

Г. Гамов

М. Ичас

Мистер Томпкинс



Внутри самого себя

# Приключения в новой биологии



УРСС

Георгий ГАМОВ  
Мартинас ЦЧАС

Мистер Томпкинс  
  
Внутри самого себя

Приключения  
В новой биологии

**George Gamow, Martynas Yčas**

**Mr. Tompkins  
Inside Himself**

**Adventures in the New Biology**

**Георгий ГАМОВ  
Мартинас ИЧАС**

**Мистер Томпкинс**



**Внутри самого себя**

**Приключения  
В новой биологии**

Издание второе, исправленное

Перевод с английского  
*Ю. А. Данилова*



**УРСС**

**Москва • 2003**

**Гамов Георгий, Ичас Мартинас**

**Мистер Томпкинс внутри самого себя: Приключения в новой биологии: Пер. с англ. Изд. 2-е, испр. — М.: Едиториал УРСС, 2003. — 288 с.**

ISBN 5-354-00358-X

В последней книге замечательной трилогии о мистере Томпкинсе, которую Георгий Гамов написал в соавторстве с известным биологом Мартинасом Ичасом, авторы с присущим им блеском и остроумием заставляют своего героя пережить невероятные приключения внутри своего собственного организма, раскрывая перед читателем захватывающую картину достижений биологической науки.

Книга рассчитана на учащихся старших классов и студентов начальных курсов самых различных специальностей.

С иллюстрациями *Георгия Гамова*


Издательство «Едиториал УРСС». 117312, г. Москва, пр-т 60-летия Октября, 9.

Лицензия ИД № 05175 от 25.06.2001 г. Подписано к печати 16.06.2003 г.

Формат 60×90/16. Тираж 2000 экз. Печ. л. 18. Зак. № 3-980/206.

Отпечатано в типографии ООО «Рохос». 117312, г. Москва, пр-т 60-летия Октября, 9.

ИЗДАТЕЛЬСТВО **УРСС**  
НАУЧНОЙ И УЧЕБНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ



E-mail: URSS@URSS.ru  
Каталог изданий  
в Internet: <http://URSS.ru>  
Тел./факс: 7 (095) 135-44-23  
Тел./факс: 7 (095) 135-42-46

ISBN 5-354-00358-X

© Перевод с английского:  
Ю. А. Данилов, 1999, 2003  
© Едиториал УРСС, 2003

---

# Содержание

---

|  |            |
|--|------------|
| <b>Предисловие ко второму русскому изданию</b> . . . . . | <b>6</b>   |
| <b>Благодарности</b> . . . . .                           | <b>8</b>   |
| <b>Введение</b> . . . . .                                | <b>9</b>   |
| <b>По кровеносной системе</b> . . . . .                  | <b>11</b>  |
| <b>На пляже, или как работают мышцы</b> . . . . .        | <b>41</b>  |
| <b>Сердце не с той стороны</b> . . . . .                 | <b>72</b>  |
| <b>Что у гена на уме</b> . . . . .                       | <b>97</b>  |
| <b>Число зверя</b> . . . . .                             | <b>120</b> |
| <b>По волнам океана</b> . . . . .                        | <b>145</b> |
| <b>Часы идут...</b> . . . . .                            | <b>178</b> |
| <b>МАНИАК</b> . . . . .                                  | <b>202</b> |
| <b>Как устроен человеческий мозг?</b> . . . . .          | <b>230</b> |
| <b>Озеро мечтаний</b> . . . . .                          | <b>257</b> |

---

# Предисловие ко второму русскому изданию

---

«Мистер Томпкинс внутри самого себя. Приключения в новой биологии» — заключительная часть в трилогии известного ученого-физика Георгия Антоновича Гамова о скромном банковском служащем, с энтузиазмом изучающем достижения современной науки. Две первые части трилогии («Мистер Томпкинс в Стране Чудес» и «Мистер Томпкинс исследует атом») были изданы в русском переводе в 1993 г. под общим названием «Приключения мистера Томпкинса» и в 1999 г. выпущены вторым изданием<sup>1)</sup>.

Вместе со своим коллегой известным биологом Мартинасом Ичасом Гамов с присущим ему блеском и остроумием заставляет своего героя пережить невероятные приключения внутри своего собственного организма, раскрывая перед читателем захватывающую картину достижений современной биологической науки, и затрагивает множество важных проблем, над решением которых работают современные ученые. Не связанный в своих сновидениях (в которых мистер Томпкинс знакомится с достижениями современной науки (имеется в виду состояние биологической науки к моменту написания оригинала книги Г. Гамова и М. Ичаса) едва ли не более активно, чем наяву) жесткими временными рамками реальности, мистер Томпкинс встречается с персонажами, удивительным образом напоминающих выдающихся ученых настоящего и прошлого науки: Сент-Дьердьи, Дарвина, Моргана, Павлова и самого Гамова!

За свою жизнь Г. А. Гамов написал множество научно-популярных статей и книг, в которых живо и непринужденно рассказывал читателям о своем главном увлечении — науке в ее многочисленных проявлениях, опосредствованиях и взаимосвязях с реальностью.

---

<sup>1)</sup> Новое издание: Гамов Г. Мистер Томпкинс в Стране Чудес, или истории о с, G и А. М.: УРСС, 2003; Гамов Г. Мистер Томпкинс исследует атом. М.: УРСС, 2003.

В 1956 г. его плодотворная деятельность на ниве научной популяризации была удостоена престижной премии Калинги, присужденной ЮНЕСКО.

На русском языке книга впервые была опубликована в 1967 г. под названием «Мистер Томпкинс внутри самого себя».

*Ю. А. Данилов*



---

## Благодарности

---

Авторы считают приятной обязанностью поблагодарить тех, кто помог им в подготовке этой книги к изданию: д-ра Р. У. Дж. Вайкоффа из Лаборатории физической биологии Национального института здравоохранения за электронную микрофотографию бактериофагов, д-ра М. Демерека из Отделения генетики Института Карнеги в Вашингтоне за микрофотографию хромосом дрозофилы, Чарлза Лемана из Лос-Аламоса (штат Нью-Мексико) за антропоморфную фотографию МАНИАКа, д-ра Дж. З. Юнга из Университетского колледжа в Лондоне за микрофотографию коры головного мозга кошки, д-ра М. Х. Ф. Уилкинса и д-ра У. Фуллера из Королевского колледжа в Лондоне за фотографию дифракции рентгеновских лучей на волокне ДНК, д-ра Дэвида С. Смита и редакцию журнала «Revue Canadienne de Biologie» за электронную микрофотографию поперечного сечения летательной мышцы тли. Таким образом, если эти иллюстрации понимать в буквальном смысле, у мистера Томпкинса есть хромосомы дрозофилы, кошачьи мозги и мышцы тли. Впрочем, если принять во внимание сходство структурных элементов всего живого в главном, то это ничего особенно не значит.

Мы благодарим мисс Луанну Лав и А. А. Айрису за некоторые рисунки, издательство «Чепмен и Граймс» за разрешение процитировать фрагмент из английского перевода стихотворения Генрика Гейне «Море и холмы», издательство «Харпер и Роу» и журнал «The New Yorker» за разрешение привести отрывок из «Горькой жизни» Джона Апдайка и издательство Йельского университета за разрешение процитировать отрывок из книги «Вычислительная машина и мозг» Джона фон Неймана.

С особым удовольствием мы выражаем нашу признательность миссис Беатрис Розенфельд из издательства «Вайкинг Пресс» за помощь и советы при подготовке рукописи к печати. Во многих случаях мы подвергали ее терпение суровым испытаниям.

Г. Г.  
М. И.

---

## Введение

---

Сирил Джордж Томпкинс служит в одном из крупных городских банков кассиром. Работа у него утомительная, требует внимания и сосредоточенности, и большинство коллег мистера Томпкинса на досуге отдыхают у телевизоров, отправляются в кино или читают детективные истории. Но мистер Томпкинс не таков. Он предпочитает уютно расположиться в огромном кресле с научно-популярной книгой или журналом и с головой погрузиться в столь далекий от его повседневной деятельности загадочный мир атомов, звезд и галактик. Несмотря на неподдельный интерес мистера Томпкинса к такого рода вещам, нередко случалось, что через часок-другой или по прочтении двух страниц в глазах мистера Томпкинса начинало рябить, он то и дело зевал, а голова его сама собой откидывалась на спинку мягкого кресла. Однако это отнюдь не означало, что мистер Томпкинс утратил нить рассуждений в решении той научной проблемы, которую силился постичь. Во сне живое воображение уносило мистера Томпкинса в фантастические миры. Сны эти нередко бывали странными и причудливыми, но так или иначе они соответствовали тем фактам, о которых мистер Томпкинс читал перед тем, как заснуть. Видя своими собственными глазами необыкновенные события, о которых говорилось в книге или журнале, мистер Томпкинс лучше постигал смысл тех слов, которые описывали эти события.

Интерес мистера Томпкинса к науке подкреплялся и его домашним укладом. Некогда мистер Томпкинс посещал серию популярных лекций по физике, которые читал профессор местного университета. На лекциях мистер Томпкинс познакомился с профессором, а затем и с его дочерью Мод, которая стала женой мистера Томпкинса. Так он получил возможность изучать физику в семейном кругу.

Сначала под руководством своего тестя мистер Томпкинс интересовался только физикой. Но постепенно и профессор, и мистер Томпкинс поняли, что биология, на протяжении столетий восхищавшая естествоиспытателей и философов и ставившая перед ними, казалось бы, неразрешимые проблемы, наконец гигантскими шагами устремилась вперед. Стали известны мельчайшие детали живого тела, а их функционирование удалось понять на уровне атомов, из которых эти детали состоят. И мистер Томпкинс начал изучать биологию.

Его первые экскурсии в область биологии были описаны Георгием Гамовым в книге «Мистер Томпкинс постигает основы биологии», опубликованной издательством Кембриджского университета в 1953 году. Вскоре после этого биология вступила в свой «золотой век», когда одно великое открытие следовало за другим. В результате многие сведения, почерпнутые мистером Томпкинсом относительно биологии, устарели. Учитывая это, мы подготовили новую расширенную версию книги, в которой попытались нарисовать читателю более широкую картину современной биологии, включая и недавние достижения молекулярной биологии, через представления, которые мистер Томпкинс, занимаясь самообразованием, составил себе об одном из величайших достижений нашего времени.

*Георгий Гамов  
Мартинас Ичас*

---

## По кровеносной системе

---

В просторной приемной Нового мемориального госпиталя было прохладно и комфортабельно. Пациенты сидели в несколько напряженных позах, не без опаски ожидая вызова к врачу. Некоторые, пытаясь отвлечься, просматривали иллюстрированные журналы; другие сидели, просто уставившись в пространство. Время от времени санитар в белом халате проходил по коридору, толкая перед собой носилки на колесиках, и все провожали взглядом процессию, пока она не скрывалась в дальнем конце коридора.

Мистер Томпкинс от нечего делать листал последний номер журнала «The New Yorker», но тонкий юмор карикатур, обычно так радовавший его, на этот раз оставлял равнодушным. Еще вчера он великолепно чувствовал себя и наслаждался жизнью, а сегодня утром за завтраком ему на глаза попала заметка в газете — отчет о лекции, прочитанной каким-то специалистом о раке. В статье живо и доходчиво рассказывалось о том, как обычно нормально протекающий и четко скоординированный процесс деления клеток живой ткани иногда выходит из-под контроля, что приводит к безобразным злокачественным новообразованиям и в конечном счете завершается полным разрушением организма. Автор статьи сравнивал разрушительные тенденции некоторых агрессивных групп клеток, время от времени нарушающих мирное благоденствие обычных клеток, образующих живой организм, с аналогичными явлениями в области социологии и мировой политики и высказывал предположение, что в обоих случаях исцелить пораженный недугом организм можно, только прибегнув к скальпелю или мечу.

— Безусловно, — согласился мистер Томпкинс. — К дьяволу политику умиротворения. *Si vis pacem, para bellum*<sup>1)</sup>.

Но позднее, когда мистер Томпкинс находился уже на своем рабочем месте в банке, мысли о злокачественных опухолях и аномальном делении агрессивных клеток не выходили у него из головы, и мало-помалу он почувствовал, что в том великолепно организованном сообществе клеток, которое он называл своим телом, происходит что-то необычное. Голова словно налилась свинцом, дыхательные

---

<sup>1)</sup> «Хочешь мира, готовься к войне» (лат.) — *Прим. перев.*

органы работали с необычным напряжением, а все суставы болезненно ныли.

Поскольку к тому же аппетит у мистера Томпкинса полностью пропал, он решил воспользоваться обеденным перерывом и заглянуть в приемную большого городского госпиталя, благо тот находился совсем рядом — за углом. Мистер Томпкинс хотел удостовериться, что в его теле не действуют никакие группы агрессивных клеток. Очередь на прием оказалась длинной, и, чтобы скоротать время, мистер Томпкинс взял со стола посреди комнаты журнал и с удобством расположился в последнем свободном кресле. Он почувствовал себя совершенно успокоенным, и через несколько минут журнал едва слышно упал к его ногам на мраморный пол приемной.

Внезапно все, кто находился в приемной, подтянулись и, как по команде, повернули головы к высокому человеку в белоснежном халате, который появился на пороге выходящего в приемную кабинета. Мистер Томпкинс сразу узнал этого человека по фотографиям, появлявшимся время от времени в городских газетах. Это был доктор Стритс, признанный во всем мире авторитет по аномальному росту клеток. Заметив мистера Томпкинса, которого почти не было видно из-за чудовищно толстой дамы, сидевшей рядом с ним, д-р Стритс поспешил к нему с распростертыми объятиями.

— Мой дорогой мистер Томпкинс, какими судьбами?

Это было очень странно, поскольку, хотя мистер Томпкинс вполне мог знать светило и знаменитость медицинского мира, у д-ра Стритса не было ни малейших причин знать мистера Томпкинса.

— Я зашел сюда, сэр, — начал мистер Томпкинс, чувствуя на себе взгляды всех остальных пациентов, — чтобы проверить частоту митоза моих клеток и выяснить, нет ли у меня неоплазии или каких-нибудь злокачественных метастазов. (Мистеру Томпкинсу казалось, что если он будет уснащать свою речь этими научными терминами, то это в какой-то мере послужит извинением перед другими пациентами за то, что д-р Стритс решил начать осмотр именно с него.)

— Очень предусмотрительно, — одобрил д-р Стритс, внезапно становясь совершенно серьезным. — Мы можем заглянуть в ваше тело и быстренько осмотреть различные клеточные сообщества, чтобы убедиться в том, что они ведут себя хорошо. Это не займет много времени, если знать, куда смотреть.

— Вы хотите сказать, — спросил мистер Томпкинс, чувствуя, как у него по спине забегали мурашки, — что намереваетесь подвергнуть меня вскрытию?

— О нет, — успокоил его д-р Стритс, — вскрытие совсем не обязательно, разумеется, если мы не обнаружим чего-нибудь

алокачественного. Я просто намереваюсь инъецировать вас в ваш собственный кровоток, чтобы вы своими собственными глазами смогли увидеть различные колонии клеток, которые образуют ваше тело. Кругосветное путешествие по вашей главной сердечно-сосудистой системе займет не более полминуты, но поскольку нам придется изменить наши линейные размеры, масштаб времени также изменится, и свой осмотр мы сможем производить не спеша.

С этими словами д-р Стритс сунул руку в карман своего белоснежного халата, извлек оттуда огромный шприц для подкожных инъекций и направил его длинную сверкающую иглу прямо на мистера Томпкинса. Мистер Томпкинс почувствовал, что какая-то сила всасывает его в шприц, и на какой-то момент ощутил себя, словно верблюд, пытающийся протиснуться сквозь игольное ушко. Затем что-то ухвати-



Мистер Томпкинс почувствовал, что какая-то сила всасывает его в шприц...

ло его за руку выше локтя, всасывание перешло в давление, и мистер Томпкинс почувствовал, что погружается в какую-то быстро текущую слегка желтоватую прозрачную жидкость. Мистер Томпкинс чувствовал себя, как неопытный ныряльщик, по ошибке прыгнувший с высокого трамплина, и, отчаянно работая руками и ногами, попытался всплыть на поверхность. Но хотя это, несмотря на все усилия, ему так и не удалось, мистер Томпкинс странным образом не испытывал никакого удушья, и, судя по всему, его легкие функционировали нормально.

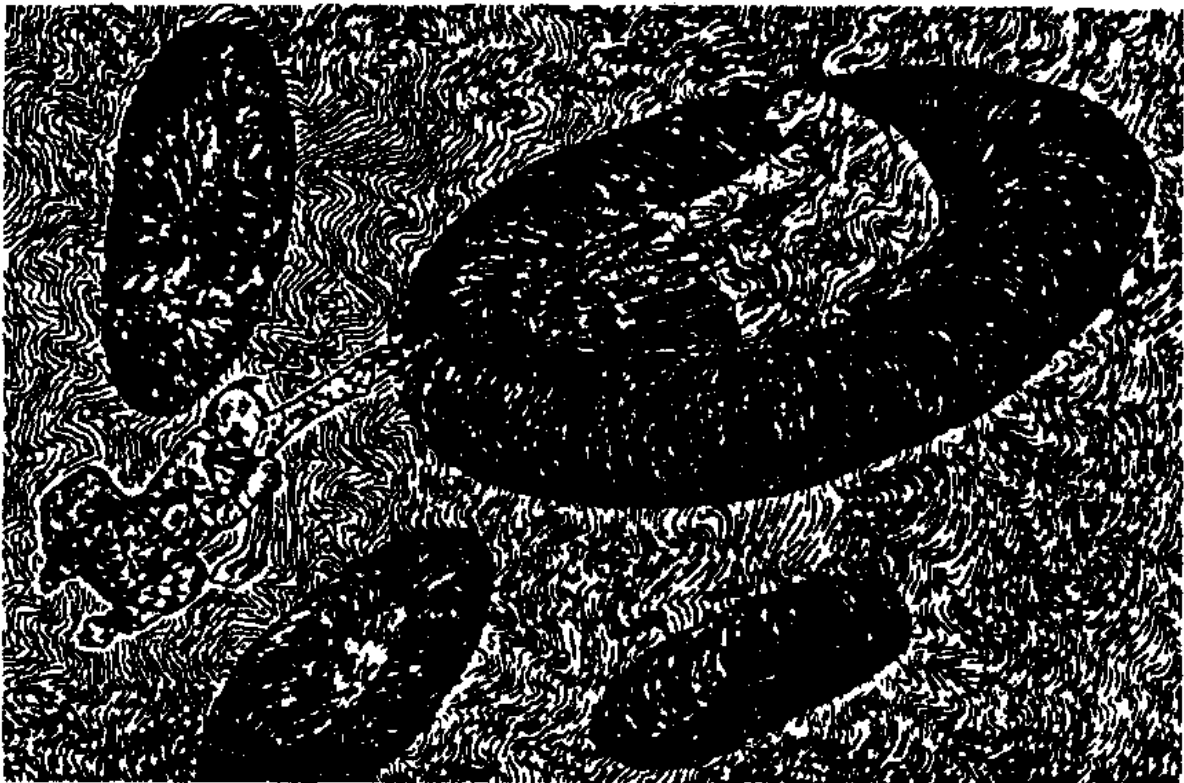
— Дурацкая шутка! — произнес мистер Томпкинс. — Должно быть, он превратил меня в рыбу!

