной гидроксильной группы. А это, как вы, вероятно, помните, — признак кислоты. Поэтому органические соединения, содержащие карбоксильную группу, обладают заметными кислотными свойствами и называются *органическими кислотами*.

Самый известный пример органической кислоты — вещество, в котором карбоксильная группа соединена с метильной:



Это *уксусная кислота*, которая придает вкус и запах уксусу. Кислоты с очень длинными углеродными цепочками входят в состав молекул жиров и поэтому называются *жирными кислотами*.

В разных местах одной и той же углеродной цепи может, естественно, попадаться не одно, а много подобных сочетаний атомов — и карбоксильные, и гидроксильные, и карбонильные, и другие группы.

Нередко два подобных сочетания атомов соединяются между собой, так что некоторые атомы оказываются у них общими. Так образуются новые типы сочетаний. Например, могут сочетаться карбоксильная группа органической кислоты и гидроксильная группа спирта:

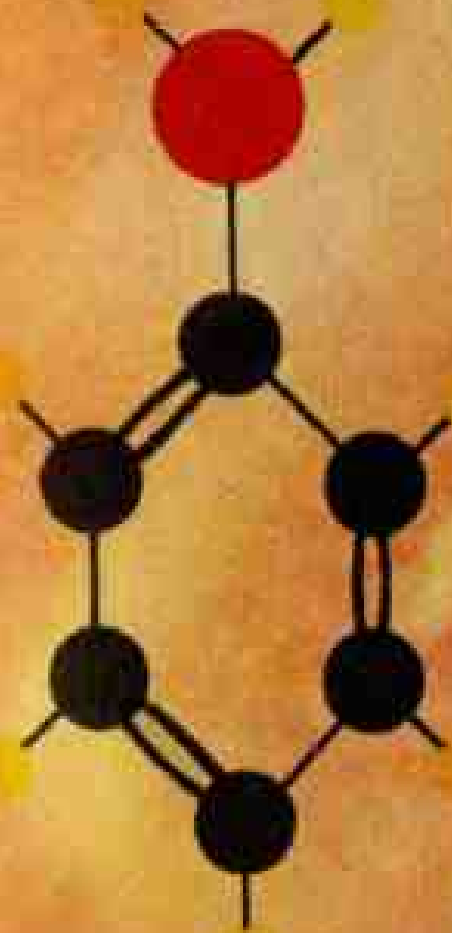


Образующееся при этом новое сочетание $C-O-C=O$ называется эфирной связью, а содержащие ее соединения — сложными эфирами. При образовании их отщепляется группа $H-O-H$, то есть молекула воды. Когда при соединении двух групп отщепляется вода или какая-нибудь другая небольшая молекула, такая реакция называется реакцией конденсации.

Нередко удается, добавляя воду к получившемуся соединению, разорвать образовавшиеся молекулы на их первоначальные составные части. Такая реакция, обратная конденсации, называется гидролизом.

В этой вступительной главе я всего лишь перечислил некоторые сочетания атомов, которые могут встречаться и часто встречаются в органических соединениях. Вы, наверное, понимаете, что если бы я попытался хоть немного рассказать о каждом из этих соединений и о некоторых их «родственников», то уже тех комбинаций, о которых сейчас шла речь, хватило бы на целую книжку. Именно так я и написал «Мир углерода».

Но до сих пор я еще ничего не говорил о множестве других интересных органических соединений, в том числе о самых важных из них. Для того чтобы рассказать о них, нужно познакомить вас с еще одним элементом — азотом. А так как почти во всех органических соединениях, о которых еще осталось рассказать, присутствует азот, я и назвал эту книгу «Мир азота».



1

ЗНАКОМЬТЕСЬ,
АЗОТ!



СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|--|----|
| Что такое гниение | 22 |
| Нервы | 24 |
| Красители | 27 |
| Ненужные отбросы и чудодейственные лекарства | 30 |
| Что скрепляет организм | 33 |

ЧТО ТАКОЕ ГНИЕНИЕ

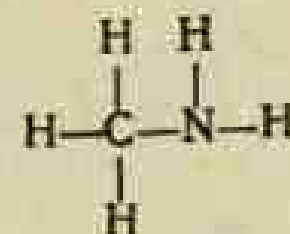
Азот — газ, молекула которого состоит из двух атомов. Он содержится в атмосфере — на его долю приходится 4/5 всего воздуха. В чистом виде азот соединяется лишь с очень немногими веществами и большинству живых организмов не нужен. Мы сами, например, с каждым вдохом вбираем в себя немало азота, который потом выдыхается обратно. Часть его растворяется в крови, но и там с ним ничего не происходит.

Но если заставить азот соединиться с другими атомами, то образуются соединения, необходимые для всего живого. Растения и животные не могут заставить азот образовывать эти соединения. Такой способностью наделены только некоторые бактерии, живущие в почве, — их называют *азотфиксирующими*. Только их присутствие в почве и делает возможным существование всех других форм жизни.

«Фиксация» — это старинный термин, который означает превращение газа или жидкости в твердое вещество в результате какого-нибудь химического воздействия (а не просто замораживания). Подвижные молекулы газа или жидкости при этом как бы фиксируются на месте, обычно входя в состав нового соединения, которое при комнатной температуре представляет собой твердое вещество.

Атом азота способен образовывать три связи, а символом его служит начальная буква его латинского названия — N. Если атом азота соединяется с тремя атомами водорода, получается газ с резким, удушливым запахом — аммиак. Это, конечно, неорганическое соединение, потому что в его составе нет ни одного атома углерода. Но если хотя бы к одной из трех связей азота присоединен углерод, получается уже органическое соединение — *амин*.

Самый простой амин содержит всего лишь один атом углерода:



Это — *метиламин*. Он представляет собой газ с сильным запахом тухлой рыбы. Столь же неприятный запах у большинства простых аминов. Тем не менее они широко используются в промышленности. Например, они могут быть исходными веществами для производства красителей или лекарственных препаратов. Они могут защищать металлы от коррозии — поэтому их добавляют в антифризы и другие жидкости, соприкасающиеся с металлами.

В состав живых тканей входят сложные вещества, молекулы которых после смерти организма различными способами распадаются на более простые. Обычно это происходит в результате химической деятельности *гнилостных бактерий*. При этом из сложных азотсодержащих соединений, особенно содержащихся в рыбе, образуются небольшие количества простых аминов. Это и есть одна из причин скверного запаха, сопровождающего гниение.

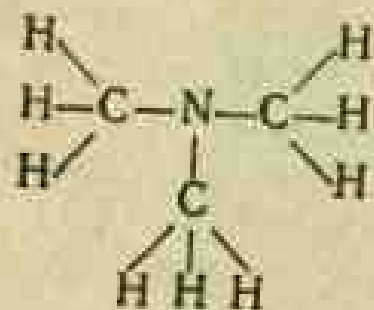
При гниении могут образовываться также и *диамины* — соединения с двумя аминными группами. Например, могут возникать соединения с четырех- или пятиуглеродной цепью, на обоих концах которой находится по аминной группе. Если

в такой молекуле четыре атома углерода, то это *путресцин*, а если пять, — *кадаверин*. (Эти два вещества принадлежат к числу самых неприятных в химии.)

Все подобные продукты гниения называются *птомаинами*. Одно время их считали очень ядовитыми — может быть, вы слышали о «птомаиновом отравлении», вызванном испорченной пищей. Однако теперь мы знаем, что птомаины вовсе не так ядовиты, а отравления вызывают другие, более сложные продукты жизнедеятельности бактерий. Поэтому в наши дни такие отравления называют просто *пищевыми*.

НЕРВЫ

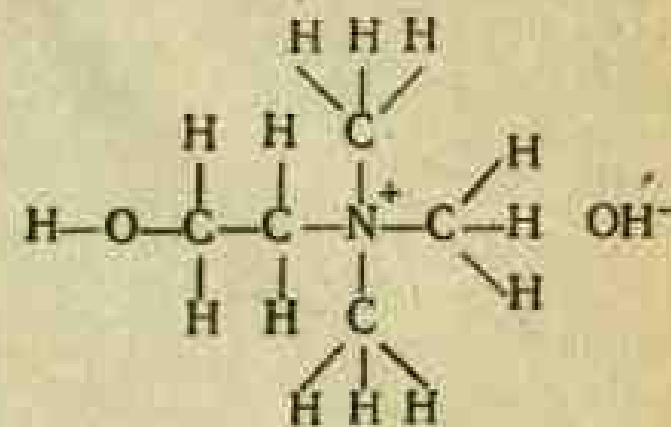
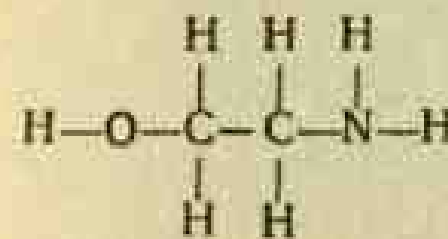
Когда атом азота присоединен к атому углерода лишь одной из своих связей, как в молекуле метиламина, получается *первичный амин*. Но атомы углерода могут быть присоединены и к другим связям азота. Когда азот соединен с двумя атомами углерода, получается *вторичный амин*, а со всеми тремя — *третичный*. Примером третичного амина может служить *триметиламин*, формула которого выглядит так:



При определенных условиях атом азота может образовывать и четвертую связь — столь же прочную, как и три остальные, и не отличающуюся от них по свойствам. Атом азота, соединенный с четырьмя атомами водорода, называется *ионом аммония*. Если же азот соединен с четырьмя другими атомами, из которых по крайней мере один — атом углерода, получается *ион однозамещенного аммония*, а если

с четырьмя атомами углерода, получается *ион четырехзамещенного (четвертичного) аммония*.

Чтобы это стало вам понятнее, посмотрите на эти две формулы:



Первая — это соединение с двумя атомами углерода, аминогруппой на одном конце и гидроксильной группой на другом. Здесь аминогруппа обыкновенная, и ее атом азота имеет три связи. Это соединение называется *этанололамином*.

Второе же соединение немного похоже на этанолламин, но содержит *ион четвертичного аммония*, и в нем к атому азота присоединено четыре атома углерода. Такое соединение называется *холином*.

Согласно современной теории, особый характер этого соединения можно отразить в формуле, поставив около азота маленький плюс (+), чтобы показать, что здесь не хватает одного электрона, и знак минус (—) у иона гидроксила (или кислотного остатка). Впрочем, углубляться в такие подробности в этой книге не стоит.

И этанолламин, и холин — очень важные для организма вещества, потому что они входят в состав некоторых жироподобных соединений.

Обычные жиры и масла представляют собой *глицериды*: это значит, что их молекулы образованы из глицерина (трехуглеродного спирта с гидроксильными группами, присоединенными к каждому атому углерода), к которому присоединены путем конденсации три молекулы жирных кислот. Такие жиры и масла носят название *простых липидов*. («Липид» происходит от греческого слова, означающего «жир».)

Но есть и похожие на них соединения, в которых глицерин сконденсирован лишь с двумя молекулами жирной кислоты. Оставшаяся гидроксильная группа может тогда конденсироваться с другими веществами. В состав этих веществ часто входит этаноламин или холин. Подобные соединения называются сложными липидами.

Сложные липиды гораздо важнее для организма, чем простые. Простые липиды — не более чем склады энергии. Когда человек долго не ест, его организм добывает энергию из простых липидов, расходуя их, и человек худеет. Потом, когда он снова начинает есть, его организм опять запасает простые липиды, и человек толстеет.

Со сложными липидами дело обстоит совсем иначе. Как бы долго человек ни голодал, он никогда не удовлетворяет свою потребность в энергии за счет сложных липидов, даже если он умирает от голода. Очевидно, в каждой клетке есть свой запас сложных липидов, которые необходимы для ее жизнедеятельности и лишиться которых она не может. Особенно это относится к клеткам нервов и мозга.

Очень богат сложными липидами яичный желток — здесь они нужны развивающемуся цыпленку. Самый известный из сложных липидов (в состав его молекулы входит холин) даже называется лецитином — от греческого слова «яйцо».

Химики до сих пор не знают точно, зачем нужны клетке сложные липиды. Возможно, они составляют важную часть клеточной оболочки. Во всяком случае, их много в миелиновой оболочке, покрывающей нервные волокна.

Холин важен для нервов и по другой причине. Его гидроксил может конденсироваться с карбоксильной группой уксусной кислоты, образуя сложный эфир ацетилхолин. Когда нерв возбуждается, из холина и уксусной кислоты образуются небольшие количества ацетилхолина, которые тут же гидролизуются. Это появление и исчезновение ацетилхолина связано с передачей возбуждения по нерву.

Нервы, которые используют для своей работы ацетилхолин, называются холинергическими, а остальные — адренергическими; в их работе участвуют небольшие количества

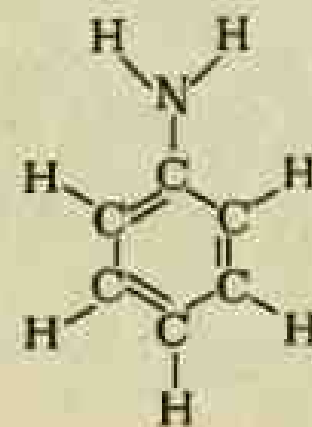
других веществ: адреналин и норадреналин. В молекуле норадреналина аминогруппа присоединена к углеродной цепи, заканчивающейся с другой стороны бензольным кольцом с гидроксильной группой. А у адреналина к атому азота присоединена еще одна дополнительная метильная группа.

Адреналин и норадреналин — торговые названия. Настоящие химические названия этих веществ другие (эпинефрин и норэпинефрин или еще сложнее). Но большинство химиков пользуются чаще нехимическими их названиями.

Адреналин и норадреналин образуются не только в нервах, но и во внутренней части (коре) желез внутренней секреции — надпочечников, которые расположены как раз над почками. При сильных эмоциях, например гневе или страхе, кора надпочечников образует небольшие количества этих соединений и выделяет их в кровь. В результате печень немедленно выбрасывает в кровь глюкозу, сердце начинает чаще сокращаться, кровяное давление поднимается и происходят другие изменения в организме. В общем, во всем организме объявляется боевая тревога, и он готов, в зависимости от обстоятельств, сражаться или пуститься в бегство.

КРАСИТЕЛИ

Если аминогруппа присоединяется прямо к бензольному кольцу, получается молекула анилина:



Анилин важен для нас не столько сам по себе, сколько из-за тех продуктов, которые из него можно получить. Еще в 1856 году с анилином экспериментировал молодой лондонский студент-химик Вильям Генри Перкин. Он пытался получить из анилина хинин (препарат, применяющийся для борьбы с широко распространенной болезнью — малярией). У Перкина ничего не получилось, потому что молекула хинина имеет сложное строение, а в то время еще слишком мало было известно и о ее структуре, и вообще о технике синтеза, чтобы эта затея могла удалиться.

Но, потерпев в этом неудачу, Перкин все-таки сделался богатым человеком — благодаря тому, что, действуя на анилин разными соединениями, он в конце концов получил фиолетовое вещество, получившее впоследствии название «анилинового фиолетового». Перкин не пренебрег им, а попытался, какое значение может иметь это вещество, и разработал способ его производства в больших количествах. Это вещество стало первым удачным синтетическим красителем (Красителем называют окрашенное вещество, которое может быть более или менее прочно присоединено к текстильным материалам.) «Анилиновый фиолетовый» быстро вошел в моду. Французы называли его *мовеином* — от примененного ими специально для обозначения этого цвета слова *mauve* — «мов»*.

В художественной литературе химики и другие ученые нередко делают великие открытия как будто случайно. В повседневной жизни такое бывает гораздо реже, но все-таки случается — так было и на этот раз. Но самое поразительное в этом открытии было, пожалуй, то, что, когда Перкин его сделал, ему было всего 18 лет.

С тех пор были синтезированы сотни разнообразных красителей, и во многих случаях исходным материалом для синтеза служил анилин. Такие красители называют *анилиновыми*. Обычно они имеют весьма сложные молекулы, в

* Это французское название цветка — мальвы. — Прим. перев.

состав которых почти всегда входят несколько бензольных колец и несколько атомов азота.

Эти атомы азота могут содержаться в аминогруппах, как, например, в молекуле красителя *фуксина*, названного так потому, что он окрашен так же, как цветок фуксия. Другие же, так называемые *азокрасители*, содержат в своей молекуле *азогруппу* — два атома азота, соединенные вот так: $-N=N-$.

Слово «азо» происходит от названия азота, которое, в свою очередь, ведет свое происхождение от греческих слов, означающих «безжизненный».

Поскольку анилин получают в больших количествах преимущественно из каменноугольного дегтя — черной, вязкой жидкости, образующейся при сильном нагревании каменного угля без доступа воздуха, — анилиновые красители нередко называют *каменноугольными*. Многие люди с трудом могут поверить, что такое безобразное черное вещество, как каменноугольный деготь, может давать красители столь красивых цветов. На самом деле они обязаны своим происхождением анилину, а он бесцветен.

Химик-органик, который строит на основе молекулы анилина сложные молекулы красителей, должен знать молекулярное строение соединений, которые у него получаются. Он обязан также иметь представление о том, как должны располагаться атомы, чтобы появилась окраска. Вот вам еще один пример пользы, которую приносят структурные формулы.

Но еще более поразительный пример того, зачем нужно знать структуру молекул, связан с историей лекарственного препарата кокаина. Его получали из листьев южноамериканского растения кока. Кокаин — местное обезболивающее средство: если его ввести, например, в десну недалеко от нервного окончания, то вся половина челюсти на время потеряет чувствительность. За это время можно вырвать больной зуб без всякой боли, не усыпляя больного. Единственный недостаток кокаина — то, что к нему привыкают.

Химики установили структуру кокаина и принялись синтезировать различные ее части. Они надеялись, что им удастся получить более простое вещество, которое сохраняло бы полезные свойства кокаина, но было бы лишено его недостатков. (А кроме того, если бы они смогли получить такое вещество в лаборатории, медикам не пришлось бы зависеть от импорта сырья для получения кокаина из Южной Америки.)

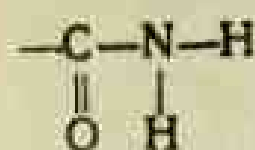
Они синтезировали самые разнообразные молекулы, построенные по образцу кокаина. Например, в состав его молекулы входит третичный амин, а одна из углеродных цепей молекулы, присоединенных к нему, связывает его с бензольным кольцом. В ходе поисков химики сохранили лишь эту часть молекулы, сделав в ней небольшие изменения, а от всего остального избавились. Получилось новое вещество, названное *прокаином*. Его обезболивающее действие вдвое слабее, чем у кокаина, но зато его нежелательные свойства в большей степени ослаблены. В зубоврачебных поликлиниках прокаин полностью заменил кокаин. А если название «прокаин» кажется вам незнакомым, — то уж наверное вы знаете торговое название этого вещества — *новокаин*.

НЕНУЖНЫЕ ОТБРОСЫ И ЧУДОДЕЙСТВЕННЫЕ ЛЕКАРСТВА

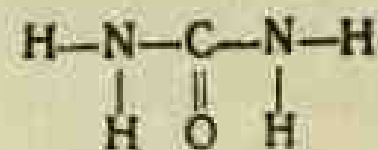
Атом азота аминогруппы может быть соединен с атомом углерода карбонильной группы (формула А). Любое соединение, содержащее такую комбинацию атомов — *амидную группу*, — называется *амидом*. (Только не путайте амиды с аминами!)

Обратите внимание, что у атома углерода амидной группы еще остается одна свободная связь. Если к ней присоеди-

нить другую аминогруппу, получается *мочевина* (Б).



А



Б

С мочевины началась вся современная органическая химия: это было первое органическое вещество, полученное в лаборатории. В организме человека образование мочевины — важный путь удаления отходов. Те вещества организма, которые состоят только из атомов углерода, водорода и кислорода, как, например, сахар или жир, превращаются в ходе жизнедеятельности в двуокись углерода и воду. Их вывести из организма легко: двуокись углерода — это газ, который выходит через легкие, а вода может удаляться с потом, или с мочой, или даже в виде водяного пара тоже через легкие.

Но что организму делать с веществами, которые содержат атомы азота? Ведь их молекулы тоже понемногу разрушаются. А куда девать атомы азота? Выделять их в виде газа через легкие организм не может. Он может выделять их в виде аммиака с мочой — именно так обстоит дело у многих морских животных. Но аммиак очень ядовит. Морским животным это не страшно, потому что выделяемый ими аммиак разбавляется целым морем воды. А мы такой возможности не имеем. Человек и другие млекопитающие, живущие на суше, не имеют в своем распоряжении такой «обширной помойки». Весь ненужный азот, который выделяется в их организме, им приходится некоторое время накапливать, пока не подвернется случай от него избавиться (точно так же, как вы накапливаете мусор в мусорных ящиках, пока за ним не приедет машина). Поэтому соединение, в виде которого выделяется лишний азот, должно быть безвредным.

Для этой цели вполне подходит мочевины. Она может накапливаться в крови в довольно больших количествах, не вызывая никаких вредных последствий. Когда кровь прохо-

дит через почки, мочеви́на отделяется от нее и время от времени выводится из организма в виде водного раствора — мочи. (Вообще-то в моче содержатся и многие другие ненужные продукты жизнедеятельности, но ни один из них не достигает в ней таких концентраций. От слова «моча» происходит и название мочевины.)

Мочевина — ничем не выдающееся, давно известное соединение с несложной молекулой. Существуют и другие, более знаменитые амиды, с более сложными молекулами. Сравнительно недавно были, например, открыты тетрациклины (от греческих слов, означающих «четыре кольца»). Как вы догадываетесь, их молекулы состоят из четырех соединенных между собой шестичленных колец, к которым присоединены еще гидроксильные и метильные группы, аминокгруппы и одна амидная группа.

Тетрациклины, получаемые из некоторых видов плесени, — мощные противомикробные средства. Такие вещества, выделяемые микроскопическими организмами и губительно действующие на другие микроскопические организмы, называются антибиотиками (от греческих слов, означающих «против жизни»).

Антибиотики получили широкое распространение после второй мировой войны и оказали большую помощь человечеству в борьбе против микробных инфекций. Вероятно, и вам когда-нибудь делали уколы антибиотиков, и очень может быть, что это были тетрациклины. Их торговые названия вам, вероятно, знакомы. Близкий родственник тетрациклина — окситетрациклин (к одному из его колец присоединена лишняя гидроксильная группа) носит название тетраамици́на, а хлортетрациклин (к кольцам которого присоединен атом хлора) называют еще ауреомици́ном.

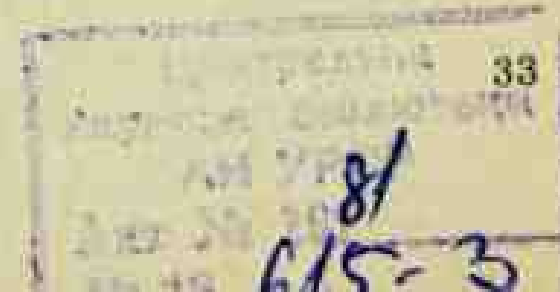
Корень «мицин» в этих фирменных названиях происходит от названия плесневых грибов, из которых получают антибиотики, — актиномицетов. «Аурео» — от латинского слова «золото», это связано с золотистым цветом ауреомицина. «Тетра» происходит от латинского слова «земля», потому что грибки, из которых получают эти полезные вещества, живут в почве.

Существует вещество, молекулы которого состоят из двух соединенных между собой аминокгрупп. Это вещество называется гидрази́ном. А если такая группа соединена с карбоксильной, то получается гидразид. Один из самых известных гидразидов — изониазид, препарат, который применяется для лечения туберкулеза.

ЧТО СКРЕПЛЯЕТ ОРГАНИЗМ

Если в молекуле сахара одна из гидроксильных групп замещена на аминокгруппу, получается аminosахар. Самый распространенный из аминосахаров — глюкозамин. Его молекула похожа на молекулу простого шестиуглеродного сахара глюкозы, с той только разницей, что одна гидроксильная группа около конца цепи замещена на аминокгруппу. Гигантские молекулы, состоящие из остатков глюкозамина, связанных между собой двухуглеродными цепями, присоединенными к атомам азота каждого остатка, образуют вещество, которое называется хити́ном.

Хитин — это прочное, роговидное, слегка эластичное вещество, которое образует панцирь насекомых, крабов, омаров, креветок и других подобных животных. Они как будто одеты в скорлупу, и слово «хитин» происходит от слова хитон, так называется верхняя одежда, которую носили древние греки. Эта «скорлупа» — самый богатый органическим веществом внешний скелет во всем животном царстве. У моллюсков (устриц, улиток и т. д.) тоже есть внешний скелет, но он состоит из углекислого кальция. В какой-то степени это тоже органическое вещество, поскольку его молекулы содержат атомы углерода. Однако по своим свойствам оно гораздо ближе к минералам, чем к органическим веществам.

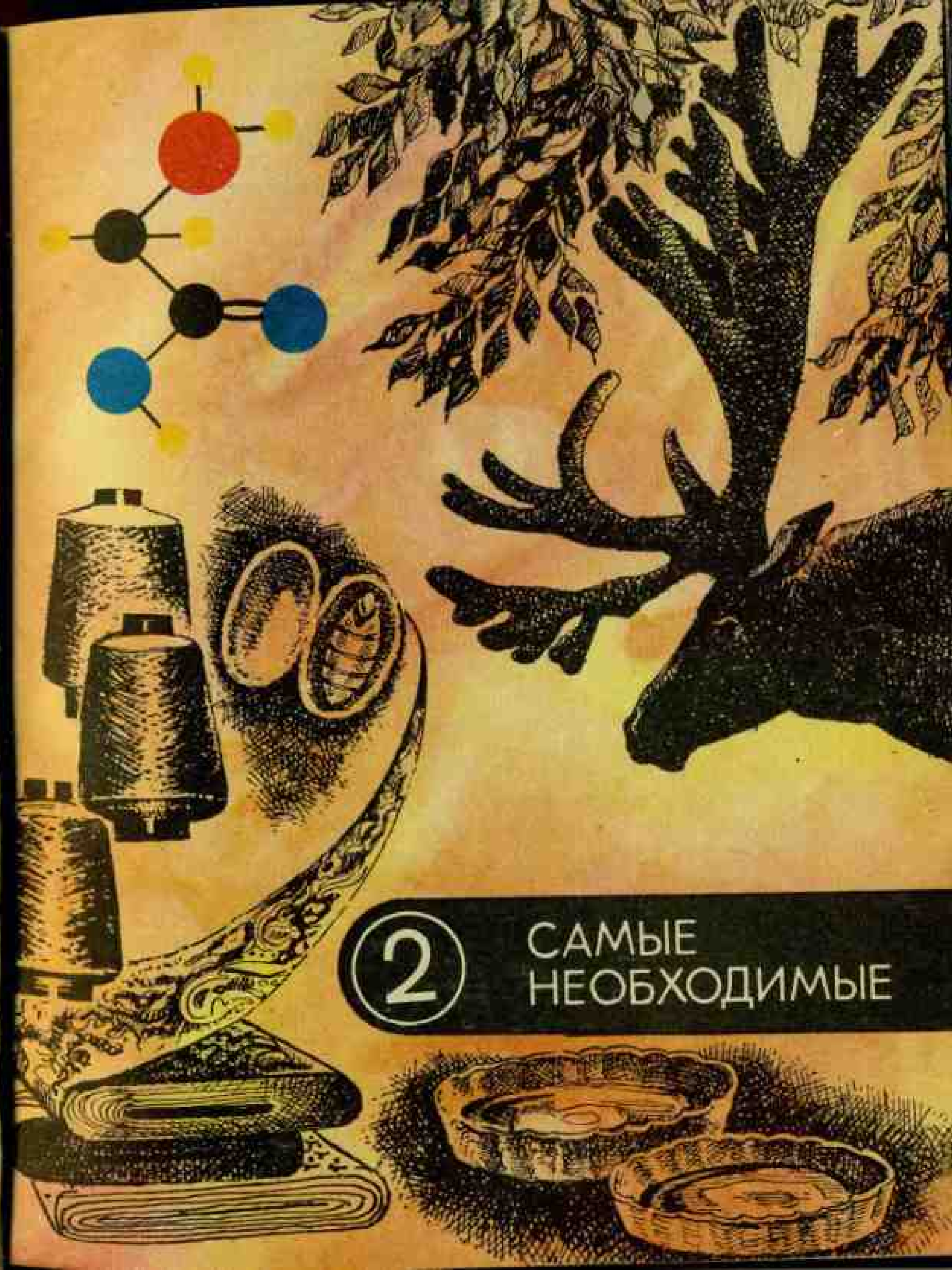


И действительно, углекислый кальций в природе встречается в виде минерала — известняка.

Позвоночные животные (в том числе рыбы, земноводные, пресмыкающиеся, птицы и млекопитающие) имеют внутренний скелет. Такой скелет лучше скрепляет тело и служит ему лучшей опорой, чем внешний скелет менее развитых животных. Как это ни странно, из всей этой компании у человека скелет содержит меньше всего органического вещества. Главная составная часть наших костей и зубов — минерал, принадлежащий к группе так называемых гидроксиапатитов, которые углерода не содержат. Есть в наших костях и углекислый кальций, но в небольшом количестве.

Конечно, органическое вещество все-таки содержится в наших костях. В основном это длинные молекулы, состоящие из остатков сахарных кислот (похожих на сахара, но только с добавлением карбоксильных групп) и аминокислот. Такие вещества называются *мукополисахаридами*. Это прочные и в то же время эластичные вещества, которые могут быть к тому же и клейкими. Кроме костей из них в значительной степени состоят связки и сухожилия, скрепляющие мышцы с костями и кости между собой.

Мукополисахариды содержатся и в мушине — веществе, которое выделяют клетки кишечника и которое играет роль смазки, уменьшающей трение между пищей и стенками пищеварительного канала. Муцин есть, например, в слюне — это он делает ее густой, липкой и тягучей. Мукополисахариды содержатся также в *синовиальной жидкости*, которая находится внутри суставов и смазывает соприкасающиеся поверхности костей: благодаря им мы имеем возможность легко и безболезненно двигать руками и ногами. И даже отдельные клетки тела скрепляет между собой мукополисахаридный «клей», который носит название *гиалуроновой кислоты*.