— Чтобы дышать, находясь внутри собственного кровотока, — раздался где-то совсем рядом голос доктора, — вам вовсе не нужно быть рыбой. Ведь ваш кровоток переносит весь запас кислорода, необходимый для дыхания клеток вашего тела. Если вам не нравится плавать в плазме, то почему бы вам не взобраться хотя бы вот на этот эритроцит и немного не отдохнуть? По удобствам эритроцит ничуть не уступает пресловутому ковру-самолету.

Только теперь мистер Томпкинс заметил, что в потоке жидкости плавают огромное количество дискообразных тел, сплюснутых в середине. Диски имели в толщину около 60 см и около 4,5 м в диаметре и своим ярко-красным цветом напоминали те надувные резиновые плоты, на которых спасаются в океане потерпевшие аварию летчики. Взобравшись с помощью доктора на один из таких «плотов», мистер Томпкинс почувствовал, что все его злоключения позади.

— Скажите, а эти эритроциты, как вы их называете, не то, что в просторечье именуют красными кровяными тельцами? — спросил он, растягиваясь рядом с д-ром Стритсом на мягкой бархатистой поверхности.

— Совершенно верно! — последовал ответ. — «Эритрос» по-гречески означает «красный». Вещество, которое придает эритроцитам ярко-красный цвет, называется гемоглобином. Это сложное химическое соединение, обладающее большим сродством к кислороду. Когда кровоток проходит через легкие, красные кровяные тельца поглощают большое количество кислорода и доставляют его к различным колониям клеток в теле. Хотя эритроциты занимают менее 50 % объема крови, они способны поглотить в 75 раз больше кислорода, чем может раствориться в самой плазме.



*Мистер Томпкинс почувствовал, что все его злоключения позади*

— Хитрое, должно быть, вещество, этот самый гемоглобин, — задумчиво произнес мистер Томпкинс.

— Да уж непростое, — согласился д-р Стрите. — Биохимикам пришлось немало потрудиться, чтобы установить его состав. Если

вы воспользуетесь вот этим увеличительным стеклом, то сможете разглядеть, насколько сложна структура гемоглобина.

— Вы хотите сказать, что я смогу разглядеть отдельные атомы, из которых состоит молекула гемоглобина? — с удивлением спросил мистер Томпкинс.

— Вот именно, сейчас вы ростом около двух микронов. Это означает, что атомы выглядят для вас как шарики диаметром в несколько десятых миллиметра. Простой карманной лупы вполне достаточно, чтобы легко рассмотреть, как устроена молекула гемоглобина. Взгляните хотя бы на крохотные пупырышки, покрывающие поверхность, на которой вы сидите.

Мистер Томпкинс взял лупу из рук доктора, растянулся на животе и принялся разглядывать молекулы гемоглобина. По виду каждая молекула напоминала четыре длинные ленты, свободно завязанные вокруг плоских дисков.

— То, что похоже на ленту, — пояснил д-р Стритс, — это белковая часть гемоглобина, которая называется глобином, а диски — это гемы, небелковая, так сказать, деловая часть молекулы. Именно гемы придают ей красный цвет. Как видите, они имеют симметричную структуру, в центре которой располагается тяжелый атом железа. Его окружает группа из 4 атомов азота и 20 атомов углерода. Снаружи к группе прикреплены углеводородные цепи, простирающиеся во все стороны, как щупальцы осьминога. Присмотревшись повнимательнее, вы увидите, что молекулы кислорода пойманы атомами железа, как мухи, попавшие на липучку. Некоторым молекулам кислорода время от времени удается оторваться, но прилипают они гораздо чаще, чем высвобождаются.

— Но если кислород улавливают гемы, то для чего глобин? — спросил мистер Томпкинс.

— Прежде чем я отвечу на этот вопрос, — предложил д-р Стритс, — может быть, вы лучше присмотритесь к глобину? Ваше тело не могло бы жить, если бы большая часть его не состояла из белка. Чтобы понять, что такое жизнь, вам необходимо узнать, что такое белок. Глобин — очень хороший пример белка для начинающих. Давайте пройдем сквозь линзу и растянем одну из завязанных глобиновых лент, чтобы посмотреть, как она устроена.

Так они и сделали. Взяв завязанную ленту в двух местах, доктор растянул ленту, словно она была резиновой.

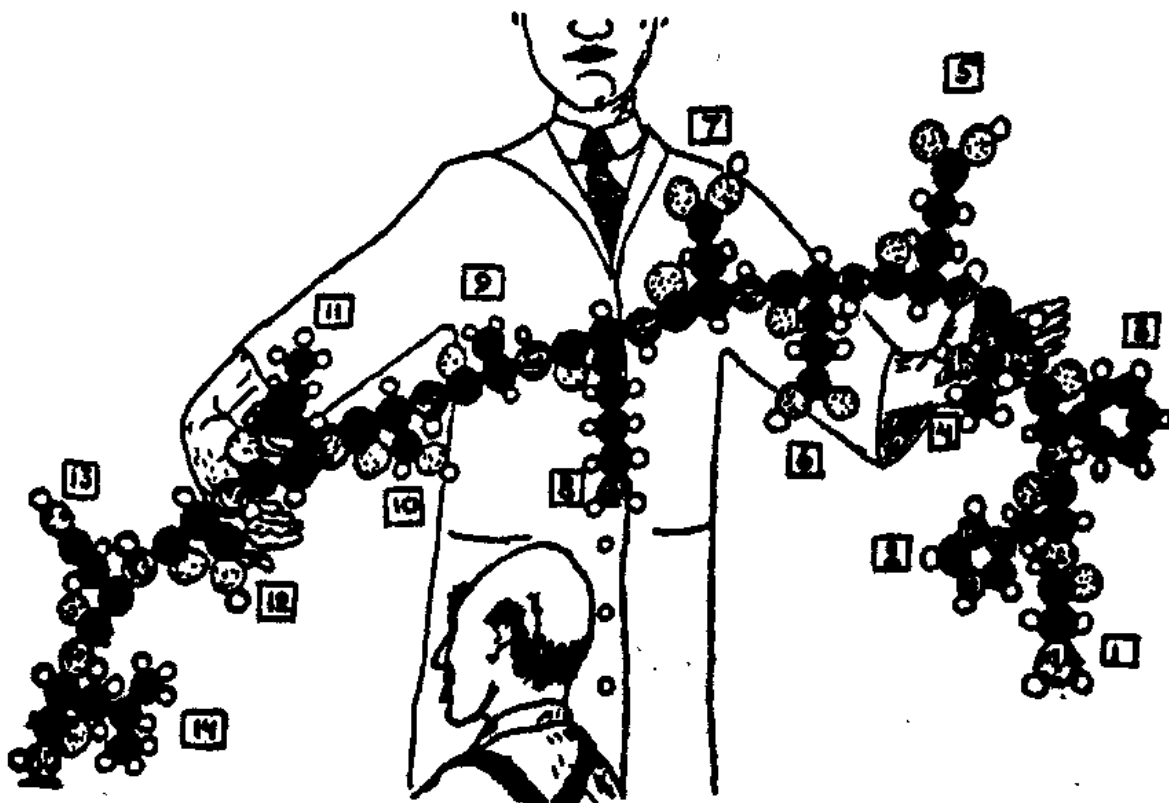
— Я бы сказал, что она выглядит как изящный браслет с подвесками различной формы, — заметил мистер Томпкинс.

— Действительно, очень похоже, — согласился д-р Стритс. — Брелки-белки, или, как вы сказали, подвески известны среди биохимиков как аминокислоты, а у различного рода простых органических молекул имеются специальные «застежки», которыми молекулы сцепляются между собой, образуя иногда очень длинные цепи. В том белке, который вы видите перед собой, таких цепей четыре. Из них



две содержат по 146 аминокислот, а две другие — по 141. Поэтому молекулы белка выглядят такими сложными.

— А как действуют эти застёжки? — поинтересовался мистер Томпкинс. — Ведь они не похожи на те застёжки, которые портные пришивают к нашей одежде?

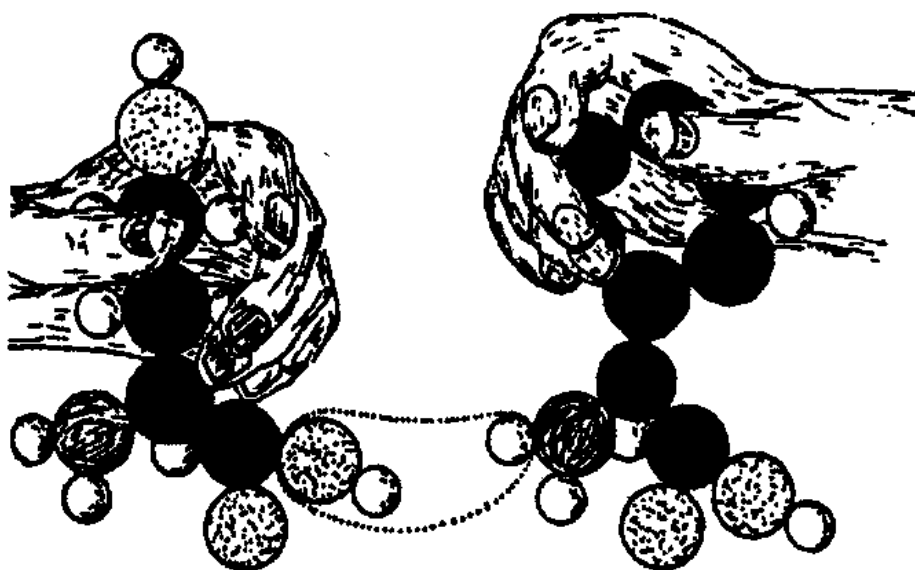


выглядит, как изящный браслет с подвесками различной формы. («Подвесками» в этой недоразвитой форме молекулы гемоглобина служат: [1] глицин, [2] гистидин, [3] фенилаланин, [4] треонин, [5] глутаминовая кислота, [6] глутаминовая кислота, [7] аспарагиновая кислота, [8] лизин, [9] аланин, [10] треонин, [11] изолюцин, [12] треонин, [13] серин, [14] лейцин)

— Я легко могу показать вам молекулярные застёжки, — обрадовался д-р Стритс, доставая из кармана две модели молекул из цветных деревянных шариков. — Я построил эти модели для лекции, которую мне довелось как-то прочитать персоналу госпиталя. В каждой аминокислоте имеется атом углерода, называемый альфа-углеродом, к которому прикреплены две застёжки. Одну из застёжек химики называют аминогруппой, так как она некоторым образом состоит в родстве с молекулой аммиака.

— Вы имеете в виду, — осторожно спросил мистер Томпкинс, — то вещество с резким запахом, которым моя жена имеет обыкновение счищать грязь с оконных стекол?

— Да, ваша жена пользуется водным раствором аммиака. Это вещество состоит из одного атома азота, вокруг которого расположены три атома водорода. Если один из атомов водорода удалить,



В каждой аминокислоте имеется атом углерода, к которому прикреплены две застёжки

а вместо него поместить какую-нибудь более сложную конфигурацию атомов углерода, то вы получите соединение аммиака, которое называется амином.

А вот другая застёжка, прикрепленная к тому же атому, что и аминогруппа, называется карбоксильной группой. Она состоит из атома углерода, который скреплен с двумя атомами кислорода. К одному из них присоединен атом водорода. Поэтому химики называют всю молекулу аминокислотой: она содержит и аминогруппу, и кислотную группу.

Присмотревшись к атомам повнимательнее, вы заметите атом водорода на амине, а также атом кислорода и атом водорода на карбоксильной группе. Если эти атомы сложить вместе, то получится  $\text{OH} + \text{H} = \text{H}_2\text{O}$ . Поэтому если я столкну аминогруппу одной аминокислоты с кислотной группой другой, то получится молекула воды, и одновременно аминогруппа соединится с кислотной группой и пристегнет одну аминокислоту к другой. Точно таким же образом пристегнутся друг к другу и другие аминокислоты, и мы получим длинную цепь.

— Как вы, должно быть, заметили, — продолжал доктор Стритс, — хотя у каждой аминокислоты имеются по две такие застёжки, остальная часть молекулы не всегда одна и та же. Помимо двух застёжек к альфа-углероду присоединены еще две химические группы. Одна из них всегда состоит из атома водорода. Что же касается второй группы, то в зависимости от того, что она собой представляет, аминокислоты обладают различными свойствами и имеют различные названия. Десять аминокислот, образующие ту часть цепи, которую я держу между ладонями, называются: глицин, гистидин, фенилаланин, глутаминовая кислота, еще одна глутаминовая кислота, аспарагиновая кислота, лизин, аланин, треонин, серин и лейцин.

— Какие сложные названия! — воскликнул мистер Томпкинс. — И как только биохимики все их помнят?

— К счастью, природа использует только двадцать аминокислот, чтобы строить молекулы белков, хотя можно было бы синтезировать тысячи и даже миллионы различных аминокислот.

— Мне кажется, — заметил мистер Томпкинс, — что нам следует есть богатую белками пищу. Поглощаемые с пищей готовые белки мы могли бы включать в состав наших молекул и тем самым избавить себя от хлопот, связанных с синтезом белков внутри нашего тела.

— Вы заблуждаетесь, — возразил д-р Стритс. — Если бы дело обстояло так, как вы предлагаете, то последствия были бы поистине странными. То, что вы собой представляете, зависит от того, какие у вас белки. Если бы вы могли использовать чужие белки, то, сев на диету из цыплят, вы могли бы постепенно превратиться в цыпленка. К счастью, белки цыпленка, которого вы едите, перевариваются, т. е. распадаются на аминокислоты. И из них вы образуете человеческие белки, причем специфические, присущие только Томпкинсу. Следовательно, что бы вы ни съели, вам не грозит опасность превратиться в это что-то. Правда, некогда многие думали иначе. Каннибалы и другие примитивные народы поедали мозги людей или сердца львов, чтобы стать мудрее и храбрее. Но, к их великому разочарованию, в их желудках все съеденное распадалось на одни и те же аминокислоты независимо от того, съедали ли они храбрых или трусов. Разумеется, думая, что они стали храбрее, дикари могли действительно стать храбрее. Какой-нибудь психиатр мог бы рассказать вам об этом подробнее.

— Боюсь, что я не совсем понял вас, — признался мистер Томпкинс. — Если белки состоят из одних и тех же 20 аминокислот, то почему сами белки не одни и те же?

— Различия между белками зависят от того, в какой последовательности расположены 20 аминокислот в цепочке. Дело обстоит так же, как с использованием 26 букв английского алфавита. В зависимости от того, в какой последовательности вы расположите буквы, включая пробелы и знаки препинания, вы можете писать целые книги. Каждый белок должен выполнять в организме определенную функцию. Инструкции относительно того, какую именно функцию должен выполнять тот или иной белок, задаются порядком, в котором аминокислоты следуют одна за другой.

— У меня с собой, — продолжал д-р Стритс, доставая из кармана листок бумаги, на котором что-то было напечатано, — два рецепта, которые я выписал из поваренной книги. — И он прочитал:

— Оладьи из картофеля с ветчиной. Соедините порцию картофельного пюре с порцией провернутой через мясорубку прожаренной ветчины, добавьте столовую ложку измельченной петрушки, половину чайной ложки протертого лука и одну восьмую чайной ложки

перца. Из полученной массы вылепите плоские оладьи, обваляйте слегка в муке и поджарьте на жире, оставшемся от жарки ветчины.

**Плам-пудинг.** Просейте через сито одну чашку сахара. Полчашки сливочного масла взбейте, пока масло не станет мягким, постепенно добавляя сахар. Оба ингредиента перемешайте, пока смесь по консистенции не станет напоминать густую сметану. Вбейте в смесь шесть яиц. Добавьте чашку изюма, коринки и орешков, и все тщательно перемешайте. Слегка посыпьте мукой. Соедините с двумя чашками хлебных крошек, двумя чайными ложками корицы, половиной чайной ложки гвоздики и половиной чайной ложки душистого перца. Тщательно перемешайте. Выпекать на сковороде, смазанной маслом, при температуре 200° С в течение примерно полчаса.

Каждый из рецептов содержит всего лишь несколько сотен букв, но в зависимости от того, в каком порядке расположены буквы, вы получаете совершенно различные блюда.

Точно так же гемоглобин, который я держу в своих руках, помогает эритроцитам переносить кислород к легким; инсулин, состоящий из 51 аминокислоты, регулирует использование сахара в организме; а вазопрессин, длиной всего лишь в 9 аминокислот, сжимает стенки кровеносных сосудов и увеличивает кровяное давление. Весь живой организм представляет собой сложную химическую фабрику, содержащую бесчисленное количество компонент самого различного рода, которые и приводят фабрику в действие.

Мистер Томпкинс задумался.

— Теперь я понимаю, каким образом из одних и тех же аминокислот могут образовываться различные белки. Но для того, чтобы прочитать рецепт и выполнить содержащиеся в нем инструкции, нужен повар. А кто читает инструкции, записанные в белках?

— Инструкции считают различные молекулы и ведут себя соответствующим образом, — ответил д-р Стритс. — Вот, взгляните.

Он отпустил один из концов гемоглобина, и молекула тотчас же свернулась в полоску, покрытую складками и завитками.