2

САМЫЕ
НЕОБХОДИМЫЕ

СОДЕРЖАНИЕ

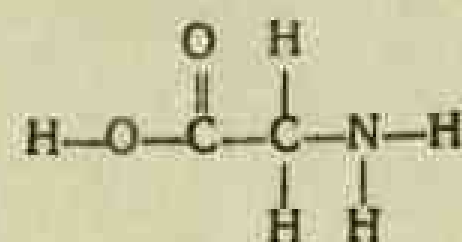
| | |
|-------------------------|----|
| Набор кирпичиков | 36 |
| Кирпичики | |
| выстраиваются в ряд | 39 |
| Волокна | 41 |
| Десерт | 43 |
| Хрупкие молекулы | 45 |
| Кровь и пища | 47 |
| Вторые профессии | |
| аминокислот | 50 |
| Еще о вторых профессиях | 52 |

НАБОР КИРПИЧИКОВ

Когда вещество содержит в своей молекуле одновременно и карбоксильную группу, и аминогруппу, оно носит название аминокислоты. Примером может служить пара-аминобензойная кислота — ее молекула состоит из бензольного кольца, в котором к противоположно расположенным атомам углерода присоединены аминогруппа и карбоксильная группа. Одно время это соединение считали витамином и даже называли его «витамином Н». Однако это, по-видимому, было ошибкой, и теперь ни в одном перечне витаминов вы его не найдете.

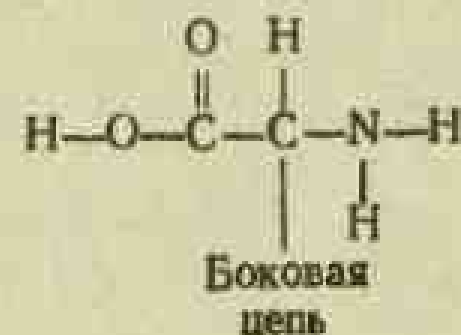
Наибольшее значение имеют те аминокислоты, в которых карбоксильная и аминогруппа присоединены к одному и тому же атому углерода. Их называют *альфа-аминокислотами*. Немногим больше или меньше 19 таких аминокислот встречается почти во всех живых тканях организма, обычно в составе более сложных молекул. Кроме них в организме иногда встречаются и другие альфа-аминокислоты.

Молекула самой простой альфа-аминокислоты имеет такую формулу:



Эта аминокислота называется *глицином*. Корень этого слова означает «сладкий», и в самом деле глицин обладает сладким вкусом.

Другие альфа-аминокислоты отличаются от глицина только одним: в молекуле глицина к атому углерода, расположенному в середине цепи, присоединены два атома водорода. А у других альфа-аминокислот один из этих атомов водорода замещен на какую-нибудь функциональную группу — эту группу называют боковой цепью. В результате молекула выглядит так:



Иногда боковая цепь представляет собой просто углеводородную группу. Например, в молекуле *аланина* это метильная группа; в молекуле *валина* — углеводород с тремя атомами углерода и разветвленной цепью, в молекулах *лейцина* и *изолейцина* — четырехуглеродные цепи, тоже разветвленные, но по-разному. В молекуле *фенилаланина* в состав боковой цепи входит бензольное кольцо.

В других случаях боковая цепь может быть и более сложной. Например, в молекуле *серина* она представляет собой

метильную группу, к которой присоединена гидроксильная, а в молекуле треонина — этильную группу, к одному из углеродных атомов которой присоединена гидроксильная. Тирозин похож на фенилаланин, с той лишь разницей, что к бензольному кольцу его боковой цепи присоединена гидроксильная группа, так что в состав его боковой цепи входит фенильная группа.

Боковые цепи молекул аспарагиновой и глутаминовой кислот содержат вторую карбоксильную группу, а боковая цепь молекулы лизина — вторую аминогруппу.

Как я уже говорил, карбоксильная группа придает веществу свойства слабой кислоты. А аминогруппа придает ему свойства слабого основания. В молекуле аминокислоты, где есть и та и другая группа, противоположные свойства взаимно уничтожаются. Поэтому молекула, подобная глицину, — не кислота и не основание, это нейтральная аминокислота.

Если же в боковой цепи молекулы аминокислоты есть еще одна карбоксильная группа, то всего их в молекуле получается уже две, а аминогруппа лишь одна. Поэтому в таких случаях преобладают кислые свойства. В результате глутаминовая и аспарагиновая кислота — это кислые аминокислоты.

В молекуле лизина (в боковой цепи) есть вторая аминогруппа и, следовательно, преобладают основные свойства. Лизин — основная аминокислота.

Я назвал пока что всего 12 аминокислот. У остальных в боковых цепях есть такие группы атомов, о которых я еще не рассказывал. О них речь пойдет немного позже.

Все аминокислоты, о которых до сих пор шла речь, необходимы организму. Но не все они обязательно должны содержаться в пище. Например, представьте себе, что в составе сложных молекул пищевых продуктов, которые вы едите, есть глицин, но нет серина. В таком случае ваш организм

может изготовить серин, который ему нужен, из глицина. Точно так же, если в пище есть серин, но нет глицина, организм может вырабатывать недостающий глицин из серина. Такие аминокислоты, которые организм может вырабатывать сам из других веществ, входящих в состав пищи, называются заменимыми. К ним принадлежат глицин и серин.

Потребность в аминокислотах различна у разных организмов. Например, цыплята не могут вырабатывать столько глицина, сколько им нужно, и его приходится добавлять им в пищу. А крысы, наоборот, могут вырабатывать нужные количества глицина.

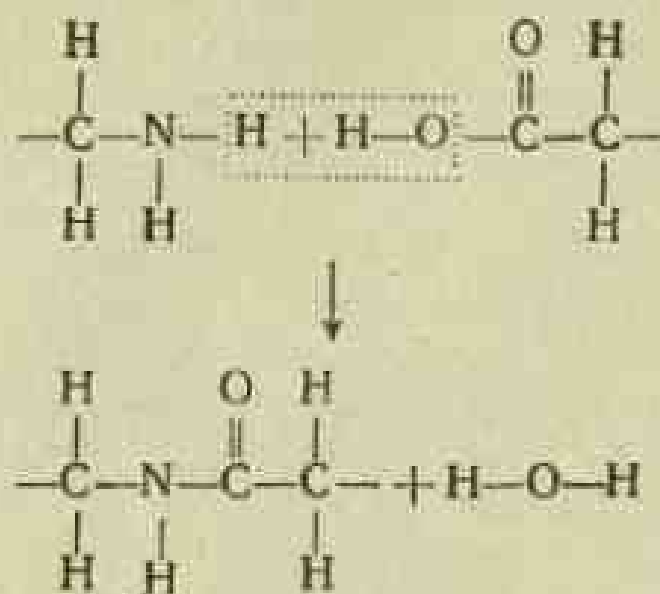
Но есть несколько аминокислот, которые обязательно должны содержаться в пище, потому что их организм не может вырабатывать из других веществ. Например, взрослый человек не может вырабатывать для себя валин, лейцин, изолейцин, фенилаланин, треонин и лизин. Эти аминокислоты называются незаменимыми.

КИРПИЧКИ ВЫСТРАИВАЮТСЯ В РЯД

Кровь и другие жидкости организма всегда содержат небольшие количества различных аминокислот. Однако большей частью аминокислоты конденсируются друг с другом, образуя большие молекулы — в таком виде они в основном и встречаются в организме.

При конденсации одной аминокислоты с другой могут вступать во взаимодействие любые функциональные группы (в любом сочетании). Возьмем, например, молекулу глицина. Ее аминогруппа может конденсироваться с карбоксильной группой другой аминокислоты, а ее карбоксильная группа в то же время может конденсироваться с аминогруппой

третьей аминокислоты. Как это происходит, вы можете видеть на схеме:



Сочетание атомов —CO—NH—, которое образуется в таких сконденсированных молекулах (такое сочетание вы можете найти в приведенной формуле), представляет собой особую разновидность амидной группы. Вы можете сравнить это сочетание с формулой амидной группы, приведенной в главе 1, и тогда поймете, что я имею в виду. Связь, с помощью которой группа соединена с аминокислотой, как в данном случае, получила специальное название — *пептидная связь*. А аминокислоты, соединенные такими пептидными связями, образуют *пептиды*.

Если таким способом соединены только две аминокислоты, получается *дипептид*; три образуют *трипептид* и так далее. Если же цепь состоит из большого числа аминокислот — такого большого, что его даже нельзя с точностью установить, — то такое соединение называется *полипептидом*.

Полипептидное строение имеют молекулы некоторых гормонов. Например, два гормона, выделяемые гипофизом (небольшой железой, расположенной в самом центре головы, под головным мозгом), представляют собой полипептиды, составленные каждый из восьми различных аминокислот, то есть *октапептиды*. К числу полипептидов принадлежат также некоторые антибиотики.

ВОЛОКНА

Соединиться в полипептидную цепочку может почти неограниченное число аминокислот. Одна такая большая молекула может состоять из тысяч и тысяч их остатков. Когда в состав молекулы входит больше десятка аминокислот, такое вещество называют белком или *протеином*. Название «протеин» происходит от греческого слова, означающего «важнейший», «жизненно необходимый». Это слово точно характеризует значение белков для организма.

Некоторые белковые молекулы представляют собой всего лишь более или менее прямые цепочки простых аминокислот. Прекрасный пример такого белка — вещество, вырабатываемое шелковичным червем (который, между прочим, на самом деле вовсе не червь, а гусеница бабочки — шелкопряда). На определенном этапе развития шелковичный червь погружается в нечто вроде спячки, во время которой полностью перестраивается его жизнедеятельность. Когда эта перестройка заканчивается, он превращается из гусеницы в бабочку.

Во время этой стадии спячки шелковичный червь совершенно беспомощен. И вот, чтобы защитить себя от опасностей, он выделяет из специальных желез две тонкие струйки жидкости, которая тут же застывает и превращается в тонкое волокно. Червь обматывает себя этим волокном, и получающийся кокон защищает его, пока ему не наступит время вновь показаться на свет.

Волокна, из которых строится этот кокон, мы называем *шелком*, а главная составная часть его — белок — называется *фибрином*. Его молекулы представляют собой цепочки примерно из сотни аминокислот каждая. В их состав входят преимущественно лишь самые простые аминокислоты, прежде всего глицин, аланин и серин. (Само название серина происходит от латинского слова, означающего шелк, потому что именно здесь серин был впервые обнаружен.)

Подобные белковые волокна обычно отличаются большой прочностью и могут выдерживать немалый груз, не разрываясь. Шелк, например, настолько прочен, что его волокно может выдержать больший груз, чем стальная проволока такой же толщины. К тому же шелк отличается красивым блеском, и из него можно получать очень тонкую, прозрачную ткань. Шелковая ткань всегда была предметом роскоши, начиная с древнеримских времен (и даже еще раньше, в Древнем Китае, где впервые начали выращивать шелковичного червя, чтобы использовать его коконы).

В 1947 году химики научились синтезировать белковые волокна, используя в качестве «сырья» отдельные молекулы одной или двух аминокислот. Такие искусственные полипептиды многими своими свойствами напоминают фиброин, но по разным причинам не могут заменить натуральный шелк.

Тем не менее вполне удовлетворительный искусственный шелк был впервые получен еще в 1935 г. Он состоял из двух типов молекул: у одних на обоих концах были аминогруппы, а у других — карбоксильные группы. Эти молекулы соединялись через одну в длинную цепь, и получалось волокно, похожее на шелк, но отличающееся еще большей прочностью. Оно получило название *найлona*.

Промышленное производство *найлona* началось в 1940 году, а когда вторая мировая война резко сократила ввоз шелка, это искусственное волокно почти полностью заменило природное. Больше того — к концу войны женщины пришли к выводу, что оно в любом случае лучше натурального шелка. В наше время женские чулки делаются почти исключительно из *найлona*. Из него же изготавливают и всякую другую одежду, как женскую, так и мужскую.

Найлон ценят не только за его красоту, но и за прочность. Например, *найлonoвый* корд часто применяется в производстве автомобильных шин.

В человеческом организме тоже содержится довольно много белковых волокон. Например, волосы почти целиком состоят из волокон белка *кератина*. Этот белок можно встретить

и в составе других наружных оболочек тела — он есть в коже и ногтях. Он содержится также в когтях, чешуе, перьях, рогах и копытах разных животных. (Слово «кератин» происходит от греческого слова, означающего «рог».)

С практической точки зрения самая важная разновидность волос — это та, что растет на овцах и называется шерстью. Волокна шерсти не так прочны, как волокна хлопка или шелка, но зато из них можно делать теплую и легкую одежду, которую человек высоко ценит вот уже много тысячелетий.

Поверхность каждого волоконца шерсти покрыта крохотными чешуйками с неровными краями. Под давлением эти волоконца сцепляются друг с другом и образуют сплошную массу — *фетр*. А так как из кератина состоят любые волосы и любая шерсть, то с химической точки зрения самая дешевая фетровая шляпа почти ничем не отличается от самого дорогого шиншиллового мантио...

Большинство животных неспособно переваривать кератин. К нашему несчастью, такой способностью наделены гусеницы некоторых бабочек и жуков. Такие насекомые (например, моль) откладывают яйца на шерстяную одежду или ковры, из яиц выводятся гусеницы и поедают волокна шерсти, причиняя большой ущерб. Одна из самых важных областей применения современных инсектицидов — уничтожение этих вредителей, питающихся шерстью.

ДЕСЕРТ

Волокна образует и другой белок, который в человеческом организме входит в состав сухожилий, костей и хрящей. Он называется *коллагеном*.

Если большинство белковых волокон несъедобно, то *коллаген* отчасти представляет собой исключение. Пока он остается *коллагеном*, он тоже несъедобен; но если его нагреть (на-

пример, при приготовлении пищи), он — по крайней мере частично — превращается в мягкое, клейкое вещество, которое организм может переварить и использовать. (Само слово «коллаген» происходит от греческих слов, которые означают «рождающий клей». На клееварных фабриках в клей превращают рога и копыта животных.)

Молекула коллагена состоит из нескольких аминокислотных цепей, соединенных между собой довольно сложным способом. От сильного нагревания молекула распадается на отдельные цепи — получается желатин.

Желатин хорошо растворяется в воде и вполне съедобен. Особенно приятной консистенцией обладает желе из него. Собственного вкуса он не имеет, но если добавить в такое желе какие-нибудь вкусовые вещества, можно получить прекрасный десерт. Желатин добавляют также в мороженое, чтобы придать ему определенную консистенцию. Добавляют его и в мясные консервы в желе.

Однако, несмотря на эти достоинства, желатин имеет и некоторые недостатки, которые требуют специального объяснения.

Дело в том, что, когда белок переваривается организмом, он гидролизуются в желудке и кишечнике на отдельные аминокислоты, которые и усваивает организм. Попав таким путем в организм, аминокислоты могут претерпевать различные превращения. Например, они могут разлагаться до двуокиси углерода, воды и мочевины — при этом выделяется энергия, которую организм может использовать точно так же, как и ту, что выделяется при распаде жиров или углеводов. Важнее всего здесь отщепление мочевины — как только оно произошло, необязательно тут же расщеплять то, что остается от молекулы аминокислоты; эти остатки можно превратить в гликоген или жир и запасти на будущее.

Но гораздо большее значение имеет способность организма строить из аминокислот новые, свои собственные белки — другими словами, свои ткани. Однако для этого нужно, чтобы в составе белков, содержащихся в пище, было достаточное количество незаменимых аминокислот, которые организм

не может вырабатывать сам. Заменяемые аминокислоты не играют такой большой роли — их организм может вырабатывать из других веществ. Но незаменимые аминокислоты должны присутствовать в пище в нужных количествах.

Вот тут-то и сказывается главный недостаток желатина. В нем почти нет некоторых незаменимых аминокислот. И если человек попробует полагаться в качестве источника белка в своем питании только на желатин, то он будет худеть, болеть и в конце концов умрет. (Хотя если в составе пищи представлены и другие белки, как это обычно бывает, вовсе не следует отказываться от желатина на десерт. А кроме того, он всегда может послужить источником энергии.)

ХРУПКИЕ МОЛЕКУЛЫ

Очень сложным строением отличается другая группа белков организма — глобулярные белки. Они получили свое название в те времена, когда химики считали, что если у волокнистых белков молекулы длинные и тонкие, как волокна, то у глобулярных они больше похожи на шарики. На самом деле все это вовсе не так просто: у глобулярных белков тоже могут быть довольно длинные тонкие молекулы. Тем не менее такое название за ними закрепилось.

Для глобулярных белков характерна другая особенность. В отличие от прочных и крепких волокнистых белков они принадлежат к числу самых хрупких веществ, какие мы знаем.

Молекулы глобулярных белков тоже представляют собой цепи аминокислот, свернутые и скрученные определенным образом. Их петли и витки сохраняют свое расположение благодаря очень слабым связям, которые называются *водородными связями*. Глобулярные белки могут выполнять свою функцию лишь в том случае, если их молекулы сохраняют свою форму. Любое воздействие, способное разорвать водо-

родные связи (незначительное нагревание, действие чуть ли не всякого химического соединения и даже хорошая встряска), приводит к тому, что аминокислотные цепи располагаются в полном беспорядке, молекула белка теряет свою форму, а вместе с ней — способность выполнять определенную функцию. В таких случаях говорят, что белок денатурирован.

В организме белки выполняют тысячи разных дел. Секрет их универсальности заключается в строении аминокислот, из которых они состоят. Боковые цепи этих аминокислот торчат в стороны от полипептидного «скелета» молекулы. В состав каждого белка входит 19 разных аминокислот (иногда к ним добавляется еще несколько). Некоторые из них насчитываются в молекуле белка десятками, некоторые — сотнями. Для каждого индивидуального белка характерно свое определенное расположение аминокислот вдоль полипептидной цепи, а значит, и определенная последовательность боковых цепей. А определенная последовательность боковых цепей влечет за собой определенное сочетание свойств.

Возможное число таких последовательностей огромно. Даже если бы каждая когда-либо существовавшая молекула белка имела свою последовательность, все равно можно было бы не бояться, что все возможные комбинации могут быть исчерпаны. В последние годы химики упорно пытаются определить, какова же последовательность расположения аминокислот в тех или иных белках. И для некоторых белков проще эта последовательность уже определена.

КРОВЬ И ПИЩА

Есть такие белки, молекулы которых состоят только из аминокислот — их называют собственно белками или протеинами. В состав других белков могут входить мукополисахариды или какие-нибудь сложные липиды. Их называют соответственно глюкотеинами или липотеинами.

Белки, которые построены не только из аминокислот, но и из других веществ, получили общее название протеидов.

В частности, липотеины в последнее время привлекают к себе особое внимание врачей. Сейчас главной причиной смертности в США является атеросклероз — болезнь, при которой в стенках артерий отлагаются стерины и другие жироподобные вещества, что нарушает нормальное кровообращение. Поэтому врачи пытаются выяснить, нет ли какой-нибудь связи между этой болезнью и содержанием, а также составом липотеинов в крови.

Собственно белки разделяются на два главных класса: альбумины и глобулины. У альбуминов молекулы поменьше, и они хорошо растворимы в воде. А у глобулинов молекулы побольше, и в воде они растворяются хуже. Альбумины содержатся в яичном белке (само слово «альбумин» происходит от латинского слова «белый»), в молоке и в жидкой части крови — плазме.

Плазма крови содержит, кроме альбуминов, еще и глобулины, и пришлось разработать специальные хитрые методы, чтобы их разделять. Кроме того, сами глобулины тоже делятся на несколько групп — их обозначают буквами греческого алфавита: альфа-глобулины, бета-глобулины и гамма-глобулины.

Самые важные из этих белков — гамма-глобулины. К их числу принадлежат молекулы антител, которые вырабаты-

вает организм, чтобы защищаться от вредного действия попадающих в него тем или иным путем чуждых белков. Чаще всего эти чуждые белки — те, которые организм не вырабатывает сам, — принадлежат болезнетворным микроорганизмам. Когда организм начинает вырабатывать нужные антитела против этих белков, микробы обезвреживаются, и больной выздоравливает.

При некоторых болезнях (например, при оспе, свинке или кори) образовавшиеся антитела остаются в крови вместе с другими гамма-глобулинами на много лет. Вот почему люди, однажды переболевшие такой болезнью, больше к ней невосприимчивы — приобретают к ней иммунитет. И вот почему некоторые такие болезни называют «детскими»: дело не в том, что дети к ним восприимчивы, а в том, что у них еще не успели выработаться антитела против этих болезней.

В настоящее время оспу удалось в значительной мере искоренить благодаря вакцинации. Для этого человека нарочно заражают ослабленным вирусом (так называемой вакциной), который вызывает у него лишь легкое недомогание. Против этого ослабленного вируса у него вырабатываются антитела, которые вполне годятся и для борьбы с настоящим, полноценным вирусом, так что человек приобретает иммунитет к болезни. Примерно таким же способом действует живая вакцина Солка против детского паралича — полиомиелита.

Иногда в организме человека вырабатываются антитела и против безвредных белков, например содержащихся в пыльце некоторых цветов или даже в некоторых пищевых продуктах. В таких случаях присутствие этих белков может вызвать у человека болезненную реакцию — аллергию. Если он попробует противопоказанной ему пищи, у него появится крапивница, а в то время года, когда в воздухе много пыльцы определенных растений, у него может появиться насморк и другие неприятные явления, называемые сенной лихорадкой, может даже начаться удушье — астма.

Кроме альбуминов и глобулинов, плазма крови содержит еще белок фибриноген. Когда происходит кровотечение из какой-нибудь раны, в крови происходит серия сложных хи-

мических процессов, которая заканчивается превращением растворимого фибриногена в нерастворимые волокна фибрина. Фибрин способствует образованию на пораненном месте корки, которая предотвращает потерю крови на время, пока поврежденные ткани не восстановятся.

Во всем организме, в каждой его клетке (и вне клеток тоже) есть тысячи разнообразных белков, которые действуют в качестве катализаторов. Другими словами, некоторые химические реакции в их присутствии проходят быстрее. Каждый отдельный белок-катализатор ускоряет одну определенную небольшую группу реакций (а иногда — вообще только одну единственную реакцию). Такие белки-катализаторы называют ферментами или энзимами. Присутствие или отсутствие различных ферментов, а также их количество регулируют химические процессы, которые происходят в организме.

Многие из глобулярных белков являются полноценными — содержат немалые количества всех незаменимых аминокислот. Самые важные белки нашей пищи — казеин (это главный белок молока и сыра, а творог вообще состоит почти целиком из казеина и воды), вителлин (главный белок, содержащийся в яичном желтке) и актомиозин (главный белок мяса). Все эти животные белки принадлежат к числу полноценных. Белки растений с точки зрения питательности не так полезны, как животные, хотя некоторые из них (например, содержащиеся в большинстве зерновых культур и в бобах) не так уж плохи.

Казеин — особенно полезный белок. Он не только отличается высокой питательностью — из него еще можно делать прекрасный клей. Его можно добавлять в некоторые краски, чтобы они лучше смешивались с водой. Наконец, из него можно получать прочную пластмассу, похожую на слоновую кость и пригодную для изготовления пуговиц, а также искусственное волокно, напоминающее шерсть и пригодное для изготовления тканей. Это казеиновое волокно было изобретено в 1935 г. в Италии и получило название «ланитал»; с тех пор из других белков тоже научились изготавливать ткани, похожие на шерсть.

Аминокислоты нужны организму не только для образования белков. У некоторых из них есть очень важные вторые профессии. Тирозин, например, используется как строительный материал для образования по меньшей мере трех важных соединений.

Прежде всего, это пара гормонов, о которых мы уже говорили в главе 1, — адреналин и норадреналин. Их молекулы похожи на молекулу тирозина, от которой отщеплена карбоксильная группа и к бензольному кольцу которой присоединена лишняя гидроксильная группа. Такие изменения в структуре молекул организм производит легко.

Если же подвергнуть тирозин несколько более сложным превращениям, из него можно в конце концов получить темно-коричневое вещество меланин (его название происходит от греческого слова, означающего «черный»). Меланин содержится в коже, глазах и волосах человека. Если меланина в них много, кожа имеет смуглый оттенок, глаза бывают темно-карие, а волосы — черные; если же меланина меньше, то волосы могут быть светло-каштановыми и даже белыми (но не рыжими: этот цвет объясняется присутствием совсем другого вещества), глаза — светло-кариими или даже голубыми, а кожа — белой. Негры отличаются очень высоким содержанием меланина в организме, а, скажем, шведы — очень низким, хотя какое-то количество меланина вырабатывается в организме каждого человека.

В голубых глазах присутствует не какой-нибудь голубой пигмент, а тот же самый меланин, что и в карих. Но в этом случае он присутствует в виде мельчайших частиц; отражаясь от них, свет кажется голубым по той же причине, по какой голубым кажется небо вследствие отражения света от мельчайших частиц пыли в воздухе.

Впрочем, как я уже говорил, тирозин превращается в меланин довольно сложным способом, через многие промежуточные стадии. А во всех подобных случаях каждая стадия обычно регулируется определенным ферментом. И чтобы все эти превращения происходили правильно, человек от рождения должен иметь способность вырабатывать все необходимые ферменты. Но так бывает не всегда. Например, иногда рождаются люди, у которых отсутствует один из ферментов, управляющих превращением тирозина в меланин. Из-за отсутствия этого одного-единственного фермента меланин в организме такого человека не вырабатывается. У таких людей очень белая кожа и волосы, глаза светлые, в которых просвечивают кровеносные сосуды и которые кажутся поэтому красными. Такие люди называются альбиносами (опять-таки от латинского слова, означающего «белый»).

Отсутствие того или иного фермента может вызывать самые различные расстройства. Иногда они настолько незначительны, что человек их даже не замечает. Другие, например альбинизм, о котором только что шла речь, очень заметны. А бывают еще более серьезные нарушения. Например, у всякого нормального человека некоторое количество фенилаланина, который он получает с пищей, превращается в тирозин путем добавления к бензольному кольцу фенилаланина одной гидроксильной группы. Если же рождается ребенок, у которого не хватает одного из ферментов, ответственных за это превращение, в его организме накапливается фенилаланин. Из-за этого у ребенка неизбежно появляется умственная отсталость. К счастью, это происходит достаточно редко.

Болезни, которые возникают в результате недостатка (или избытка) того или иного фермента или гормона, называют болезнями обмена веществ. Теперь, когда медицина научилась бороться с инфекционными заболеваниями, болезни обмена веществ приобретают все большее значение.

У тирозина есть и еще одна специальность. В результате другого сложного процесса к бензольному кольцу, уже содержащемуся в его молекуле, может добавиться еще одно

(соединенное с первым через атом кислорода), и при этом к каждому кольцу присоединяется еще по два атома иода. В результате получается соединение, которое называется тироксин. Это гормон, регулирующий скорость выработки энергии человеческим организмом. Его выделяет щитовидная железа, расположенная в нижней части шеи. Эта железа служит настоящей ловушкой для иода. Иод, попадающий в организм с пищей, поступает в кровь и рано или поздно проходит через щитовидную железу. Железа извлекает его из крови и использует для выработки тироксина.

Хотя для этой цели организму нужно совсем немного иода, однако даже этого ничтожного количества пища иногда не содержит. В таких случаях жизнедеятельность организма нарушается, и иногда очень серьезно. Щитовидная железа увеличивается в объеме, на шее образуется утолщение — так называемый зоб. Всего этого легко можно избежать, если в водопроводную воду добавлять немного иода или же если употреблять в пищу соль с небольшой добавкой иода (иодированную соль).

ЕЩЕ О ВТОРЫХ ПРОФЕССИЯХ

Другая универсальная аминокислота — глицин. Одно из многих полезных дел, которые он выполняет в организме, состоит в том, что он помогает нам избавляться от нежелательных соединений. И этим, между прочим, пользуются врачи.

Представьте себе, например, что вы случайно проглотили немного бензойной кислоты (ее молекула представляет собой бензольное кольцо, к которому присоединена карбоксильная группа). Она не то что ядовита, но просто не нужна организму. И он избавляется от нее, присоединяя к ней глицин. Получается глутимуровая кислота, которая быстро выводится с

мочой. (Корень «гипп» происходит от греческого слова «лошадь», поскольку впервые глутимуровая кислота была обнаружена в лошадиной моче.)

Вам может показаться, что это не такая уж важная функция. В конце концов, не так уж часто люди случайно глотают бензойную кислоту. Однако в наше время врачи нередко специально прописывают ее больным, и именно для того, чтобы из нее образовывалась глутимуровая кислота. Дело в том, что ее образование из глицина и бензойной кислоты происходит преимущественно в печени, потому что именно там находится управляющий этой реакцией фермент. (В небольших количествах глутимуровая кислота образуется и в почках.) А теперь представьте себе, что больному дали бензойной кислоты, а после этого у него в моче оказывается меньше глутимуровой кислоты, чем ожидает врач. Скорее всего, это означает, что с печенью больного что-то неладно. И чем меньше образуется глутимуровой кислоты, тем сильнее поражена печень. Таким путем врач может многое узнать о состоянии больного, не прибегая к операции. Это пример функционального исследования печени.

Еще одна аминокислота — глутаминовая — оберегает нас от более серьезного отравления. В главе 1 я говорил, что аммиак из-за своей высокой токсичности не может выводиться из организма в своем натуральном виде, и поэтому отходы, содержащие азот, выводятся в виде мочевины. Тем не менее, в человеческом организме идут и такие реакции, при которых выделяется аммиак, и тогда с ним нужно что-то делать. Лучшее всего, когда поблизости имеются молекулы, способные присоединять к себе аммиак, как только он образуется.

Именно эта роль и отводится в основном глутаминовой кислоте. В ее боковой цепи есть карбоксильная группа. Она и конденсируется с оказавшейся поблизости молекулой свободного аммиака, образуя безвредную амидную группу — получается глутамин.

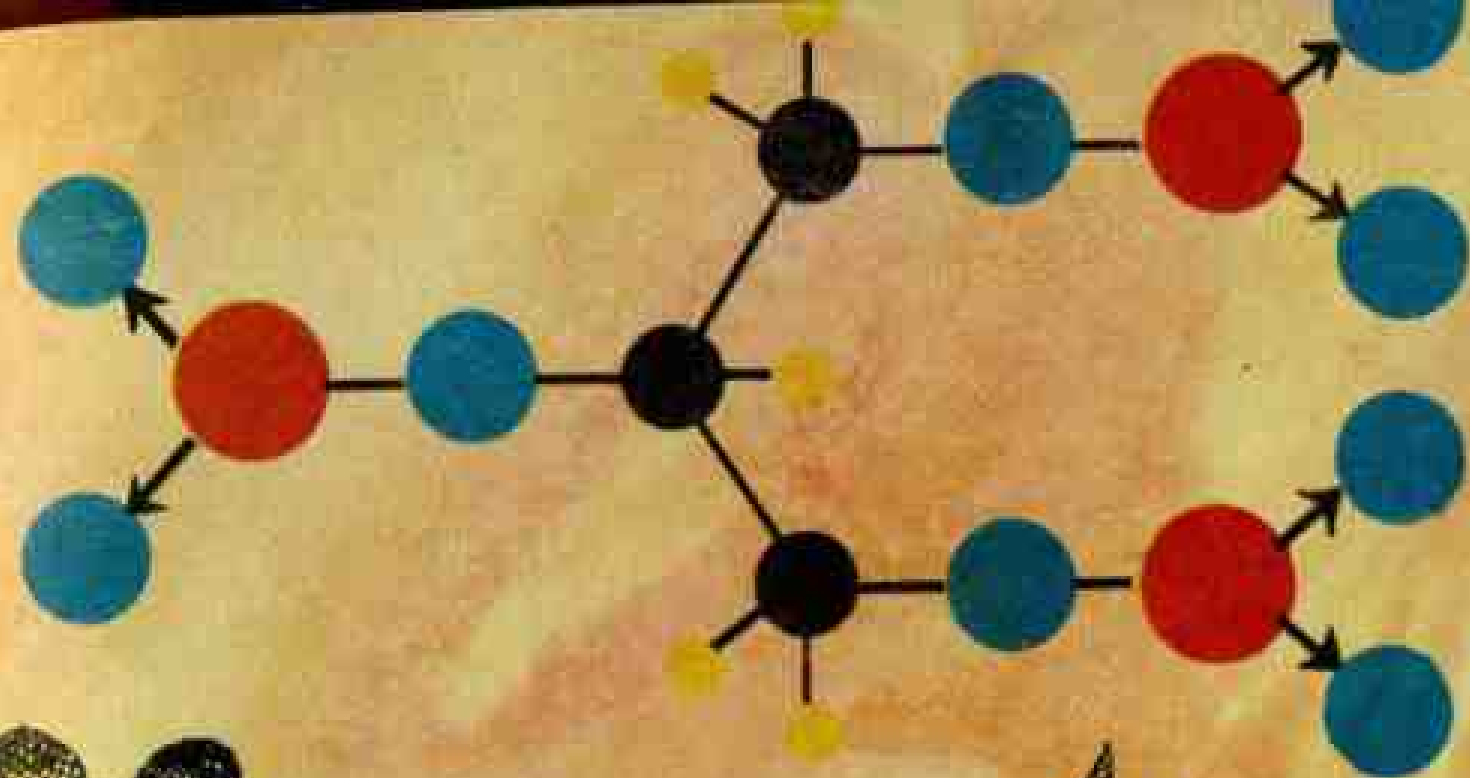
Особенно чувствителен к аммиаку мозг, и, вероятно, поэтому в омывающих его жидкостях всегда много глутаминовой кислоты и глутамина. Некоторые исследователи заинте-

ресовались вопросом, не приводит ли чрезмерное повышение содержания аммиака в мозгу к понижению интеллектуальных способностей и нельзя ли сделать людей умнее, если кормить их глутаминовой кислотой. В этом направлении ведутся эксперименты, но окончательного результата они пока еще не дали.

Если один из атомов водорода карбоксильной группы глутаминовой кислоты замещен на ион натрия, получается глутамат натрия. В последнее время он получил применение как пищевая добавка, придающая продуктам мясной вкус.

Аммиак может присоединять к себе и аспарагиновая кислота, молекула которой очень похожа на молекулу глутаминовой кислоты. В этом случае образуется аспарагин. Он был впервые обнаружен в спарже, от латинского названия которой («аспарагус») и произошли названия аспарагина и аспарагиновой кислоты.

А еще одна аминокислота — серин может использоваться организмом для образования этаноламина. И серин, и этаноламин входят в состав некоторых сложных липидов — кефалинов. Это название происходит от латинского слова «голова», поскольку кефалины содержатся в основном в мозгу.



3 ЖИЗНЬ И СМЕРТЬ



СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|-----------------------------|----|
| Знакомьтесь — витамины В | 56 |
| Азот удваивает связи | 59 |
| Азот утраивает связи | 61 |
| Бабах! | 63 |
| Их лучшая сторона | 66 |
| Снова — бабах! | 69 |

ЗНАКОМЬТЕСЬ — ВИТАМИНЫ В

Когда химики впервые обнаружили, что некоторые химические вещества обязательно должны в небольших количествах присутствовать в пище, они не имели никакого представления о том, что это за вещества. Сначала они было предположили, что это амины, и называли эти вещества *витамины*. Приставка «вит» происходит от латинского слова, означающего «жизнь».

Однако это оказалось ошибкой. Выяснилось, что, хотя часть витаминов действительно принадлежит к числу аминов, другие не имеют к аминам никакого отношения.

Первую попытку разделить различные витамины предприняли примерно в 1906 году американские химики. Они показали, что существует по меньшей мере два витамина: один растворим в жирах (его называли витамином А), а другой — в воде (витамин В).

Конечно, со временем стало ясно, что дело обстоит намного сложнее. Оказалось, что витамин В — это не один витамин, а целая группа витаминов, каждый из которых выполняет в организме свою определенную функцию. Сейчас их называют *витаминами группы В*. Сначала витамины этой группы

различали по номерам и называли их витамин В₁, витамин В₂ и т. д. Позже было установлено, что некоторые из них могут существовать в различных химических модификациях, так что появились такие названия, как витамин В_{12a} и витамин В_{12b}. Как видите, все не так уж просто.

Как только химики устанавливали строение того или иного витамина, они присваивали ему собственное имя. В общем это, конечно, удобнее, чем обозначать их буквами и цифрами. Сейчас старая система, особенно в применении к витаминам группы В, почти совсем вышла из употребления.

Все витамины группы В растворимы в воде. Их молекулы содержат не менее чем по одному атому азота. Все они встречаются во всех клетках всех живых организмов.

По всей вероятности, витамины группы В входят в состав молекул, помогающих некоторым ферментам организма выполнять свою функцию. Эти вещества-помощники называются *коферментами*. Они нужны организму лишь в незначительных количествах, но эти незначительные количества их жизненно необходимы. Обычно организм сам способен вырабатывать хотя бы часть нужных ему коферментов. Но нередко образование определенных сочетаний атомов оказывается ему не под силу. В таких случаях подобные комбинации атомов должны поступать в организм с пищей в готовом виде. Это и есть витамины.

Растения могут изготавливать все комбинации атомов, какие могут понадобиться живому организму. Поэтому мы можем покрывать потребность во многих витаминах за счет растительной пищи. Травоядные животные запасают получаемые витамины на будущее, обычно — в печени. Вот почему печень особенно полезна.

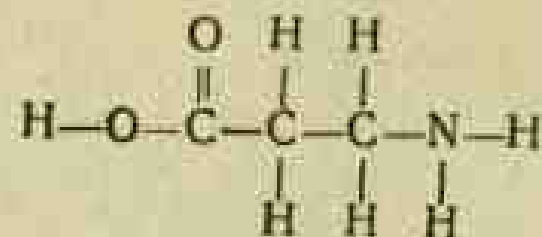
Бактерии тоже могут вырабатывать витамины группы В. Некоторые такие витамины вырабатываются микроорганизмами, живущими в нашем кишечнике, в достаточных для нас количествах.

Здесь я пока что расскажу лишь об одном из витаминов группы В — о пантотеновой кислоте. Впервые она была обнаружена в 1933 году, но строение ее было установлено лишь

в 1940 году. Оказалось, что это продукт конденсации одной оксикислоты (соединение, молекула которого содержит и гидроксильную, и карбоксильную группы) с аминокислотой.

Корень «пан» происходит от греческого слова «все», потому что пантотеновая кислота в небольших количествах содержится во всех клетках. Ее выделяют также бактерии, живущие в кишечнике, так что этого витамина человеку почти всегда хватает. Иногда исследователям бывает нужно искусственно вызвать его нехватку, чтобы изучить ее последствия. Для этого пантотеновую кислоту устраняют из рациона и добавляют в пищу вещества, нейтрализующие витамин, который вырабатывают кишечные бактерии, — анти-витамины, или антагонисты витаминов.

Аминокислота, входящая в состав пантотеновой кислоты, не совсем обычна. Большинство аминокислот, встречающихся в организме — это альфа-аминокислоты, в молекулах которых и аминогруппа, и карбоксильная группа присоединены к одному и тому же атому углерода. А аминокислота, входящая в состав пантотеновой кислоты, — пример более редких бета-аминокислот, в молекулах которых аминогруппа и карбоксильная группа присоединены к соседним атомам углерода:

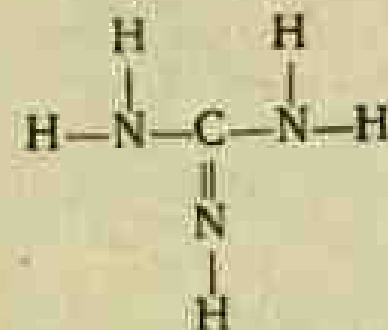


Эта аминокислота называется бета-аланином, потому что она отличается от обычного аланина только положением аминогруппы. В последние годы химики уделяют таким необычным аминокислотам все больше внимания.

АЗОТ УДВАИВАЕТ СВЯЗИ

Все соединения азота, о которых мы до сих пор говорили, содержали атомы азота, присоединенные ординарными связями к трем другим атомам. Однако азот, как и углерод, может образовывать двойные связи. Например, может существовать такое сочетание атомов: $\text{C}=\text{N}-\text{N}$ (комбинация $\text{N}-\text{N}$ называется *иминогруппой*).

Пример важного соединения, содержащего аминогруппу, — гуанидин, молекула которого выглядит так:



Гуанидин — довольно сильное основание. Лишенный атома водорода, гуанидин превращается в гуанидиновую группу, которая придает всякому соединению, в состав которого она входит, свойства сильного основания.

Самое важное из подобных соединений — **аргинин**, одна из наиболее распространенных аминокислот, входящих в состав белков. В ее боковой цепи есть гуанидиновая группа, и благодаря этому у аргинина самые ярко выраженные основные свойства из всех аминокислот.

Некоторые белки особенно богаты аргинином. Например, в клетках спермы некоторых рыб содержатся белки, которые называют *протаминами*. Молекула протамина для белка не особенно велика и содержит около 75 аминокислот. Из них 50 или 60 приходятся на долю аргинина. Немного более сложные белки — *гистоны* содержатся в половых клетках других животных, включая человека, а также почти во всех

других клетках организма; они тоже почти наполовину состоят из аргинина.

В организме аргинин является ключевым соединением в образовании мочевины. Мочевину образует часть гуанидиновой группы, отщепляющаяся от молекулы аргинина, и в ее боковой цепи остается только одна аминогруппа. Получается соединение, которое носит название орнитина. Он снова превращается в аргинин, а потом снова отщепляет часть гуанидиновой группы. И каждый раз при этом образуется новая молекула мочевины. Этот процесс носит название цикла мочевины. Он состоит из многих реакций, каждой из которых заведует специальный фермент. Все это происходит в печени. (Печень — это главное место в организме, где происходят химические превращения).

Гуанидин образует и более простое соединение — креатин. Он состоит из гуанидиновой и карбоксильной групп, присоединенных к одному и тому же атому углерода. При этом один из водородных атомов гуанидиновой группы замещен на метильную группу. Креатин — важная составная часть мышечной ткани.

Еще одно соединение гуанидина заставляет нас вернуться к антибиотикам. В 1942 году американский ученый, уроженец России, Зelman Ваксман впервые выделил антибиотик из семейства плесневых грибов, которое впоследствии оказалось источником тетрациклинов. (Сам-то этот первый антибиотик, полученный из этой плесени, относился не к классу тетрациклинов, а к совершенно другому.) Этот антибиотик получил название стрептомицина, и в 1952 году Ваксман был удостоен за свои открытия Нобелевской премии.

В 1948 году была установлена структура стрептомицина. Оказалось, что его молекула содержит инозитовое кольцо (кольцо из шести атомов углерода, к каждому из которых присоединено по гидроксильной группе), сконденсированное с двумя совершенно необычными сахарами.

Молекулы антибиотиков довольно часто содержат какое-нибудь необычное сочетание атомов. Например, один из сахаров стрептомицина похож на глюкозу, но все его гидроксильные группы

повернуты в другую сторону, как будто они отразились в зеркале. В инозитовом цикле стрептомицина гидроксильные группы тоже расположены не так, как в обычном инозитовом кольце, встречающемся в организме. По-видимому, именно эти похожие на обычные, но чем-то отличающиеся от них компоненты антибиотиков и нарушают химические процессы в организме бактерий. Они достаточно похожи на обычные соединения, чтобы занять их место в бактериальной клетке, и в то же время достаточно от них отличаются, чтобы оказаться неспособными вступать в нужные реакции. То же самое происходит, когда вы пытаетесь засунуть в замок похожий, но не совсем подходящий к этому замку ключ, а потом поворачиваете его, и замок заедает. Когда какая-нибудь химическая реакция в клетке прекращается или замедляется, это называют ингибированием. А когда это происходит благодаря веществу, которое похоже на нужное клетке и конкурирует с ним за место в жизненных процессах, это называется конкурентным ингибированием. Другой пример конкурентного ингибирования — авитамины: они обычно очень похожи на витамины, действию которых мешают.

Кроме того, в молекуле стрептомицина к инозитовому кольцу присоединены две гуанидиновые группы.

Конечно, антибиотики, нарушающие работу бактериальной клетки, могут влиять и на деятельность клеток человека. Именно из-за этого мы не можем применять некоторые вещества, которые могли бы стать антибиотиками. Стрептомицин расположен как раз на грани: его можно применять, но с осторожностью. Тетрациклины безопаснее и поэтому используются гораздо шире.

АЗОТ

УТРАИВАЕТ СВЯЗИ

К атому углерода могут быть присоединены все три связи атома азота. Если при этом к остающейся связи углерода присоединен водород, получается соединение, которое выглядит так:

Это *цианистый водород*, крайне ядовитый газ. Цианистый водород проявляет слабые кислотные свойства, и его называют еще *синильной кислотой*. (Это название дано ему потому, что такое сочетание атомов входит в состав ярко-синего железосодержащего соединения.)

Когда молекула синильной кислоты теряет ион водорода, остающийся ион часто вступает в соединение с ионами калия или натрия, образуя *цианистый калий* и *цианистый натрий*. Это сильнейшие яды, которые даже не обязательно глотать: смертельны уже те ничтожные количества этих веществ, которые проникают в организм через слизистую оболочку рта.

Когда ион синильной кислоты присоединяется к углеродной цепи, получается *органический цианид*, или, как его чаще называют, *нитрил*. Нитрилы далеко не так ядовиты, как цианиды, о которых говорилось выше, — прежде всего потому, что циановая группа в нитрилах прочно соединена с остальной частью молекулы и не так легко освобождается, как в цианистом калии или цианистом натрии.

Путем соединения (или *полимеризации*) множества молекул ненасыщенного нитрила можно получить интересное синтетическое волокно, которое применяется с 1950 года. Его молекулы представляют собой длинные цепи атомов углерода, к которым присоединены атомы водорода и через один — циановые группы. Такое волокно известно под фирменным названием *орлон**.

* Это — полиакриловое волокно, получаемое на основе акрилонитрила. Такие синтетические волокна выпускаются во многих странах под разными названиями. В СССР полиакриловое волокно получило название *нитрон*. — Прим. ред.

БАБАХ!

Во всех соединениях, о которых мы до сих пор говорили, атомы азота соединены или с водородом, или с углеродом. Теперь пора поговорить о таких веществах, в молекулах которых азот соединен с кислородом.

Получить такое вещество не так-то легко: чтобы соединить эти атомы против их воли, приходится затрачивать много энергии. Например, азот, содержащийся в атмосфере, не соединяется с кислородом даже под действием тепловой энергии лесного пожара. Это под силу только энергии молнии.

Каждая вспышка молнии во время грозы заставляет соединяться между собой небольшие количества азота и кислорода, находящиеся в непосредственной близости от нее. Получающиеся молекулы растворяются в дождевой воде и доходят до земли в виде азотной кислоты. Это одна из самых сильных кислот, но в дождевой воде она присутствует в таких малых количествах, что не приносит никакого вреда. Наоборот, она даже приносит пользу, удобряя почву.

Формула азотной кислоты показана ниже:



Это неорганическое вещество: в нем нет ни одного атома углерода.

Хотя атом кислорода образует две валентные связи, он может удовлетвориться и одной, так называемой *координационной связью*. Такую связь в формулах обозначают стрелкой.

Лишенная своего атома водорода, азотная кислота превращается в ион — нитрат. А если лишить ее гидроксильной группы, остается *нитрогруппа*. И нитрат, и нитрогруппа могут присоединиться к углеродной цепи. В первом случае

получается органический нитрат, а во втором — нитросоединение.

Из органических нитратов самый известный — тринитрат глицерина. Его молекула представляет собой молекулу глицерина, в которой каждая из трех гидроксильных групп замещена на нитрат.

Ценность тринитрата глицерина заключается в том, что его молекула постоянно балансирует на грани распада. Азот трудно соединить с кислородом; а если это удалось, такое соединение только и ждет удобного случая, чтобы снова распасться. Для этого часто достаточно самого малого количества тепла, например, искры. А иногда хватает и просто резкого сотрясения.

Если нитрат соединен с углеродной цепью, то при распаде такой молекулы освободившиеся атомы кислорода тут же соединяются с атомами углерода и водорода, которые окажутся поблизости. При этом очень быстро выделяется большое количество энергии. Образующиеся горячие газы (двуокись углерода, водяной пар, азот и немного остающегося кислорода) с большой силой разлетаются в стороны, и происходит взрыв.

Тринитрат глицерина — одно из самых сильных взрывчатых веществ. Он взрывается от малейшего толчка и требует крайней осторожности в изготовлении и обращении. Вам он, вероятно, известен под более распространенным названием «нитроглицерин». (Это название неверно, так как молекула этого соединения не содержит нитрогруппы; оно является нитратом).

Несмотря на опасности, связанные с производством взрывчатых веществ (а при этом происходили страшные взрывы), они представляют собой важный вид химической продукции. Их значение для войны и смерти очевидно. Но они важны и в мирной жизни. Человечество вряд ли могло бы добывать столько угля, сколько нужно современной промышленности, если бы при проходке шахт не применялись взрывчатые вещества. Взрывы помогают строить дороги через горы и туннели под скалами и реками.

Тем не менее химики стараются получить более удобные и безопасные в обращении взрывчатые вещества. Например, сто лет назад производством тринитрата глицерина занимался один швед по имени Альфред Нобель. После того как при взрыве погиб его младший брат, он посвятил свою жизнь предотвращению таких несчастных случаев. Сначала он пробовал замораживать взрывчатку, но из этого ничего не получилось. В конце концов, в 1862 году, Нобель открыл, что тринитрат глицерина хорошо впитывается особой разновидностью пористой глины — кизельгуром. Кизельгур может поглощать втрое больше тринитрата глицерина, чем весит сам, и при этом оставаться сухим. Такой поглощенный тринитрат глицерина не боится ударов, и с ним можно обращаться почти так же, как с песком.

Из кизельгура, насыщенного тринитратом глицерина, можно делать заряды в виде шашек нужного размера, которые заворачивают в промасленную бумагу. Такая взрывчатка получила название динамита. Динамитные шашки взрывают с помощью такж: изобретенного Нобелем детонатора — колпачка, содержащего небольшое количество какого-нибудь вещества, высокочувствительного к ударам и сотрясениям. Когда оно взрывается, выделяющейся энергии достаточно, чтобы взорвать динамит. А привести в действие детонатор можно с помощью длинного огнепроводного шнура или же электрической искры от батареи, расположенной на почти-тельном расстоянии. (Чем дальше находишься от динамита, когда он взрывается, — тем лучше.)

Некоторые вещества — детонаторы принадлежат к неорганическим соединениям; однако одно из самых важных таких веществ — *гремучая ртуть* представляет собой органическое вещество, в молекулах которого атомы азота присоединены каждый к одному атому кислорода, а не к трем сразу, как в составе органических нитратов.

Во время второй мировой войны домашних хозяек призывали сберегать использованный жир, сало и т. п. Эти вещества собирали и получали из них глицерин, который использовался для производства взрывчатки.

Взрываться способны и другие соединения, содержащие в своих молекулах по несколько нитратных групп. Например, целлюлоза, главная составная часть древесины, состоит из гигантских молекул, представляющих собой соединение тысяч простых молекул сахаров. К каждому остатку глюкозы в этой большой молекуле присоединены по три гидроксильные группы. Все они могут быть замещены на нитратные группы — тогда получается *тринитрат целлюлозы*. Если взять обычную вату — хлопковое волокно (а это почти чистая целлюлоза), из него можно таким путем получить взрывчатое вещество, по виду ничем от ваты не отличающееся. Поэтому такое вещество часто называли *гремучей ватой*. А из-за того, что в практике всегда путают нитратные группы и нитрогруппы, это вещество называют еще *нитроцеллюлозой*.

Нитроцеллюлозу можно взорвать с помощью детонатора даже тогда, когда она пропитана водой; поэтому она применяется в торпедах и минах, которые должны взрываться под водой. Она взрывается в 500 раз быстрее, чем такое же количество пороха, и поэтому действие ее во столько же раз сильнее.

А когда небольшое количество тринитрата целлюлозы добавляют к тринитрату глицерина, получается *взрывчатый желатин* — одно из самых мощных химических взрывчатых веществ, известных человеку.

ИХ ЛУЧШАЯ СТОРОНА

Взрывчатые вещества могут находить применение и в таких областях, которые не имеют никакого отношения к взрывам.

Тринитрат глицерина, например, может приносить большую пользу людям, страдающим грудной жабой. Это заболевание артерий, питающих сердце. Стенки этих артерий утолщаются и отвердевают, снабжение сердца кровью ухуд-

шается, и нередко происходят приступы, во время которых больной чувствует сильнейшие боли в груди и руках. В такой момент стоит вдохнуть пары тринитрата глицерина, как стенки артерий расслабляются. К сердцу поступает больше крови, и боли прекращаются.

Такое же действие оказывает и другое соединение — *амилнитрит*. Его молекула представляет собой цепочку из пяти атомов углерода, к которой присоединена нитритная группа.

Как я уже говорил, в нитратной группе атом азота присоединен сразу к трем атомам кислорода. В молекуле *гремучей ртути* атом азота присоединен к одному атому кислорода. Так вот, нитритная группа представляет собой нечто среднее — ее азот соединен с двумя атомами кислорода.

Удивительные свойства, не имеющие отношения к взрывам, имеет вещество, которое приходится близким родственником *гремучей вате*. В молекуле целлюлозы могут быть замещены на нитратные группы не все гидроксилы, а только два из каждых трех. Так образуется *динитрат целлюлозы*. Он далеко не так опасен, как тринитрат. Это вещество широко известно под названием *пироксилина*. Если его растворить в смеси эфира со спиртом, получается *коллодий*. Высыхая, он дает прочную, прозрачную пленку, состоящую из динитрата целлюлозы.

А смесь *гремучей ваты* и динитрата целлюлозы в виде зерен носит название *бездымного пороха*.

Еще в 60-х годах прошлого века был объявлен конкурс на лучший заменитель слоновой кости для бильярдных шаров. В 1869 году американец Джон Уэсли Хайетт нашел такой заменитель — им оказался *пироксилин*. Хайетт смешал *пироксилин* (который сам по себе хрупок) с небольшим количеством *камфоры* и *этиловым спиртом*. Получилась смесь, которая при нагревании размягчается, и ей можно придать любую форму, в том числе форму бильярдного шара. Под действием тепла спирт испаряется, а *камфора* остается. Потом

масса остывает, и получается твердый шар, вполне пригодный для игры на бильярде.

Хайетт получил назначенную премию. Но гораздо важнее то, что он изобрел первый синтетический пластик, который назвал *целлулоидом*.

Некоторое время целлулоид применялся очень широко. Например, из него можно было делать основу для фотопленки. Однако хотя он и не взрывчат, в его молекуле все-таки есть много нитратных групп. Это делает его очень горючим, и стоит ему загореться, как он сгорает очень быстро. Из-за этого везде, где только можно, его заменили другими, менее опасными веществами, фотопленка, например, сейчас делается из гораздо менее горючего ацетата целлюлозы, в молекулах которого гидроксильные группы сахаров сконденсированы с молекулами уксусной, а не азотной кислоты. (А если смешать целлулоид с льняным маслом, можно получить искусственную кожу, пригодную для обивки мебели.)

Взрывчатым веществам мы обязаны еще одним благодеянием. Нобель, который нажил на них громадное состояние, в 1896 году умер и завещал 9 миллионов долларов специальному фонду, из которого каждый год присуждаются премии размером около 40 000 долларов за достижения в области химии, физики, медицины, литературы и премии мира.

Многие считают иронией судьбы то, что изобретатель динамита установил премию мира. Однако такая точка зрения совершенно неправильна. Нобель был гуманным человеком и был бы счастлив, если бы его взрывчатые вещества использовались только для мирных целей. А в том, что они нашли военное применение, он виноват не был.

СНОВА — БАБАХ!

Нитрогруппы (вспомните — это совсем не то же самое, что нитратные группы!) часто присоединяются к бензольным кольцам. Самый простой пример такого соединения — *нитробензол*, молекула которого представляет собой бензольное кольцо с одной нитрогруппой. Нитробензол ядовит, но не взрывчат.

Однако если к бензольному кольцу присоединена не одна, а несколько нитрогрупп, вероятность того, что такое вещество окажется взрывчатым, повышается. Например, молекула *тринитрофенола* представляет собой бензольное кольцо, к которому присоединены гидроксильная группа и три нитрогруппы. Три нитрогруппы так влияют на гидроксильную группу, что ее атом водорода становится очень подвижным и легко отщепляется в виде иона водорода. Поэтому тринитрофенол — более сильная кислота, чем фенол. Этим объясняется и его обычное название — *пикриновая кислота*.

Пикриновая кислота — это твердое вещество желтого цвета, очень горькое на вкус (его название происходит от греческого слова, означающего «горький»). Когда азотная кислота приходит в соприкосновение с белком или с каким-нибудь веществом, содержащим белок (например, с человеческой кожей), фенольные группы, присутствующие в боковой цепи аминокислоты тирозина, присоединяют к себе нитрогруппы. Образуются соединения, родственные пикриновой кислоте, и белок (или кожа) желтеет. Некоторое время спустя желтый цвет кожи переходит в грязно-серо-бурый, но этот цвет держится до тех пор, пока эта часть кожи не сотрется. Во многих книгах можно прочесть про «пожелтевшие от кислот пальцы химика», — именно это и имеют в виду их авторы.

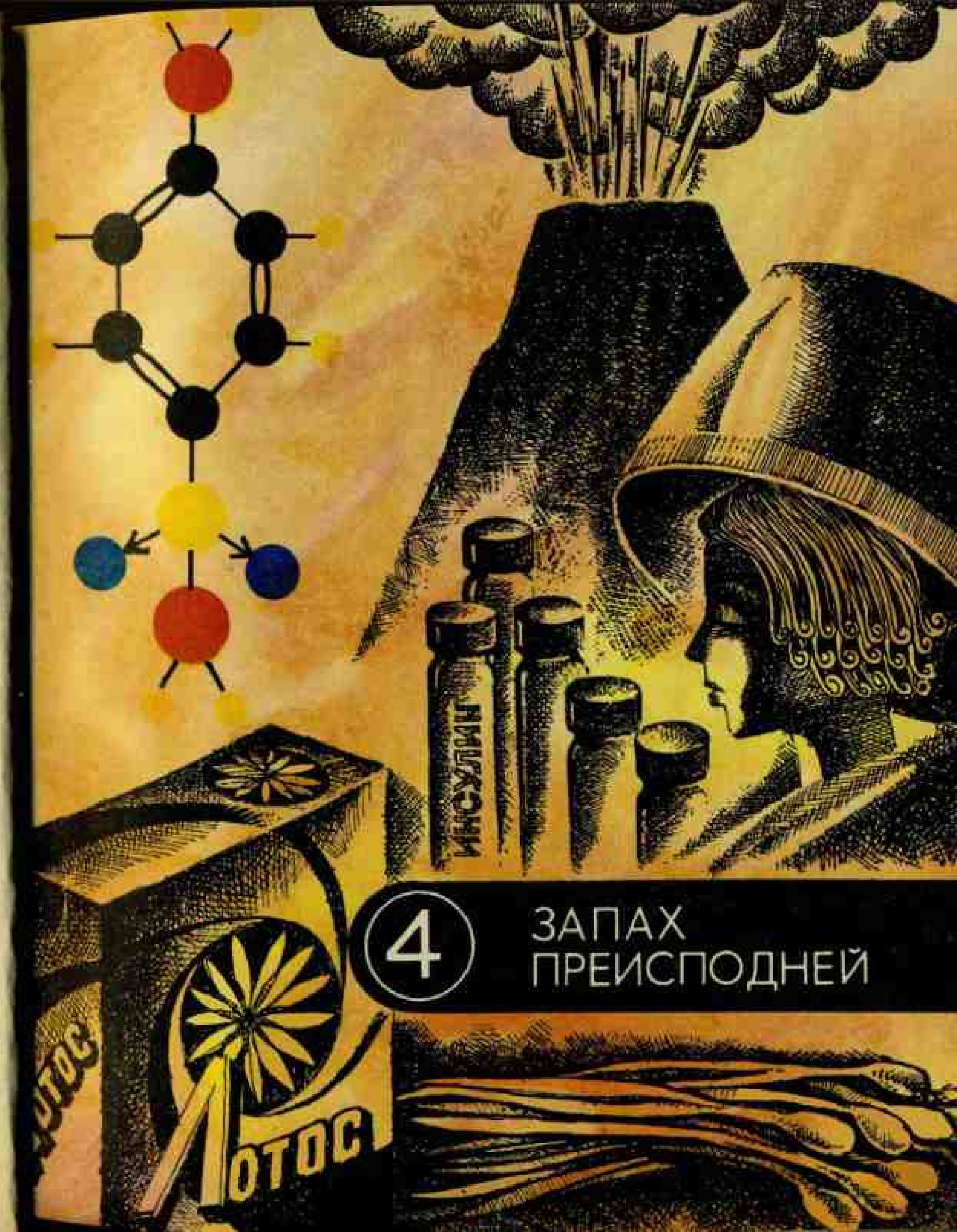
Если в молекуле пикриновой кислоты вместо гидроксильной группы присутствует метильная, то такое соединение носит название *тринитротолуола*. Это сильное взрывчатое вещество. (Сама пикриновая кислота — тоже взрывчатое

вещество, но похуже.) Тринитротолуол — одно из самых важных боевых химических взрывчатых веществ. Вы, вероятно, часто встречали обычное его название — тротил.

Во второй мировой войне даже еще большую роль сыграло близкое к нему соединение — циклонит. Однако к концу войны все обычные взрывчатые вещества отошли далеко на задний план по сравнению с атомной бомбой.

В живых тканях до сих пор удалось обнаружить лишь одно нитросоединение — это антибиотик, получаемый, как обычно, из плесени. Его научное название — хлорамфеникол, а торговое — хлоромидетин. Он отличается довольно заметной токсичностью и не так широко используется в медицине, как различные тетрациклины.

Между прочим, в названии «хлорамфеникол» есть одна странность. «Хлор» говорит о присутствии атомов хлора, «ам» означает, что в веществе есть амидная связь, «фен» напоминает о бензольном кольце, а «ол» свидетельствует о наличии гидроксильных групп. В общем, в этом названии упоминается все, за исключением нитрогруппы, — а ведь ее-то присутствие и есть то необычное, что отличает это соединение от других...