— В зависимости от того, каким образом сцеплены между собой аминокислоты, молекула белка складывается или закручивается по-разному. Поэтому и молекулы белков получают различной формы. Отчасти в зависимости от их формы белки могут агрегировать, образуя более крупные структуры. Мышечные белки образуют тонкие волокна, не будь которых мускулы не могли бы сокращаться. Другой белок образует волосы. Из белков других разновидностей состоит упругая пленка — поверхность красной клетки, на которой мы сейчас сидим. Но самое важное из того, что делают белки, — их роль катализаторов химических реакций, происходящих в наших телах.

Так как молекула белка может принимать всевозможные формы, в ней может оказаться полость, в которой поместится другая молекула. Структура молекулы-квартиранта может деформироваться настолько, что молекула разрушится или станет легче вступать

в реакцию с какой-нибудь другой молекулой. Так как одна молекула белка может заставить реагировать многие молекулы, оставаясь сама без изменений, мы говорим, что молекула белка катализирует реакцию, и называем ее ферментом.

Наличие различных ферментов решает, какие химические реакции происходят в организме. Например, ферменты в вашем желудке и кишечнике катализируют химические реакции, которые переваривают, или расщепляют пищу на простые соединения, используемые вашим телом. Внутри клеток ферменты расщепляют питательные вещества, извлекая содержащуюся в них энергию, превращают сахар в жир, синтезируют аминокислоты и т. д. Короче говоря, белки определяют то, чем вы являетесь и — буквально — какую форму вы обретаєте.

— Но вернемся к гемоглобину, который перед нами, — попросил мистер Томпкинс. — Что делает белок в гемоглобине?

— Белок в гемоглобине выполняет несколько функций. Самая важная из них состоит в том, что когда гем связывается с глобином, молекула кислорода обретает возможность прикрепиться к атому железа в геме. Сам гем в одиночку не может прикрепить к себе атом кислорода. Для этого необходим глобин, который изменяет распределение электрических зарядов вокруг атома железа, что делает возможным последующее присоединение атома кислорода. Точная форма распределения электрических зарядов зависит от формы молекулы глобина. И, надо сказать, глобин «сконструирован» в этом отношении очень точно. Как вы видите, гигантская молекула гемоглобина состоит из четырех белковых цепей, к каждой из которых присоединено по гему. Когда к одному из гемов в легких пристает молекула кислорода, распределение электрических зарядов изменяется, как изменяется и форма глобина. Сродство остальных трех гемов к кислороду повышается, что обеспечивает насыщение гемоглобина кислородом. С другой стороны, когда кровь достигает тканей, важно, чтобы весь кислород перешел в свободное состояние. Сначала гемоглобин отдает свой кислород с некоторым трудом. Но это не имеет особого значения, так как в это время гемоглобин несет огромное количество кислорода. Однако после того, как гемоглобин отдает часть кислорода, форма глобина снова изменяется, после чего остатки кислорода освобождаются более легко там, где он более всего необходим.

— В этом гемоглобине оказалось гораздо больше интересного, чем я думал, — изрек мистер Томпкинс после того, как вместе с доктором Стритсом он прошел назад сквозь увеличительное стекло и с удобством расположился на эритроците.

— В большинстве белков таятся немало интересного, — заверил его д-р Стритс, — и мы еще не раз будем узнавать о них замечательные вещи.

— Скажите, пожалуйста, — спросил мистер Томпкинс, — а что это прилипло вон к тому гему? Очень уж непохоже на обычную молекулу кислорода.

Д-р Стритс взял у мистера Томпкинса лупу и принялся внимательно рассматривать таинственный объект.

— Так я и думал, — произнес он наконец. — Это молекула окиси углерода, ее также называют угарным газом. Должно быть, вы подцепили ее из дыма вашей сигареты или выхлопов двигателей автомашин.

Заметив тревогу на лице мистера Томпкинса, доктор поспешил продолжить объяснения:

— Окись углерода — опасное вещество, которое образуется при неполном сгорании углерода. Подобно кислороду, оно имеет большое сродство к железу гема и, примкнув к гему, лишает гемоглобин возможности переносить кислород. Поэтому, если вы надышались угарным газом, то ваша кровь утрачивает способность переносить достаточное количество кислорода, и вы чувствуете удушье. Но пока у вас нет оснований испытывать особое беспокойство. В современных городах в воздухе всегда содержится некоторое количество окиси углерода от транспорта и промышленных предприятий. Разумеется, такое загрязнение не очень желательно, но вы находитесь ничуть не в худшем состоянии, чем остальные жители города.

Мистер Томпкинс и д-р Стритс настолько увлеклись беседой, что не заметили, как широкий поток, который нес их, сменился течением в узком канале, и теперь их эритроцит скользил вдоль его гладких полупрозрачных стенок.

— Вот мы и добрались! — воскликнул д-р Стритс, оглядевшись по сторонам. — Мы вошли в один из тонких капилляров, по которым кровь поступает к большому пальцу вашей левой руки. Большие комки протоплазмы, из которых выстроены стенки капиллярного канала, по которому мы плывем, — это живые клетки вашей собственной плоти.

— О! — отозвался мистер Томпкинс, которому доводилось видеть микрофотографии клеточных структур. — Они выглядят именно так, как должны выглядеть. Если я не ошибаюсь, вон те тела, потемнее вблизи центра клеток — это ядра?

— Совершенно верно, — подтвердил доктор. — Кстати о раковых заболеваниях. Как вы изволили заметить, эти клетки абсолютно нормальны. Раковые клетки характеризуются специфическими особенностями развития. В некоторых случаях у них аномально большие ядра, и под микроскопом их легко отличить от обычных здоровых клеток. Трудность заключается в другом: чтобы с абсолютной уверенностью диагностировать раковое заболевание на ранней стадии, необходимо было бы просмотреть миллионы клеток. Однако я полагаю, что вскоре нам удастся разработать метод, который позволит быстро и недорого производить поиск раковых клеток.

— Понятно, — произнес мистер Томпкинс, чувствуя, что начинает задыхаться. — Я надеюсь, что вам удастся вскоре разработать такой метод. Здесь немного душно.

— Вы абсолютно правы, — подтвердил доктор. — Впрочем, чему удивляться? Ведь кровоток, с которым мы путешествуем, приходит сюда, чтобы отдать клеткам кислород, забрать окись углерода и вывести ее из вашего тела. Приглядитесь, и вы увидите, как молекулы кислорода отцепляются от нашего эритроцита и прилипают к стенкам капилляра. Затем они проникнут сквозь стенки в лимфу (жидкость, окружающую отдельные клетки), а из нее — в сами клетки. Одновременно в кровоток поступает скопившаяся в клетках двуокись углерода (называемая также углекислым газом) и частично прикрепляется к молекулам гемоглобина. Теряя кислород, гемоглобин становится темным, цвета венозной крови. Поэтому наше обратное путешествие к легким будет не из приятных.

— Какая уж тут приятность, — согласился мистер Томпкинс, чувствуя, что его легкие готовы разорваться от напряжения. — Разве не глупо, что я почти задыхаюсь, чтобы большой палец на моей левой руке мог дышать?

Мистер Томпкинс чувствовал себя неважно. Перед глазами у него плавали какие-то черные пятна. Сознание мутилось, а черные пятна становились все больше и больше.

«Может быть, это ядра клеток? — подумал мистер Томпкинс. — Нет, они больше похожи на головы в матросских беретах. Что это? Я, кажется, нахожусь на борту подводной лодки. Может быть, я служу теперь в военно-морском флоте?»

— Глубина 200 саженей<sup>2)</sup>, — раздался ниоткуда хриплый голос, — погружение продолжается. Черт бы побрал эти клапаны!

— Надеюсь, на базе об этом знают, — произнес другой голос.

— С этим явно нужно что-то делать!

— Нужно-то нужно! — вскричал почти на истерических нотах еще чей-то голос. — Нет, братишка, из пучины морской еще никто не возвращался!

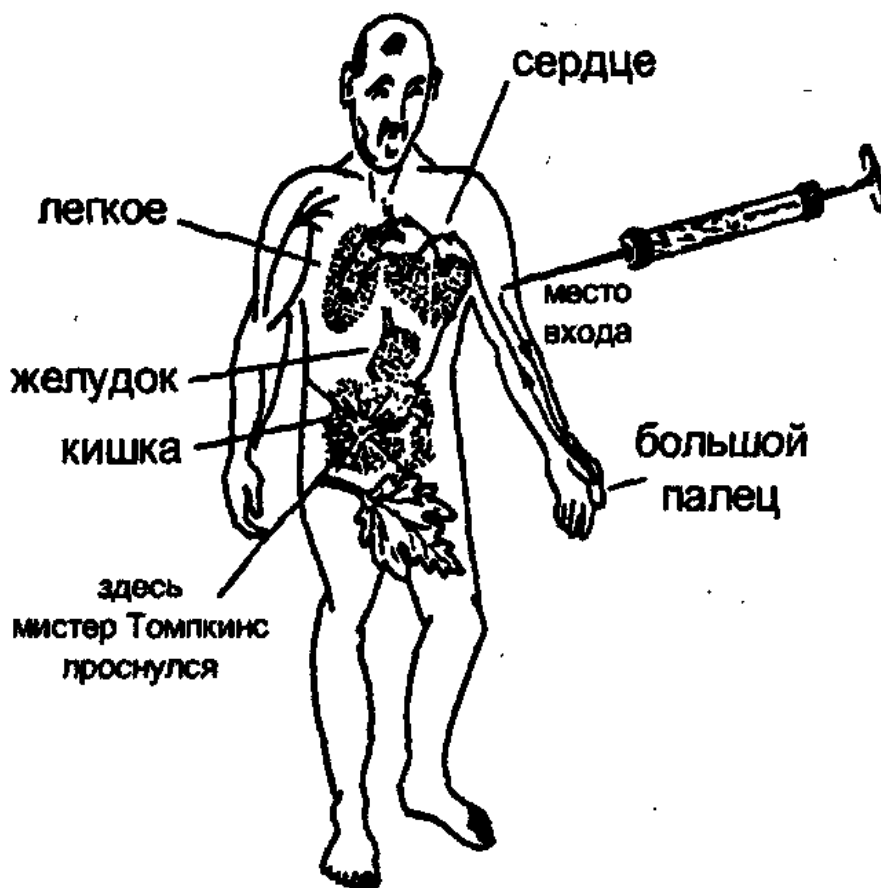
Внезапно корпус подводной лодки закрутился с бешеной скоростью, словно лодка попала в гигантский водоворот. Люди и приборы попадали в узком проходе, а мистер Томпкинс оказался притиснутым к основанию перископа. На миг перед ним мелькнуло белое, как мел, лицо д-ра Стритса.

— Держитесь! — прошептал доктор. — Мы только что вошли в правый желудочек сердца и теперь направляемся в легочную артерию, которая идет к легким. Скоро воздуха хватит на всех!

Когда мистер Томпкинс пришел в себя, воздух, или, точнее, плазма, действительно была идеально чиста. Мистер Томпкинс лежал на том же эритроците, крепко охватив руками ногу доктора Стритса.

<sup>2)</sup> Морская сажень составляет 182 см. — Прим. перев.

Их эритроцит снова спокойно плыл по узкому каналу, но теперь с внешней стороны прозрачных клеток уже не грудилась клетки. Наоборот, за стенками, казалось, простиралось пустое пространство, если не считать роев каких-то точек, которые мистер Томпкинс принял было за крохотных мошек или мушек, снующих во все стороны.



Маршрут путешествия мистера Томпкинса по своему кровотоку

— Атмосферный воздух, — заметил д-р Стритс, указывая на мошек своим длинным пальцем.

— Вы хотите сказать, что мы находимся за пределами моей сердечно-сосудистой системы? — с надеждой спросил мистер Томпкинс.

— О, нет, нет! — возразил доктор. — Мы все еще находимся в вашей сердечно-сосудистой системе, но сейчас проходим по одному из капилляров вашего легкого, где кровоток избавляется от двуокиси углерода и принимает в себя новый запас кислорода. Пустое пространство за стенкой капилляра называется альвеолой. Это один из ее пузырьков, образующих внутреннюю поверхность легкого. При каждом вдохе легкое и все его альвеолы наполняются свежим воздухом извне, и в венозную кровь поступает новая порция кислорода.

— Вы хотите сказать, что эти крохотные мушки в действительности молекулы воздуха? — спросил мистер Томпкинс.



— Именно. Не забывайте, что в нашем масштабе, примерно 1 : 1 000 000, простые молекулы, вроде молекул кислорода или азота, имеют в диаметре около  $\frac{1}{10}$  миллиметра. Не удивительно, что они кажутся вам мошками, тем более что молекулы совершают быстрые беспорядочные движения. Видите, как многие молекулы проникают сквозь стенки капилляра и прикрепляются к красным кровяным тельцам. К тому моменту, когда кровь завершает прохождение через легкие и попадает в аорту, она готова к новому путешествию по всему вашему телу.

— Мне бы не очень хотелось еще раз повторять это путешествие, — заметил мистер Томпкинс, памятуя о только что пережитых весьма неприятных ощущениях.

— Но это просто необходимо! — настаивал доктор. — Вы еще очень многого не видели. На протяжении большей части длинного пути от вашего большого пальца до легких вы были почти без сознания. Кроме того, мне до сих пор не представился случай заняться вопросом, ради которого вы пришли ко мне, и поставить вам диагноз.

— Будь по-вашему, — неохотно согласился мистер Томпкинс. — Может быть, нам захватить с собой в дорогу баллон с кислородом?

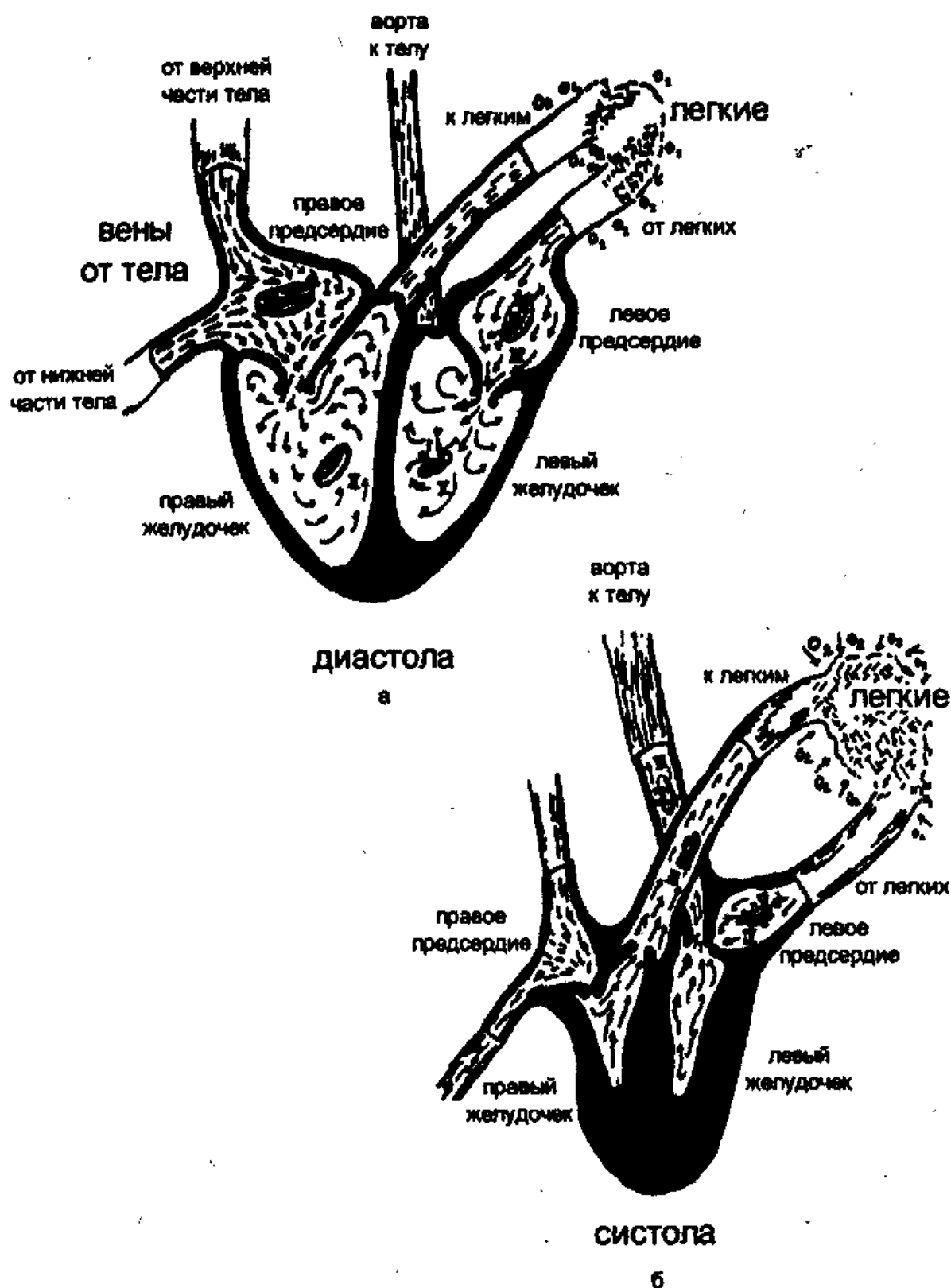
— У нас есть кое-что получше, — заметил доктор. — Как только вы почувствуете какое-нибудь неудобство, мы просто выведем вас из вашей сердечно-сосудистой системы. А теперь вам лучше приготовиться к плаванию, как по бурной порожиистой реке. Мы входим в ваше левое сердце.

— Что вы хотите этим сказать? — удивился мистер Томпкинс. — Левое сердце?! Я думал, что сердце всегда находится слева.

— Правильно. Мне следовало бы сказать точнее — в левую половину вашего сердца. Возможно, вы не знаете, что человеческое сердце, по существу насос, который гонит кровь по телу, в действительности представляет собой не один, а два насоса: правая половина сердечного насоса гонит кровь из тела через легкие в левую половину сердца, а левая половина гонит кровь через тело снова в правую половину сердца. Оба насоса, каждый со своими клапанами и прочими принадлежностями, действуют независимо, за исключением того, что приводятся в действие одними и теми же мышцами, более того, когда вы были зародышем, то у вас было два независимых сердца, которые постепенно слились в один орган перед тем, как вы родились.

— А теперь держитесь крепче!