4

ЗАПАХ
ПРЕИСПОДНЕЙ

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|----------------------------------|----|
| Вонючка и энергия | 72 |
| Мочевые камни | |
| и лучевая болезнь | 75 |
| Завивка перманент | 77 |
| Лук и волдыри | 79 |
| Снова запах, снова вкус | 82 |
| Еще одна кислота | 84 |
| Дедушка чудодейственных лекарств | 85 |
| Слаще сахара | 89 |

ВОНЮЧКА И ЭНЕРГИЯ

Атом серы по своим химическим свойствам — близкий родственник атома кислорода. Тем не менее внешне у серы и кислорода нет ничего общего. Кислород — бесцветный газ, а сера — твердое вещество желтого цвета.

С серой связано представление о скверном запахе. Когда-то считалось, что запах серы должен сопровождать дьявола. На самом деле сера ничем не пахнет, но когда она горит, ее атомы соединяются с атомами кислорода и образуется двуокись серы — газ с неприятным удушливым запахом. Он часто входит в состав газов, поднимающихся из трещин в земле в вулканических областях. Вероятно, именно поэтому запах горящей серы и ассоциировался с подземным царством и с дьяволом.

Однако в средние века и не подозревали, что существуют такие содержащие серу органические соединения, что по сравнению с их запахом запах горючей серы кажется прямо-таки ароматом духов.

Возьмем, например, молекулу этилового спирта и заменим в ней атом кислорода на атом серы. (Атом серы может образо-

вывать с другими атомами две связи, как и атом кислорода. А химический символ серы — начальная буква ее латинского названия S.) Вместо группы OH у нас получится группа SH — так называемая тиольная группа (корень «тио» происходит от греческого названия серы, и поэтому такой корень встречается в названиях многих соединений, содержащих серу). Группу SH часто называют также *сульфгидрильной группой* — по названиям элементов, из которых она состоит.

Соединения, содержащие сульфгидрильную группу, называются *меркаптанами*. Этиловый спирт, в котором атом кислорода замещен на атом серы, превращается в *этилмеркаптан*.

Простые меркаптаны обладают чуть ли не самым отвратительным запахом из всех, какие только существуют. Они пахнут просто ужасно. Немного слабее, чем *этилмеркаптан*, пахнет *бутилмеркаптан*, в молекуле которого сульфгидрильная группа присоединена к цепи из четырех атомов углерода. Однако именно *бутилмеркаптан* придает противный запах выделениям американской вонючки — *сунса*. Жидкость, которую он выбрасывает в момент опасности, содержит *бутилмеркаптан*.

Как это ни удивительно, даже из такого запаха можно извлечь пользу. Иногда небольшие количества меркаптанов добавляют в природный газ, который подают в дома. Благодаря этому можно сразу же обнаружить утечку газа и принять нужные меры. Понюхать немного меркаптана все-таки лучше, чем отравиться газом, не зная этого.

Более сложные молекулы могут содержать сульфгидрильные группы и тем не менее ничем не пахнуть. Это хорошо, поскольку такие вещества входят в состав нашего организма. Одно из них — аминокислота *цистеин*, в молекуле которой есть небольшая боковая цепь с присоединенной к ней сульфгидрильной группой.

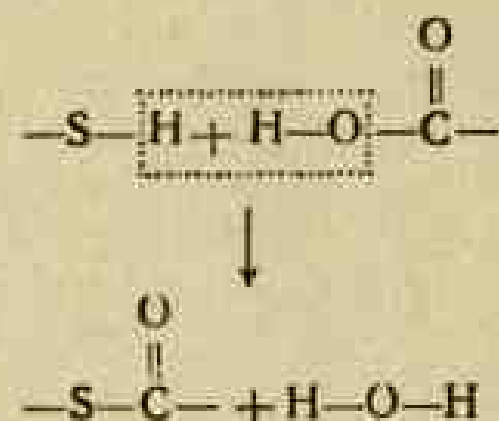
Цистеин входит в состав многих белков, особенно ферментов. Сульфгидрильные группы, торчащие наружу из остатков цистеина, обычно играют важную роль в работе ферментов. И любое вещество, способное присоединиться к сульфгид-

рильным группам и изменить их химическую природу, делает фермент неактивным. Именно таким свойством обладают соединения, содержащие медь, свинец, мышьяк и ртуть. Это по крайней мере одна из причин, почему такие соединения ядовиты, если принять их внутрь даже в небольших количествах. Жизнь не может продолжаться, если вещества, управляющие всей нашей внутренней химией, выходят из строя.

Чтобы бороться с последствиями такого отравления, врачи часто стараются дать больному другие вещества, содержащие сульфгидрильные группы. Белки, в состав которых они входят, есть, например, в молоке или яичном белке. Если яд все еще находится в желудке, он будет связан этими противоядиями и уже не сможет причинить вред белкам наших тканей.

Цистеин может конденсироваться с двумя другими аминокислотами — глутаминовой кислотой и глицином, образуя трипептид, который называют *глутатионом*. Он тоже играет важную роль в действии определенных ферментов и является, вероятно, самым важным для организма из всех небольших пептидов.

Одна из важнейших реакций, в которых участвует сульфгидрильная группа, — это конденсация ее с карбоксильной группой:

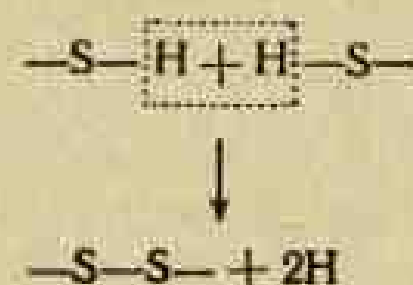


В результате атом серы оказывается присоединенным к карбонильной группе — такое сочетание атомов называется *ацилмеркаптановой группой*.

Это сочетание атомов обладает большим запасом энергии, потому что, когда оно подвергается гидролизу, энергии высвобождается необычно много. Химики в настоящее время полагают, что, когда жиры и углеводороды окисляются с выделением энергии, эта энергия запасается именно в виде ацилмеркаптановых групп.

МОЧЕВЫЕ КАМНИ И ЛУЧЕВАЯ БОЛЕЗНЬ

Две сульфгидрильные группы могут конденсироваться и друг с другом:



Это не совсем то же самое, что конденсация с образованием ацилмеркаптановой группы. Здесь выделяется не молекула воды, а молекула водорода. Такая реакция называется *реакцией дегидрогенизации*. Образующееся при этом сочетание атомов —S—S— носит название *дисульфидной группы*.

Когда таким способом реагируют между собой две молекулы цистеина, то в результате они оказываются соединенными друг с другом образовавшейся дисульфидной группой. Получается нечто вроде двуглавой аминокислоты, у которой на обоих концах по аминогруппе и карбоксильной группе, а посередине дисульфидная группа.

Такую двуглавую аминокислоту называют *цистином*; она очень часто встречается в составе белков. Из всех аминокислот, входящих в состав белков, цистин хуже всех растворяется в воде. Этому обстоятельству мы обязаны его открытием.

Дело в том, что иногда у человека происходит утечка из организма через почки некоторых аминокислот. Это не особенно опасно, и человек мог бы даже об этом не знать, если бы в числе таких аминокислот не было цистина. Если остальные аминокислоты, попадающие в подобных случаях в мочу, растворимы в воде, то цистин нерастворим. В результате в моче у таких больных нередко оказывается больше цистина, чем может в ней содержаться в растворенном виде. Цистин выпадает в осадок в виде крохотных кристалликов, которые потом могут срастаться в «камни». В конце концов такие камни оказываются в мочевом пузыре и могут причинять человеку немалые страдания.

У цистина и цистеина — очень похожие названия, и это очень неудобно. Преподаватели химии из кожи вон лезут, произнося их названия как можно яснее, чтобы студенты могли их как-нибудь различать. Вы можете спросить — почему нельзя поменять эти названия, если они так уж неудобны? Но это легче сказать, чем сделать. Написаны сотни книг и тысячи научных статей с изложением оригинальных экспериментов, где эти аминокислоты называют цистином и цистеином, и никак иначе. И теперь нельзя же перепечатать все эти книги и статьи, изменив эти названия! А если бы мы сейчас взяли и решили: «С сегодняшнего дня мы будем пользоваться вот такими новыми названиями», — нам все равно пришлось бы запоминать и старые тоже, иначе те, кто будет читать эти книги и статьи, не будут понимать, о чем в них идет речь...

Именно в таком камне английский химик У. Х. Уолластон в 1810 году обнаружил цистин, и само это название происходит от греческого слова, означающего «пузырь». Из всех аминокислот, входящих в состав белка, цистин был открыт первым, но о том, что он может содержаться в белках (а не только в мочевых камнях), химики узнали только в 1899 году.

Свойство цистеина легко превращаться в цистин может иметь немалое значение в наш атомный век. Дело в том, что невидимое излучение, возникающее при взрыве атомной бомбы, проходя сквозь организм, оказывает сильное действие на содержащиеся в нем молекулы воды. Они расщепляются, образуя осколки — свободные радикалы. Эти радикалы очень

активны и кидаются на любую молекулу, какая попадается им на пути. Если это окажется молекула какого-нибудь белка, играющего важную роль в жизнедеятельности клетки, эта клетка может быть ослаблена или даже убита. И если организм получил большую дозу облучения, могут оказаться ослабленными или убитыми многие клетки, и возникает лучевая болезнь, которая может привести к смерти.

А теперь представьте себе, что в организме есть запас лишнего цистеина. Тогда свободные радикалы скорее всего будут израсходованы на соединение с имеющимися в изобилии сульфгидрильными группами цистеина, которые превратятся в безвредные дисульфидные группы. Можно сказать, что мы подсуем эти сульфгидрильные группы свободным радикалам, чтобы отвлечь их от более важных соединений. По этой причине животные, которым вводили цистеин перед самым облучением или сразу после него, имеют меньше шансов заболеть лучевой болезнью. Это пока еще довольно слабая защита от лучевой опасности, но она, может быть, указывает путь, на котором можно достигнуть и большего.

ЗАВИВКА ПЕРМАНЕНТ

Цистин играет очень важную роль в молекуле белка, потому что он может скреплять между собой две аминокислотные цепочки. Аминогруппа и карбоксильная группа по одну сторону дисульфидного мостика могут входить в состав одной аминокислотной цепочки, а аминогруппа и карбоксильная группа по другую его сторону — в состав другой аминокислотной цепочки. Дисульфидный мостик между ними соединяет обе цепочки и удерживает их вместе.

Больше всего таких дисульфидных мостиков содержит кератин — белок кожи и волос. Его аминокислотные цепочки скреплены особенно прочно — этим и объясняется высокая

прочность кератина. Поэтому-то из него и состоят волосы и ногти, поэтому и кожа хорошо защищает наш организм.

В последнее время соединение и разъединение дисульфидных мостиков в молекулах кератина превратилось в настоящую обширную область человеческой деятельности. Дело в том, что у большинства людей волосы прямые, а женщины почему-то предпочитают вьющиеся или курчавые. К несчастью, если волос просто согнуть, он не останется согнутым, а тут же распрямится, как только вы его отпустите. (А если возьмете вьющийся волос и распрямите его, он скрутится.)

Почему это происходит? Представьте себе десяток довольно жестких резиновых прутьев, плотно связанных в пучок. Представьте себе дальше, что весь этот пучок согнули в дугу. При этом прутья, расположенные с наружной стороны дуги, должны стать длиннее, чем прутья с внутренней ее стороны, — им придется растянуться, а прутья на внутренней стороне дуги, наоборот, станут короче, сожмутся. Если вы теперь отпустите пучок, то он немедленно примет прежнюю форму, при которой ни один прут не растянут и не сжат. Пучок выпрямится.

А теперь представьте себе, что у вас в руках такой же пучок резиновых прутьев, но не перевязанных между собой, а свободных. Если его согнуть в дугу, то каждый прут сдвинется относительно соседних и займет самое удобное для себя положение. Если теперь в этом положении плотно перевязать пучок и отпустить его, он не распрямится, потому что для этого некоторым прутьям надо было бы растянуться, а другим — сжаться. Теперь напряжения внутри пучка будут наименьшими уже в согнутом виде.

Каждый человеческий волос можно рассматривать как пучок, состоящий из аминокислотных цепочек кератина, связанных между собой дисульфидными мостиками. Если вы хотите завить прямые волосы (или распрямить кудрявые), то нужно разорвать эти мостики, придать волосу новую форму, дать возможность аминокислотным цепочкам занять самое удобное положение и потом снова скрепить их дисульфидными мостиками.

Именно это и происходит при завивке «перманент». Волосам придают нужную форму и обрабатывают определенными химическими веществами. (В парикмахерских их подвергают еще и действию тепла, но без этого можно и обойтись.) В результате такой обработки каждый дисульфидный мостик распадается на две сульфгидрильные группы. Аминокислотные цепочки разъединяются и скользят одна по другой, пока не займут новое положение, соответствующее изгибу волоса. Тогда вещества, разрушающие дисульфидные мостики, нейтрализуют другими веществами. Дисульфидные мостики образуются снова, а волос остается вьющимся и больше не распрямляется.

ЛУК И ВОЛДЫРИ

Атом кислорода может быть замещен на атом серы в любом органическом соединении. Пока что у нас в результате такого превращения из спиртов получались меркаптаны. Таким же способом можно превратить эфиры в тиоэфиры (их можно еще называть органическими сульфидами). Вместо сочетания атомов $C-O-C$ они будут содержать сочетание $C-S-C$.

И опять-таки в некоторых отношениях это — изменение в худшую сторону. Самый известный из тиоэфиров выглядит так:



К его атому серы с обеих сторон присоединено по молекуле этилена, лишенной одного атома водорода. Эта часть молекулы называется *винильной группой*, а все соединение носит название *дивинилсульфид*. (Корень «вин» происходит от

латинского слова, означающего «вино», потому что винильные группы легко получают из этилового спирта.)

Именно дивинилсульфиду обязан своим запахом лук. Этот запах бывает и хорош, и плох. Я не могу себе представить, как мы могли бы готовить пиццу без лука, и в небольших количествах лук в салате или в виде гарнира к бифштексу очень вкусен. Но я не испытываю никакого удовольствия, когда говорю с человеком, который только что наелся лука.

Все это относится и к другому сульфиду — *диаллилсульфиду*. В его молекуле атомы серы присоединены к паре трехуглеродных цепей, в каждой из которых есть по двойной связи. Такая трехуглеродная цепочка с двойной связью называется *аллильной группой* — от латинского слова, означающего «чеснок». Этим все и объясняется: диаллилсульфид придает чесноку его запах.

У этих соединений есть еще один родственник, значительно менее приятный. Это *дихлордиэтилсульфид*. В его молекуле атом серы соединен с двумя этильными группами, и к каждой из них присоединен атом хлора. Это вещество обычно называют *горчичным газом*.

Предполагается, что он получил такое название благодаря своему горчичному запаху, но я его нюхал — по-моему, он пахнет просто чесноком.

Горчичный газ был одним из самых опасных отравляющих газов, применявшихся в первой мировой войне. Он ядовит не только при вдыхании, но и просто если попадает на кожу: в этих местах образуются огромные волдыри. Кроме того, несмотря на свое название, горчичный газ представляет собой жидкость, пары которой в 5,5 раза тяжелее воздуха и поэтому могут оставаться в низких местах, заражая их, на целые недели.

Если атом серы в молекуле горчичного газа заместить на атом азота (несущий еще хлорированную цепочку, поскольку азот образует не две связи, а три), получится вещество, применяемое для лечения рака.

Я с большим удовольствием перейду от этих веществ к еще одному тиоэфиру, который не только не имеет ни запаха, ни вкуса, но и жизненно важен для человека. Это снова аминокислота с тиоэфирной группой в боковой цепи — *метионин*.

К атому серы в молекуле метионина с одной стороны присоединена метильная группа, а с другой — вся остальная часть молекулы. Метильная группа держится довольно прочно и легко передается другим соединениям — такая метильная группа называется *активным метилом*. Одна из причин, по которым метионин нужен организму, состоит в том, что он служит источником метильных групп, которые организм может использовать в качестве кирпичиков при образовании некоторых сложных молекул.

Если в пище достаточно метионина, организм может также использовать содержащийся в нем атом серы для изготовления необходимых ему цистина и цистеина. Именно поэтому цистин и цистеин не являются незаменимыми аминокислотами. Однако обратное превращение организму не под силу — изготавливать метионин из цистина или цистеина организм не может, и поэтому метионин — незаменимая аминокислота.

Однако если в вашей пище много цистеина или цистина, вам требуется меньше метионина, потому что вам не нужно его расходовать на изготовление цистина.

К числу сложных органических сульфидов принадлежат некоторые вещества с очень большими молекулами. Существует, например, такая разновидность синтетического каучука — *полисульфидный каучук* (в США он известен под названием *тиокол*). Его молекула состоит из остатка этилена, атома серы, снова остатка этилена, снова атома серы и так далее. Такие каучуки гораздо меньше подвержены истиранию, чем натуральный. Иногда автомобильные покрышки покрывают тонким слоем полисульфидного каучука, чтобы увеличить срок службы протектора. А недавно тиокол получил новое важное применение — его вводят в состав твердого топлива для ракет.

Атом серы может замещать атом кислорода и в карбонильной группе. Образующееся сочетание $C=S$ называется тиокарбонильной группой. Самое простое соединение, содержащее такую группу, — дисульфид углерода, молекула которого содержит два атома серы и один атом углерода:



(Его называют еще просто — сероуглерод. — Прим. ред.)

Дисульфид углерода — низкокипящая жидкость. Его точка кипения $46^\circ C$. Это прекрасный растворитель для жирных веществ и в этом качестве он широко применяется в промышленности.

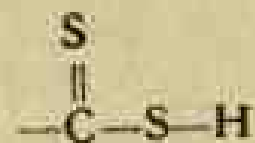
Однако у дисульфида углерода есть три серьезных недостатка.

Во-первых, это одно из самых горючих органических веществ. Применение его всегда связано с большой пожарной опасностью.

Во-вторых, он так легко смешивается с жирными веществами, что при вдыхании быстро попадает в жировую ткань, окружающую нервные волокна. Поэтому, если слишком долго подвергаться его воздействию, это может привести к нарушению нервной деятельности.

И в-третьих, у него совершенно отвратительный запах. Учебники химии упорно твердят, что чистый дисульфид углерода обладает слабым приятным запахом. А обычно, утверждают они, дисульфид углерода пахнет плохо, потому что в нем есть небольшие примеси меркаптанов. Может быть, оно так и есть, но в таком случае мне еще ни разу не довелось иметь дело с чистым дисульфидом углерода, да и всем, кого я знаю, тоже.

Дисульфид углерода может реагировать со спиртами; при этом водородный атом гидроксильной группы замещается на такое сочетание атомов:



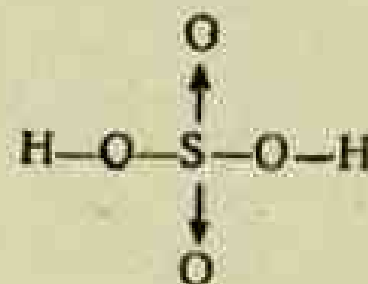
Соединения, содержащие это сочетание атомов, носят название ксантатов. Обработанная таким способом целлюлоза становится растворимой в воде. Раствор ксантата целлюлозы называется *вискозой* и используется для изготовления искусственного шелка.

Более сложное тиокарбонильное соединение — *фенилтиомочевина*. Его молекула отличается от молекулы мочевины тем, что в ней атом кислорода замещен на атом серы, а к одной из аминогрупп присоединено бензольное кольцо. Одна из интересных особенностей этого вещества связана с его вкусом. Считается, что оно очень горько, и многие это подтверждают. Однако некоторым (в том числе и мне) оно кажется совершенно безвкусным. Именно так было открыто явление *вкусовой слепоты*. Некоторые люди могут не ощущать вкуса и других соединений.

Вкусовая слепота — это не просто химический курьез. Способность ощущать или не ощущать вкус определенных соединений обычно бывает наследственной, и поэтому ею очень интересуются ученые, изучающие наследственность.

ЕЩЕ ОДНА КИСЛОТА

Как и азот, сера может входить в состав сильной неорганической кислоты. Это серная кислота, и вот ее формула:



Как видите, атом серы может образовывать вдобавок к двум обычным еще и две координационные связи.

Если молекула серной кислоты лишается одного атома водорода в виде водородного иона, остается ион, который носит название *бисульфата*. Если же молекула кислоты лишается обоих атомов водорода, получающийся ион называется *сульфатом*. Бисульфатные группы могут присоединяться к молекулам мукополисахаридов. Один из них — *гепарин* имеет в своем составе много таких групп, в среднем по пять на каждые два остатка сахара. Гепарин содержится во многих живых тканях и обладает свойством замедлять свертывание крови. Хирурги иногда применяют гепарин, чтобы кровь не свертывалась во время операции, что помогло бы им работать.

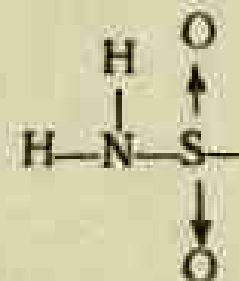
Если серную кислоту лишить одной гидроксильной группы, она превращается в *сульфоновую кислоту*. В живом организме встречается одно ее соединение — *таурин* (его название происходит от латинского слова, означающего «бык»: он был впервые обнаружен в бычьей желчи). Молекула таурина содержит два атома углерода, к одному из которых присоединена аминогруппа, а к другому — остаток сульфоновой кислоты.

Некоторые синтетические соединения сульфоновой кислоты обладают моющими свойствами и применяются в каче-

стве заменителей мыла (детергентов). Особенно большую популярность они завоевали за последние десятилетия. Обычно они обходятся дороже мыла, но имеют одно преимущество: ими хорошо стирать в жесткой воде. В результате производство мыла сейчас уменьшилось по сравнению с 1945 годом примерно наполовину, а синтетических детергентов в настоящее время выпускается больше, чем мыла. Они используются главным образом для стирки, мытья посуды и в качестве шампуней, а для мытья рук и тела по-прежнему применяется мыло.

ДЕДУШКА ЧУДОДЕЙСТВЕННЫХ ЛЕКАРСТВ

Посмотрите еще раз на формулу серной кислоты и представьте себе, что ее лишили одной гидроксильной группы, а другую заменили аминогруппой:



Получается *сульфонамидная группа*.

Самое важное содержащее ее соединение — *сульфаниламид*. Его молекула представляет собой бензольное кольцо, к одному атому углерода которого присоединена аминогруппа, а к противоположному атому углерода — сульфонамидная группа.

У сульфаниламида необычная история. Впервые он был синтезирован в Германии в 1908 году. После этого в течение

25 лет его использовали только в качестве исходного материала для синтеза различных красителей. Один из таких красителей назывался *пронтозилом*.

В 1932 году немецкий химик Г. Домагк обнаружил, что *пронтозил* излечивает мышей от некоторых инфекционных заболеваний. (В 1939 году он был удостоен за это открытие Нобелевской премии.) Уже несколько лет спустя *пронтозил* завоевал всемирную славу как «чудодейственное лекарство». Но это было только начало.

Вскоре было установлено, что в организме *пронтозил* расщепляется на две части, одной из которых является *сульфаниламид* — именно он и убивает микробов. Поэтому *пронтозил* был забыт, и ученые занялись *сульфаниламидом*. И выяснилось, что сущность его действия, по-видимому, состоит в следующем.

Есть такое соединение — *фолиевая кислота*, необходимое для жизнедеятельности всех клеток, в том числе и клеток бактерий. Некоторые бактерии вырабатывают для себя *фолиевую кислоту* из более простых соединений. Одно из таких более простых соединений — *парааминобензойная кислота*. Ее молекула похожа на молекулу *сульфаниламида* — обе представляют собой бензольное кольцо, в котором к противоположным атомам углерода присоединены аминогруппы. Но у *парааминобензойной кислоты* эта вторая группа — карбоксильная, а у *сульфаниламида* — *сульфонамидная*.

Некоторые бактерии, по-видимому, не умеют различать эти вещества. Если им попадают под руку молекулы *сульфаниламида*, они хватают их и включают в состав молекул *фолиевой кислоты*. Но тут возникает одно неприятное (для бактерий) обстоятельство: такая молекула *фолиевой кислоты*, содержащая *сульфаниламид*, не годится для выполнения своей работы. Клетка бактерии, в которой застряла такая молекула, не может ни расти, ни размножаться, ее «химическую машину заедает». Убивать микробов это вещество не может, но, не позволяя им размножаться, оно дает возможность естественным защитным системам организма не спе-

ша с ними расправиться. Препараты, убивающие микробов, называются *бактерицидными*, а такие, как *сульфаниламид*, которые приостанавливают их размножение, — *бактериостатическими*.

Правда, есть и такие бактерии, которые не вырабатывают своей собственной *фолиевой кислоты*, а извлекают ее в готовом виде из внешней среды. На такие бактерии *сульфаниламид* не действует. Это общее правило: каждый препарат действует только на определенные виды микробов.

Применение лекарств, даже «чудодейственных», тем не менее не дает нам возможности совершенно искоренить болезни, даже вызываемые теми микробами, против которых лекарство эффективно. С помощью *сульфаниламида* можно истребить почти всех бактерий определенной разновидности, но всегда может случиться, что некоторые из них останутся живы. У них, например, могут оказаться такие ферменты, которые способны обезвреживать лекарство. Или они могут вырабатывать *фолиевую кислоту* таким способом, что не нуждаются в *парааминобензойной кислоте*. Или они могут без вреда для себя использовать *фолиевую кислоту*, содержащую *сульфаниламид*. Наконец, они могут обходиться вообще без *фолиевой кислоты* или чем-нибудь ее заменять.

Так или иначе, убить такие бактерии *сульфаниламидом* не удастся. И из всей данной разновидности бактерий в организме останутся только такие. Через некоторое время они настолько размножатся, что будут представлять собой серьезную угрозу, и если врач попробует снова применить против них *сульфаниламид*, может оказаться, что теперь лекарство вообще не действует. Этот штамм бактерий стал к нему *резистентным*.

Поэтому-то и необходимо все время синтезировать новые и новые препараты. Каждый из них может оказаться эффективным против таких бактерий, которые приобрели *резистентность* к предыдущему препарату или же с самого начала были к нему устойчивыми.

После открытия *сульфаниламида* была получена целая серия близких к нему препаратов. Они отличаются от *суль-*

фаниламида тем, что один из водородных атомов в их сульфонамидной группе оказывается замещенным на какую-нибудь комбинацию атомов. Например, он может быть замещен так, что аминная часть сульфонамидной группы превращается в гуанидиновую группу. Получаемый таким путем *сульфогуанидин* (сульгин) можно принимать в больших количествах, чем сульфаниламид, не опасаясь побочного действия.

Почти все препараты, убивающие бактерий, могут убивать и человека. Некоторые из них ядовиты для людей почти в такой же степени, как и для бактерий, и поэтому слишком токсичны, чтобы их можно было использовать для лечения. Пользу могут приносить только такие лекарства, которые убивают бактерий в дозах, недостаточных, чтобы убить больного. Определить такую нужную дозу нелегко. На одних людей то или иное лекарство действует сильнее, чем на других. Доза лекарства, совершенно безвредная для остальных, может вызывать у таких людей аллергическую реакцию или даже смерть. У некоторых больных такая повышенная чувствительность к лекарству появляется в ходе лечения. На первых порах лекарство не приносит им вреда, а потом вдруг становится очень опасным. Поэтому перед тем как принимать любое лекарство, совершенно необходимо сначала посоветоваться с врачом. Есть такие люди, для которых может оказаться смертельной даже обычная доза аспирина — точно так же, как есть люди, которые могут умереть, если их ужалит пчела.

Сульфаниламид и его ближайших родственников называют *сульфаниламидными препаратами* или просто *сульфапрепаратами*. После второй мировой войны их потребление сократилось из-за появления антибиотиков.

Сульфпрепараты не являются антибиотиками, потому что их не вырабатывают микроорганизмы. Это — синтетические вещества, получаемые в химических лабораториях и никогда не встречающиеся в каких бы то ни было живых тканях.

Соединения, содержащие группу $-\text{SO}_2-$, которая соединена с двумя атомами углерода (точнее, углеводородными радикалами), носят название *сульфонов*. Некоторые из них получили применение в лечении ужасной болезни — проказы.

СЛАЩЕ САХАРА

Если к соседним атомам бензольного кольца присоединены карбоксильная и сульфонамидная группы, их легко заставить сконденсироваться между собой. Получается *сахарин* — вещество с весьма полезными свойствами, которые были обнаружены совершенно случайно.

Первым сахарин получил в 1879 году американский химик Айра Ремзен. Рассказывают, что одна-две крупинки сахарина попали ему на руки, а потом он случайно поднес пальцы ко рту и с изумлением ощутил сладость. Новое соединение тут же получило название, происходящее от латинского слова «сахар».

Сахарин примерно в 550 раз слаще сахарозы. Другими словами, если чайную ложку его разделить на 550 чашек кофе, напиток получится такой же сладкий, как будто вы положили в каждую чашку по ложке сахара. (Почему сахарин так сладок, никто не знает.)

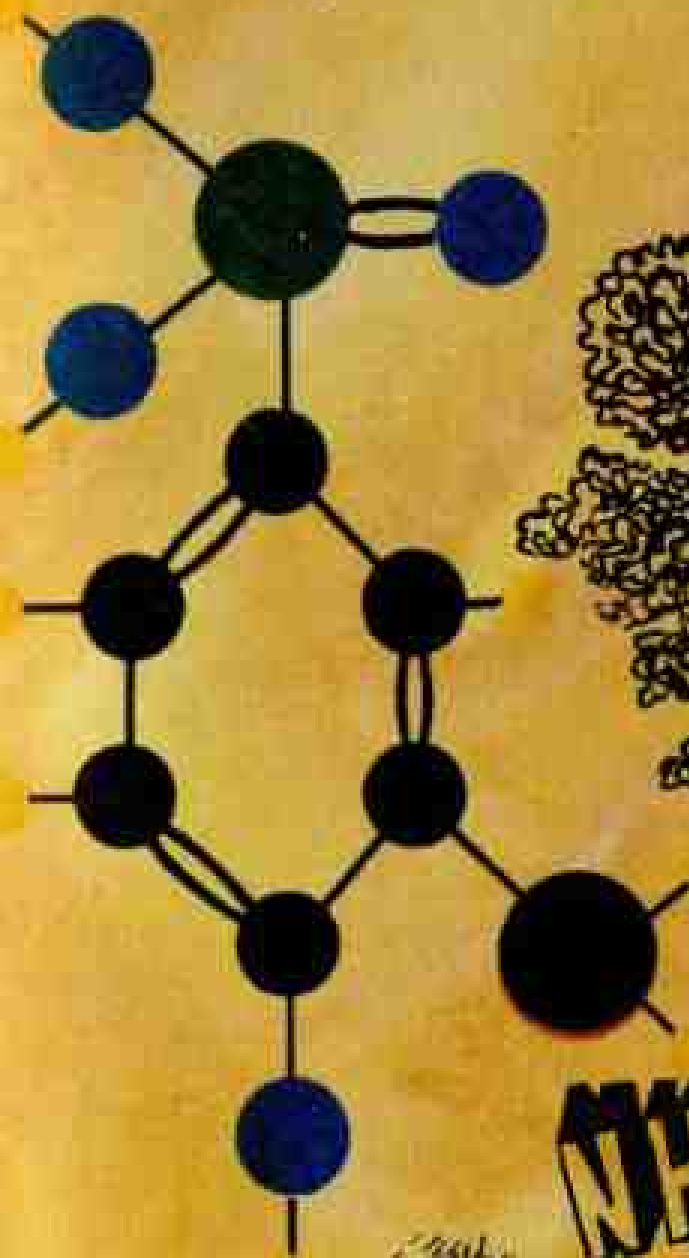
Сахарин выпускают в маленьких таблетках, которые можно класть в чай или кофе. Он приходит на помощь тем, кто любит сладкое, но не должен есть сахар — либо потому, что боится потолстеть, либо из-за диабета.