Их эритроцит теперь вел себя, как каноец, преодолевающее пороги на реке Колорадо, и мистеру Томпкинсу стоило немало усилий удержаться на «плоту» и не быть сброшенным в кипящую водоворотами плазму. Через узкое отверстие наши путешественники проскочили в левое предсердие (входную камеру сердца), а затем, миновав еще



*Их эритроциты теперь вели себя, как канюз, преодолевающее пороги на реке Колорадо*

один клапан, оказались в левом желудочке. Секундой позже сердце сократилось, и эритроцит, на котором расположились мистер Томпкинс и д-р Стритс, выбросило через выпускной клапан сердечного насоса.

— Отлично, — сказал доктор, с удобством устраиваясь на мягкой, бархатистой поверхности. — Теперь у нас будет достаточно времени, чтобы потолковать о разных вещах. Есть ли что-нибудь такое, о чем вы хотели бы узнать особо?

— Прежде всего я хотел бы знать, — обрадовался мистер Томпкинс, — можно ли считать эритроцит, на котором мы путешествуем, живым или нет.

— Вопрос трудный, — ответил д-р Стритс. — По-видимому, можно, хотя и с некоторыми оговорками. Дело в том, что красные кровяные тельца постоянно рождаются, живут отпущенный им срок и, наконец, умирают в возрасте 3—4 месяцев. У нормального человека каждую секунду умирают и заменяются новыми около 10 миллионов эритроцитов. Разводятся эритроциты в красном кровяном мозге, где рождаются при непрерывном делении специальных клеток, известных под названием эриробластов. Но прежде чем эритроциты попадают в кровоток, их ядра погибают, а клетка без ядра жива лишь наполовину. В частности, эритроциты полностью утрачивают способность к воспроизводству, так как именно ядро управляет процессом деления клетки. Эритроциты могут лишь переносить кислород от легких к клеткам тела, а двуокись углерода — от клеток тела к легким, тем самым поддерживая жизнь всей колонии клеток.

— Эритроциты переносят на себе грузы, как быки или мулы, — заметил мистер Томпкинс.

— Очень похоже, — согласился д-р Стритс, — и как переносчики грузов эритроциты, конечно, совершенно незаменимы.

— К тому же они лишены способности к самовоспроизведению, — продолжал мистер Томпкинс, — поэтому их половой инстинкт не мешает работе, не так ли?

— Вполне возможно, вполне возможно, — задумчиво произнес доктор. — Впрочем, существует много видов животных (например, лягушки), у которых эритроциты сохраняют свои ядра на протяжении всего времени, пока они участвуют в кровообращении. У человека, по той или иной причине потерявшего много крови, незрелые эритроциты с ядрами вливаются в кровоток, чтобы поддержать замирающие грузоперевозки. Поэтому с ядрами эритроциты или без ядер, в действительности не имеет особого значения. Когда эритроциты умирают, они распадаются в вашей печени и селезенке, а их остатки удаляются из организма с мочой и калом.

— А как обстоит дело с белыми кровяными клетками? — спросил мистер Томпкинс. — Они также разносят какой-нибудь особый груз по моему телу?

— О нет, — возразил д-р Стритс, — белые кровяные тела, или лейкоциты, не имеют никакого отношения к Министерству транспорта. Их скорее можно считать членами Национальной гвардии. Их

работа состоит в том, чтобы защищать сообщество клеток от вторжения извне; как у всех хороших солдат, ядро у лейкоцитов всегда храброе. Их также называют фагоцитами, или «пожирателями клеток» (по-гречески «фагос» означает «пожирающий»), так как они атакуют и пожирают большинство чужих клеток, вторгающихся в организм. Оглянувшись вокруг, вы заметите несколько лейкоцитов, плавающих в кровотоке и поддерживающих закон и порядок. Заметив любую бактерию, лейкоциты без промедления атакуют ее, обволакивают своей протоплазмой и пожирают непрошеного пришельца менее чем за полчаса. Если вторгшиеся в организм бактерии оказываются не в кровотоке, а где-нибудь в лимфе между клетками тела, фагоциты проникают сквозь стенки кровеносных сосудов и все равно настигают свою жертву. Трудность только в том, что поймать бактерию фагоцит может, лишь прищипив ее к какой-нибудь твердой стенке, например, к стенке кровеносного капилляра, или если несколько фагоцитов нападут на бактерию с различных сторон. Если вы взгляните вон в ту сторону, то увидите, как это происходит. — Взглянув в том направлении, куда указывал палец д-ра Стритса, мистер Томпкинс увидел несколько фагоцитов, которые приперли к стенке группу бактерий и приготовились пожрать свою добычу.

— Если бактерия плавает посреди кровяной плазмы, — продолжал доктор, — то одному фагоциту очень трудно схватить ее, почти так же трудно, как вам схватить зубами яблоко, плавающее в ведре с водой. Так происходит потому, что у большинства бактерий очень прочная оболочка, так называемая капсула, которая делает их такими же скользкими, как и яблоко, плавающее в ведре. Однако фагоцитам помогают в их работе сложные химические соединения, которые называются антителами и появляются в крови при каждом вторжении бактерий в организм, «размягчая» оболочку бактерий и нейтрализуя ядовитые вещества, или токсины, выделяемые бактериями в кровоток.

— Насколько я понимаю, — прервал объяснение мистер Томпкинс, — антитела не принадлежат к числу живых существ, раз вы называете их химическими соединениями.

— Совершенно верно, — подтвердил д-р Стритс. — Подобно многим другим химическим соединениям в вашем теле, они являются белками. Самое интересное заключается в том, что антитела вырабатываются в организме, только когда его впервые атакует та или иная бактерия. Во время такого нападения специальные белые кровяные клетки начинают вырабатывать антитела, наиболее пригодные для защиты организма от данного конкретного агрессора. Такие клетки, как по заказу, «спиты» для каждого типа агрессора и подходят к нему, как ключ к замку. Но поскольку антитела — белки и поэтому гораздо меньше бактерий, они состыкуются не со всей

бактерией, а с различными химическими соединениям, образующими поверхность бактерии. Вырабатываются антитела и против различных ядовитых белков, а если говорить в более общем плане, то против большинства чужеродных больших молекул. Антитела можно рассматривать как еще один пример белка, который складывается таким образом, чтобы вещество, против которого он действует (такое вещество называется антигеном), в точности соответствовало его структуре. В комбинации с антителом чужеродный яд обезвреживается и быстро удаляется из организма, а бактерия либо умирает, либо становится легкой добычей для фагоцитов.

Вполне возможно, что организм обладает в качестве «затравки» белками для создания антител и в случае необходимости может быстро придавать им любую нужную форму. Представьте себе, например, слесарную мастерскую с большим набором болванок для изготовления ключей, если слесаря вызовут, чтобы открыть какой-нибудь новый сложный замок, то он, вероятно, методом проб и ошибок выточит из болванки ключ, который подойдет к этому замку и откроет его. Подбор конфигурации бородки ключа может быть довольно длительным, но, изготовив один ключ, слесарь сможет в дальнейшем легко и просто изготовить любое число ключей, открывающих тот же замок. А если слесарь предусмотрителен, то сохранит у себя образчик изготовленного им ключа на тот случай, если когда-нибудь в будущем ему снова встретится такой же замок.

— Если я не ошибаюсь, — заметил мистер Томпкинс — врачи называют такую предусмотрительность иммунитетом к болезни?

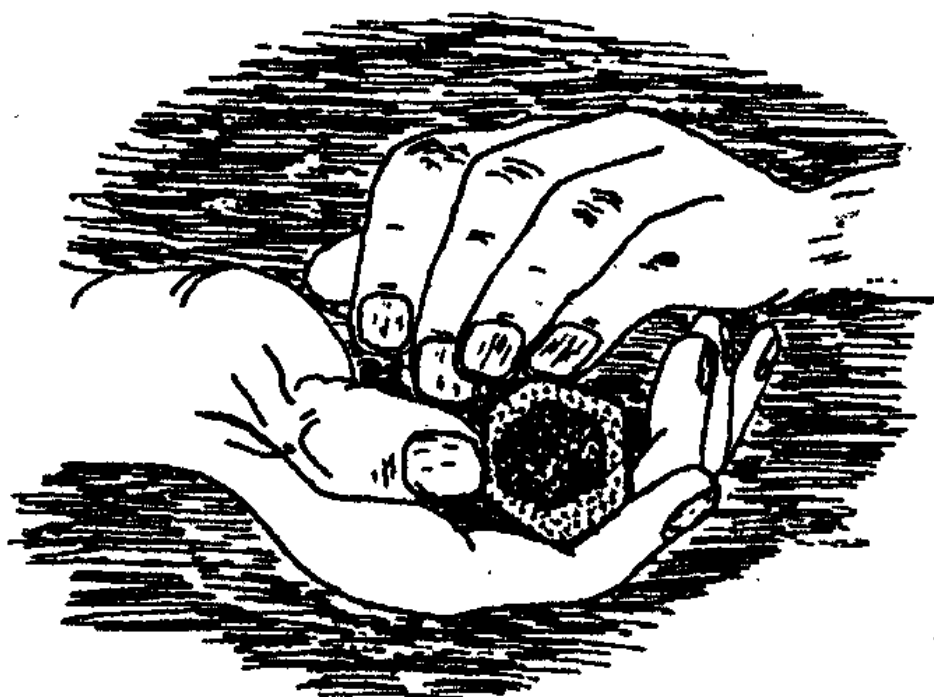
— Совершенно верно, — подтвердил д-р Стритс, — и чтобы создать в организме иммунитет в качестве предупредительной меры, мы впрыскиваем пациентам некоторое количество мертвых или неактивированных бактерий или вирусов, которые, не обладая способностью размножаться, не могут причинить вреда, но заставляют организм вырабатывать антитела на случай настоящей агрессии. Этот метод... Простите, подождите секундочку! — прервал свои объяснения д-р Стритс и, вскочив на ноги, попытался поймать что-то, проплывавшее в плазме мимо эритроцита, на котором находились путешественники. — Думаю, что теперь я смогу диагностировать ваше заболевание.

Д-р Стритс держал в руке какой-то скользкий предмет размером с яблоко.

— Что это? Бактерия? — спросил мистер Томпкинс.

— О нет! В нашем масштабе бактерия была бы величиной с собаку. То, что вы видите, — не что иное, как вирус, и готов побиться об заклад, что если мне не изменяет профессиональная проницательность, то перед нами не что иное, как вирус гриппа.

— Ах, это всего лишь грипп, — с облегчением выдохнул мистер Томпкинс. — Тогда не о чем особенно беспокоиться!



Не что иное, как вирус гриппа...

— Почему же, иногда заболевание гриппом принимает весьма тяжелые формы. Впрочем, полагаю, что вам это не грозит. Если вы взглянете сюда, то я покажу вам, почему мне так кажется.

С этими словами д-р Стрит растянул предмет, который держал в руках, и тот легко распался на две части. В левой руке оказалось круглое тело с весьма шероховатой на взгляд поверхностью, а в правой — полукруглая оболочка, в которую до разъятия на части входило круглое тело.

— Видите, — сказал доктор, — эта сфера — вирус гриппа, чудовищно большая молекула, состоящая из многих миллионов атомов. Вам, должно быть, приходилось слышать о вирусах. Они занимают промежуточное положение между живой и неживой материей, и иногда их называют «живыми молекулами». Если бактерии можно считать своего рода фабриками, выделяющими ядовитые вещества в тело того организма, который они атакуют, то вирусы сами являются живыми ядами. Их можно рассматривать как самые настоящие химические молекулы, поскольку вирусы всегда обладают вполне определенной атомной структурой. С другой стороны, вирусы можно считать живыми существами, так как они обладают способностью неограниченно размножаться. Возбудителями многих заболеваний, таких, как грипп и полиомиелит у человека, ящур у скота и мозаичная болезнь у табака, служат не бактерии, а вирусы. Когда вы заболеваете вирусной болезнью, ваш организм учится вырабатывать антитела, которые позволяют вам справиться с возникшей опасностью. Это очень кстати, так как лишь немногие лекарства, подобно пенициллину, способны воздействовать на вирусы. Пустая оболочка в моей правой руке — это антитело для вируса гриппа. Оно покры-

вает вирус и делает его неактивным, посмотрите, как плотно детали поверхности вируса входят в зацепление с соответствующими деталями внутренней поверхности антитела. Это и есть то соответствие типа «ключ-замок», о котором я упоминал в начале. Такие антитела в огромных количествах плавают в вашем кровотоке, ловят вирусы, заставляя тех слипаться в кластеры, а затем выводят их из вашего организма. Так как и о том вирусе, который я держу в руках, и о нескольких других, которые проплыли мимо, уже позаботились антитела, у меня есть основания полагать, что ваш грипп не разовьется во что-нибудь серьезное. Я даже не думаю, что вам необходимо соблюдать постельный режим.

— Знаете, мне очень понравилась аналогия с замком и ключом, — задумчиво произнес мистер Томпкинс, — только я не совсем понял, кто же такой слесарь. Кто, так сказать, подгоняет ключи?

— Признаться, мне и самому это не вполне ясно, — ответил д-р Стритс. — Сомневаюсь даже, чтобы мой добрый друг, Лайнус Полинг<sup>3)</sup> из Калифорнийского технологического института, яростный сторонник аналогии с ключом и замком, мог рассказать вам об этом еще что-нибудь. Точная подгонка поверхности антитела к поверхности вируса, по-видимому, достигается действием сил притяжения между атомами вторгшегося в организм вируса и атомами атакующего пришельца «ключа-болванки» антитела. Согласен, что на первый взгляд кажется невероятным, чтобы простые атомные силы могли создавать столь замечательную структуру. Впрочем, вы можете начать думать иначе, если вспомните фантастические формы сталактитов и сталагмитов, создаваемые не чем иным, как водным раствором солей кальция, просачивающихся сквозь потолок пещеры.

Д-р Стритс аккуратно вложил вирус гриппа в оболочку его антитела, чтобы вирус не мог причинить вреда организму мистера Томпкинса, и бросил всю комбинацию в плазму.

— Не собираются ли эти антитела напасть на меня? — не без трепета спросил мистер Томпкинс. — Ведь они, должно быть, считают меня чужеродным телом.

— Такая опасность вам не грозит, — успокоил его д-р Стритс, — так как вас вряд ли можно считать чужеродным по отношению к вашему собственному телу. Скорее антитела нападут на меня, если я вздумал бы оставаться здесь достаточно долго, но поскольку я представляю собой, так сказать, одну-единственную частицу и не размножаюсь, антитела поднимут тревогу еще не скоро.

— А почему мои антитела должны проводить различие между вами и мной? — с удивлением спросил мистер Томпкинс. — Ведь

---

<sup>3)</sup> Лайнус Полинг — лауреат Нобелевской премии, выдающийся физик и химик, автор трудов по иммунохимии, молекулярной генетике, структуре белков и квантовой теории химической связи. — *Прим. перев.*

мы оба люди, т. е. принадлежим к одному и тому же биологическому виду, разве не так?

— К сожалению (я имею в виду — с медицинской точки зрения), не все особи одного и того же вида одинаковы. Именно эти индивидуальные различия не позволяют пересаживать органы одного человека или животного другому, если только речь не идет о близнецах. Антитела распознают, что трансплантированные ткани «чужие», и атакуют их. Происходит это из-за того, что последовательность аминокислот в некоторых белках у различных особей слегка различна. Правда, иногда удается трансплантировать сравнительно простые ткани. Примером удачной трансплантации может служить переливание крови. Однако и при переливании крови необходимо тщательно выбирать подходящего донора.

— Ах, да! Группы крови, — кивнул мистер Томпкинс. — Я никогда не думал, что трудности с переливанием крови связаны с защитниками организма от болезней.

— Тем не менее это именно так. Если вам по ошибке перелить кровь собаки или свиньи, то вы серьезно заболите, так как ваши антитела начнут мощную сокрушительную кампанию против чужих эритроцитов. Вы можете даже умереть от тромбоза, как это называют врачи, если трупы павших на поле битвы антител забьют капилляры и остановят кровообращение.

В действительности происходит следующее: у молекулы каждого антитела имеется несколько участков, которые подходят к антигену. Прикрепившись к двум различным чужим эритроцитам, антитело действует как клей, не давая им разойтись, или, как мы обычно говорим, агрегирует их, сплачивая в группы.

В пределах же одного и того же биологического вида кровь иногда, но не всегда, бывает заменяемой. Красные кровяные клетки человека могут нести на своей поверхности вещества, указывающие на их принадлежность к группам крови, которые принято обозначать А и В. Эти вещества представляют собой длинные цепи аминокислот и молекул сахара, в какой-то мере напоминая по своему строению белки — длинные цепи аминокислот. Красная клетка может нести вещества, указывающие на ее принадлежность к группе крови А, или А и В, или В, или не нести никаких меток. В последнем случае мы говорим, что у человека группа крови О. Группа крови каждого человека наследуется им от родителей. Человек, у которого нет одного из веществ, указывающего на принадлежность к той или иной группе крови, вырабатывает антитела к этому веществу. Например, если у кого-нибудь группа крови В, то в его крови имеются антитела против вещества А, если у него группа крови А, то в его крови имеются антитела против вещества В, а если у него группа крови О, то у него в крови имеются антитела против веществ А и В. Если же у него группа крови АВ, то таких антител у него в крови нет.



— Я этого не понимаю, — признался мистер Томпкинс. — Почему у человека с группой крови, скажем, В, должны быть в крови антитела против группы крови А, если ему никогда не переливали кровь с красными клетками, несущими вещество А? Из ваших слов я заключил, что антитела вырабатываются только против чужеродного антигена, действию которого подвержено тело, например, против вируса.

— Признаться, я и сам не понимаю, почему так происходит, — ответил д-р Стритс, — но мы знаем, что существуют два типа антител. Одни антитела вырабатываются только в ответ на попадание в организм чужеродного вещества. Но существуют антитела и другого типа, которые присутствуют в организме независимо от того, действуют ли на вас чужеродные вещества или не действуют. Антитела против веществ, определяющих принадлежность к той или иной группе крови, принадлежат ко второму типу.

— А как организм узнает, что вещество чужое и что против него, а не против своего вещества, необходимо начать вырабатывать антитела?