Дело в том, что сахар принимает участие в различных химических процессах, происходящих в организме, и если в данный момент организм не нуждается в энергии, она «запасается в виде жира». Сахарин же вообще не используется организмом и просто выводится наружу через почки. Его влияние на организм состоит только в том, что он вызывает ощущение сладости.

На самом деле всегда существует опасность, что химические вещества, добавляемые в пищу для улучшения ее вкуса, вида, кулинарных свойств или для предотвращения порчи продуктов (так называемые *пищевые добавки*), при многократном употреблении могут приносить организму некоторый вред. Поэтому химики, работающие в пищевой промышленности, тщательно изучают все

такие вещества. В результате из всех сотен тысяч известных органических соединений в качестве пищевых добавок используются только триста или четыреста.

Сахарин и другие подобные ему соединения (существует несколько синтетических сладких веществ, и некоторые из них еще во много раз слаще сахара) применяются также в производстве низкокалорийных напитков.



5

МНОЖЕСТВО
РАЗНЫХ АТОМОВ



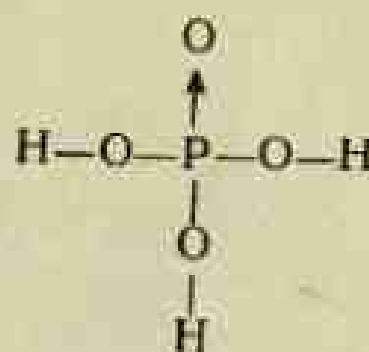
| | |
|------------------------|----|
| Энергия! | 92 |
| Магическая пуля | 95 |
| Парад замыкают металлы | 97 |

ЭНЕРГИЯ!

До сих пор мы ничего не говорили еще об одном элементе, который входит в состав разнообразнейших органических соединений. Это фосфор — элемент, необходимый для жизни. В живых тканях он всегда содержится в виде производных фосфорной кислоты или какого-нибудь ее соединения с другими веществами.

Фосфорная кислота тоже принадлежит к числу сильных неорганических кислот. Она, правда, немного слабее азотной или серной.

Химическим символом фосфора служит первая буква его латинского названия Р. А формула фосфорной кислоты такова:



Как видите, атом фосфора подобен атому азота — он тоже может образовывать три обычных валентных связи и одну координационную.

Молекула фосфорной кислоты может потерять в виде водородных ионов один, два или все три своих водородных

атома. В первом случае получается *первичный фосфат-ион*, во втором — *вторичный* и в третьем — *третичный*. (Из неорганических фосфатов состоят в значительной мере кости и зубы.)

В органических соединениях почти любая гидроксильная группа может быть замещена на какой-нибудь из фосфатов, в результате чего образуется *органический фосфат*. Начиная с 1905 года химики понемногу убедились, что почти во всех химических процессах, идущих в живой ткани, так или иначе участвуют органические фосфаты.

Вот, например, процесс постепенного превращения глюкозы в двуокись углерода и воду. Весь этот процесс начинается с того, что глюкоза превращается в глюкозофосфат.

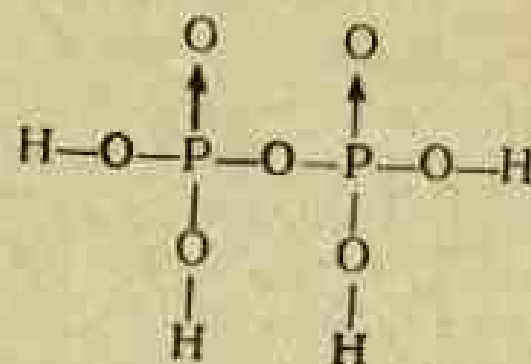
Некоторые органические фосфаты (благодаря определенному расположению атомов в них), отдавая при гидролизе фосфатную группу, выделяют особенно много энергии. Это *макроэргические фосфаты*. Примером может служить *креатинфосфат* — креатин, в молекуле которого к одному из атомов азота присоединена фосфатная группа.

Когда сахара, жиры или белки разлагаются с выделением энергии, она передается образующимся в ходе этого процесса ацилмеркаптановым связям. Запасенная в таком виде энергия идет на образование макроэргических фосфатных групп. А в дальнейшем эти макроэргические фосфатные группы поставляют уже непосредственно организму всю нужную ему энергию.

Фосфатные группы входят в состав некоторых белков. Например, первичные фосфатные группы содержат казеин (белок молока) и вителлин (белок яичного желтка), поэтому эти белки называют *фосфопротеинами*. В их молекулах фосфатные группы замещают гидроксильные группы в боковых цепях некоторых остатков серина.

Вторичные фосфатные группы содержат некоторые важные для организма сложные липиды, например лецитин и цефалин, которые поэтому часто называют *фосфатидами*.

Две фосфатные группы могут конденсироваться между собой, образуя *пирофосфатную* (или *дифосфатную*) группу. Получается такое сочетание атомов:



Три фосфатные группы могут конденсироваться в *трифосфатную* группу. Все соединения, содержащие *дифосфатные* или *трифосфатные* группы, являются макроэргическими. А самым важным макроэргическим фосфатом из всех встречающихся в организме является *аденозинтрифосфат*. (Химикам так часто приходится пользоваться этим названием, что ради экономии времени они называют его просто АТФ.)

Роль, которую играют в организме аденозинтрифосфат и креатинфосфат, была впервые изучена на примере мышцы. Для того чтобы началось сокращение мышцы, от содержащегося в ней аденозинтрифосфата отщепляется фосфатная группа — остается аденозиндифосфат (АДФ). Выделяющаяся при этом энергия и используется для сокращения мышцы. А потом при участии креатинфосфата аденозиндифосфат снова превращается в аденозинтрифосфат — нужная для этого фосфатная группа отщепляется от креатинфосфата, который превращается в просто креатин. При этом происходят еще и многие другие изменения, но подробнее о них мы сейчас говорить не будем.

Все органические фосфаты, о которых до сих пор шла речь, приносят организму огромную пользу — он просто не может без них обойтись. Но есть среди органических фосфатов и вредные.

Некоторые фосфаты — сильнейшие яды. Они выводят из строя ферменты, которые контролируют работу ацетилхо-

лина в нервных тканях, и тем самым замедляют или вообще прекращают прохождение нервных импульсов. В результате несколько минут спустя наступает паралич, а затем и смерть. Некоторые такие соединения используются как пестициды. А иногда приходится слышать разговоры о возможном применении их в качестве *нервных газов* в какой-нибудь будущей войне. Такие отравляющие вещества были бы необычайно смертоносны. Чтобы человек погиб, ему даже не нужно их вдыхать: они могут всасываться через кожу и слизистые оболочки.

МАГИЧЕСКАЯ ПУЛЯ

Атом мышьяка напоминает атомы азота или фосфата, но, в отличие от них, не является жизненно необходимым организму. Больше того, все его соединения в той или иной степени ядовиты. А некоторые очень ядовиты.

Например, отравляющий газ *люизит* (впервые полученный в 1917 году американским химиком У. Ли Льюисом) имеет в своей молекуле два атома углерода, соединенные двойной связью. К одному из них присоединена *дихлорарсиновая группа* (атом мышьяка, к которому присоединены два атома хлора), а к другому — еще один атом хлора.

Люизит сочетает ядовитые свойства соединений мышьяка с нарывным действием горчичного газа. Он страшнее горчичного газа. Но в первой мировой войне его не успели применить — перемирие было подписано как раз в тот момент, когда партию его везли через океан во Францию. Поэтому огромные количества его пришлось запечатать в герметическую упаковку и утопить поглубже в океане — никакого другого способа избавиться от него придумать не могли.

Но даже ядовитый мышьяк имеет свои хорошие стороны. Немецкому врачу Паулю Эрлиху пришло в голову поискать среди соединений мышьяка такое, которое было бы не очень

ядовито для человека, но убивало бы, по крайней мере, некоторых бактерий. Он перепробовал одно за другим множество органических соединений мышьяка. И когда в 1909 году, в конце концов, нашел среди них такое, какое ему было нужно, оно получило название «606», потому что было по счету шестьсот шестым из всех, которые он испытал. Сейчас его чаще называют арсфенамином или сальварсаном.

Основу молекулы арсфенамина составляют два атома мышьяка, соединенные двойной связью. А третьей связью каждый из них присоединен к бензольному кольцу. Оба бензольных кольца несут по гидроксилу и по аминогруппе.

Несколько лет спустя был снят фильм про открытие доктора Эрлиха, который назывался «Магическая пуля». Именно так называл Эрлих то, что он искал, — химическое соединение, которое действовало бы, как магическая пуля, не причиняя вреда человеческому организму, но находя в нем микробов и убивая их без промаха.

Сегодня мы не назвали бы арсфенамин чудодейственным средством. Во-первых, он эффективен только против одного типа микробов — против возбудителя сифилиса. Сейчас мы считаем, что настоящее «чудодейственное средство» должно уничтожать самые различные виды микроорганизмов. И поэтому арсфенамин вытеснен антибиотиками, которые действуют быстрее и не так опасны.

Под влиянием шумного успеха, которым пользовался арсфенамин, многие врачи решили, что стоит как следует поискать, и можно будет найти магические пули против каждого опасного микроба. Однако из этого ничего не вышло — в течение 25 лет после этого, до самого появления прontosила и сульфпрепаратов, ничего нового создать не удавалось. А сульфпрепараты были уже не магическими пулями, а, так сказать, магической шрапнелью — они уничтожали множество разнообразных микроорганизмов.

Фосфором и мышьяком не исчерпывается список атомов, которые могут входить в состав органических соединений. В их молекулах могут встречаться любые атомы, какие только вообще способны образовывать соединения*.

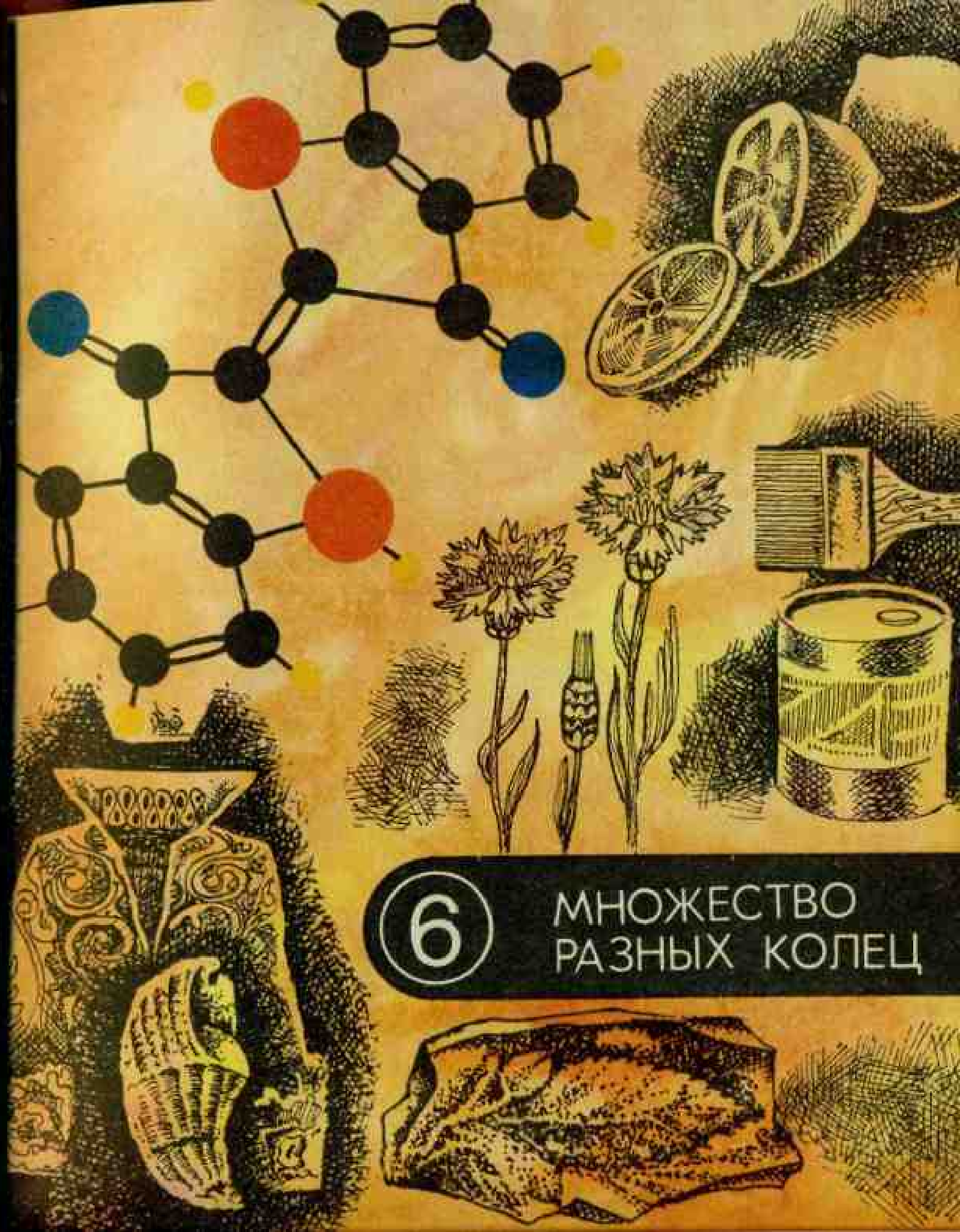
Например, в живых тканях есть такие органические соединения (обычно довольно сложные), которые содержат атомы железа, меди, цинка, молибдена, магния, марганца или кобальта. Небольшие количества каждого из этих металлов необходимы для жизни. Органические соединения, содержащие атомы металлов, носят название металлоорганических.

Есть и соединения, содержащие атомы золота и серебра. Когда-то они применялись в качестве лекарств, — вероятно, отчасти потому, что до появления настоящей научной химии врачи думали: раз это драгоценные металлы, они обязательно должны быть полезны организму. Существуют и современные, действительно полезные лекарства, в состав которых входят атомы золота. Примером их может служить соединение золота с тиоглюкозой — его молекулы напоминают молекулы глюкозы, с той только разницей, что одна из гидроксильных групп замещена на сочетание атомов серы и золота. Это лекарство применяется при некоторых заболеваниях, например при ревматоидном артрите.

Более распространено металлоорганическое соединение мербромин. У него довольно сложная молекула с тремя бензольными кольцами, к которым присоединены, в числе прочего, два атома брома и атом ртути. Его торговое название —

* Существуют шесть элементов — их называют инертными газами, которые вообще не образуют никаких соединений — ни с углеродом, ни с другими атомами. (Это не точно, теперь известны соединения, которые образуют эти элементы. — Прим. ред.)

меркурозром. Это вещество обладает слабым антисептическим действием и некоторое время пользовалось большой популярностью как заменитель обжигающего иода. Есть и более простой ртутьсодержащий антисептик — мертиолат, молекула которого содержит лишь одно бензольное кольцо, к которому присоединены, кроме всяких других атомов, нитрогруппа и атом ртути. Кроме того, в молекулах обоих этих веществ к атому ртути присоединена гидроксильная группа.



6

МНОЖЕСТВО
РАЗНЫХ КОЛЕЦ

| | |
|-------------------------------------|-----|
| Чужие атомы | 100 |
| Краски и новые витамины | 104 |
| Цвет крови | 108 |
| Цвет травы | 112 |
| Снова лекарства, снова красители | 115 |

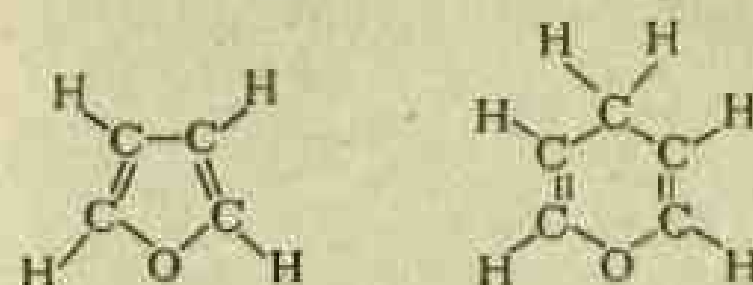
ЧУЖИЕ АТОМЫ

В самом начале книги я говорил, что атомы углерода могут соединяться в кольца. Однако до сих пор я рассказывал только о таких кольцах, которые состоят исключительно из атомов углерода. Вообще соединения, содержащие кольца, называются циклическими, и если их кольца состоят только из атомов углерода, то это — карбоциклические соединения.

Их можно также называть гомоциклическими или изоциклическими соединениями. Корень «гомо» происходит от греческого слова, означающего «тот же самый», а корень «изо» — от греческого слова, означающего «равный».

Не могут существовать и такие кольца, в которых по меньшей мере один атом не является атомом углерода. Соединения, молекулы которых содержат такие кольца, носят название гетероциклических соединений. (Корень «гетеро» происходит от греческого слова, означающего «иной».) «Чужой» атом, затесавшийся в кольцо, носит название гетероатома. Обычно это или кислород, или сера, или азот.

Ниже показаны два самых распространенных кольца с кислородным гетероатомом:



Левое кольцо, состоящее из четырех атомов углерода и одного атома кислорода, называется фурановым, а правое, состоящее из пяти атомов углерода и одного атома кислорода, — пирановым. Обратите внимание на двойные связи в этих кольцах. Гетероциклические соединения часто содержат по две или три двойных связи, обычно — в сопряженном положении. Такие сопряженные двойные связи придают кольцу большую стабильность. Впрочем, встречаются кольца и без двойных связей.

То же самое характерно и для карбоциклических соединений. Бензол с тремя сопряженными двойными связями весьма стабилен, но существует и циклогексан, который совсем не имеет двойных связей.

Самое известное простое соединение, содержащее одно из этих колец, — *фурфуральдегид* (часто называемый просто *фурфуролом*), который получают из соломы и отрубей — внешних оболочек семян зерновых культур, например пшеницы или риса. Его молекула содержит фурановое кольцо, в котором к одному из атомов углерода, соседнему с атомом кислорода, присоединена альдегидная группа. По-латыни отруби называются «фурфур» — от этого слова и происходят названия как фурфуральдегида, так и фуранового кольца.

Несмотря на столь скромное происхождение, фурфуральдегид служит одним из важнейших исходных продуктов в производстве знаменитого нейлона.

Однако не только этим объясняется то огромное значение, какое имеют эти два гетероцикла. Самое главное — это то, что именно из них состоят молекулы углеводов. В молекулах таких простых сахаров, как глюкоза или галактоза, содержится шесть атомов углерода, и обычно их рисуют расположенными по прямой линии. Но это не совсем правильно. На самом деле углеродные цепи глюкозы и галактозы замкнуты в кольца — кислород одной из гидроксильных групп присоединяется к углероду концевой альдегидной группы, и образуется пирановый цикл. Правда, в нем нет двойных связей, и к каждому атому углерода присоединены гидроксилы, но само кольцо состоит из пяти атомов углерода и одного атома кислорода, а это и есть скелет пиранового цикла.

Другие сахара могут тем же способом образовывать фурановый цикл. Например, молекулы сахарозы — обычного сахара, который мы употребляем в пищу, — состоят из пиранового и фуранового циклов, соединенных эфирной связью. Крахмал и целлюлоза представляют собой длинные цепочки пирановых циклов. Ведь и фурфуральдегид добывается из смолы и отрубей, так как в них содержатся молекулы углеводов, состоящие из пирановых и фурановых циклов.

Ну а почему же тогда в формулах сахаров атомы углерода обычно изображают вытянутыми в прямую линию? Дело в том, что фурановые и пирановые циклы в молекулах сахаров очень легко разрываются, так что химические свойства у сахаров почти такие же, какие были бы у соединений с прямой углеродной цепочкой. На первых порах химики вообще считали, что эти цепочки прямые, и лишь со временем убедились, что это циклы.

Вообще говоря, гетероциклические соединения, кольца которых легко разрываются, часто не относят к гетероциклическим. Например, сахарин, о котором шла речь в главе 4, на самом деле гетероциклическое соединение с двумя гетероатомами — азотом и серой. Однако в дальнейшем мы будем иметь дело только с такими соединениями, у которых кольца достаточно стабильны и которые поэтому можно считать «истинными» гетероциклическими соединениями.

Если кислородный атом в фурановом цикле заменить на атом серы, то получится соединение, которое называется *тиофеном*. По своим свойствам он очень близок к бензолу. Когда из нефти выделяют бензол, при этом одновременно выделяется и тиофен, так что если не принимать специальных мер предосторожности, бензол будет обязательно загрязнен незначительной примесью тиофена. До 1882 года химики ничего об этом не знали. Больше того, они придумали специальную реакцию на бензол, которая на самом деле была реакцией на примесь тиофена в бензоле, и в течение многих лет не замечали ничего неладного.

В нефти вместе с обычными углеводородами содержатся и некоторые простые гетероциклические соединения. Тиофен — самое важное из них.

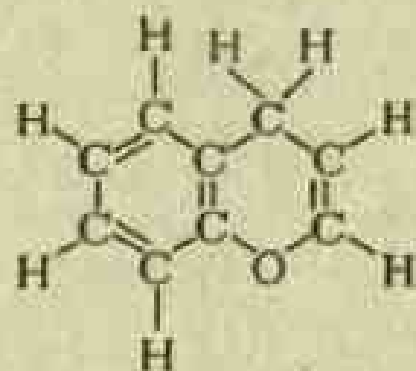
Реакцией на то или иное соединение называют реакцию, позволяющую обнаружить определенные атомы или атомные группировки в составе неизвестных веществ, даже когда эти атомы или группировки присутствуют в них в очень малых количествах. Обычно такая «реакция» состоит в добавлении к пробе неизвестного вещества небольших количеств определенного соединения или нескольких соединений. Иногда сразу получают ответ. Но чаще смесь приходится нагревать, или прибавлять к ней кислоты, или делать что-нибудь еще, чтобы произошла реакция. При этом если атомы или атомные группировки, которые вы ищете, присутствуют в веществе, они соединяются с добавленными реагентами, что обычно дает заметные результаты, — например, появляется яркая окраска. Если же искомым атомов в веществе нет, то ничего не происходит. Например, так называемая «реакция на бензол», о которой я говорил, состоит в том, что неизвестное вещество взбалтывают с крепкой серной кислотой, а потом добавляют немного соединения, называемого изатином. Если в веществе присутствует бензол, смесь станет ярко-голубой, а если нет — останется бесцветной. И все было бы хорошо, если бы не одно обстоятельство: с изатином реагирует как раз тиофен, содержащийся в бензоле в виде примеси, и именно его-то присутствие, а не присутствие бензола и приводит к таким результатам.

Но вот что однажды случилось. В 1882 году немецкий химик Виктор Мейер демонстрировал своим студентам эту

реакцию. Он взял пробу бензола, который был получен не из нефти, а из чистой бензойной кислоты. Это тот редкий случай, когда бензол вообще не может содержать тиофен. И реакция не получилась! (Поскольку Виктор Мейер был известным химиком и так как немецкие химики вообще, как правило, имеют о себе высокое мнение, он, вероятно, был сильно смущен и этим, должно быть, доставил немалое удовольствие студентам.) К счастью, Мейер не оставил этот случай без внимания, начал выяснять, почему же не получилась реакция, и таким образом открыл тиофен. Из этого можно сделать вывод. В научных исследованиях следует особое внимание обращать на те эксперименты, которые почему-то не получаются. Именно они и могут оказаться самыми ценными.

КРАСКИ И НОВЫЕ ВИТАМИНЫ

Гетероциклические кольца могут соединяться с обыкновенными бензольными, так что получаются сочетания двух (или любого числа) циклов. Если к бензольному кольцу присоединен пирановый цикл, образуется бензпиран:



Бензпиран входит в состав некоторых соединений, которые содержатся в растениях. Например, молекула кумарина отличается от молекулы бензпирана только тем, что один из

атомов углерода, соседний с кислородным гетероатомом, входит в состав карбонильной группы. Кумарин обладает одним из самых приятных на свете запахов. Им пахнет свежее сено, так что можно сказать, что у кумарина «запах сенокоса».

Однако даже из такого приятного вещества, как кумарин, может получиться нечто неприятное. Если сено подвергается действию сырости и загнивает, некоторые молекулы кумарина соединяются попарно, образуя дикумарин. Это соединение нарушает процессы жизнедеятельности, в которых принимает участие витамин К, и ухудшает свертываемость крови. Если скот кормят испорченным сеном, содержащим дикумарин, то это может привести к смертельным кровотечениям у животных.

Бензпирановое кольцо с тремя метильными и одной гидроксильной группой, присоединенными к бензольному циклу, и с длинной углеводородной боковой цепочкой, присоединенной к пирановому циклу, образует молекулу одного из токоферолов. Это жирорастворимые витамины, обычно называемые витамином Е.

Большая часть экспериментов с токоферолами проводилась на животных — мышах и крысах. Эти животные обязательно должны получать токоферолы в составе пищи, так как без них самки лишаются способности рожать детенышей. И само слово «токоферол» происходит от греческих слов, означающих «рожать детей». Сколько витамина Е должен получать человек, пока еще не установлено. Мы даже не знаем наверняка, влияет ли вообще витамин Е на детородные способности у человека, — хотя я не сомневаюсь, что получать немного этого витамина с пищей отнюдь не вредно, хотя бы просто на всякий случай.

Эксперименты в области питания проводятся на животных гораздо чаще, чем на людях. Нетрудно догадаться, почему это так. За животными можно постоянно следить; их питание можно контролировать насильно; да и едят они не так много, если они невелики. Поэтому мы гораздо больше знаем о том, сколько витаминов, солей и аминокислот нужно давать крысам, чем человеку.

Если к бензпирану присоединить одним концом бензольный цикл, то можно получить целое семейство близких соединений — в зависимости от того, какие группы к каким кольцам присоединены и каким образом соединены между собой циклы. Эти соединения носят название *антоцианидинов* и *флавонов*. Именно они придают окраску многим цветам. Само слово «антоцианидин» происходит от греческих слов, означающих «голубой цветок», а «флаво» — от греческого слова, означающего «желтый».

В растениях антоцианидины и флавоны соединены с сахарами, например глюкозой. Такие соединения называют *антоцианинами*.

Когда жидкое содержимое клеток лепестков имеет слабощелочную реакцию, некоторые антоцианидины в самом деле становятся голубыми, как это и следует из их названия. Получается тот цвет, какой мы видим у василька или дельфиниума. Если же внутриклеточная жидкость имеет слабокислую реакцию, те же антоцианины становятся красными — примерами могут служить розы или пионы.

Но эти вещества способны не только придавать окраску цветам. Как полагают, некоторые из них обладают свойствами витаминов. Например, есть такая болезнь цинга, один из признаков которой — необычайная хрупкость мельчайших кровеносных сосудов, которые называют капиллярами. Они легко лопаются, и тогда начинается кровотечение, чаще всего из десен. А так как синяки — это результат разрыва подкожных кровеносных сосудов, то люди, больные цингой, обычно склонны к образованию многочисленных синяков и кровоподтеков.

Большая часть признаков цинги исчезает, когда человек начинает получать с пищей достаточное количество аскорбиновой кислоты (витамина С). Но бывают случаи, когда в организме вполне достаточно аскорбиновой кислоты, а капилляры все равно слишком легко кровоточат. (Другими словами, их стенки слишком проницаемы для крови.) В таких случаях, по-видимому, необходим еще один витамин, — этот ви-

тамин называют витамином Р (от слова permeability — проницаемость).

Свойствами витамина Р и обладают некоторые флавоны, из которых наиболее известны *рутин* и *гесперидин*. Они содержатся в кожуре цитрусовых, особенно лимонов, в гречихе и других продуктах. В конце 40-х годов химики связывали с этими соединениями самые радужные надежды, хотя сейчас они далеко не убеждены в их ценности и даже в том, витаминны ли они вообще.

Правда, и сейчас вы можете заметить, как в объявлениях, рекламирующих всякие таблетки «от простуды», упоминаются «биофлавоноиды цитрусовых». Это и есть наши знакомые — флавоны. Авторы рекламных объявлений утверждают, что в сочетании с аскорбиновой кислотой эти вещества оказывают благотворное действие при простуде. К сожалению, такие объявления грешат чрезмерным оптимизмом: последние клинические исследования этого не подтверждают.

Если пирановый цикл сконденсирован с двумя бензольными (по одному с каждой стороны), образуется часть молекулы соединения, известного под названием *флуоресцеина*. Если к раствору флуоресцеина добавить какую-нибудь щелочь, часть кольца распрямляется и вещество приобретает флуоресцирующую зеленую окраску. Небольшое количество такого щелочного флуоресцеина может окрасить огромную массу воды. Поэтому флуоресцеин можно использовать для обнаружения течи в водопроводных трубах. Если вытекающая из труб вода имеет в своем составе флуоресцеин, ее легко обнаружить.

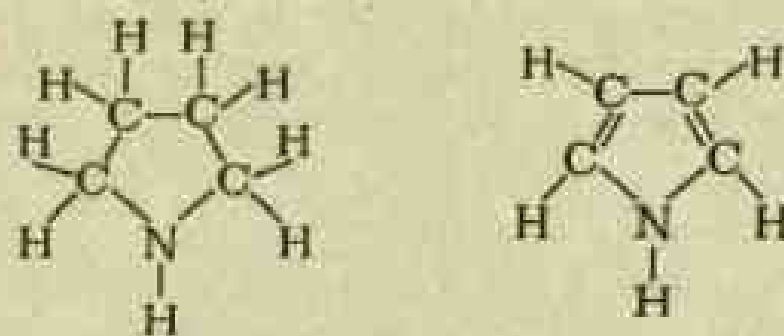
Некоторые вещества поглощают свет, а потом излучают свет другой окраски. Это называется *флуоресценцией* — отсюда и название флуоресцеина. Флуоресцирующая окраска обычно бывает гораздо ярче и «живее», чем окраска, являющаяся результатом простого отражения света. Флуоресцирующие краски нередко наносят на задние бамперы автомобилей или на деревья, растущие около дороги. Несколько лет назад среди нашей молодежи пользовалась популярностью мода на одежду, окрашенную флуоресцирующими красителями.

Во время войны флуоресцеин часто использовали в качестве сигнальной краски. Люди, оказавшиеся на надувных спасательных плотках посреди океана, ждали, пока над головой не покажутся высланные на поиск самолеты. Увидев самолет, они разрывали герметический пакет с флуоресцеином и высыпали этот красноватый порошок в океан. Почти мгновенно вода на большом пространстве окрашивалась во флуоресцирующий зеленый цвет. Пилот высоко летящего самолета мог не заметить крохотный спасательный плот, но он почти наверняка должен был заметить зеленое пятно на воде. Флуоресцеину обязаны жизнью многие летчики и моряки.

ЦВЕТ КРОВИ

Соединения, в которых в роли гетероатома выступает азот, более многочисленны и более сложны, чем соединения с кислородом или серой в качестве гетероатома.

Я начну с того, что напишу структурные формулы двух гетероциклов, имеющих в своем составе азот, которые напоминают фуран и тиофен:

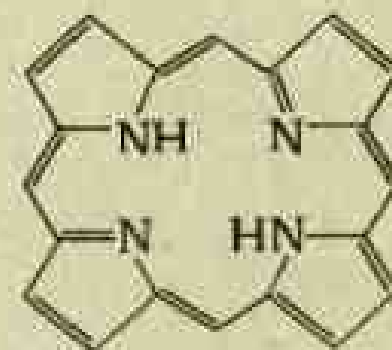


Слева — пирролидин, а справа — пиррол. Единственное различие между ними состоит в том, что в молекуле пиррола две двойные связи и с атомами углерода связаны четыре атома водорода, а в молекуле пирролидина — восемь атомов водорода и нет двойных связей.

Самое важное из всех соединений с пирролидиновым циклом в молекуле — пролин. В его молекуле к атому углерода, соседнему с гетероатомом азота, присоединена карбоксильная группа. Таким образом, и карбоксильная группа, и группа — NH — присоединены к одному и тому же атому углерода. Так как группа — NH — называется *иминогруппой*, то пролин — это *иминокислота*. Пролин входит в состав белков и ведет себя в точности так же, как и аминокислоты, о которых я говорил раньше. Поэтому его включают в список природных аминокислот, хотя на самом деле это иминокислота.

Особенно много пролина в белке коллагене. Коллаген содержит также и оксипролин, который отличается от пролина только тем, что к его пирролидиновому циклу присоединена еще и гидроксильная группа. Оксипролин почти не встречается в составе каких-либо белков, кроме коллагена.

Что же касается пиррола, то он важен не столько сам по себе, сколько его соединение, представляющее сложную циклическую систему, состоящую из пиррольных колец. Например, четыре таких кольца можно соединить мостиками из одного углеродного атома каждый (углеродные мастики — Прим. ред.) в еще большее кольцо. Я приведу на схеме только скелет такого кольца — если бы я показал расположение всех атомов, получилась бы страшная путаница. Глядя на схему, вы можете составить себе общее представление о форме этой молекулы:



Такое циклическое ядро, составленное, в свою очередь, из колец поменьше, называется *порфиновым*.

Порфиновое ядро очень стабильно благодаря сопряженным двойным связям (их в нем одиннадцать) и входит в состав молекул многих соединений. Все такие соединения называются *порфиринами*. Они обычно ярко окрашены, что объясняется опять-таки присутствием двойных связей. Слово «порфирин» происходит от греческого слова, означающего «пурпурный».

Из всех порфиринов, входящих в состав нашего организма, наиболее важный — *протопорфирин IX*. В его молекуле восемь боковых цепей — по одной на каждый выступающий наружу угол четырех пиррольных циклов. Из этих восьми боковых цепей в двух по три атома углерода, в двух — по два и в четырех — по одному. И все восемь цепей могут быть присоединены к порфиновому циклу не менее чем пятнадцатью разными способами, в результате чего получается пятнадцать разных соединений.

Какое из этих соединений входит в состав человеческого организма, установил немецкий химик Ганс Фишер. Вот как он это сделал. Он выписал на бумажку все 15 соединений, разделил шестьдесят своих студентов на 15 групп по четыре человека в каждой и дал каждой группе формулу одного из вариантов. Каждая группа синтезировала свое соединение (что само по себе было весьма нелегкой работой). А потом свойства каждого соединения сравнивались со свойствами природного протопорфирина.

Оказалось, что нужное соединение — это тот вариант, который Фишер обозначил номером девять. Вот почему цифра IX стоит в названии нашего протопорфирина. А «прото» происходит от греческого слова, означающего «первый», — это говорит о первостепенном значении, которое имеет именно данный порфирин.

В организме протопорфирин IX соединен с атомом железа, который находится в центре кольца и соединен со всеми четырьмя атомами азота. Такое сочетание порфирина с железом носит название *гема*. У железа в нем остаются еще две свободные связи, и с помощью одной из них к гему может быть присоединен белок. Чаще всего это белок, который

называется *глобином*. Глобин, соединенный с гемом, образует *гемоглобин*.

С белком соединяются еще и некоторые боковые цепи порфиринового ядра гема, так что гем оказывается прочно связанным с белком не менее чем в 5 местах. Когда к молекуле белка присоединена молекула, которая, как гем, состоит не из аминокислот, она называется *простетической группой*. Это название происходит от греческого слова, означающего «дополнительный».

Гемоглобин содержится в красных клетках крови и придает крови красный цвет. (Слово «гем» происходит от греческого слова, означающего «кровь»). Сам по себе гемоглобин окрашен в синий цвет — вы можете в этом убедиться, если посмотрите на вены, проходящие под самой кожей на тыльной стороне кисти руки или на внутренней стороне запястья. Однако, проходя вдоль тонких мембран легких, гемоглобин захватывает из находящегося в легких воздуха молекулы кислорода. Они присоединяются шестой, последней связью атома железа. Так образуется *оксигемоглобин* — ему-то и свойственна ярко-красная окраска, которую обычно приписывают крови.

По мере того как кровь путешествует по всему организму, оксигемоглобин постепенно отдает свой кислород клеткам и вновь превращается в гемоглобин. В этом виде он возвращается по венам, и именно поэтому вены обычно голубые.

Когда из раны идет кровь, она всегда ярко-красная, даже если она поступает из вены, — дело в том, что, как только кровь соприкасается с воздухом, она присоединяет к себе кислород.

Если бы не гемоглобин — переносчик кислорода, организм не мог бы долго прожить. К гемоглобину могут присоединяться также молекулы окиси углерода, состоящие из одного атома углерода и одного атома кислорода. Они присоединяются к гемоглобину так прочно, что кислород присоединиться к нему уже не может. Вот почему присутствие даже небольшого количества окиси углерода в воздухе может оказаться смертельным.

Как только кислород, доставленный оксигемоглобином крови, переходит в клетку, его подхватывают специальные ферменты, которые называют цитохромами. В состав их молекул тоже входит гем, но белковая их часть представляет собой не глобин, а другой белок. На работу цитохромов оказывает сильное действие ион цианистой, или синильной, кислоты — вот почему она смертельна даже в небольших количествах.

Гемоглобин и цитохромы нам жизненно необходимы. Поэтому жизненно необходимо нам и железо. Недостаток железа приводит к одной из форм анемии (от греческих слов, означающих «бескровный»). Анемии не могут усваивать должным образом кислород и поэтому бледны, слабы и легко утомляются.

ЦВЕТ ТРАВЫ

Порфириновое ядро может соединяться не только с железом, но и с другими металлами. Почти вся жизнь на Земле обязана своим существованием одному входящему в состав растительных тканей соединению, молекула которого состоит из порфиринового ядра с присоединенным к нему атомом магния. (Это порфириновое ядро некоторыми особенностями строения своих боковых цепей отличается от протопорфирина IX.) Порфирин, соединенный с магнием, носит название *хлорофилла* — это и есть то зеленое вещество, которое придает зеленую окраску листьям и стеблям растений. (Его название происходит от греческих слов, означающих «зеленый лист».)

Именно благодаря хлорофиллу зеленое растение может поглощать энергию солнечного света и использовать ее для того, чтобы расщеплять молекулы воды на водород и кислород. Водород соединяется с двуокисью углерода (которую растения поглощают из воздуха), образуя углеводы, а кислород выделяется в атмосферу.

Так как углеводы образуются (синтезируются) благодаря действию света, этот процесс носит название фотосинтеза. Корень «фото» происходит от греческого слова, означающего «свет».

В результате фотосинтеза энергия солнечного света превращается в химическую энергию, которую растение запасает в виде углеводов. Этими запасенными углеводами питается и само растение, и поедающие его животные, и те животные, которые питаются этими животными, и так далее. Все начинается с растения, которое живет энергией солнечного света.

Растения могут образовывать из углеводов и жиры. А присоединяя к ним простые соединения азота, которые они поглощают из почвы, они могут получать и белки. Вообще говоря, зеленое растение может получать из двуокиси углерода, воды и неорганических веществ почвы все соединения, какие ему только нужны. Такие организмы называют *автотрофными*. Автотрофны и некоторые бактерии. А животные, грибы, вирусы и большинство бактерий должны питаться органическими соединениями, которые создают растения. Это *гетеротрофные организмы*. К ним, разумеется, принадлежит и человек.

Случалось, что растения погибали и попадали в болото, а потом их заносило землей. За прошедшие с тех пор тысячелетия их ткани превратились в нефть и уголь. Таким образом, когда мы извлекаем энергию из нефти и угля, мы пользуемся плодами труда молекул хлорофилла, созданными миллионы лет назад.

Фотосинтез играет и еще одну важнейшую роль. Животные получают нужную им энергию из углеводов, жиров и белков пищи, окисляя их кислородом с образованием двуокиси углерода и воды. Если бы на Земле происходил только этот процесс, земная атмосфера очень скоро изменила бы свой состав и содержала бы смертельное количество углекислого газа (двуокиси углерода).

Но в ходе фотосинтеза растения потребляют углекислый газ с такой же скоростью, с какой он образуется, а расщепляя молекулы воды, они возвращают кислород в атмосферу.

Поэтому мы обязаны зеленым растениям не только тем, что мы едим, но и тем, чем мы дышим.

Есть одно очень необычное соединение, структура которого была установлена лишь в последние годы, — **цианкобаламин**. Это темно-красное вещество, молекула которого состоит из ядра, похожего на порфириновое, и сложных боковых цепей. В центре ее находится атом близкого к железу металла — кобальта. Открытие этого факта было настоящей сенсацией. Цианкобаламин — единственное природное органическое соединение, содержащее в своей молекуле кобальт.

Это не совсем порфирин, потому что в ядре молекулы цианкобаламина не хватает одного из углеродных мостиков: два из четырех пиррольных циклов соединены непосредственно между собой. «Кобал» в его названии и означает «кобальт» а буква «т» отброшена просто для благозвучия. В молекуле цианкобаламина есть, конечно, аминокислоты, а «циан» говорит о присутствии цианогруппы. Это, впрочем, безопасно, потому что эта группа прочно присоединена к молекуле и не высвобождается в виде иона. Кроме того, цианкобаламин содержится в организме в таких маленьких количествах, что даже если бы этот ион высвобождался, его не хватало бы, чтобы причинить какой бы то ни было вред.

Цианкобаламин обладает свойствами витамина и поэтому называется еще **витамином В₁₂**. Он необходим организму для выработки гемоглобина — вот почему, между прочим, кобальт тоже принадлежит к числу жизненно необходимых веществ, которые должны обязательно присутствовать в небольших количествах в пище.

Недостаточное количество в крови гемоглобина вызывает заболевание, называемое **анемией**. Я уже говорил об одном из видов анемии, вызываемой недостатком в пище железа. Такую анемию лечить нетрудно — достаточно глотать таблетки, содержащие соединения железа.

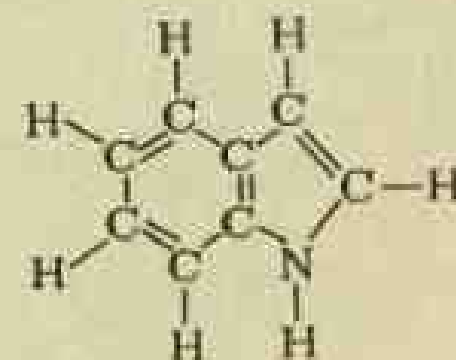
А вот недостаток гемоглобина, вызываемый недостатком цианкобаламина, куда опаснее. Эту болезнь называют **злокачественной анемией**, потому что раньше она почти всегда оказывалась смертельной. В 1926 году два американских

врача — Дж. Р. Мино и У. П. Мерфи обнаружили, что эту болезнь можно вылечить определенным образом приготовленными экстрактами печени. (Дело в том, что этот витамин запасается в печени.) В 1934 году они были удостоены за это открытие Нобелевской премии. А в 1948 году было выделено химическое соединение, содержащееся в печени и позволяющее вылечить злокачественную анемию. Это **цианкобаламин**.

Организму цианкобаламин нужен в очень малых количествах. Его нужно в тысячу раз меньше, чем любого другого витамина. Кроме того, его вырабатывают бактерии, живущие в кишечнике. Поэтому люди, страдающие злокачественной анемией, болеют вовсе не потому, что они получают с пищей слишком мало витамина. На самом деле им не хватает другого вещества, необходимого, чтобы они могли усвоить витамин. Поэтому приходится вводить им в пищу лишний цианкобаламин — только тогда он в достаточном количестве попадает в их организм.

СНОВА ЛЕКАРСТВА, СНОВА КРАСИТЕЛИ

Когда пиррольный цикл конденсируется с бензольным, получается **индол**. Его молекула выглядит так:



А если к индольному ядру присоединить метильную группу, получается **скатол**. У обоих этих веществ отвратительный

запах — именно им обязаны своим запахом наши твердые выделения, или экскременты. Само слово «скатол» происходит от греческого слова, означающего экскременты.

Оба эти соединения образуются в кишечнике в результате действия бактерий на одну из аминокислот, входящих в состав белков. Эта аминокислота — триптофан; индольное ядро содержится в ее боковой цепи. Триптофан не имеет запаха и является одной из незаменимых аминокислот, которые обязательно должны входить в состав нашей пищи. Бактерии всегда ухитряются добраться до части молекул триптофана, прежде чем они усваиваются организмом, и выработать из них индол и скатол. А эти вещества бесполезны для организма и им не усваиваются — они просто выделяются с экскрементами.

Происходящие под действием бактерий изменения в пищевых продуктах или тканях, приводящие к возникновению плохо пахнущих (и нередко ядовитых) веществ, называются процессами гниения.

Из триптофана организм вырабатывает одно важное соединение, которое было изучено лишь в последние годы. Это соединение получится, если к индольному ядру триптофана присоединить гидроксильную группу и лишить молекулу карбоксильной группы. Оно носит название серотонина.

Серотонин содержится главным образом в мозгу и нервных тканях и, очевидно, имеет отношение к работе клеток мозга. При обычных условиях он быстро разрушается под действием фермента *аминоксидазы*. Есть вещества, которые блокируют действие *аминоксидазы* и вызывают накопление серотонина в мозгу. Это приводит к самым разнообразным нарушениям нервной деятельности, и в том числе к галлюцинациям и временному умственному расстройству.

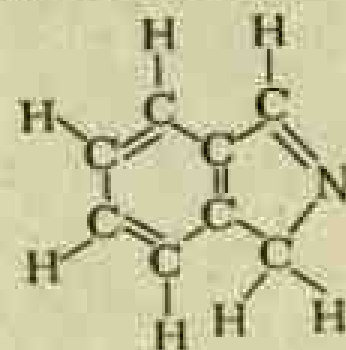
Но были открыты и такие лекарственные препараты, которые действуют на эти процессы в противоположном направлении. Они снимают напряжение и страх. Эти препараты, получившие в последние годы большое распространение, получили название *транквилизаторов*.

Если два индольных ядра соединить между собой через углеродные атомы, соседние с гетероатомами азота, и присоединить к ним еще две гидроксильные группы, получается молекула вещества ярко-голубого цвета, которое называется индиго. Это название происходит от латинского названия Индии, потому что именно из Индии древние римляне получали индиго. А от индиго, между прочим, происходит название индола.

Индиго — одно из немногих природных соединений, являющихся хорошим красителем. Поэтому до того, как появились современные синтетические красители, оно ценилось очень высоко. Под растения, вырабатывающие индиго, отводили целые плантации. В наши дни химики научились синтезировать индиго — это обходится дешевле, чем разводить такие растения, и плантации индиго были ликвидированы.

На молекулу индиго похожа молекула другого красителя — *тирийского пурпура*; она отличается только тем, что к ней присоединены еще два атома брома. Этот краситель обитатели древнего Тира добывали из моллюсков. Секрет его производства они тщательно охраняли и продавали краситель за большие деньги. Это была одна из причин процветания Тира. Пурпур был таким дорогим, что из окрашенных им тканей шили только королевские облачения. К началу средних веков секрет пурпура был утерян. Теперь он, правда, снова открыт, но никакого значения уже не имеет. Существует множество синтетических красителей точно такого же цвета — они дешевле и лучше.

Другое, менее распространенное, сочетание пиррольного и бензольного циклов выглядит так:



Это соединение носит название *изоиндола*, и если вы сравните его формулу с формулой *индола*, вы увидите, что вся разница между ними в том, что атом азота занимает разные положения.

Изоиндолыные ядра, как и пиррольные циклы, могут соединяться между собой по четыре, образуя кольцо. Но при этом ядра соединяются между собой не углеродными, а азотными мостиками. Так получается *фталоцианин* — вещество яркого зеленовато-голубого цвета.

К этой молекуле легко присоединяется атом меди — он располагается в ее центре и соединяется с четырьмя атомами азота изоиндолыных ядер. Так получается вещество чисто голубого цвета — это самый лучший голубой краситель для набивных тканей, потому что у него почти нет красного или желтого оттенка.

В молекуле этого соединения целых девятнадцать сопряженных двойных связей. Этим объясняется не только его окраска, но и его стабильность, необычная для органического соединения — оно может быть нагрето до 500 °С без всякого ущерба для себя и может выдерживать действие самых сильных химических веществ.

Другие производные фталоцианина имеют иную окраску. Например, если к фталоцианину присоединен атом свинца, получается желтовато-зеленое вещество. Если к нему присоединен атом меди и еще четырнадцать или шестнадцать атомов хлора, получается вещество чистого ярко-зеленого цвета, и так далее.



СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|----------------------------|-----|
| Первые лекарства | 120 |
| Незаразная болезнь | 122 |
| Лекарство из Южной Америки | 125 |
| Лекарства из грибов | 128 |
| Самые опасные лекарства | 130 |
| Поделенный азот | 133 |

ПЕРВЫЕ ЛЕКАРСТВА

Самыми первыми лекарственными препаратами были экстракты, приготовленные из тех или иных частей определенных растений. Люди более или менее случайно обнаруживали, что эти растения оказывают сильное действие на организм — иногда излечивают болезни, а иногда убивают.

Дело в том, что у некоторых растений в семенах, листьях, коре или корнях содержатся химические соединения — алкалоиды. Это гетероциклические соединения, часто со сложной системой циклов, содержащие в качестве гетероатома по меньшей мере один атом азота.

В химических процессах, происходящих в растениях, эти алкалоиды участия как будто не принимают. Они просто в нем присутствуют. Некоторые ученые предположили, что алкалоиды вырабатываются растениями в качестве средства защиты от животных. Ведь большинство растений — совершенно беззащитные организмы, которые животным ничего не стоит съесть. Они не могут ни отбиваться, ни бежать. Но зато они могут вырабатывать яды, которые заставляют животных держаться подальше. К счастью для животных (а в том числе и для нас), это научились делать лишь немногие растения мира.

Примером такого известного алкалоида может служить стрихнин. Его молекула состоит из целых семи циклов, расположенных весьма сложным образом. В ней есть два атома азота — оба они входят в состав пирролидиновых циклов. Молекула содержит два атома кислорода, один из них также входит в состав циклической системы.

Стрихнин содержится в семенах похожих на апельсины плодов индийского дерева чилибухи, или рвотного ореха.

Кроме стрихнина в них содержится еще один похожий на него алкалоид бруцин. Алкалоидоносные растения обычно вырабатывают по нескольку близких алкалоидов.

Стрихнин вам, вероятно, знаком по детективным романам, где он служит одним из самых излюбленных средств убийства. На самом деле убить человека с помощью стрихнина вовсе не так легко, как думают авторы таких романов. Стрихнин — одно из самых горьких на свете веществ. Его вкус можно почувствовать, даже если грамм стрихнина растворить в тонне воды. И очень трудно так замаскировать этот вкус, чтобы жертва ни о чем не догадалась.

Стрихнин возбуждает нервную систему и таким путем заставляет мышцы сильнее сокращаться. В очень малых дозах стрихнин может оказывать благотворное стимулирующее действие. Он бывает особенно полезен в тех случаях, когда больной получил слишком большую дозу какого-нибудь успокаивающего средства, почти до предела подавившую его нервную систему. Однако в немного больших количествах стрихнин оказывает слишком сильное возбуждающее действие и вызывает судорожные сокращения мышц. Смерть от отравления стрихнином очень мучительна.

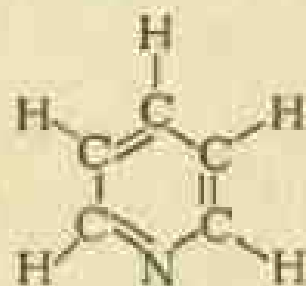
Физостигмин — это соединение с менее сложной молекулой, чем стрихнин. Его молекула содержит три цикла, два из которых являются пирролидиновыми. Он входит в состав семян одного африканского дерева.

Физостигмин, так же как и нервно-паралитические газы, нарушает процессы разложения ацетилхолина. Поэтому в больших дозах он оказывает такое же отравляющее действие.

Однако он может и приносить пользу в качестве глазных капель. Есть такая болезнь глаукома, при которой повышается давление жидкости, заключенной внутри глазного яблока. Это повышение давления очень болезненно и может привести к слепоте. А глазные капли, содержащие физостигмин, снижают внутриглазное давление и спасают зрение.

НЕЗАРАЗНАЯ БОЛЕЗНЬ

Существует гетероцикл, состоящий из пяти атомов углерода и одного атома азота. Он выглядит так:



Это соединение называется пиридином — оно, как видите, очень похоже на бензол и отличается от него только наличием атома азота. Пиридин еще устойчивее, чем бензол. Пиридиновый цикл может быть присоединен к молекуле сульфаниламида; если добавить к ней еще некоторые другие циклы, получается лекарство — сульфapiидин (сульфидин — Прим. ред.).

Одно из важных веществ, содержащих пиридиновый цикл, — никотиновая кислота. В ее молекуле карбоксильная группа присоединена ко второму атому углерода пиридинового цикла, если считать от гетероатома азота. Никотиновая кислота — один из витаминов группы В и является необходимой составной частью по меньшей мере трех разных коферментов. Человеческий организм не может вырабатывать достаточное количество никотиновой кислоты для своих нужд, и немного ее должно содержаться в пище.

Прежде чем включить никотиновую кислоту в состав своих коферментов, организм превращает ее в никотинамид, замещая карбоксильную группу на амидную. Поэтому продукты питания, содержащие никотинамид, столь же полезны, как и содержащие саму никотиновую кислоту. Когда два близких вещества оказывают сходное витаминное действие, их называют *витамерами*. Такими витамерами и являются никотиновая кислота и никотинамид.

Те три кофермента, в состав которых входит никотинамид, часто называют просто коферментом I, коферментом II и коферментом III (хотя есть у них и более сложные имена). Они в организме связаны с несколькими десятками ферментов, которые контролируют дегидрогенизацию множества различных соединений (см. главу 4).

Если никотиновая кислота и никотинамид отсутствуют в пище, организм не может вырабатывать коферменты I, II и III (хотя и вырабатывает всю остальную часть довольно больших молекул этих коферментов). А без этих коферментов в организме медленнее идут десятки реакций, и вся химическая машина приходит в расстройство. В результате возникает заболевание — пеллагра, от итальянских слов, означающих «грубая кожа», потому что при этом заболевании кожа грубеет и воспаляется. Появляются также и многие другие неприятные симптомы.

Одно время пеллагра была довольно широко распространена на юго-востоке США, где бедное население питалось довольно однообразно и преимущественно кукурузой. Кукуруза содержит мало никотиновой кислоты, а также аминокислоты триптофана. Дело в том, что триптофан под действием живущих в кишечнике бактерий, по-видимому, может превращаться в никотиновую кислоту. Человек, в пище которого есть триптофан, всегда может усваивать часть никотиновой кислоты, вырабатываемой бактериями. Этого может быть не совсем достаточно, но все-таки это помогает ему продержаться.

До 1915 года считали, что пеллагру вызывают какие-то микробы. Однако в 1915 году врач Дж. Голдбергер сделал

смелое предположение — а что если дело в питании? Ведь пеллагра была как будто не заразной, а те люди, у которых была корова или достаточно денег, чтобы покупать молоко, пеллагрой почему-то не болели. (Теперь мы знаем, что молоко — хороший источник этого витамина.)

Голдбергер установил, что заболевают пеллагрой в том случае, если человек долгое время принимает однообразную неполноценную пищу. Секрет пеллагры был раскрыт: оказывается, ее можно лечить правильным питанием.

А в 1937 году было наконец найдено вещество, присутствие которого в пище предотвращало пеллагру. Это оказалась никотиновая кислота (или никотинамид).

Никотиновая кислота получила свое название по алкалоиду, который содержится в листьях табака. Этот алкалоид — никотин. Его молекула представляет собой пиридиновый цикл, к которому одним углом присоединен пирролидиновый цикл. Когда в результате химического воздействия эти циклы разрываются, один углеродный атом пирролидинового цикла остается соединенным с пиридиновым циклом в виде карбоксильной группы, и получается никотиновая кислота.

Названия алкалоидов, как правило, оканчиваются на «ин». Остальная их часть чаще всего происходит от латинского названия группы растений, где данный алкалоид встречается. Например, группа растений, к которой принадлежит табак, называется *nicotianum*, а стрихнин содержится в растениях, называемых полатыни *strychnos*.

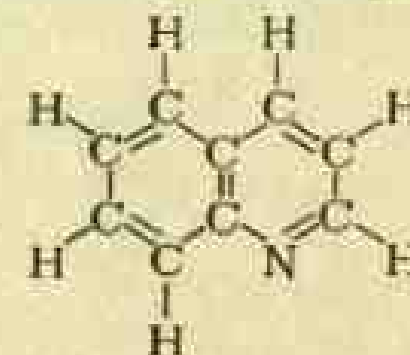
Американская медицинская ассоциация опасалась, что сходство этих названий может навести на мысль, будто в сигаретах содержится этот витамин и будто поэтому курение полезно, так как оно предотвращает пеллагру. Было предложено называть никотиновую кислоту *ниацином*, а никотинамид — *ниацинамидом*. Иногда на баночке с витаминными таблетками или с каким-нибудь витаминизированным продуктом можно увидеть в списке содержащихся в них витаминов не никотиновую кислоту, а ниацин.

Никотин, между прочим, весьма ядовит, как и большинство других алкалоидов. Большая часть его при курении сгорает, но примерно четверть вместе с дымом попадает в горло и легкие. Там никотин как будто не приносит большого непосредственного вреда, хотя если бы такое же количество никотина попало в желудок, то это могло бы привести к отравлению или даже смерти. Но и ядовитость никотина может приносить пользу: он входит в состав некоторых инсектицидов (веществ, убивающих насекомых).

Еще одно вещество с пиридиновым циклом в молекуле — пиридоксин. Здесь к пиридиновому циклу присоединены четыре группы: гидроксильная, метильная и две оксиметильные*. Если одна из оксиметильных групп замещена на альдегидную, получается пиридоксаль, а если на метиламиногруппу — получается пиридоксамин. Пиридоксаль входит в состав кофермента, который называется пиридоксальфосфат (как видно из названия, к нему присоединена фосфатная группа). Но в организме в пиридоксаль легко могут превращаться и пиридоксин, и пиридоксамин, поэтому эти три соединения являются витаминами. Их иногда называют витамином B₆.

ЛЕКАРСТВО ИЗ ЮЖНОЙ АМЕРИКИ

Когда пиридиновый цикл конденсируется с бензольным, получается тинолин, молекула которого выглядит вот так:



* Оксиметильная группа — это метильная группа, в которой один из атомов водорода замещен на гидроксильную группу.

Его название происходит от названия алкалоида *хинина* — вещества с весьма поучительной историей. Когда-то он был единственным лекарством от малярии, позволявшим если не вылечиваться, то, по крайней мере, избавляться от самых тяжелых ее симптомов. Малярия и в наши дни одна из самых серьезных болезней в мире. Только в Индии от нее каждый год умирает не менее миллиона человек, и неизвестно, сколько еще страдает от ее последствий. Разносчиками малярии являются комары определенного вида. Поэтому с малярией можно бороться, уничтожая места их выплода и применяя инсектициды. Но в менее развитых и наиболее перенаселенных странах, особенно в жарком климате, малярия остается одним из самых опасных заболеваний.

Когда испанцы впервые попали в Перу, они обнаружили, что местные жители, чтобы облегчить приступы малярии, жуют кору какого-то дерева (само слово «хинин» происходит от слова «кора» на языке перуанских индейцев). Испанцы попробовали это лекарство и убедились, что оно помогает. В 1639 году им вылечили жену испанского вице-короля Перу — графиню де Цинхон. С тех пор дерево, которое давало эту кору, получило название цинхонового, а еще один алкалоид, обнаруженный в его коре и очень похожий на хинин, но в пять раз менее активный, был назван *цинтокином*.

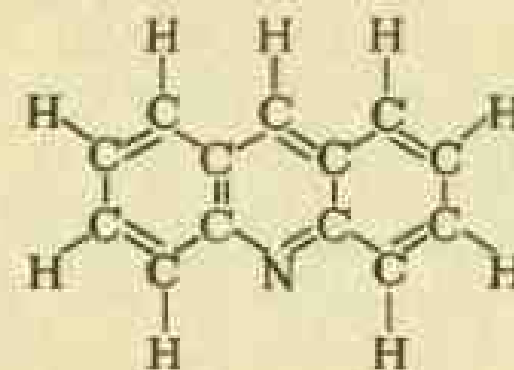
В состав молекулы хинина входит хинолиновое ядро. Оно присоединено еще к одному двойному циклу довольно сложного строения, о котором мы здесь говорить не будем.