— Этого я также не знаю, но известно, что организм распознает вещество как «свое», а не «чужое», если это вещество возникает в организме на очень раннем этапе развития, еще до рождения. Например, если цыпленку, еще не вылупившемуся из яйца, ввести чужеродный антиген, то его организм впоследствии либо совсем не будет вырабатывать антитела против этого антигена, либо будет вырабатывать их с определенными ограничениями. Иначе говоря, организм будет относиться к антигену, как к части самого себя. Аналогично мы предполагаем, что человеческий эмбрион обладает способностью вырабатывать антитела против веществ, определяющих принадлежность к группам крови А и В. Если у эмбриона группа крови О, то он продолжает вырабатывать антитела. Но если на раннем этапе развития у него красные кровяные клетки группы А, то он перестает вырабатывать антитела против них, так как отличительное вещество группы А признает «своим», и, аналогично, если его красные кровяные клетки группы В, то эмбрион перестает вырабатывать антитела против группы В. Таким образом, он всегда вырабатывает антитела против отличительных веществ той группы крови, которой у него нет.

С практической точки зрения, если от донора кровь группы А попадает в организм реципиента с кровью группы В, то антитела на группу А плазмы реципиента атакуют эритроциты введенной крови. Для пациента исход битвы может оказаться роковым. Если же переливание крови происходит от донора к реципиенту с одной и той же группой крови, то никакого вреда для реципиента от этого не последует.

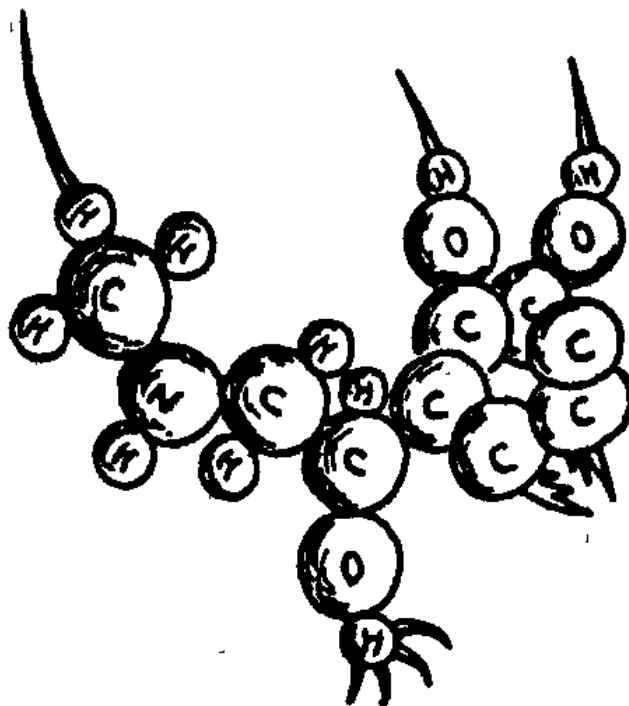
— Теперь я понимаю, почему для переливания используют плазму, — произнес мистер Томпкинс. — Если красных кровяных клеток нет, то и сражаться не с кем.

— Вы почти правы, но не совсем, — возразил доктор. — Даже если в переливаемой крови нет эритроцитов, она всё же содержит антитела, которые могут атаковать эритроциты крови реципиента, разумеется, если у донора кровь не группы АВ. Однако, смешивая в надлежащей пропорции плазму, полученную от людей с различными группами крови, можно приготовить так называемую кровяную депо-плазму, в которой концентрация антител обоих типов хотя и не равна в точности нулю, все же достаточно низкая, чтобы не причинять никакого вреда. Боюсь, однако, что мои объяснения становятся слишком специальными, и предлагаю провести оставшееся время за созерцанием других чудес кровотока. Мне еще непременно нужно показать вам кое-какие гормоны и витамины.

— А что, они тоже живые молекулы? — спросил мистер Томпкинс.

— О нет, — ответил д-р Стритс. — Во многих случаях это очень простые молекулы, и некоторые из них удается синтезировать из неорганических соединений. Например, гормоны, название которых происходит от греческого слова «гормео», означающего «приводить в движение» или «возбуждать», иногда имеют молекулы, состоящие всего лишь из нескольких десятков отдельных атомов. Сами по себе гормоны не являются, так сказать, высокопоставленными представителями жизни. Их скорее можно рассматривать как приказы или инструкции, рассылаемые властью поддерживающими, как листки бумаги, испещренные письменами и разносимые курьерами, но абсолютно необходимые для бесперебойного функционирования предприятия. Если вы возьмете мою лупу и пристально взглянете в плазму, текущую возле вашей руки, то сможете разглядеть некоторые из этих частиц.

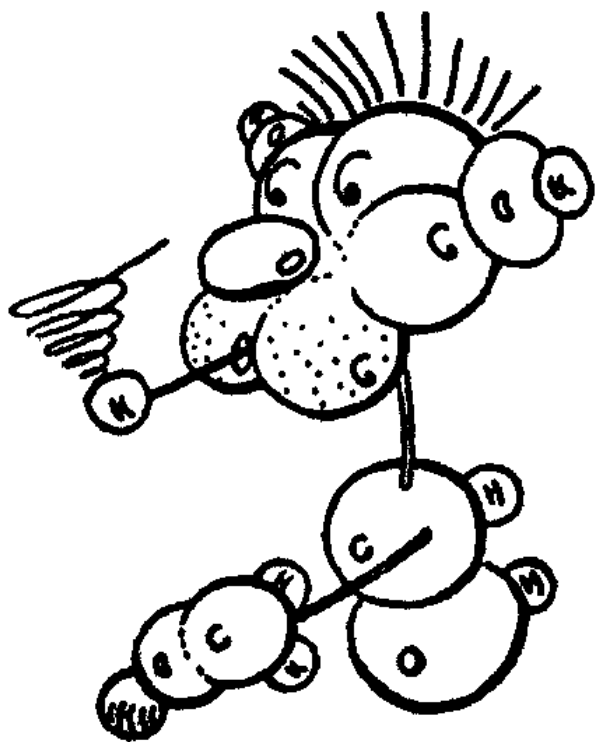
Последовав совету доктора и внимательно взглядевшись в нескончаемый парад проплывавших мимо обитателей плазмы крови, мистер Томпкинс вскоре заметил весьма интересный объект. В увеличительном стекле он выглядел как один из тех драконов, которых можно



Молекула адреналина,  
или «гормон испуга»

видеть на улицах Чайна-тауна в Нью-Йорке во время празднования Нового года. Только этот объект был меньше одного миллиметра в длину и состоял всего лишь из 22 атомов (которые мистер Томпкинс не преминул пересчитать).

— Это молекула адреналина, или «гормона испуга», выделяемого надпочечниками (железами, расположенными вблизи от почек) всякий раз, когда кто-нибудь пугается. Кровоток быстро разносит



Витамин С, обнаруженный в шпинате

адреналин по всему телу. Этот гормон ускоряет сердцебиение, заставляет сжиматься кровеносные сосуды, отчего кровяное давление повышается, способствует выделению сахара из печени, что дает организму дополнительную энергию, чтобы избежать опасности. Молекула адреналина, которую вы только что видели, по-видимому, сохранилась с того момента, когда вы испугались, думая, что находитесь на борту тонущей подводной лодки. Существуют и другие гормоны — на все случаи жизни. Например, секретин, заставляющий некоторые железы (поджелудочную железу, расположенную непосредственно под

желудком) интенсивно вырабатывать пищеварительные соки, тестостерон, мужской половой гормон, делающий мужчину мужчиной, эстрон, или фолликулин, делающий женщину женщиной.

— А как с витаминами? — поинтересовался мистер Томпкинс. — Есть ли они в моем кровотоке?

— Ничуть в этом не сомневаюсь, — гласил ответ д-ра Стритса, — поскольку уверен, что жена кормит вас правильно. Как вы, вероятно, знаете, витамины содержатся в соответствующих продуктах и совершенно необходимы для здоровья. Человек испытывает потребность более чем в десяти различных витаминах. Все они — сравнительно простые вещества. Во многих случаях их удастся получить синтетически из неорганических материалов. Вам, должно быть, приходилось слышать о витамине С. Он содержится в шпинате, зеленом перце, апельсиновом и томатном соках и т. д. Если вы не получаете ежедневно около 60 миллиграммов витамина С, то легко можете заболеть цингой: ваши десны начнут кровоточить, а зубы шататься. С другой стороны, отсутствие витамина А, содержащегося в сливочном масле, сале и рыбьем жире, вызывает шелушение век

и куриную слепоту (человек утрачивает способность видеть в темноте), а витамин D, которым так богат рыбий жир, получаемый из печени трески, предотвращает рахит — болезнь, приводящую к искривлению костей и неполному развитию зубов.

— Вы хотите сказать, что если я питаюсь нормально, то никаких проблем с витаминами у меня не возникает? — спросил мистер Томпкинс.

— Именно так! В большинстве случаев необходимость в дополнительном приеме витаминов не возникает, разумеется, если для этого нет каких-то особых причин, но обычно до этого дело не доходит, разве что в вашей записной книжке появится страница-другая, заполненная всякими сведениями о витаминах. Но существуют два витамина — А и D, — которые в больших дозах становятся ядовитыми. Эскимосы знают, что печень белого медведя есть не следует, так как она содержит смертельную дозу витамина А. Все сведения о витаминах вы, несомненно, найдете в любой книге о продуктах питания и приготовлении пищи. А пока лучше оглянитесь по сторонам, ведь мы вступаем в одну из ворсинок вашей тонкой кишки.

— Ворсинка — это то место, где кровь поглощает переваренную пищу, съеденную вами утром, за завтраком, чтобы разнести питательные вещества по всем клеткам вашего тела. Если вы взглянете сквозь тонкий прозрачный слой клеток, отделяющий нас от «внутренности внутренностей», то увидите коричневатую массу. Это то, что некогда было яичницей с ветчиной. Теперь эти продукты полностью расщеплены под действием пищеварительных ферментов. Поглощаемая вами пища состоит из химических веществ трех типов: белков, углеводов и жиров. Ферменты трех типов, известные под названиями протеазы, амилазы и липазы, атакуют эти три главные составляющие пищи (каждый фермент — свою составляющую) и расщепляют их на гораздо более простые вещества. Тяжелые белковые молекулы распадаются на более простые аминокислоты, углеводы превращаются в сахара, а жиры расщепляются на глицерин и жирные кислоты. Все эти вещества растворимы в воде и диффундируют сквозь тонкие стенки внутрь волосков. Проникнув внутрь, аминокислоты и сахара попадают в кровеносные капилляры и немедленно разносятся по всему телу, где их ожидают голодные клетки. Что же касается распределения продуктов переваривания жиров, то оно происходит гораздо медленнее. Вместо того, чтобы избрать быструю транспортировку через кровеносную систему, жиры снова рекомбинируются в крохотные жировые капельки (так называемые глобулы) и движутся по лимфатической системе, наподобие лошади, впряженной в фургон. Как я уже говорил, лимфа — это жидкость, очень похожая на плазму крови, которая заполняет пространство между клетками тканей. Лимфатическая система представляет собой множество

каналов, канальцев, проток и русел, не уступающее по сложности водной системе национального парка Эверглейдс во Флориде, не заблудиться в которой могут только местные индейцы. И так же, как в водных дорогах Эверглейдса, вода в лимфатической системе почти везде стоячая, а течение, если оно где и есть, едва заметное.

— Так вы говорите, — спросил мистер Томпкинс, который едва ли слушал последние замечания д-ра Стритса (и впрямь несколько скучные), — что по ту сторону стенок волосков еще осталось немного личницы с ветчиной? Поскольку я не обедал, то не отказался бы повторить завтрак.

И прежде чем доктор успел удержать его, мистер Томпкинс нырнул с эритроцита и вскоре уже продирался сквозь тонкий слой клеток волоска, отделявший его от внутренней его собственных внутренностей.

— Вернитесь! — в отчаянии вскричал д-р Стритс. — Вас же сожрут ваши собственные пищеварительные ферменты!

— Плохо, очень плохо! — сокрушенно покачал головой д-р Стритс, убедившись в бесплодности своих попыток. — Нужно было рассказать ему о язве желудка, когда человек переваривает свой собственный желудок.

Мистер Томпкинс брел по щиколотку в какой-то жиже, напоминавшей по консистенции и цвету грунтовую дорогу в сельской местности после проливного дождя. Остатки завтрака выглядели неаппетитно, и голод у мистера Томпкинса полностью пропал. Внезапно он увидел перед собой множество очень странных животных, беззаботно плескавшихся в огромной грязной луже. У них были большие круглые тела и короткие, торчком стоящие хвосты. По внешнему виду эти существа чем-то напоминали мистеру Томпкинсу гигантских головастиков.

— Ни за что не поверю! — сказал про себя мистер Томпкинс. — Может быть, у меня в желудке и топко, но лягушки у меня в желудке вряд ли водятся.

— В лягушек они, действительно, не вырастают. Это фаги, — произнес совсем рядом голос, и мистер Томпкинс увидел высокую тощую фигуру человека в кожаных сапогах для верховой езды, расшитой красными и золотыми узорами куртке и в сверкающей черной широкополой шляпе, как у матадора.

— То, что вы приняли за хвосты фагов, — не хвосты, а скорее жала. Этими жалами фаги атакуют бактерии, на которых живут.

— Я герр Макс, знаменитый тренер фагов, — представился незнакомец. — Фаги, как вам, должно быть, известно — это особая разновидность вирусов, живые молекулы, питающиеся бактериями. Та разновидность фагов, которую вы видите перед собой, атакует эшерихию, по-латыни *Escherichia coli* или просто *E. coli*, кишечную палочку, как она еще называется, мирную бактерию, которая



По виду они напоминали гигантских головастика. (Электронная макрофотография бактериофагов выполнена д-ром Р. У. Дж. Вайкоффом из Национального института здравоохранения в Бетезде (штат Мэриленд))

в огромных количествах встречается в кишечнике. Этих фагов я вывел для своих экспериментов по генетике, их штамм называется  $T_1$ . Существуют еще 6 штаммов, у четырех из них имеются хвосты, точнее жала, а два других бесхвостые.

— Мне никогда не приходилось слышать, что у молекул бывают хвосты! — недоверчиво воскликнул мистер Томпкинс.

— А почему бы молекулам не иметь хвосты? — удивился герр Макс. — Если молекулы достаточно велики, а каждая из этих молекул содержит много миллионов атомов, то они вполне могут позволить себе роскошь иметь красивый длинный хвост. Разумеется, пока мы не в состоянии написать точную структурную формулу того химического соединения, которое является фагом, но когда такая

формула будет написана, в ней, несомненно, окажется длинная цепь из атомов углерода, кислорода и водорода, тянущаяся за основным телом молекулы.

— Но откуда вы знаете, что эти существа — молекулы химических соединений? — настаивал мистер Томпкинс. — Ведь по той же причине вы могли бы считать молекулами настоящих головастиков и даже собак!

— А вам случалось когда-нибудь кристаллизовать собак? — улыбнулся герр Макс.

— А что вы понимаете под выражением «кристаллизовать собак»? — робко спросил мистер Томпкинс.

— Я имею в виду, что нельзя вырастить кристалл, в котором собаки (все — одной породы и одного возраста) играли бы такую же роль, какую молекулы воды играют в кристалле льда. А с некоторыми вирусами это удалось проделать, и я ничуть не сомневаюсь, что то же самое удастся проделать и со всеми вирусами, в том числе и с фагами. Например, вирус, поражающий помидоры и известный под названием вируса кустистой карликовости, кристаллизуется в виде больших красивых ромбических додекаэдров — кристаллов с 12 гранями. Такой кристалл вполне можно было бы поставить на полку в минералогическом музее рядом с кристаллами полевого шпата и аметиста, и никто бы не догадался, что перед ним колония живых организмов. И в каком-то смысле наш додекаэдр не является колонией живых организмов, так как внутри кристалла молекула вируса ведет себя, как любая другая молекула. Но стоит нам растворить такой кристалл в ведре воды и полить этой водой делянку с помидорами, как вирусы, оказавшись в цитоплазме клеток растений, начнут быстро размножаться. Собрав больные растения и выделив вирус из листьев, вы сможете получить тележки, груженные уже знакомыми вам красивыми ромбическими додекаэдрами.

Заметив восхищение на лице мистера Томпкинса, герр Макс решил несколько уточнить сказанное.

— Боюсь, — заметил он, — что я не совсем точно информировал вас. Утверждение о том, что вирусы существуют в кристаллической форме, абсолютно истинно, но с точки зрения большинства химиков вирусы нельзя рассматривать как отдельные молекулы. В действительности они состоят из белков одного или нескольких сортов, а также из генов, которые являются молекулами чего-то, называемого нуклеиновой кислотой. Тем не менее, вирус можно рассматривать и как отдельную молекулу, поскольку составляющие его молекулы белка и нуклеиновой кислоты расположены в абсолютно фиксированном порядке друг относительно друга. В противном случае вирусы не могли бы образовывать кристаллы. Поэтому мы можем сказать, что вирус — это супермолекула, состоящая из гигантских молекул подобно тому, как обычная молекула состоит из атомов.

— А вирусы размножаются делением, как клетки? — спросил мистер Томпкинс.

— Нет, размножаться делением вирусы не могут. Вирусы — это молекулы, где каждый атом находится на своем месте, поэтому вирусы не могут расти или размножаться, как обычные живые организмы. Когда вирус попадает в клетку, в которой он может жить (а вирусы очень разборчивы в выборе клетки-хозяина), вирусные гены исподтишка инструктируют клетку, как вырабатывать вирусные белки и вирусные нуклеиновые кислоты вместо клеточных белков и клеточных нуклеиновых кислот. Дело обстоит так же, как если бы правительство некоторого государства было тайно захвачено иностранной державой. А поскольку подданным государства ничего не известно о происшедшем и распоряжения сверху поступают, как прежде, подданные продолжают беспрекословно выполнять их. Различие состоит в том, что хотя по форме распоряжения властей остаются прежними, их содержание радикально изменяется. После тайного захвата правительства все делается в пользу захватчиков. Когда же граждане, наконец, осознают, что произошло, будет слишком поздно.

Кстати сказать, именно поэтому так трудно бороться с вирусами с помощью антибиотиков. У бактерий имеется свой собственный молекулярный механизм для воспроизводства себе подобных, но поскольку этот механизм совсем незначителен, но все же отличается от нашего, нарушить его работу мы можем, не нарушая работу наших собственных клеток. А так как вирусы вырабатываются нашими собственными клетками, остановить производство вирусов, не повреждая наши клетки, очень трудно. Поэтому против вирусов у нас нет таких «чудо-лекарств», какими мы располагаем против бактерий.