Со временем запасы сырья для добычи хинина в Южной Америке были истощены, но цинхоновые деревья были вывезены в Ост-Индию и там прекрасно прижились. К началу первой мировой войны почти весь хинин поставляла Ява. А когда Германия была отрезана от моря английской блокадой, немецким химикам пришлось искать синтетическое лекарство от малярии. Неплохих результатов удалось добиться с некоторыми синтетическими соединениями, содержащими в своих молекулах хинолиновое ядро. Одним из таких соединений был *плазмотин* — его молекула почти (хотя и не совсем в точности) похожа на молекулу хинина,

в которой второй двойной цикл разорван и заменен прямой цепью. Вот еще один пример того, как природное соединение с лечебными свойствами послужило образцом для создания синтетического лекарства более простого строения.

А во время второй мировой войны эта же самая проблема встала перед Америкой, потому что ввоз хинина из Ост-Индии, оккупированной Японией, прекратился. К тому же американские войска вели боевые действия в тропиках, где малярия представляет большую опасность, чем в самих Соединенных Штатах.

Лекарства типа плазмохина в то время в США не применялись. Вместо них использовался *хинакрин*, в состав молекулы которого входят три цикла: пиридиновый и сконденсированные с ним, по одному с каждой стороны, два бензольных:



Вещество, молекула которого состоит только из трех таких циклов, называется *акридином*. А чтобы получить из него хинакрин, нужно к среднему циклу присоединить длинную боковую цепь, похожую на развернутый двойной цикл хинина.

Синтетические противомаларийные препараты оказались в некоторых отношениях даже лучше хинина и уж во всяком случае дешевле его. И после второй мировой войны хинин постигла та же судьба, что и шелк: люди научились прекрасно без него обходиться.

Есть такой грибок спорынья, который паразитирует на ржи. Этот грибок вырабатывает множество алкалоидов необычно сложного строения. Они очень ядовиты, и бывали случаи, в том числе и не так уж давно, когда у людей, поевших хлеб из ржаной муки, зараженной спорыньей, появлялось тяжелое заболевание — эрготизм.

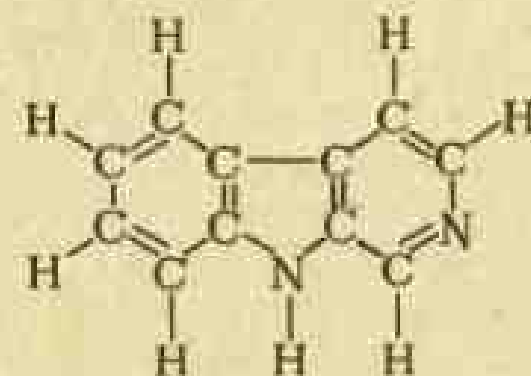
Но если применять алкалоиды спорыньи с большой осторожностью, можно вызывать с их помощью мышечные сокращения, которые могут приносить большую пользу. Особенно сильно эти алкалоиды действуют на мускулатуру матки — органа в организме женщины, где развивается будущий ребенок. Поэтому алкалоидами спорыньи иногда пользуются, чтобы облегчать роды, хотя это очень опасное средство, и к нему прибегают лишь в крайних случаях и с большими предосторожностями.

Все алкалоиды спорыньи могут быть подвергнуты частичному гидролизу. При этом высвобождается один из фрагментов их молекул — лизергиновая кислота. В ее молекуле четыре цикла, в составе которых есть два атома азота. Один из них входит в состав хинолинового ядра, а другой — индольного. Изучая свойства лизергиновой кислоты, химики превратили присоединенную к ее хинолиновому ядру карбоксильную группу в различные амиды и обнаружили, что получившиеся соединения иногда даже еще более активны, чем природные алкалоиды спорыньи. Особенно интересным оказался диэтиламид лизергиновой кислоты.

В состав лизергиновой кислоты и всех ее производных входит индольное ядро. Этим такие вещества несколько напоминают серотонин, в молекуле которого тоже есть индольное ядро. Фермент, разрушающий серотонин — аминоксидаза, может вместо него взаимодействовать и с диэтиламидом лизергиновой кислоты, если тот окажется поблизости. А это соединение связывает фермент, который в результате ли-

шается возможности взаимодействовать с серотонином. Серотонин накапливается в мозгу, и происходят странные вещи. У человека, которому ввели диэтиламид лизергиновой кислоты, появляются галлюцинации и другие симптомы тяжелого психического заболевания — шизофрении. Это позволяет химикам полагать, что они, впервые в истории медицины, стоят на пути к пониманию химического механизма психического заболевания. Вы поймете, насколько это важно, если я скажу, что больше половины психических больных в США страдают именно шизофренией.

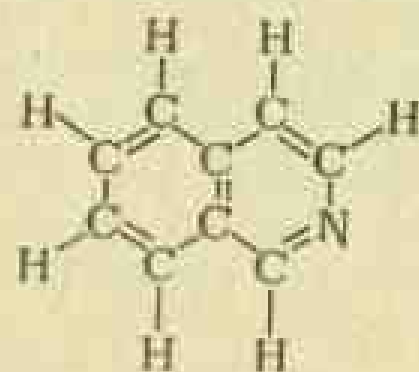
Есть еще один алкалоид, в молекуле которого содержится сложная система циклов, и в их числе — индольное ядро. Это резерпин, извлекаемый из корней растения раувольфии. Часть его молекулы похожа на индольное ядро, соединенное с пиридиновым циклом:



но в ней есть и еще циклы, а также разнообразные боковые цепи. Резерпин тоже действует на психику, но его действие противоположно действию алкалоидов спорыньи: он обладает успокаивающими и расслабляющими свойствами, не оказывая усыпляющего эффекта. Резерпин был первым из транквилизаторов.

САМЫЕ ОПАСНЫЕ ЛЕКАРСТВА

Пиридиновый и бензольный циклы могут быть сконденсированы и иным способом:



Получается изохинолин. Если вы сравните его формулу с формулой хинолина, то увидите, что в них по-разному расположен атом азота.

Самые важные соединения, в состав которых входит изохинолин, содержатся в незрелых коробочках некоторых сортов мака. Высушенный сок таких коробочек называют *опием* (от греческого слова, означающего «сок»), а само растение называется опиумным маком.

Опий содержит больше 25 различных алкалоидов, и некоторые из них — самые важные из всех алкалоидов, известных человеку. В те времена, когда еще не существовало современных обезболивающих и снотворных препаратов, опиум применялся для снятия боли. А иногда его принимали просто для того, чтобы погрузиться в приятное забытие и отвлечься от жизненных тягот. К этому можно привыкнуть — точно так же, как человек привыкает понемногу выпивать, чтобы избавиться от забот.

Однако как только химики взялись за выделение и очистку индивидуальных алкалоидов опия, подобное привыкание стало представлять серьезную угрозу. Чистые алкалоиды действуют на человека гораздо сильнее, и отвыкнуть от них неизмеримо труднее. К тому же они оказывают более сильное побочное действие, чем неочищенный маковый сок.

Самый важный из алкалоидов опия — морфин (от греческого слова «сон»), который представляет собой одно из мощных успокаивающих и обезболивающих средств. Врачи пользуются им для снятия очень сильных болей, невзирая на связанные с этим опасности: применяя его только в случае крайней необходимости и с большой осторожностью, эти опасности можно значительно уменьшить.

Однако опиумный мак выращивается сейчас в значительно больших количествах, чем нужно было бы для удовлетворения потребностей медицины. Излишек опия продают (за большие деньги) тем несчастным, кто пристрастился к наркотикам. Одной из областей, в которых различным странам мира удалось наладить эффективное сотрудничество, является как раз борьба с нелегальной торговлей наркотиками. И все же прилагаемые в этом направлении огромные усилия оказываются не вполне достаточными, и пристрастие к наркотикам — наркомания все еще остается серьезной угрозой здоровью человечества.

Некоторые из известных видов наркомании не связаны с алкалоидами опия. В индийской конопле (называемой также марихуаной) тоже есть вещества, к которым человек может пристраститься. Применение их вызывает временные психические расстройства, например галлюцинации или странные иллюзии, нарушающие восприятие времени. Такое же действие оказывают некоторые вещества, содержащиеся в центральноамериканском кактусе, который называется мескаль. Индейцы иногда применяют мескаль в своих религиозных церемониях, потому что вызываемые им психические явления они принимают за свидетельство переселения души в некий сверхъестественный мир. Можно предположить, что механизм действия таких веществ — примерно тот же, что и у диэтиламида лизергиновой кислоты.

Молекула морфина содержит довольно сложную систему циклов. Всего их пять, в том числе изохинолиновое ядро.

В опиуме содержится и кодеин (его название происходит от греческих слов, означающих «маковая головка»). У него такое же строение, как и у морфина, за исключением того, что к системе циклов в его молекуле вместо НО-группы присоединена группа CH_3O . Кодеин — не столь сильное обезболивающее

средство, как морфин, но он, с другой стороны, не вызывает такого сильного пристрастия.

Все обстоит совершенно наоборот у героина, который представляет собой не природный алкалоид, а синтетическое вещество. Это, в сущности, морфин, сконденсированный с двумя молекулами уксусной кислоты. Героин гораздо активнее морфина, вызывает более сильное привыкание и причиняет больше вреда. Это — одно из самых опасных веществ.

В то же время химики создали синтетическое вещество, сохранившее некоторые особенности структуры морфина. Это *меперидин* (более известный под названием *демерол*). Он был впервые получен в Германии в 1939 году. Демерол менее активен, чем морфин, но зато он далеко не так опасен. Более того — демеролом можно воспользоваться, чтобы помочь людям, пытающимся избавиться от пристрастия к морфину. Если таких больных заставить сразу и полностью отказаться от приема морфина, у них появляется так называемый *синдром абстиненции*, связанный с очень тяжелыми нарушениями жизнедеятельности. Перенести их очень трудно, и это может побудить человека вновь начать принимать морфин, даже если он решил бросить. А демерол облегчает эти явления, в то же время не поддерживая вредной привычки.

Иными свойствами обладает еще одно соединение, содержащее изохинолиновое ядро, — *кураре*. Как хинин и каучук это вещество было открыто еще первобытными южноамериканскими индейцами.

Кураре добывают из растений, принадлежащих к той же группе, что и источники стрихнина. Но алкалоиды кураре оказывают противоположное действие. Они расслабляют мышцы и именно для этого в небольших дозах используются в медицине. Однако стоит принять их немного больше, чем нужно, как последует смерть. Индейцы применяли кураре как эффективный яд, которым отравляли свои стрелы.

В старых детективах орудием убийства часто служит «загадочный южноамериканский яд». Такие истории навеяны рассказами о кураре. Теперь, когда химики изучили кураре, «загадочные южноамериканские яды» вышли из моды.

ПОДЕЛЕННЫЙ АЗОТ

Иногда атом азота в гетероциклическом соединении входит в состав одновременно двух циклов. Формулу такого соединения очень трудно изобразить на бумаге. Если посмотреть на такую молекулу сбоку, она похожа на букву Y; если же смотреть сверху, она будет выглядеть так:



(я обозначил на этой формуле только атомы углерода и азота).

Сочетание C—N—C в центре формулы — это нижняя палочка буквы Y, а C—C с одной стороны и C—C—C с другой образуют разветвление буквы.

Если представить себе, что к атому азота присоединена метильная группа, а ко всем остальным свободным связям — атомы водорода, то получится молекула *тропана*.

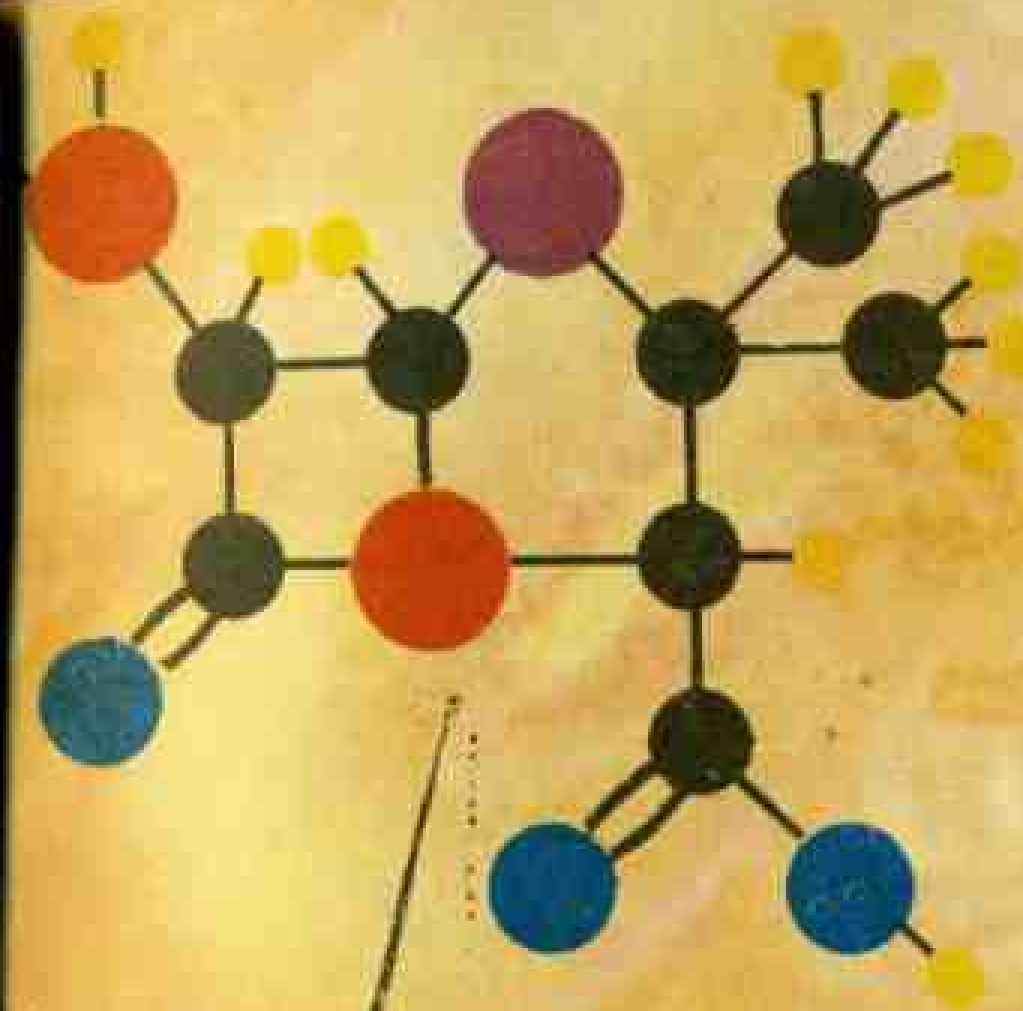
Множество алкалоидов, в состав которых входит тропановое ядро, содержится в различных растениях, например в *белладонне*. Эти алкалоиды вызывают сокращение радужной оболочки глаза — окрашенной его части. В результате зрачок, наоборот, расширяется. Когда-то модницы пользовались соком из корней *белладонны*, чтобы нарочно расширять себе зрачки: от этого глаза кажутся темнее, что считалось особенно шикарным. («Белладонна» — это итальянское слово, означающее «красавица».) Такие процедуры, проделываемые над глазами, разумеется, приводили к ухудшению зрения, — впрочем, женщины нередко делают с собой и не такое, чтобы стать красивее...

Врачи и в наши дни применяют эти алкалоиды таким же образом, но из более разумных соображений. Они закапыва-

ют содержащие их капли в глаз, когда хотят заглянуть внутрь
глазного яблока и узнать что-то о его устройстве, чтобы на-
учиться исправлять дефекты зрения. Из всех алкалоидов бел-
ладонны для этой цели чаще всего используется атропин.

Тропановое ядро содержит и еще один алкалоид — скопо-
ламин. Он действует на психику, вызывая нечто вроде бреда.
Если человеку, находящемуся в этом состоянии, задавать
вопросы, он чаще всего отвечает правду (поскольку ложь
требует известных умственных усилий). Во время такого
бреда люди часто выбалтывают даже такие вещи, которые
они в обычном состоянии тщательно скрывают. Поэтому
скополамин иногда называют «сывороткой истины».

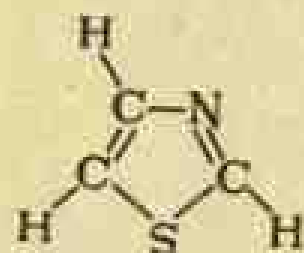
Наконец, еще один тропановый алкалоид — кокаин. Его
добывают из листьев южноамериканского кустарника кока —
отсюда и его название. И это опять-таки — открытие абори-
генов Южной Америки. Они жевали листья коки для улуч-
шения настроения. Медицина начала было использовать ко-
каин как местное обезболивающее средство. Но «хорошее
настроение», которое появляется под действием кокаина, мо-
жет быть причиной болезненного пристрастия к нему. Поэто-
му химики ищут и находят заменители кокаина — как ведут-
ся поиски подобных заменителей природных соединений, я в
этой книге уже не раз говорил.



| | |
|---|-----|
| Дважды гетеро | 136 |
| Аллергия и яичный белок | 138 |
| Снотворные таблетки и полированный рис | 140 |
| Кофе и подагра | 143 |
| Последние два витамина | 144 |

ДВАЖДЫ ГЕТЕРО

Существуют системы циклов, которые содержат не один, а несколько гетероатомов. Например, в состав пятичленного цикла кроме атома азота может входить еще и атом серы:



Это соединение называется *тиазолом*.

Одно из соединений, содержащих такой цикл, хорошо всем нам знакомое со времени второй мировой войны — *пенициллин*.

История этого важнейшего вещества — еще один пример случайного открытия, какие время от времени происходят в науке. В 1928 году английский врач Александр Флеминг выращивал культуры микробов в плоских сосудах — так называемых чашках Петри. В некоторые из этих культур случайно попали споры обычной плесени, которая растет на хлебе (ее научное название *Penicillium notatum*).

Но вместо того чтобы выбросить эти культуры, решив, что они просто испорчены (как, вероятно, не задумываясь сделал бы я), Флеминг заинтересовался ими. Он заметил, что

вокруг каждой споры плесени образовалось прозрачное пятнышко, где микробы не развивались. Очевидно, в плесени содержалось что-то такое, что не давало бактериям расти. Это «что-то» впоследствии и оказалось пенициллином. Флеминг опубликовал свое открытие и в 1945 году был вознагражден за свою наблюдательность Нобелевской премией. Благодаря этой наблюдательности ученого было спасено множество человеческих жизней.

К 1939 году английские химики получили из этой плесени первые препараты пенициллина. В 1941 году он был впервые испытан на больных и оказался в высшей степени эффективным. Во время войны и в Англии, и в Америке полным ходом развернулось изучение строения пенициллина, и к 1945 году оно было окончательно установлено.

Молекула пенициллина содержит, как я уже говорил, тиазольный цикл, сконденсированный с четырехчленным циклом. К тиазольному циклу присоединены две метильные группы и одна карбоксильная, а к четырехчленному — амидная группа.

К этой амидной группе могут присоединяться другие группы, и в результате получаются разные пенициллины с несколькими различными свойствами. Самый распространенный из них содержит в своей молекуле бензольный цикл, присоединенный к амидной группе углеродным мостиком. Его называют *бензилпенициллином*.

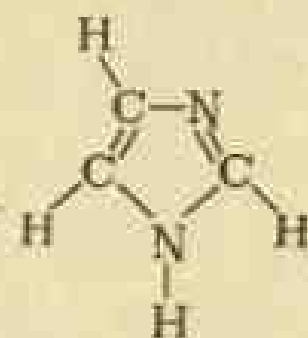
Сульфонамиды появились десятью годами раньше, чем пенициллин, но это были целиком синтетические вещества. Пенициллин же вырабатывают живые организмы, и это антибиотик — первый из всех известных антибиотиков. В отличие от некоторых важных антибиотиков, открытых позже, пенициллин почти безвреден для человека, и его можно вводить большими дозами — миллионами единиц.

Соединения, подобные витаминам или антибиотикам оказывают сильное действие на организм в ничтожных количествах. Если бы дозы таких веществ измерять их массой, врачам пришлось бы иметь дело со смехотворно малыми числами. Чтобы избежать этого, считается, что в одном миллиграмме чистого бензилпенициллина содержится 1667 единиц действия. Работать с этими

единицами уже гораздо удобнее. Двух с половиной единиц на 25 мл крови вполне достаточно, чтобы уничтожить микробы, чувствительные к пенициллину. (Конечно, и пенициллину чувствительны далеко не все микробы.)

АЛЛЕРГИЯ И ЯИЧНЫЙ БЕЛОК

Система циклов может содержать и несколько одинаковых гетероатомов. Например, вещество, молекула которого представляет собой пятичленный цикл с двумя определенным образом расположенными атомами азота, называется *имидазолом*.



Наиболее важное из веществ, в состав которых входит такой цикл, — это аминокислота *гистидин*; в ее молекуле имидазольный цикл находится в боковой цепочке.

Если же у гистидина отнять карбоксильную группу, получится *гистамин*. Он содержится в организме в очень небольших количествах и может оказывать очень сильное действие на различные органы. Например, он вызывает расширение мелких кровеносных сосудов, отчего падает кровяное давление. В то же время он вызывает сужение мелких бронхов в легких, то есть затрудняется дыхание. Он заставляет желудок активнее вырабатывать пищеварительные соки.

Все эти явления полезны, когда они происходят должным образом и в нужное время. Однако при некоторых условиях в организме вырабатывается слишком много гистамина. Ког-

да это происходит, у людей появляются признаки сенной лихорадки или другие аллергические явления. Облегчить это заболевание можно, если ввести больному какое-нибудь вещество, способное нейтрализовать действие гистамина. Такие вещества, называются *антигистаминными препаратами*; они представляют собой третичные амины с довольно сложными молекулами и обычно содержат по меньшей мере два-три цикла, которые часто являются гетероциклами.

Несколько лет назад было весьма модно применять антигистаминные препараты против насморка. Насморк многим напоминает сенную лихорадку, и на этом основании был сделан вывод, что лекарство, приносящее облегчение в одном случае, должно помогать и в другом. Однако из этого ничего не вышло: простудный насморк — это совсем не то же самое, что сенная лихорадка, и лекарства, помогающие от нее, при простуде бессильны.

Когда имидазольный цикл конденсируется с бензольным, образуется *бензимидазол*. Он входит в состав сложной молекулы витамина B_3 .

А когда имидазольный цикл конденсируется с тиофеновым, вот так:



то образующееся циклическое ядро входит в состав *биотина*, одного из витаминов группы В. Если крысам не давать биотина, у них воспаляется кожа, и немцы первое время называли биотин *витамином Н* (от немецкого слова Haut — «кожа»).

Биотин — один из витаминов, которые присутствуют в небольших количествах почти во всех пищевых продуктах. Его вырабатывают и бактерии, живущие в кишечнике. Поэтому очень мало вероятно, чтобы кто-нибудь испытывал недостаток этого витамина. Больше того, химики с большим трудом нашли способ удалять биотин из рациона крыс, чтобы

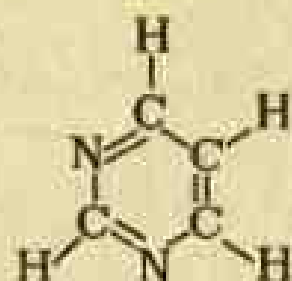
получить результаты его нехватки. На помощь им пришел сырой яичный белок. Он содержит белок *авидин*, который соединяется с биотином и не дает ему выполнять свою функцию. У крыс, которых кормили сырым яичным белком, появлялось заболевание, которое и оказалось результатом дефицита биотина.

Биотин — яркий пример тех веществ, попытка выделить которые в чистом виде из ткани создает для химиков большие трудности. В 1936 году немецкий химик Ф. Кель взял почти 250 кг сушеного желтка из утиных яиц и после долгой кропотливой работы получил около одной тысячной доли грамма чистого биотина.

То же самое может быть сделано и над человеком. Но если вы любите яйца, то можете смело продолжать их есть, не боясь, что вам не хватит биотина. Дело в том, что при любой тепловой обработке яйца содержащийся в нем авидин разрушается, так что ничто вам не грозит.

СНОТВОРНЫЕ ТАБЛЕТКИ И ПОЛИРОВАННЫЙ РИС

Самый важный шестичленный гетероцикл с двумя гетероатомами азота, изображенный ниже, называется *пиримидином*.



Пиримидиновый цикл содержится в молекуле *барбитуровой кислоты* — в ней три углеродных атома пиримидина входят в состав карбоксильных групп, а к четвертому присоединены

два атома водорода. Они могут быть замещены на разнообразные боковые цепочки — в результате получается группа соединений, известных под названием *барбитуратов*.

Возможны еще два варианта расположения атомов азота в таком цикле: они могут располагаться рядом друг с другом (тогда получается соединение, называемое *пиридазином*) или же на противоположных концах цикла (в этом случае получается *пиразин*). Все эти три вида циклов носят общее название *дiazинов*. Существуют сульфонамидные препараты, в молекулах которых к сульфаниламиду присоединен пиразиновый цикл, в результате чего получается *сульфапиразин*. А если к тому же сульфаниламиду присоединить пиримидиновый цикл, то получится *сульфадиазин*. Это вещество вызывает меньше вредных побочных явлений, чем другие сульфонамиды. (Между прочим, пиразиновый цикл содержится еще и в мовеине — самом первом анилиновом красителе.)

В молекуле самого известного из барбитуратов оба атома водорода замещены на этильные группы — это *диэтилбарбитурат*, который чаще называют «*веронал*» или «*барбитал*». Еще один барбитурат, в молекуле которого одна боковая цепь представляет собой этильную группу, а другая — бензольный цикл, называется *фенилэтилбарбитуратом*, *люминалом* или *фенобарбиталом*.

Барбитураты — самые распространенные из снотворных средств. В определенной дозе барбитал или фенобарбитал усыпляют человека через полчаса — час после приема и обеспечивают крепкий сон продолжительностью от 4 до 12 часов. Другие барбитураты усыпляют быстрее, но и заканчивается их действие тоже быстрее.

С применением барбитуратов тоже связана некоторая опасность. Излишняя доза их может превратить сон в смерть. Это еще раз подчеркивает, как опасно злоупотреблять любыми таблетками, даже если обычно они приносят только пользу.

Некоторые пиримидиновые соединения входят в состав важнейших веществ, содержащихся в живых тканях, — о них речь пойдет подробно в последней главе этой книги. Наиболее важные из них — *урацил*, *тимин* и *цитозин*. В молекуле урацила к пиримидиновому циклу присоединены две гидро-

кисильные группы, в молекуле тимина — две гидроксильные и одна метильная, а в молекуле цитозина — одна гидроксильная и одна аминогруппа.

А если пиримидиновый цикл через углеродный мостик присоединить к тиазольному, то образуется циклическое ядро, которое входит в состав одного из витаминов группы В — *тиамина*.

Этот витамин тоже был открыт одним из первых — об этом вы можете догадаться по его другому названию, *витамин В₁*. Еще в 1890 году голландский врач К. Эйкманн заинтересовался болезнью, известной под названием *бери-бери*. Ею часто болели в тогдашней Голландской Ост-Индии, где работал Эйкманн, да и вообще на Востоке. Эта болезнь поражала нервную систему — точно такая же болезнь была обнаружена и у домашней птицы и названа *полиневритом*.

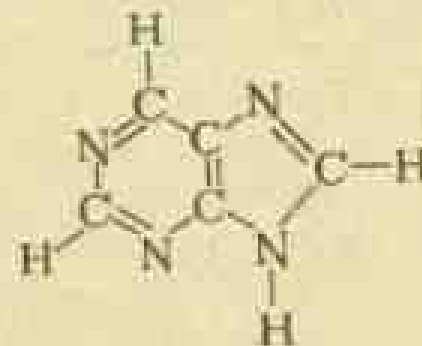
Эйкманн заметил, что больные *бери-бери* обычно питались в основном полированным рисом, то есть рисом, очищенным от шелухи. А когда в пищу добавляли рисовые отруби, болезнь проходила. Именно в рисовых отрубях и содержится тиамин. В 1929 году Эйкманн был удостоен за это открытие Нобелевской премии.

Восточноазиатские народы очищали рис от шелухи по той же самой причине, по которой мы обмолачиваем пшеницу. Отруби содержат жир, который при хранении горкнет, а крахмалистую часть зерна хранить легче, потому что она почти не портится. Только после того как люди узнали о существовании витаминов, они начали ценить те сорта хлеба, куда добавляют отруби; и все равно выяснилось, что легче добавлять в хлеб витамины, чем пытаться в сколько-нибудь больших количествах хранить отруби или необмолоченное зерно.

А в 1933 году американский химик Р. Р. Уильямс впервые выделил из рисовых отрубей чистый витамин. Из тонны отрубей у него получилось всего около 5 граммов тиамина.

КОФЕ И ПОДАГРА

Если пиримидиновый цикл сконденсировать с имидазольным, получится циклическое ядро, в котором в общей сложности четыре гетероатома азота:



Такое соединение называется *пурином*.

Для большинства людей самое известное из всех соединений, содержащих пуриновое ядро, — это *кофеин*, алкалоид кофейных зерен и чайных листьев. В его молекуле к углеродным атомам пуринового ядра присоединены две гидроксильные группы, а к каждому из трех атомов азота — по метильной группе. Кофеин обладает возбуждающими свойствами — этим и объясняется бодрящее действие чашки чая или кофе.

Но на самом деле гораздо важнее два других пуриновых соединения, содержащиеся в тех же составных частях живой ткани, о которых я упоминал немного раньше в связи с пиримидинами и о которых пойдет речь в последней главе. Одно из этих пуриновых соединений — *аденин*, молекула которого состоит из пуринового ядра с присоединенной к нему аминогруппой; другое — *гуанин*, в молекуле которого к пуриновому ядру присоединены аминогруппа и гидроксильная группа.

Когда организм уже покончил с аденином и гуанином и их нужно вывести наружу, он превращает их в мочевую кислоту. Ее молекула представляет собой пуриновое ядро, к которому присоединены три гидроксильные группы. Но избавиться от мочевой кислоты не так просто, потому что она должна быть выведена наружу с мочой (отсюда и ее назва-

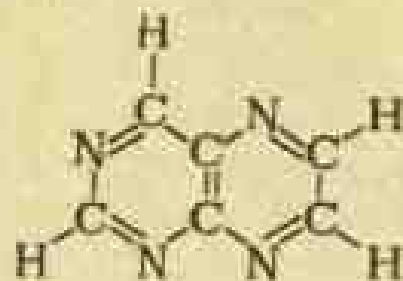
ние), а она очень плохо растворима в воде. У большинства млекопитающих эта проблема решается путем дальнейшего превращения мочевой кислоты — одно из колец пуринового ядра разрывается и образуется аллантион, который более чем в десять раз лучше растворим в воде и легко выводится с мочой.