Но вернемся к клеткам, инфицированным вирусом: вместо того, чтобы изготовлять свои составляющие, они изготовляют составляющие вирусов. Как только составляющие готовы, они собираются вместе и образуют вирус примерно так же, как образуется кристалл. Поэтому все вирусы с момента своего рождения вполне «взрослые», т. е. полностью сформировавшиеся, и все неотличимы друг от друга.

Разумеется, вирусы не делают своим хозяевам ничего хорошего, тем не менее одни вирусы причиняют больше вреда, чем другие. Когда один из фагов, которые вы, мистер Томпкинс, видите перед собой, проникает в тело *E. coli* и начинает размножаться за ее счет, он целиком пожирает бактерию за какие-нибудь 20 минут. Ее оболочка лопаается, и стадо из нескольких сотен юных фагов вырывается на свободу в полной готовности атаковать другие бактерии. Вот, убедитесь сами.

С этими словами герр Макс подвел мистера Томпкинса к жалким останкам некогда прекрасной бактерии *E. coli*. От бактерии не осталось решительно ничего, кроме пустой оболочки, еще хранившей первоначальную форму, но внутри копошилась масса  $T_1$ -фагов.

— Бр-р-р!... Какое отвратительное зрелище! — заметил мистер Томпкинс, невольно зажимая рукой нос. — Выглядит, как кусок



мяса, который извлекли из морозилки и забыли, когда семья уехала на лето.

— Такова жизнь, — философски заметил герр Макс, отодвигая рукоятку своего длинного хлыста фаги подальше от себя.

— О! — вдруг воскликнул он. — Если я не ошибаюсь, здесь произошла интереснейшая мутация. Теперь я смогу начать новый штамм Т.

И, забыв про мистера Томкинса, герр Макс вступил в шевелящуюся массу фагов и с превеликим вниманием принялся рассматривать фагов одного за другим. Мистер Томкинс отнюдь не горел желанием последовать за герром Максом в останки бактерии, к тому же его слегка мутило, и он счел за благо ретироваться назад, в кровоток. Он даже пожалел, что прервал комфортабельное путешествие на эритроците ради сомнительного удовольствия прогуляться по щиколотку в грязи по своему кишечнику.

Внезапно мистер Томкинс почувствовал резкую боль в ноге и увидел, что ему в лодыжку впилась гигантская пиявка.

«Должно быть, это протеаза или амилаза, — подумал он, отдирая ее другой ногой. — Кажется, по своей собственной вине я попал в затруднительное положение. Не говоря уже о том, что от завтрака не осталось и следа, но мои пищеварительные ферменты просто звереют от голода. Лучше убраться отсюда подобру-поздорову!»

Но было слишком поздно. Ферменты атаковали его со всех сторон, а парочка особенно дерзких липаз уже вцепилась ему в подбородок и повисла.

— Ой! — воскликнул мистер Томкинс... и проснулся. Полная дама, расположившаяся в соседнем кресле, с сочувствием посмотрела на него.

— Сильно болит? — участливо осведомилась она. — У меня тоже сильные боли. Я от них даже вскрикиваю. Доктор, у которого я была на приеме на прошлой неделе, сказал, что если я не примусь всерьез за свое здоровье, то... Впрочем, вдаваться в детали вам совсем ни к чему. А что у вас болит?

— На меня напали вконец изголодавшиеся протеазы, амилазы и липазы, — ответил мистер Томкинс. Только теперь он начал сознавать, что снова находится в приемной большого госпиталя.

— Должна признаться, что мне не приходилось слышать о такой болезни, — сказала тучная дама, — но надеюсь, что доктор вам поможет.

Но мистер Томкинс встал и быстрыми шагами устремился к выходу.

— Какой смысл ждать, пока обыкновенный врач поставит диагноз, — размышлял он на ходу, — если сам великий д-р Стритс заверил меня, что со здоровьем у меня все в порядке, разве что я самую малость заразился гриппом. К тому же мне ни в коем случае нельзя опаздывать в банк.

---

## На пляже, или как работают мышцы

---

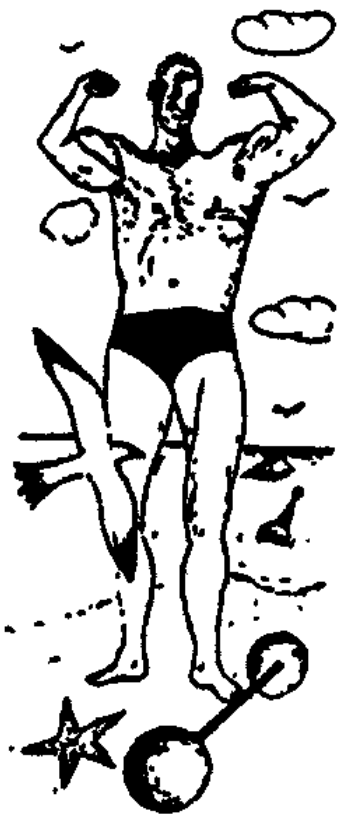
Летом мистеру Томпкинсу предоставили в банке отпуск на несколько недель. Он намеревался остаться дома или отправиться в университетскую библиотеку и по уши зарыться в книги, из которых он сможет почерпнуть немало интересного о том, что такое жизнь. Но Мод решила по-другому: она захотела отправиться куда-нибудь на берег океана, где можно было бы вволю поплавать и часами жариться на песочке под лучами солнца, чтобы приобрести восхитительный загар. Как обычно, ее мнение оказалось решающим, и по совету друга Томпкинсы остановили свой выбор на тихом курортном городке, расположенном на южной оконечности Кейп Код всего лишь в одном часе езды на автомашине от Бостона. Прибыв на место, мистер и миссис Томпкинс нашли, что оно как нельзя лучше подходит им для летнего отдыха. Правда, в городке был только один приличный ресторан, одна аптека и не было ни одного кинотеатра, зато вид на море был прекрасный, песок — мягкий и теплый, а вода нежила и освежала.

В первое же утро после приезда Мод в изящном новом пляжном костюме и мистер Томпкинс (не принадлежавший к числу любителей плаванья) в легких шортах и рубашке с короткими рукавами отправились на пляж. Вдоволь наплававшись, Мод натерлась кремом для загара, растянулась на песке и закрыла лицо соломенной шляпкой с широкими полями, мистер Томпкинс, отдававший предпочтение мягкому креслу перед махровыми полотенцами, расстеленными на песке, лежал на спине, наблюдая за чайками, парившими над ним в синем небе. Он прихватил с собой на пляж последний номер журнала «Scientific American», в котором была заинтересовавшая его статья о мышечном сокращении, и попытался углубиться в чтение, но не тут-то было. Читать лежа на спине было не слишком удобно. К тому же игравшие неподалеку дети несколько раз выбивали большим мячом журнал из рук мистера Томпкинса. Наконец, он отложил журнал и перевернулся на живот, чтобы немного вздремнуть...

Но заснуть так и не удалось. Поворочавшись, мистер Томпкинс встал и отправился бродить вдоль берега, наблюдая за набегавшими

на песок волнами прибоя. На дальнем конце пляжа у самой воды мистер Томпкинс заметил человека с белоснежными волосами, который картинно напрягал мышцы. Лицо у него было старое, с несколько тревожным выражением, но вздувшимся бицепсам мог позавидовать и лучший атлет.

Преодолев свою природную застенчивость, мистер Томпкинс приблизился к незнакомцу и произнес:



Человек с белоснежными волосами напрягал мышцы у самой воды

— Простите меня, сэр, вы случайно не один из тех ученых, которые, как мне говорили, приехали сюда поработать на лето?

— Вы не ошиблись, молодой человек, — отвечивал старый атлет. — Я живу здесь целый год и работаю вместе с моими ассистентами над очень важной проблемой функционирования мышц.

Услышав в голосе своего нового знакомого дружеские нотки, мистер Томпкинс осмелел и решился продолжить разговор.

— А что особенного в функционировании мышц? — спросил он. — Есть люди сильные, есть люди слабые. Все зависит от тренировки.

— Раз вы так считаете, попробуйте подпрыгнуть, — неожиданно предложил седовласый атлет.

Учась в колледже, мистер Томпкинс уделял немало времени занятиям легкой атлетикой, и, немало удивившись странной просьбе, он подпрыгнул чуть более чем на фут<sup>1)</sup>.

— Неплохо, — прокомментировал его новый знакомый. — Вы подпрыгнули примерно на  $\frac{1}{6}$  своего роста. А знаете ли, что лягушка прыгает в высоту на 3 длины своего тела, кузнечики — на 18 длин своего тела, а блохи — почти на 100 длин своего тела?

— Любопытно, — признал мистер Томпкинс. — Ну и что? Сколь значителен этот факт?

— Весьма значителен для понимания того, как работают мышцы. Если высоту прыжков мелких и крупных животных измерять не в длинах их тел, а в футах и дюймах<sup>2)</sup>, то окажется, что все они могут поднять себя от уровня земли примерно на одну и ту же высоту — где-то между 6 дюймами и 2 футами. — Разумеется, бывают некоторые исключения, поскольку строение и длина ног у различных видов различна; слон вообще не может прыгать, а кенгуру прыгает в высоту на несколько футов.

<sup>1)</sup> 1 фут = 0,3047 м. — Прим. перев.

<sup>2)</sup> Дюйм ( $\frac{1}{12}$  фута) составляет 2,54 см. — Прим. перев.

— А в чем причина, профессор? — поинтересовался мистер Томпкинс.

— Прежде всего прошу вас не называть меня профессором. Все здесь, заслуженно или незаслуженно, зовут меня Сентом<sup>3)</sup>.

Но вернемся к мышцам. Факт, о котором идет речь, может быть объяснен с помощью простого закона механики, впервые сформулированного сэром Исааком Ньютоном. Движение ваших конечностей обусловлено сокращением ваших мышц, прикрепленных к костям вашего скелета. Когда вы двигаете ногами во время ходьбы или совершая прыжок, поднимаете руку или двигаете пальцами, например, когда пишете письмо, мышцы сокращаются, и получается требуемое движение. Так как мышцы могут только тянуть, а не толкать, чтобы возвращать кости в исходное положение, нужна другая мышца. Поэтому мышцы обычно встречаются парами с противоположных сторон кости. Например, существуют две мышцы, соединяющие вашу плечевую кость и ваш локоть, они проходят вдоль плечевой кости с противоположных сторон. Одна мышца, известная под названием бицепса, проходит вдоль передней стороны кости. Другая мышца, трицепс (иногда ее называют теннисной мышцей, поскольку она играет важную роль при отбивании мяча в теннисе), проходит вдоль задней стороны кости. Движение скелета вызывается сокращением одной из мышц и расслаблением другой.

— Но почему все живые существа, большие и малые, прыгают примерно на одну и ту же высоту? — продолжал вопрошать мистер Томпкинс.

— Очень простое объяснение этому дает ньютоновская механика, — ответил Сент. — Предположим, что перед вами два живых существа, обладающих сходным строением скелета, пусть одно из них, скажем, блоха, а другое — лягушка. Блоха имеет в длину около  $\frac{1}{10}$  дюйма, а лягушка может достигать в длину примерно 3 дюймов. Иначе говоря, лягушка примерно в 30 раз длиннее, в 30 раз шире и в 30 раз выше блохи. Это означает, что вес лягушки примерно в  $30 \cdot 30 \cdot 30 = 27\,000$  раз превосходит вес блохи. При совершении прыжка мышцы лягушки и блохи сокращаются, выделяя энергию, которая необходима, чтобы поднять их на некоторую высоту над землей. Сколько энергии вырабатывают мышцы лягушки и блохи? Поперечное сечение мышц лягушки в  $30 \cdot 30 = 900$  раз больше поперечного сечения мышц блохи, поэтому если сила тяги, создаваемая сокращением мышц и приходящаяся на единицу поперечного сечения, в обоих случаях одинакова, то сила тяги, создаваемая мышцами лягушки, оказывается в 900 раз больше, чем у блохи. Кроме того,

<sup>3)</sup> Прототипом этого персонажа явно послужил американский биохимик венгерского происхождения, автор фундаментальных работ по мышечному сокращению, лауреат Нобелевской премии 1937 г. Альберт Сент-Дьердьи, с которым Г. А. Гамов был лично знаком; «Сент» (Szent) по-венгерски «святой». — *Прим. перев.*

так как мышцы лягушки в 30 раз длиннее мышц блохи, их сокращение также в 30 раз больше сокращения мышц блохи. Все это позволяет нам заключить, что энергия, получаемая при сокращении мышц лягушки, в  $30 \cdot 900 = 27\,000$  раз больше энергии, получаемой при сокращении мышц блохи. Но, как я вам уже говорил, эта гораздо большая энергия должна поднять в воздух гораздо больший (в 27 000 раз!) вес. По законам ньютоновской механики высота, на которую может быть поднято данное тело над землей, прямо пропорциональна имеющейся энергии и обратно пропорциональна весу тела. Таким образом, отношение высоты прыжка для лягушки и блохи равно  $2700/2700 = 1$ . Это означает, что лягушка и блоха должны прыгать одинаково высоко, если их мышцы вырабатывают одно и то же количество энергии на единицу поперечного сечения мышц за одно сокращение. Поскольку имеющиеся в нашем распоряжении факты указывают на то, что вывод, к которому мы пришли (по крайней мере приближенно), верен, мы с необходимостью заключаем, что мышцы большинства живых существ, будь то блохи, лягушки, кенгуру или люди, обладают одинаковыми свойствами.

То, о чем я вам сейчас рассказал, верно не только для мышц. Как я писал в одной из своих статей: «Четыре десятилетия исследований не оставили у автора сомнений в том, что существует только одна жизнь и только одна живая материя, сколь бы различной ни была ее структура, сколь бы разнообразными ни были ее функции и сколь непохожими — внешние проявления. Все мы лишь листья на кончиках ветвей одного и того же старого древа жизни. Даже если жизнь адаптируется к новым функциям и условиям, она снова и снова использует одни и те же старые принципы. Между травой и тем, кто ее косит, нет принципиального различия. Для движения мышцам косца необходимы те же самые два вещества, которые необходимы траве для роста: калий и фосфорная кислота. Именно эти два вещества мы вносим в почву нашей лужайки в качестве удобрения, иначе нам будет нечего косить, и это может служить яркой демонстрацией единства природы. Таким образом, в принципе безразлично, какой материал мы выберем, стремясь изучить, что такое жизнь, будь то трава или мышца, вирус или головной мозг. Если мы будем копать достаточно глубоко, то непременно достигнем центра — основных принципов, на которых зиждется жизнь и согласно которым она все еще продолжается».

— А что вы имеете в виду, когда говорите «если мы будем копать достаточно глубоко»? Что вы делаете, когда исследуете, как работает мышца?

Сент поколебался секунду-другую, а потом предложил:

— Не хотели бы вы посетить мою лабораторию? Гораздо легче показать вам, как все делается, чем пытаться объяснить, рисуя картинки на песке.

За разговором они не заметили, как дошли до места. Сент сразу же провел мистера Томпкинса в комнату, где всюду, куда ни глянь, стояли лабораторные стаканы, пробирки, колбы и прочая лабораторная утварь.

— Мне кажется, лучше всего начать, — предложил Сент, — с демонстрации простейшего примера, проще не бывает, мышечного сокращения. Прежде всего мы попробуем разобрать мышцу на составляющие, а затем попытаемся собрать из составляющих мышцу. Примерно то же мы делаем, разбирая на части, а затем снова собирая, часы. Проведя такую операцию, вы начинаете понимать, как работает часовой механизм.

— Когда вы говорите о том, что попытаетесь разобрать мышцу на составляющие, вы намереваетесь разобрать ее на части, из которых она состоит? — спросил мистер Томпкинс.

— О нет! Мы разберем мышцу еще более основательно. Мы растворим ее в подходящем солевом растворе, тем самым разобрав ее на молекулы, из которых она состоит, а затем рассортируем молекулы. Проведя это, мы попытаемся затем собрать из молекул мышцу.

— Но ведь это, должно быть, невероятно трудная задача. Неужели вам удалось решить ее?

— Я бы сказал, что нам удалось достичь некоторого понимания сути проблемы. Позвольте, я сейчас вам продемонстрирую. Основу мышцы образуют два белка: миозин и актин. Вы видите перед собой эти два белка, растворенные в соответствующих растворителях. Теперь я их смешаю.

С этими словами Сент отлил немного каждого раствора в лабораторный стакан и набрал смеси в шприц.

— Смотрите, — продолжил Сент. — Я выпущу смесь из шприца в подходящий солевой раствор, и образуется нить.

На глазах мистера Томпкинса в растворе действительно образовалась нить.

— Любопытно, — обронил он, но в его голосе не чувствовалось уверенности.

Сент заметил интонацию и улыбнулся:

— Актин и миозин образовали то, что мы по понятной причине называем актомиозином. Это то вещество, которое сокращается в мышце. Теперь я добавлю каплю некоторого вещества, и нить сократится.

Мистер Томпкинс стал наблюдать за происходящим с большим интересом. Как и предсказал Сент, нить начала сокращаться, длина ее медленно уменьшилась.

— Потрясающее достижение! — воскликнул мистер Томпкинс.

— Рад, что вы так считаете, — с признательностью произнес Сент. — Мои сотрудники и я проработали многие годы, прежде чем нам удалось достичь этого,

— А что вы добавили, чтобы заставить актомиозин сократиться? — спросил мистер Томпкинс.

— Немного АТФ, сокращение, в точности обратное аббревиатуре ФТА — федерации теологов-атеистов. АТФ — универсальный носитель энергии в организме, своего рода биологический бензин. Он используется организмом, когда возникает необходимость в сокращении мышц, проведении нервного импульса, синтезе химических соединений, откачке отходов жизнедеятельности из крови в мочу и т. д. АТФ — универсальный носитель энергии не только в организме человека, но и в организмах всех живых существ, буквально от капусты до королей. Когда АТФ расщепляется в «двигателе» актомиозина, часть энергии, запасенной в АТФ, заставляет актомиозин сокращаться.

— А откуда берется АТФ? — спросил мистер Томпкинс.

— Он образуется при использовании химической энергии, содержащейся в съеденной вами пище, и возвращает эту энергию, когда в этом возникает необходимость, в частности, когда вы намереваетесь совершить движение той или иной частью тела.

— Понимаю. АТФ — что-то вроде паровой машины или бензинового мотора, — заметил мистер Томпкинс. — Оба эти устройства используют химическую энергию сгорающего топлива, а затем превращают ее в механическую энергию.

— В каком-то смысле вы правы, только живые организмы превращают химическую энергию в механическую гораздо более рационально, чем паровые машины. С незапамятных времен люди сжигали топливо, чтобы согреться и приготовить пищу. В этих случаях тепло, выделяющееся при горении, и есть то, что нужно людям. Для выполнения механической работы люди использовали свои собственные мышцы или мышцы одомашненных животных.

Согласно легенде, около двухсот лет назад Джеймсу Уатту, когда он наблюдал за подпрыгивавшей крышкой кипящего чайника, пришла в голову идея, как превратить тепло в движение. В технике началась новая эра. Ныне тепловые двигатели тянут поезда, толкают речные и морские суда, вращают валы генераторов энергии на гидростанциях, тепловых станциях и т. д.

— Но это неверно, — заметил мистер Томпкинс. — Разве я тоже тепловой двигатель? Ведь когда я выполняю физическую работу, я разогреваюсь и, извините, потею.

— Вы правы, — ответил Сент. — Когда питательные вещества из продуктов питания соединяются в ваших мышцах с кислородом, некоторое тепло в мышцах действительно выделяется, но к работе мышц это имеет косвенное отношение. Электрический мотор также нагревается, отчасти из-за трения между деталями, отчасти из-за того, что при прохождении тока через проводники в последних выделяется тепло, но работу производит электрический ток, а не это тепло. Птицы и млекопитающие научились использовать

тепло, выделяющееся в их мышцах, что позволяет им поддерживать постоянную температуру тела, а это полезно во многих отношениях. Например, постоянная температура тела позволяет им сохранять активность зимой, когда другие животные, такие, как змеи и лягушки, впадают в оцепенение. В отличие от птиц и млекопитающих у таких «хладнокровных» существ при изменениях внешней температуры изменяется скорость протекания различных жизненных процессов. Рыба в океане, попав в теплые воды течения Гольфстрим, начинает плыть несколько быстрее. Используя это обстоятельство, один из моих друзей как-то раз сконструировал прибор, который назвал «муравей-термометр». Устроен прибор был очень просто: плоское узкое кольцо, по которому круг за кругом бегал муравей. Чем теплее воздух, тем быстрее бежит муравей. Мой приятель мог измерять температуру, засекая по секундомеру, за какое время муравей пробегает круг. Разумеется, надежным такой инструмент никак не назовешь, это скорее забавная игрушка.

Но вернемся к работе мышц. В 1824 году молодой французский военный инженер Сади Карно показал, что наибольший коэффициент полезного действия тепловых машин, т. е. доля имеющегося запаса тепла, превращаемая в механическую энергию, пропорционален разности температур между наиболее горячей частью машины, назовем ее «паровым котлом», и наиболее холодной ее частью, которую назовем «холодильником», или «стоком». Если паровой двигатель работает между точкой кипения воды и точкой замерзания льда, то максимальный коэффициент полезного действия, которого можно достичь, составляет всего лишь 27%. Так как разность температур внутри человеческого тела вряд ли превосходит 1 градус, то, если бы вы были тепловой машиной, ваш коэффициент полезного действия не мог бы превышать 1%, и чтобы вы могли двинуть пальцем, вам понадобилось бы поглотить примерно в 30 раз больше пищи, чем вы съедаете теперь!

— А почему у тепловых машин такой низкий коэффициент полезного действия? — поинтересовался мистер Томпкинс. — Насколько я слышал, тепло — это движение молекул, образующих материальные тела. Разве энергия движения молекул не та же, что энергия летящей пули?

— Ваш пример с пулей очень удачный, — сказал Сент. — Предположим, что у вас есть пуля, которая преспокойно лежит на столе, внутри нее существует сильнейшее молекулярное движение: частицы с большой кинетической энергией колеблются относительно их равновесного положения. Вы заряжаете ружье этой пулей и производите выстрел. К кинетической энергии теплового движения добавляется кинетическая энергия, полученная от сгорания пороха.

Но хотя обе эти энергии одного сорта, они, так сказать, по-разному организованы. В случае теплового движения молекулы движутся



по всевозможным направлениям, и скорости их изменяются в широких пределах, тогда как дополнительные скорости, сообщенные всем молекулам при сгорании пороха, равны по величине и строго параллельны для всех молекул. В результате пуля летит прямо к цели. А когда пуля, попав в цель, останавливается, скорости движения, первоначально бывшие организованными, становятся неупорядоченными и добавляются к существовавшему еще до выстрела хаотическому тепловому движению. Пуля при этом нагревается.

— Естественно, — прокомментировал мистер Томпкинс. — Но какое отношение это имеет к низкому коэффициенту полезного действия тепловых машин?

— Самое непосредственное, — ответил Сент. — В тепловых машинах вы начинаете с топлива, будь то дрова, уголь или нефть, состоящего из высокоорганизованных молекулярных организаций, запас энергии которых определяется хорошо определенными межатомными силами. Сжигая топливо, вы получаете тепло, которое, как я уже говорил, представляет собой в высшей степени неорганизованное движение горючих веществ, или, так сказать, естественный беспорядок. Достигнув этой стадии, вы пытаетесь превратить неупорядоченное хаотическое движение молекул в упорядоченное движение поршня, рычагов, маховиков и колес. А поскольку неупорядоченное движение гораздо более вероятно, чем упорядоченное, ваша задача отнюдь не из легких, и за ее решение вам приходится платить высокую цену. Тем не менее она вполне выполнима, и часть неупорядоченной системы действительно можно привести в состояние упорядоченного движения, предоставив остальной части системы стать еще более неупорядоченной.

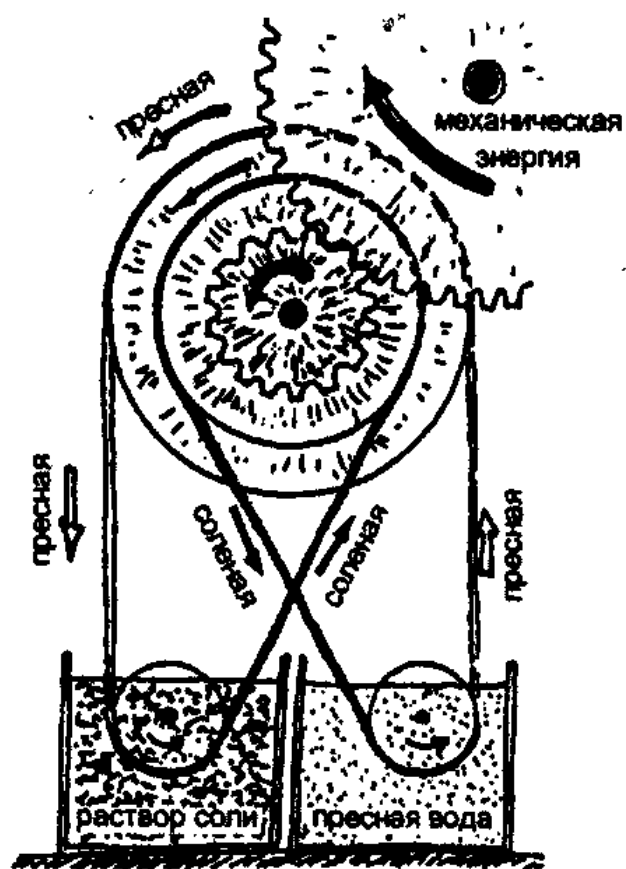
— Я вас понял, — кивнул мистер Томпкинс. — Но почему в таком случае нашим инженерам при проектировании различных машин и механизмов не исключать тепловую стадию?

— Они пытаются сделать это. Но не забывайте, что эволюция живого мира насчитывает несколько миллиардов лет, а инженерная мысль в ее современном виде начала развиваться лишь несколько столетий назад. Ваши мышцы, как, впрочем, и все другие части вашего тела, представляют собой химические или скорее электрохимические устройства и поэтому гораздо более эффективны, чем паровые машины доброго старого Джеймса Уатта. Но у нас уже есть батарейки для карманного фонаря, вырабатывающие электрический ток без сколько-нибудь заметного нагревания, и флуоресцентные лампы, которые не обожгут вам пальцев, если вы к ним прикоснетесь.

— А как насчет получения механической работы без тепла непосредственно из внутренней химической энергии различных соединений? Осуществима ли такая задача на современном техническом уровне? — заинтересовался мистер Томпкинс.

— Да, по крайней мере мы приступили к работе над решением этой проблемы, — сообщил Сент, подводя мистера Томпкинса к столу, на котором стоял какой-то странный механизм.

— Это так называемый механохимический двигатель, разработанный недавно тремя сотрудниками Вейцмановского института науки в Израиле, его действие основано на различии в концентрации некоторой соли, в данном случае бромида лития, в двух лабораторных стаканах А и В, стоящих рядом. Если стаканы соединить, то начнется самопроизвольная диффузия, и соль распределится поровну между обоими сосудами. Хитрость состоит в том, чтобы получить механическую энергию, пока будет происходить выравнивание концентраций. Возьмем нить из белка, который называется коллаген (из него состоит шкура животных). Если такую нить погрузить в солевой раствор, то она сократится, и ее можно использовать для создания тянущего усилия. Поместим



Как получить механическую энергию из двух лабораторных стаканов с водой

теперь нашу нить в чистую воду. У молекул соли появляется обширное пространство, в котором они могут перераспределиться, вода вымывает их с нити, и нить расслабляется. При этом в чистую воду переходит некоторое количество соли. Затем мы переносим нить снова в солевой раствор, она сокращается, снова попадает в воду, где расслабляется и т. д. Иначе говоря, нить работает, как поршень, приводящий в движение колесо. Механизм, который вы видите перед собой, устроен так, что движение колес перемещает нить из солевого раствора в чистую воду и обратно. Разумеется, в конце концов концентрация соли в обоих лабораторных стаканах выравнивается, и двигатель останавливается.

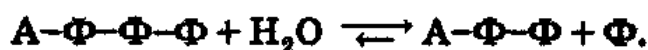
— И мышцы работают так же, как этот механохимический двигатель? — спросил мистер Томпкинс.

— В общих чертах примерно так, — ответил Сент. — Мышцы работают, используя то, что мы называем химическим потенциалом, источником которого служит АТФ. Чтобы объяснить, в чем здесь суть дела, мне придется показать вам, как примерно выглядит молекула АТФ. Входить в атомные детали было бы излишне, достаточно знать,

что она состоит из весьма сложной органической молекулы, называемой аденозином, в которой 3 молекулы фосфорной кислоты прикреплены в следующей последовательности: аденозин — фосфорная кислота — фосфорная кислота — фосфорная кислота. Вместо АТФ, что означает аденозин-трифосфат, мы можем записать А-Ф-Ф-Ф.

— Выглядит несколько сложновато, — заметил мистер Томкинс.

— Если поместить АТФ в воду, — продолжал Сент, — то произойдет, особенно в присутствии определенных ферментов, следующая реакция:



Иначе говоря, один из фосфатов отщепится, и образуется соединение, которое мы называем АДФ, или аденозиндифосфорной кислотой. Некоторое количество АТФ образуется из АДФ и фосфорной кислоты в результате обратной реакции, но длинная верхняя стрелка указывает на то, что АТФ распадается гораздо быстрее, чем образуется, поэтому когда достигается равновесие, АДФ в растворе оказывается гораздо больше, чем АТФ. Поэтому мы говорим, что АТФ обладает способностью спонтанно превращаться в АДФ. Подобно тому, как коллагеновая машина работает, когда смешиваются соль и пресная вода, мышца работает, используя энергию, которая выделяется при переходе АТФ в состояние «АДФ и фосфорная кислота».

— Это достаточно понятно, — сказал мистер Томкинс. — Какая же проблема, связанная с работой мышц, остается нерешенной?

— Проблема, над решением которой мы бьемся, заключается в выяснении того, какого рода машина может извлекать механическую энергию из этой реакции. Как вам известно, соль растворяется в пресной воде, но для того, чтобы построить машину, которая могла бы использовать это обстоятельство, требуется проявить смекалку. Сконструировав машину, которую мы называем мышцей, природа проявила необычайную смекалку.

— Но вы только что продемонстрировали мне, как сокращается актомиозин, — удивился мистер Томкинс. Сент улыбнулся:

— Это только начало. Действительно, если мы добавим АТФ, то актомиозин сократится, хотя и весьма слабо. Но реальная мышца — это нечто гораздо большее, чем комок актомиозина. Гораздо большее потому, что она должна делать гораздо больше. Мышца должна сильно и быстро сокращаться, а затем расслабляться и отдыхать до следующего сокращения. Она должна сокращаться, только если нерв передает ей команду сократиться; мышца должна вырабатывать АТФ, которая снабжает ее энергией. Наконец, не следует забывать о том, что со временем все молекулы, из которых состоит мышца, распадаются и подлежат замене, поэтому мышца должна знать, как синтезировать все белки и другие вещества, образующие ее. Вероятно, чтобы понять, что такое мышца, лучше всего

взглянуть на нее сначала невооруженным глазом, а затем под все большим и большим увеличением, пока мы не дойдем до отдельных молекул.

В вашем теле встречаются мышцы всех размеров. Они не только связаны с костями и могут двигать тело, но и снабжены кровеносными сосудами, по которым к ним подводятся питательные вещества, а отводятся отходы жизнедеятельности. Кроме того, мышцы связаны с нервами, по которым к ним поступает сигнал из мозга, сообщающий мышце, когда ей нужно сократиться. Но каковы бы ни были величина и функция любой мышцы, она, как и любая другая ткань тела, состоит из клеток. Мышечные клетки такие длинные и тонкие, что иногда их называют мышечными волокнами. Вы легко сможете понять, как устроена мышца, если представите себе мышечное волокно как трос, который состоит из более тонких тросов, в свою очередь скрученных из еще более тонких тросов размером с большую молекулу. В этом отношении мышца очень напоминает тросы, на которых держатся подвесные мосты. Вот, взгляните, пожалуйста, сначала в микроскоп с малым увеличением.

— А что это за странные поперечные полоски в мышечном волокне? Что это такое? — спросил мистер Томпкинс.

— В этих полосках — ключ к пониманию того, как работает мышца, — ответил Сент. — Но прежде чем я начну объяснения, взгляните на следующий препарат. Мышечное волокно здесь растрепано, чтобы стали видны следующие по величине меньшие волокна — миофибриллы. Они длинные, а в толщину составляют около 1 микрона.

— Я вижу, что миофибриллы разделены на полоски так же, как и мышечные волокна, — заметил мистер Томпкинс.

— Совершенно верно. Полосатая структура мышечных волокон (мы называем ее стриацией) объясняется тем, что полосы миофибрилл в свою очередь подразделяются на полосы, и эти полосы прилегают вплотную одна к другой, как напоказ, по всему мышечному полотну. Стриация состоит из более широких темных полос, прерываемых более тонкими светлыми полосками. По одной из полосок проходит темная линия, которая называется Z-линией.

— Очень интересно, — проговорил мистер Томпкинс. — И вы утверждаете, что именно в этих полосках хранится тайна мышечного сокращения?

— Если не вся тайна, то по крайней мере значительная часть ее. Чтобы разобраться в том, что такое полосы, нам понадобится увеличение, даваемое электронным микроскопом. Это можно видеть на фотографии крыла шмеля. Если вы пройдете со мной в соседнюю комнату, то я покажу вам, как делаются такие снимки.

Сент открыл ключом дверь и ввел мистера Томпкинса в небольшую темную комнату. Там находилось странное сооружение

размером с письменный стол. Бросаясь в глаза деталь, напоминавшая по внешнему виду телевизионную трубку, и панель управления, загадочно мерцавшая всевозможными шкалами, переключателями и индикаторами.

— Так вот он какой! — воскликнул мистер Томпкинс. — Я неоднократно слышал об электронном микроскопе, но видеть его мне не приходилось. Скажите, пожалуйста, он действительно дает такое сильное увеличение, что позволяет видеть отдельные атомы?

— Нет, — улыбнулся Сент, — не совсем, но он позволяет видеть более крупные белковые молекулы, и это вполне впечатляет. Ведь то, что вы можете видеть с помощью электронного микроскопа, по крайней мере в 100 раз меньше, чем самые мелкие объекты, различимые в обычный оптический микроскоп.

— А почему нельзя сделать оптический микроскоп с таким же увеличением? Потому что трудно шлифовать линзы? — спросил мистер Томпкинс.

— Нет, — ответил Сент, — причина не в нашей технологии, а в природе света. Как вам известно, свет представляет собой электромагнитные волны длиной примерно в один микрон, если речь идет о видимом диапазоне, в несколько микронов — если речь идет об инфракрасной области и в доли микрона — ультрафиолетовой области. Если тело значительно больше длины волны света, который мы используем для его наблюдения, то вы получаете четкое изображение, показывающее его детальную структуру. Но если тело меньше используемой длины волны, то происходит дифракция, и вы получаете лишь расплывчатое пятно диаметром, сравнимым с длиной волны света. Если вы хотите покрасить стену вашего дома, то вы, естественно, возьмете большую кисть. Художники расписывают стены или рисуют большие картины кистями гораздо меньших размеров — размеры их кистей меньше размеров предметов, изображаемых на картине. Но если вы хотите нарисовать миниатюру, например, портрет прекрасной дамы на медальоне диаметром в один дюйм, то вам потребуются необычайно тонкие кисточки, так как один мазок обычной кисти, которой рисуют живописцы, покрывает изрядную часть площади, которой вы ограничены. Биологи пытались пользоваться ультрафиолетовыми микроскопами с кварцевыми линзами, пропускающими ультрафиолет. Глядя в такой микроскоп, вы не видите изображения, но можете сфотографировать его. К сожалению, достигаемое увеличение лишь в 2–3 раза больше, чем у обычного оптического микроскопа, работающего в видимом диапазоне. Существенный шаг вперед был сделан с изобретением электронного микроскопа, и теперь мы можем видеть детальную структуру тел гораздо меньших размеров.