К несчастью, человек и обезьяны принадлежат к тем немногочисленным млекопитающим, которые не вырабатывают фермента, необходимого для превращения мочевой кислоты в аллантион. Человеку приходится иметь дело с самой мочевой кислотой, и он выводит ее с мочой как может, маленькими порциями. В большинстве случаев это ему удается. Но иногда в моче оказывается слишком много мочевой кислоты, и она выпадает в осадок, образуя еще одну разновидность мочевых камней.

А что еще хуже, у некоторых людей мочевая кислота почему-то отлагается в суставах. Обычно сильнее всего поражаются суставы большого пальца ноги — так возникает мучительная болезнь, называемая подагрой.

ПОСЛЕДНИЕ ДВА ВИТАМИНА

Если пиримидиновый цикл конденсируется с пиразинным, получается такое соединение:



Оно называется птеридином.

Такое циклическое ядро, оказывается, входит в состав молекул пигментов, придающих красивую окраску крылыш-

кам бабочек и мотыльков. Научное название таких насекомых *Lepidoptera* или сетчатокрылые. И название этого вещества происходит от второй части этого латинского термина.

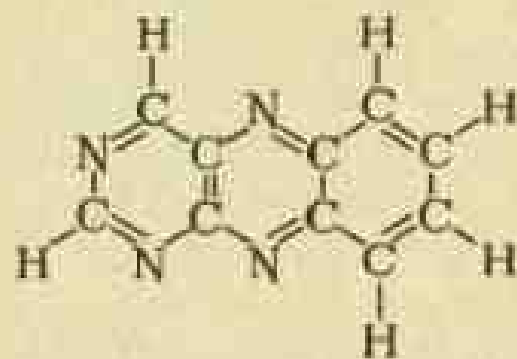
Однако само птеридиновое ядро куда важнее для нас, чем какие-то там крылья бабочек, как бы они ни были красивы. Когда птеридиновое ядро (с присоединенными к его пиримидиновой части аминогруппой и гидроксильной группой) конденсируется с парааминобензойной и глутаминовой кислотами, образуется птероилглутаминовая кислота, чаще называемая фолиевой (от латинского слова «лист», потому что впервые она была обнаружена в листьях). Фолиевая кислота — это тоже витамин группы В, необходимый для жизнедеятельности каждой клетки.

Я уже упоминал фолиевую кислоту в связи с действием сульфонамидных препаратов. Некоторые бактерии усваивают сульфаниламид вместо парааминобензойной кислоты. Получается испорченное подобие фолиевой кислоты, которое бактериальная клетка использовать не может. Рост бактерий прекращается, и состояние больного улучшается.

Химики специально синтезируют соединения, похожие на фолиевую кислоту, но чем-то от нее отличающиеся. Например, если гидроксильную группу птеридинового ядра заменить на аминогруппу, получается аминоптерин. Если ввести его в организм человека, он проникает в клетки, которые пытаются использовать его вместо фолиевой кислоты. Из этого ничего не выходит, и все химические процессы, идущие в клетке, нарушаются. Аминоптерин принадлежит к числу так называемых антагонистов фолиевой кислоты.

Среди них были обнаружены такие вещи, которые причиняют больший вред раковым клеткам, чем нормальным. Химики и врачи тратят много сил на поиски соединения, которое в нужной дозе убивало бы хоть один вид раковых клеток. Такой метод лечения как будто приносит некоторую пользу при лейкозах, но, как и все другие методы лечения рака, он еще недостаточно эффективен, так что поиски продолжаются.

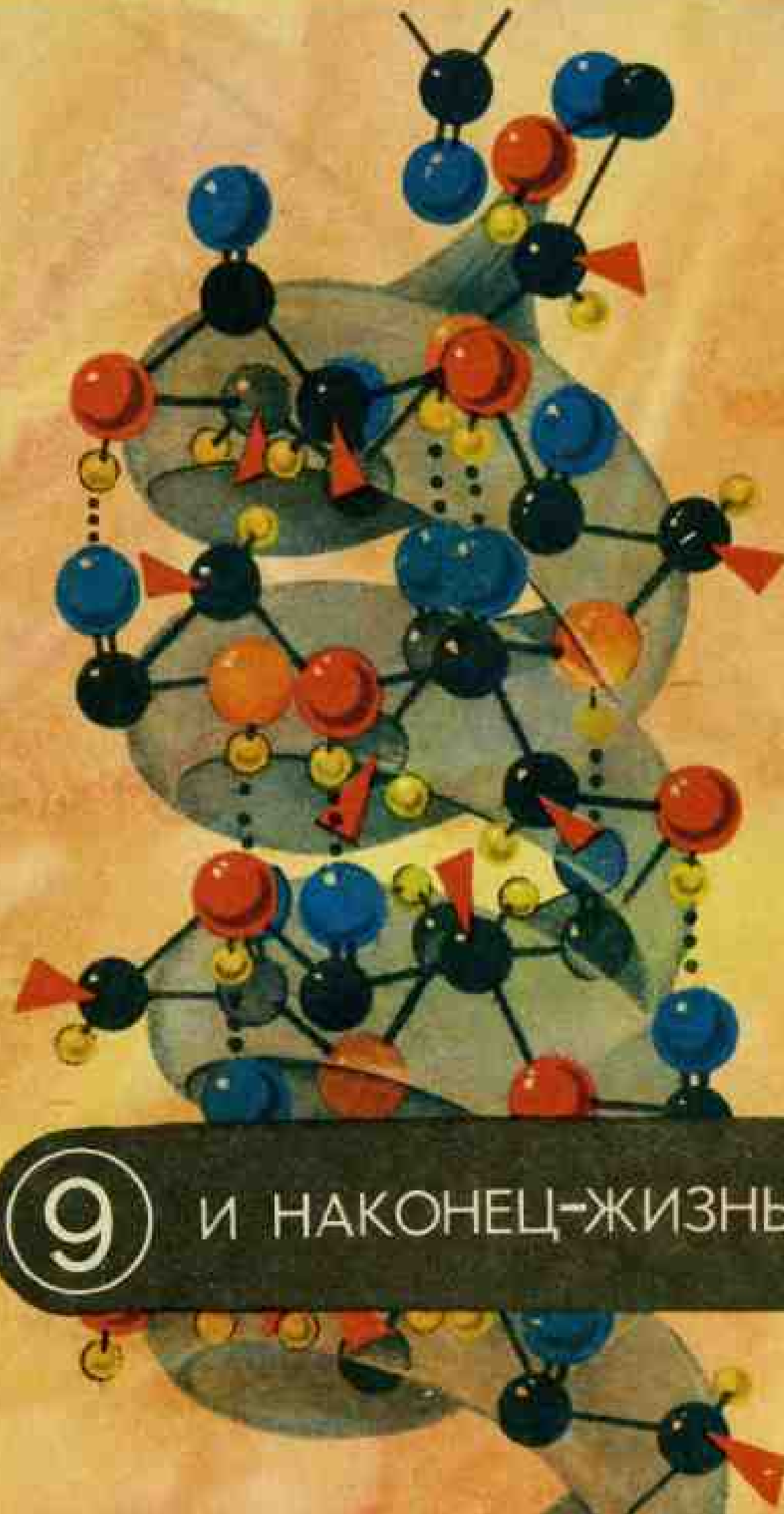
И теперь остается поговорить еще об одном, последнем витамине. Он тоже принадлежит к группе В, а в его молекуле содержится птеридиновое ядро, сконденсированное с бензольным циклом. Получается система из трех циклов, которая выглядит так:



Молекулы, содержащие такое циклическое ядро, относятся к производным изоаллоксазина. Но чаще их называют *флавинами*, от латинского слова, означающего «желтый», потому что именно таков их цвет.

То из производных изоаллоксазина, которое является витамином, содержит в своей молекуле две метильные группы, присоединенные к бензольному кольцу, и две гидроксильные группы, присоединенные к пиримидиновому циклу. А к одному из атомов азота его пиразинового цикла присоединен пятиуглеродный спирт *рибитол*. И все это вместе называется *рибофлавином* или витамином B_2 .

В организме рибофлавин образует часть более сложных соединений, представляющих собой коферменты. Связанные с ними ферменты катализируют такие же реакции, что и ферменты, связанные с никотинамидными коферментами. И недостаток витамина B_2 может вызвать столь же серьезные нарушения жизнедеятельности.



9

И НАКОНЕЦ-ЖИЗНЬ!

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|------------------------------------|-----|
| Сахар плюс гетероатом | 148 |
| Новый тип цепей | 151 |
| Молекулы, которые управляют жизнью | 153 |
| Живые молекулы | 155 |

САХАР ПЛЮС ГЕТЕРОАТОМ

Когда гетероатом азота конденсируется с сахаром, получается **нуклеозид**. С одним таким веществом вы уже познакомились только что — в самом конце предыдущей главы. Рибофлавин состоит из изоаллоксазиновой циклической системы, сконденсированной с рибитолом через гетероатом азота. Поэтому рибофлавин можно назвать изоаллоксазин-нуклеозидом.

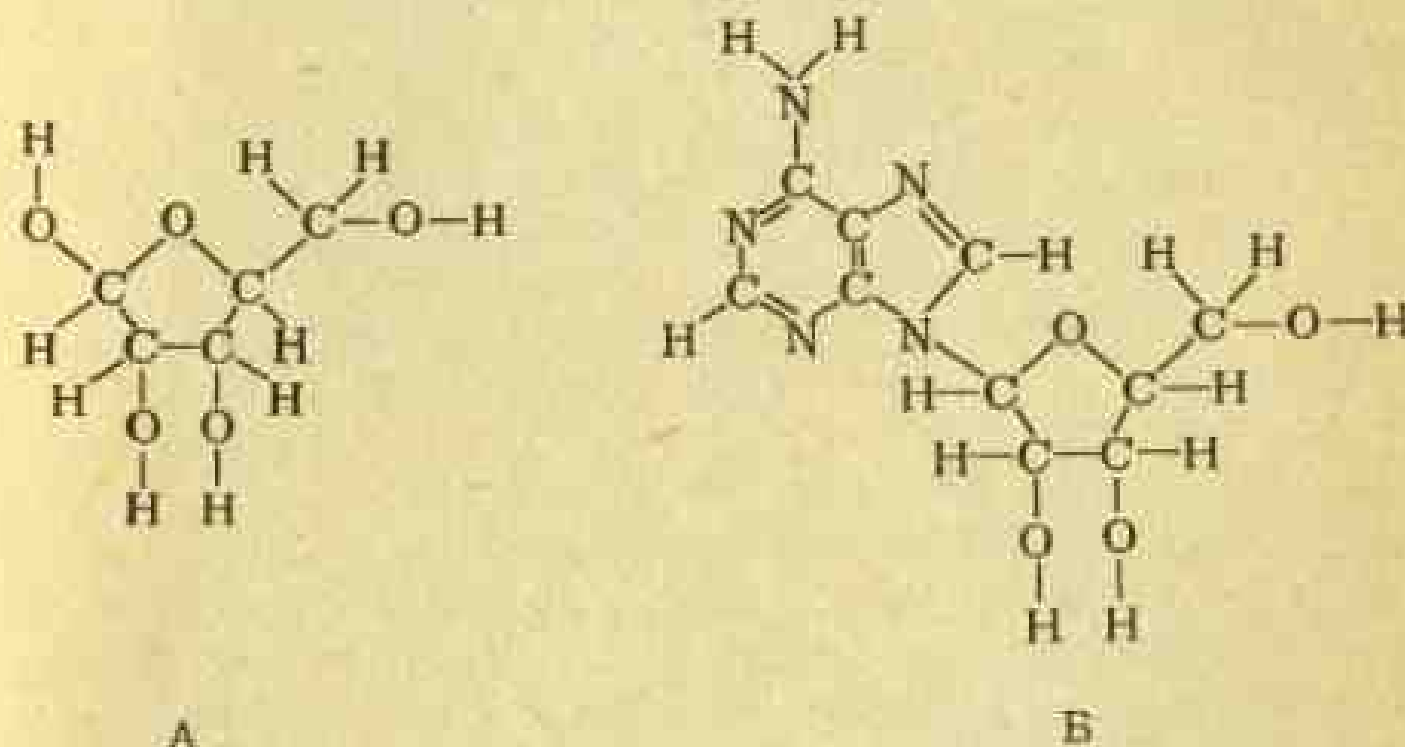
Если же к сахару нуклеозида присоединить фосфатный остаток, получается **нуклеозидфосфат**, или **нуклеотид**. Например, один из коферментов, которые организм вырабатывает из рибофлавина, представляет собой просто-напросто тот же рибофлавин, в котором к боковой цепи рибитола присоединен фосфатный остаток. Этот кофермент называется **флавиномононуклеотид**.

Так вот, многие важнейшие, ключевые вещества организма как раз и являются нуклеотидами. В состав большинства из них входит пятиуглеродный сахар — **рибоза** (формула А).

Например, коферменты, которые организм строит из никотинамида, содержат соединение никотинамида и рибозы. Кроме того, к рибозе в них присоединен фосфатный остаток. По этой причине, а также потому, что никотинамид построен на

основе пиридинового цикла, эти коферменты иногда называют **пиридиннуклеотидами**.

Но самые важные нуклеотиды — это те, которые содержат в качестве части своей молекулы **пурин** или **пиримидин**. Например, пурин аденин, конденсируясь с рибозой, образует нуклеотид **аденозин** (формула Б).

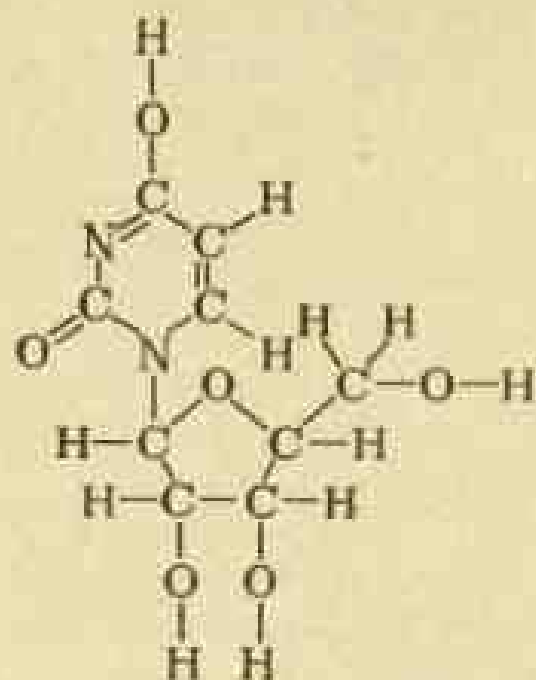


Если к рибозе присоединен еще и фосфатный остаток, получается **аденозинфосфат**, или, как его еще называют, **адениловая кислота**. Аденозинфосфат входит в состав многих коферментов, построенных на основе никотинамида и рибофлавина. Их молекулы представляют собой, по сути дела, два нуклеотида, соединенные, так сказать, встык с помощью двух фосфатных остатков.

Кофермент, состоящий из рибофлавинфосфата и аденозинфосфата, называется **флавинаденидиннуклеотид**. Приставка «ди» в названии означает, что в его состав входят два нуклеотида.

Аденозин — это пуриновый нуклеозид. А типичным примером пиримидинового нуклеозида может служить **уридин**, который состоит из производного пиримидина — **урацила** и присоединенной к нему рибозы.

Уридин входит в состав кофермента уридиндифосфоглюкозы, который катализирует химические превращения некоторых простых сахаров. Вот формула уридина:



К нуклеозиду может быть присоединен не один, а несколько фосфатных остатков. Например, к молекуле аденозина могут быть присоединены один за другим три фосфата — при этом получается молекула аденозинтрифосфата. Связи между двумя его фосфатными остатками являются макроэргическими, и поэтому аденозинтрифосфат может служить примером макроэргического фосфата (см. главу 5). Из всех подобных соединений, вырабатывающихся в организме, это, вероятно, самое важное. Макроэргические соединения могут образовывать и другие пурины и пиримидины. Например, урацил входит в состав уридинтрифосфата, и так далее.

НОВЫЙ ТИП ЦЕПЕЙ

Точно так же, как аминокислоты могут образовывать цепи и превращаться в полипептиды, нуклеотиды могут образовывать цепи и превращаться в полинуклеотиды.

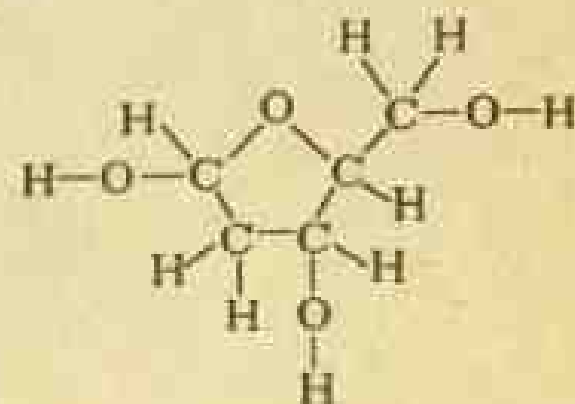
Аминокислоты в полипептидной цепи различаются между собой своими боковыми цепями. А нуклеотиды в полинуклеотидной цепи различаются своими пуриновыми или пиримидиновыми фрагментами. В состав каждого индивидуального нуклеотида полинуклеотидной цепи может входить либо один из двух пуринов — аденин или гуанин, либо один из двух пиримидинов — цитозин или урацил.

Таким образом, полинуклеотидная цепь может состоять из четырех различных гетероциклических звеньев, которые могут быть расположены в любой возможной последовательности. Каждая новая последовательность их — это новое соединение, так что могут существовать неисчислимые миллионы возможных полинуклеотидов, как и белков.

Полинуклеотиды, входящие в состав живых тканей, называются нуклеиновыми кислотами. Существуют две главные разновидности нуклеиновых кислот. Одна, о которой я только что рассказывал, содержит в каждом своем нуклеотиде по остатку рибозы — это рибонуклеиновая кислота.

Но есть и другая разновидность; в каждом ее нуклеотиде содержится сахар, похожий на рибозу, но отличающийся от нее тем, что в молекуле не хватает одного атома кислорода.

Это дезоксирибоза:



Нуклеиновые кислоты, в состав которых входит дезоксирибоза, называют дезоксирибонуклеиновыми кислотами. В их молекулах тоже может содержаться какой-нибудь из двух пиримидинов, но только вместо урацила в их состав входит тимин, который представляет собой урацил с присоединенной к нему метильной группой. Для краткости рибонуклеиновые кислоты часто называют РНК, а дезоксирибонуклеиновые — ДНК.

Оба типа нуклеиновых кислот содержатся в каждой живой клетке. Но располагаются они в разных ее частях. Клетка представляет собой капельку живого вещества, заключенную в оболочку — мембрану. Внутри этой капельки помещается еще меньшая капелька, тоже заключенная в свою оболочку. Она называется клеточным ядром. А все, что расположено между этими двумя оболочками, называется цитоплазмой.

Так вот, рибонуклеиновые кислоты находятся в цитоплазме, а дезоксирибонуклеиновые — в ядре. Дезоксирибонуклеиновые кислоты были открыты раньше, чем рибонуклеиновые, и некоторое время химики считали, что такие соединения содержатся только в клеточном ядре. Поэтому они и получили название нуклеиновых кислот (от латинского слова «нуклеус» — ядро); отсюда же произошли названия нуклеотидов и нуклеозидов.

В клеточном ядре нуклеиновые кислоты всегда соединены с белками и образуют с ними единые молекулы — огромные молекулы, в которых насчитываются миллионы атомов. Такие соединения называются нуклеопротеинами.

В этой книге мы говорили о множестве веществ, которые содержатся в живых тканях. Но ни об одном из этих веществ нельзя было сказать, что оно само по себе живое. Но что же тогда можно считать живым в живой ткани?

Такого индивидуального вещества, конечно, не существует. Ни один футболист не может выиграть матч, если он выйдет на поле в одиночку против целой команды. Ни один музыкант не может сам, без оркестра, исполнить целую симфонию. Ни один солдат не может самостоятельно выиграть сражение.

Однако в каждой футбольной команде есть человек, который направляет всю игру, которого хвалят за победы и ругают за проигрыши. Это тренер. Точно так же успех или провал оркестра зависят от дирижера, а армией, вступающей в сражение, командует генерал.

Разумеется, тренер сам по себе не выигрывает матчи — он даже не выходит на поле. И дирижер симфонического оркестра во время исполнения симфонии не играет ни на каком инструменте. А генерал не стреляет из винтовки. Это люди, которые всем управляют, — люди, принимающие решения.

Точно так же устроена и клетка. Чтобы она жила, необходимы все входящие в ее состав вещества, в нужном их соотношении. Но где-то внутри клетки находятся вещества, которые, так сказать, отдают приказы. Вещества, управляющие жизнью.

Все химические процессы, идущие в клетке, определяются теми ферментами, которые в ней есть, — набором этих ферментов и их количественным содержанием. Если не хватает какого-нибудь фермента, не происходит та или иная реакция, а это может иметь самые серьезные последствия. Человек может страдать подагрой только из-за того, что ему не хва-

тает одного-единственного фермента. А из-за отсутствия другого фермента у альбиноса белая кожа и белые волосы.

Зная все это, химики особенно интересуются тем, как в клетке синтезируются ферменты. Они представляют себе, в результате каких реакций аминокислоты конденсируются в пептидные цепи. Они знают, какие ферменты катализируют такие реакции. Но больше всего их интересует, каким образом ухитряется клетка располагать аминокислоты совершенно определенным образом, чтобы получился определенный фермент.

Можно было предположить, что для этого клетка использует какие-то молекулы в качестве шаблона. Мозаику из кусочков самой неправильной формы очень легко сложить, если у вас есть такой шаблон в виде карточки с выемками, форма которых соответствует форме каждого кусочка мозаики. Тогда достаточно найти для каждого кусочка соответствующую ему выемку, и мозаика будет сложена.

Шаблоном для сборки аминокислот в нужном порядке и служат клетке нуклеиновые кислоты. Сначала дезоксирибонуклеиновая кислота, расположенная в ядре клетки, служит шаблоном, на котором образуются рибонуклеиновые кислоты с соответствующей последовательностью нуклеотидов. А потом сами эти рибонуклеиновые кислоты попадают в цитоплазму и служат шаблоном, по которому выстраиваются в нужном порядке аминокислоты формирующейся молекулы белка-фермента.

Но если нуклеиновые кислоты служат шаблонами для выработки белков, то как же образуются они сами? А сами они образуются по своему собственному образцу. Каждая молекула дезоксирибонуклеиновой кислоты может при определенных условиях становиться шаблоном, на котором образуется вторая, точно такая же дезоксирибонуклеиновая кислота. Такой процесс носит название *редупликации*.

Лучше всего это можно увидеть в момент, когда клетка делится. Дезоксирибонуклеиновая кислота образует тонкие нити — *хромосомы*. При делении каждая хромосома удваивается, и каждая из двух возникающих клеток получает по

одинаковому полному набору хромосом. Так дочерние клетки наследуют всю химическую индивидуальность клетки-матери.

Правда, время от времени при удвоении хромосом возникают ошибки. Тогда одна из двух возникающих клеток получает немного иную хромосому, чем-то отличающуюся от хромосом клетки-матери. В результате такая клетка вырабатывает несколько иные ферменты или вообще теряет способность вырабатывать тот или иной фермент. Такие ошибки называются *мутациями*.

Так нуклеиновые кислоты служат для клетки тем же, чем тренер служит для футбольной команды, дирижер — для оркестра, а генерал — для армии. Это вещества, управляющие жизнью.

ЖИВЫЕ МОЛЕКУЛЫ

Значение нуклеиновых кислот можно наглядно показать на примере мельчайших частиц живого вещества, более простых, чем обычные клетки.

Организм человека (и, разумеется, всех других животных) начинает свое существование в виде единственной клетки — оплодотворенного яйца. Оно растет и делится в организме матери, получая все нужные ему вещества из материнской крови, пока не станет достаточно большим и ему не настанет пора появиться на свет.

Оплодотворенное яйцо возникает в результате слияния двух клеток. Одна из них — яйцеклетка — образуется в организме матери. Она содержит вдвое меньше хромосом, чем обычная клетка человеческого организма. Вторая клетка — спермий — возникает в организме отца. Она тоже содержит лишь половинный набор хромосом. Когда же обе клетки сливаются, образуя оплодотворенное яйцо, оно получает уже полный набор хромосом: половину — от матери, а половину — от отца.

Яйцеклетка отличается большим размером. Оплодотворенное яйцо человека не больше булавочной головки, но это самая крупная клетка человеческого организма. Она крупнее других, потому что в ней должны содержаться все питательные вещества, нужные зародышу на первых этапах его развития, пока он не подрастет настолько, что сможет уже извлекать нужные ему питательные вещества из материнской крови.

Животные, откладывающие яйца, должны снабдить свое потомство всеми питательными веществами, необходимыми им для развития до тех пор, пока они не будут способны к самостоятельной жизни. Куриное яйцо представляет собой одну-единственную клетку, а так велико оно потому, что содержащихся в нем питательных веществ должно хватить развивающемуся цыпленку на три недели. И даже страусиное яйцо — это тоже одна-единственная клетка.

Спермий очень мал. Это не более чем крохотная живая капелька с микроскопическим хвостиком. Спермий может передвигаться по направлению к яйцеклетке и проникать в нее. Если это ему почему-нибудь не удастся, он погибает всего лишь несколько часов спустя. Именно из-за того, что спермий должен как можно скорее добраться до яйцеклетки, он не содержит в себе ничего лишнего (не станет же человек, который собирается пробежать стометровку, надевать пальто!). И именно поэтому спермий представляет собой прежде всего дезоксирибонуклеопротеин, и почти ничего больше. Это просто комочек хромосом, упакованных как можно плотнее.

Таким образом, можно сказать, что вклад отца в оплодотворенное яйцо состоит всего лишь в определенном количестве управляющих молекул. Ни в чем больше, — и тем не менее химическая индивидуальность потомства наследуется в равной мере от отца и от матери. Это лишнее доказательство того, что управляющие молекулы — нуклеиновые кислоты — представляют собой самую главную часть клетки, самую сущность жизни.

Если тщательно изучить дезоксирибонуклеопротеин, содержащийся в спермии, то окажется, что нуклеиновая часть

его молекулы ничуть не менее сложна, чем любая нуклеиновая кислота организма. А вот белковая часть — так называемые гистонные белки — не отличается особенно сложным устройством. Хромосомные белки других клеток организма гораздо сложнее. У некоторых рыб, например лосося или сельди, белковая часть дезоксирибонуклеопротеина, содержащегося в спермиях, представляет собой протамин — это, по существу, всего лишь цепочка соединенных между собой молекул аргинина. Однако нуклеиновая часть и здесь представлена в своем полном виде.

Это показывает, что природа, стремясь облегчить спермий, освободив его от всего ненужного, удаляет все не особенно существенные части нуклеопротеида. И эти не особенно существенные части приходится на долю белка, потому что нуклеиновая кислота в данном случае куда важнее.

Еще более наглядно это можно увидеть на примере вирусов — крохотных частиц живого вещества, намного более мелких, чем клетки. Они живут и размножаются внутри клеток, нередко при этом убивая их. Вирусы паразитируют на клетках — точно так же, как некоторые бактерии паразитируют на высших организмах. Есть даже такие вирусы, которые паразитируют на бактериях-паразитах.

Вирусы бывают самых разных размеров. Некоторые из них — почти такой же величины, как самые маленькие бактерии, и химическое устройство их довольно сложно. Другие крайне малы и состоят, в сущности, всего лишь из одной единственной молекулы нуклеопротеида.

Такие вирусы можно рассматривать как армию чужих хромосом, оккупирующую клетку. Попадая внутрь клетки, они берут в свои руки управление ее жизнедеятельностью, подменяя тем или иным способом ее собственные хромосомы. Они заставляют клетку заниматься исключительно выработкой новых вирусов. Это продолжается до тех пор, пока зараженный вирусом организм не погибает, если только он не начинает защищаться, вырабатывая антитела к вирусу.

В последнее время химики многое узнали об устройстве вирусов — особенно бактериофагов, которые развиваются в

клетках бактерий. Бактериофаги представляют собой дезоксирибонуклеопротеин, белок которого образует внешнюю оболочку вируса, служащую ему вместо скорлупы или кожи. А нуклеиновая кислота расположена внутри и образует двойную спираль, напоминающую перила винтовой лестницы.

Некоторые самые маленькие вирусы, развивающиеся в растительных клетках, состоят из рибонуклеопротеида. Но и та, и другая разновидность способны к самовоспроизведению.

Когда бактериофаг садится на бактериальную клетку, его белок остается снаружи, а внутрь клетки попадает только нуклеиновая кислота. Проникнув в клетку, она заставляет ее синтезировать не только точно такую же нуклеиновую кислоту, но и вирусный белок. Таким образом, мы видим, что в составе нуклеопротеина именно нуклеиновой кислоте принадлежит главная роль вещества, управляющего жизненными процессами.

Исследования, которые ведутся в этой области, рано или поздно раскроют нам все секреты химии жизненных процессов. А пока что именно на этом месте, где мир углерода и мир азота соприкасаются с миром живого вещества, нам лучше всего поставить точку.

АЙЗЕК АЗИМОВ

Мир азота

Редакторы
О. Ю. Качур,
Н. Ф. Цветкова

Художественный редактор
Н. В. Носов

Художник
Н. В. Носов

Технический редактор
В. В. Лебедева

Корректоры
Г. М. Гольбиндер,
И. М. Анейде

ИБ № 384

Сдано в наб. 10.09.79. Подп. к печ. 2.04.80.
Формат бумаги 70×108 1/32. Бум. офсет. № 2. Гарн. таймс. Печать офсетная. Усл. печ. л. 7,0. Уч.-изд. л. 7,13. Тираж 43 000 экз. Зал. 436. Цена 45 к. Изд. № 1514.

Ордена «Знак Почета» издательство «Химия»,
107076, Москва, Стромнина, 13.

Набрано в Можайском полиграфкомбинате
Союзполиграфпрома при Государственном
Комитете СССР по делам издательств,
полиграфии и книжной торговли
г. Можайск, ул. Мира, 93

Отпечатано с готовых пленок в издательстве
«Волгоградская правда», г. Волгоград.
Привокзальная площадь. Дом печати.
Заказ № 394.

**НАУЧНО-ПОПУЛЯРНАЯ
ЛИТЕРАТУРА
ИЗДАТЕЛЬСТВА «ХИМИЯ»
В 1980 г.**

ВЫШЛИ ИЗ ПЕЧАТИ:

Балуева Г. А., Осокина Д. Н.
Все мы дома химики.

Дмитриев И. С.
Молекулы без химических связей.

Кокотов Ю. А.
Иониты и ионный обмен.

ВЫХОДЯТ ИЗ ПЕЧАТИ:

Вигдергауз М. С.
Цветопись.

Гроссе Э., Вайсмантель Х.
Химия для любознательных.

**Основы химии
и занимательные опыты.**