В электронном микроскопе мы используем не световые волны, которые не позволяют различать детали биологических структур с размерами меньше длины волны, а пучки электронов, которые при



Сами миофибриллы образуют полосы. (Электронная микрофотография летательных мышц шмеля выполнена д-ром Д. Э. Филлоттом из Военно-морской биологической лаборатории в Вудз Хоул (штат Массачусетс); фотография д-ра А. Сент-Дьердьи выполнена Георгием Гамовым)

достижимых в микроскопе скоростях все еще ведут себя как частицы, поэтому такая досадная помеха, как дифракция волн, отсутствует. Разумеется, работая с электронными пучками, мы не можем использовать обычные линзы из стекла. Для отклонения и фокусировки электронных пучков разработаны специальные «магнитные линзы». Это особым образом сконструированные магнитные катушки, оказывающие на электронные пучки примерно такое же действие, какое линзы из стекла оказывают на пучки лучей света в обычных оптических микроскопах.

Образец, который требуется рассмотреть в электронный микроскоп, мы помещаем на пути пучка электронов. Одни части образца поглощают больше электронов, чем другие, и поэтому мы получаем изображение, несколько напоминающее то, которое получается, если рассматривать на просвет негативное фотографическое изображение. Электронное изображение можно видеть на флуоресцирующем экране или сфотографировать его.

Чтобы вы могли составить себе представление о деталях, различимых в электронный микроскоп, взгляните на три фотографии, развешанные на стене. Первый снимок был сделан д-ром Фернан-



Электронная микрофотография сетчатой оболочки глаза бабочки

десом-Мораном, создателем Венесуэльского института нейрологии. Когда диктатор Перес Хименес, финансировавший Институт из правительственных фондов, был свергнут в результате государственного переворота, Фернандесу-Морану пришлось спешно бежать за границу. Снимок сделан при сравнительно малом увеличении всего лишь в 5 000 раз и представляет собой изображение поперечного сечения сетчатой оболочки глаза бабочки. Белые участки — поперечные сечения воздухопроводных каналов.

На второй фотографии, полученной Л. У. Лабау и Р. У. Дж. Вайкоффом, вы видите при увеличении в 37 500 раз часть кристалла, образованного частицами мозаичного вируса южной фасоли. Каждая частица имеет в диаметре 250 ангстремов<sup>4)</sup>. Но подлинным шедевром и своего рода рекордом можно считать третий снимок, сделанный моим хорошим знакомым д-ром Роблеем Уильямсом из Калифорнийского университета при увеличении около 500 000 раз. На снимке вы можете различить отдельные волокна дезоксирибонуклеиновой кислоты, образующие хромосомы и являющиеся носителями наследственной информации.

Делать такие снимки очень просто. Все, что вам нужно для этого — раздобыть около 50 000 долларов для покупки микроскопа и научиться с ним обращаться.

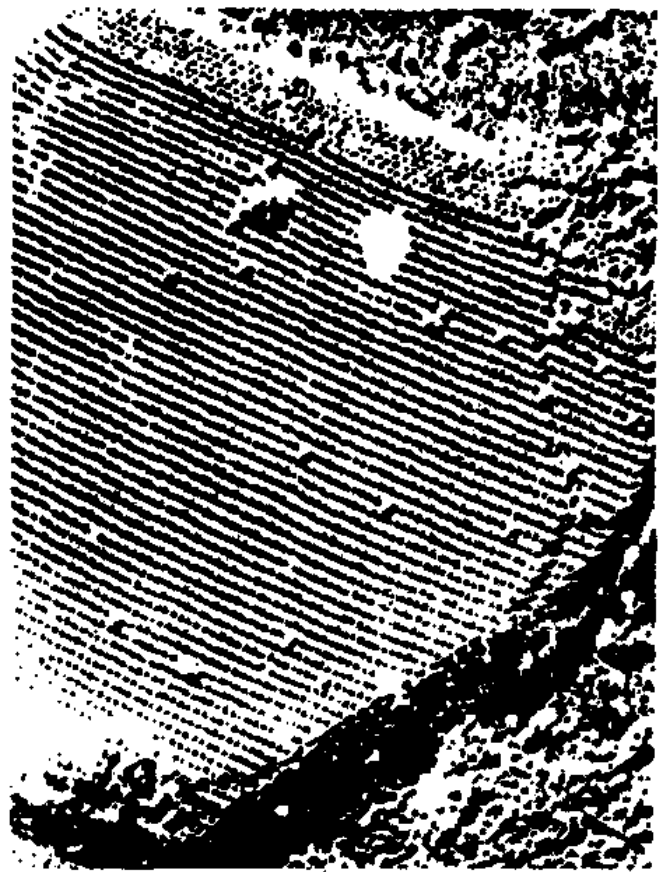
— А мог бы я подставить под электронный микроскоп палец, чтобы посмотреть, как он выглядит при таком сильном увеличении? — полюбопытствовал мистер Томпкинс.

<sup>4)</sup> Один ангстрем (Å) равен 0,00000001 (или  $10^{-8}$ ) см.

— Боюсь, что это не самая удачная идея. Существуют кое-какие детали, с которыми я не успел вас познакомить. Прежде всего полет электронов должен происходить без помех, поэтому вся система должна находиться в вакууме так же, как должна быть откачена до высокого разрежения ваша телевизионная трубка, чтобы электроны не отклонялись от своих траекторий. Не следует забывать и о том, что мы видим все предметы в электронном микроскопе в проходящем электронном «свете». Поэтому толстый образец предварительно следует разрезать на тонкие ломтики на специальной машинке, вроде той, которой продавец в колбасной лавке режет колбасу. Разница состоит лишь в том, что для электронного микроскопа «ломтик» должен быть толщиной всего лишь в несколько атомов. Наконец, последняя трудность состоит в том, что большинство биологических объектов слишком прозрачны для электронов. Чтобы увидеть интересующие нас детали, препарат приходится «окрашивать», например, добавляя соли некоторых тяжелых металлов, таких, как уран. Атомы металлов поглощаются одними частями образца сильнее, чем другими, а поскольку они непрозрачны для электронов, изображение получается более контрастным.

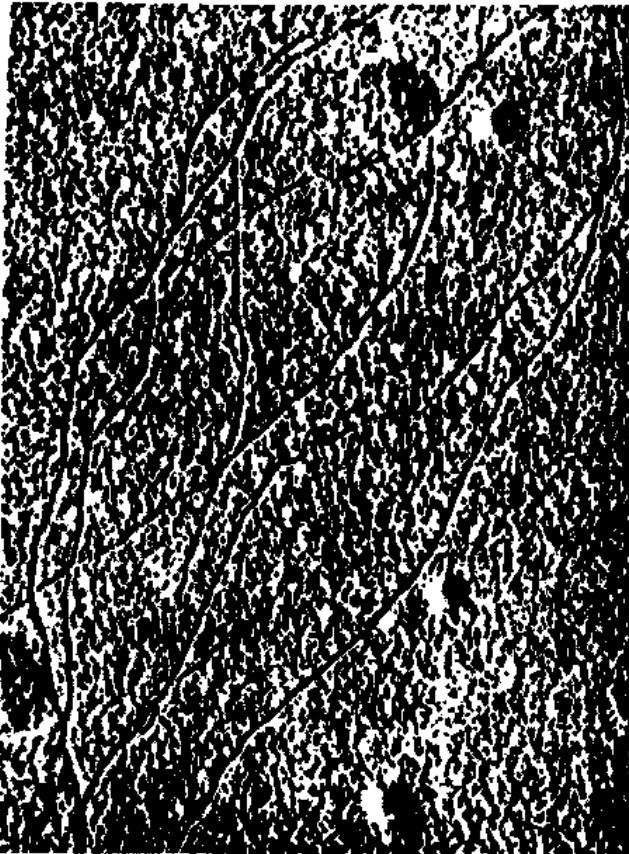
Как видите, рассматривать объект в электронный микроскоп — совсем не то же самое, что изучать его в лупу. И то, что вы видите, требует тщательной интерпретации. Именно поэтому часто бывает лучше всего построить модель, основанную на информации, полученной многими экспертами в данной области.

— Как вы, должно быть, помните, — продолжал Сент, — мышечное волокно сходно с тросом, сплетенным из более тонких тросов — миофибрилл. В электронный микроскоп мы видим, что фибриллы сами состоят из еще более тонких волокон — фибрилл, которые бывают двух «сортов» — потолще и потоньше. Эти толстые и тонкие фибриллы переплетаются, но ни одни, ни другие не проходят по всему волокну. Они как бы «съедают» друг друга, как изящные тонкие пальцы женской руки, вложенные в мужскую руку, сплетаются с ее более толстыми пальцами.



Электронная микрофотография мозаичного вируса фасоли





Электронная микрофотография  
волокон ДНК

— Совершенно верно, — подтвердил Сент. — Вы начинаете понимать, как происходит мышечное сокращение. Как заметил известный английский ученый Эндрю Филлинг Хаксли, ни одна фибрилла не проходит по всей длине волокна, и если бы фибриллы могли скользить одна по другой, то они могли бы уменьшить длину всего волокна и тем самым заставить его сократиться. Они похожи на двух гусениц, ползающих друг по другу в противоположные стороны. Если к хвосту каждой из гусениц прикрепить нить, то гусеницы могли бы заставить нить сокращаться и производить работу. Разумеется, две фибриллы могут произвести небольшое количество работы, но их в мышце очень много. Геркулес, как вы помните, был силачом, не имевшим себе равных, но вся его сила создавалась маленькими фибриллами.

— Но если это так, то почему волокно в вашем приборе из двух лабораторных стаканов сокращалось так слабо?

— Дело в том, что когда вы изготавливаете актомиозиновое волокно искусственно, фибриллы располагаются в нем случайным образом, а большинство из них не согласуются по направлению с ближайшими соседями. В искусственном волокне фибриллы скорее напоминают гусениц, ползающих по всем направлениям, из-за чего усилия одной гусеницы почти полностью компенсируются усилиями

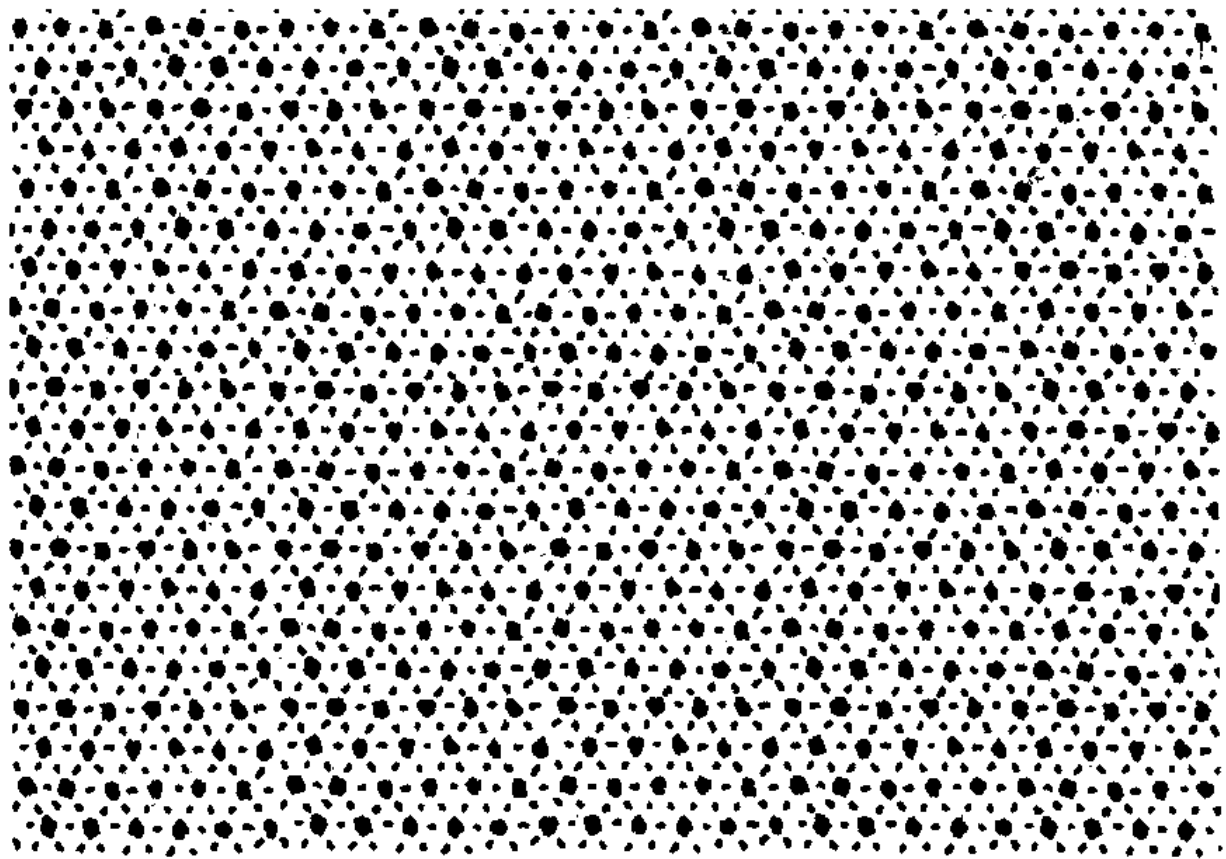
— О, теперь я понимаю, что такое те полосы, которые я видел. Более того, полосы возникают там, где два сорта фибрилл накладываются друг на друга.

— Совершенно верно. Вы, конечно, заметили, что волокна располагаются в строгом порядке; шесть таких волокон всегда окружают одно толстое волокно. В поперечном сечении электронный микроскоп обнаруживает красивый шестиугольный узор.

— А что такое эти фибриллы?

— Более толстые волокна диаметром 160 ангстремов состоят из миозина, а более тонкие, диаметром 50 ангстремов, состоят из актина.

— Как те волокна, которые сокращались в стаканах на лабораторном столе?



Электронная микрофотография поперечного сечения летательной мышцы тли. (С разрешения д-ра Д. С. Смита и журнала «Revue Canadienne de Biologie»)

других. Здесь же, в мышце, каждая фибрилла находится в нужном месте.

— А что заставляет фибриллы выстраиваться в таком строгом порядке?

— Пока мы не можем дать полный ответ на этот вопрос, но ясно, что работа, совершаемая мышцами, имеет какое-то отношение к этому. Мышцы, которые я вам показывал, называются поперечно-полосатыми, они необходимы для выполнения внезапной и тяжелой работы. Но существуют и другие, так называемые «гладкие» мышцы. Гладкие мышцы выстилают стенки таких внутренних органов, как мочевого пузыря и кишечника, и служат для медленных продолжительных сокращений. Глядя на них, вы не обнаружите ни малейших признаков полосатости, или стрии, так как фибриллы, идущие более или менее параллельно одна другой, все же недостаточно упорядочены. Но, как показывает один интересный эксперимент, фибриллы гладкой мышцы можно упорядочить так, чтобы они аккуратно прилегали одна к другой, и тем самым превратить гладкую мышцу в полосатую. Если мочевого пузыря собаки (находящийся «на месте» — в живой собаке) заставить искусственно часто растягиваться и сокращаться, наполняя его жидкостью и опустошая, то первоначально гладкая мышца стенки пузыря начинает обретать полосатость. Домашние хозяйки, которые варят тянучку в домашних

условиях, знакомы с аналогичным явлением по собственному опыту. Если сваренную массу растягивать только в одном направлении, то ее молекулы выстраиваются по направлению растяжения, масса упрочняется, и тянуть ее становится труднее.

— Ваше объяснение мышечного сокращения скольжением фибрилл представляется мне вполне разумным, — заметил мистер Томпкинс. — Но мне кажется, что один весьма важный пункт остается неясным. Скольжение — это очень хорошо, но как фибриллы скользят друг по другу?

— Из своего визита в научно-исследовательскую лабораторию вы должны извлечь урок, — ответил Сент. — Лаборатории для того и существуют, чтобы мы могли получить ответы на многие вопросы о различных вещах, которые мы не понимаем. Ваш вопрос — один из них. По мнению некоторых исследователей, палочки актина и миозина выполняют функцию своего рода храпового механизма. Похоже, что на палочках имеются выступы и бороздки, поэтому когда палочки движутся, они сцепляются друг с другом и не соскальзывают назад. В самый мощный электронный микроскоп можно рассмотреть небольшие шишечки на миозиновых фибриллах, которые могут быть деталями такого храпового механизма. Мы достоверно знаем, что перемещение молекулы актина на один «зубец» сопровождается распадом одной молекулы АТФ и что мышечная фибрилла перемещается на 50–100 зубцов в секунду. Хотя я не убежден в том, что нам действительно удалось понять, что заставляет фибриллы двигаться друг по другу, в одном я уверен: наше невежество продлится недолго, поскольку над этой проблемой работает множество людей.

Мистер Томпкинс был очень горд тем, что ему удалось, так сказать, ступить на передовую границу знания, но тем не менее не оставил своего намерения выкачать из Сента как можно больше информации.

— Вы упомянули о том, — начал он, — что мышцы не только сокращаются, но и делают что-то еще. Не могли бы вы рассказать мне о других функциях мышц?

— С удовольствием, — ответил Сент. — Кое-что нам известно. Речь идет о том, как мышцы вырабатывают и надлежащим образом распределяют АТФ, как они получают сигнал от своего нерва о том, что должны сократиться. Все это делают миниатюрные водопроводные системы. Но разобраться в их устройстве вы сможете после того, как узнаете чуть больше о том, как устроена клетка.

Простейшую возможную клетку вы можете представить себе как некоторую массу цитоплазмы или раствора белков в воде. Но такая модель слишком проста. Если бы клетка была устроена так, то ее содержимое просто растеклось бы, смешавшись с окружающей жидкостью, и клетка умерла бы. Чтобы предотвратить растекание содержимого, клетки покрыты оболочкой — мембраной, состоящей

из белков и жиров. В толщину мембрана достигает всего лишь нескольких молекул, но она почти непроницаема и напоминает резиновый пузырь. Разумеется, кое-что сквозь мембрану все же проходит. Это питательные вещества, вода, газы и т. д. Следовательно, в мембране имеются крохотные дырочки, имеющие такую форму, что одни молекулы через них проходят, а другие задерживаются. Эти дырочки позволяют мембране действовать как молекулярный насос, накачивающий извне внутрь клетки такие вещества, как сахара и аминокислоты и концентрирующий их для последующего использования клеткой.

Мембрана необычайно важна для жизни. Когда клетка умирает, ее смерть среди прочего проявляется в том, что мембрана начинает «протекать» — перестает быть непроницаемой. Вам, несомненно, приходилось замечать, что когда ваша жена кладет свеклу в холодную воду, вода остается чистой, а когда клетки свеклы убиваются кипячением, красный краситель из клеток просачивается наружу, и вода, в которой варится свекла, краснеет.

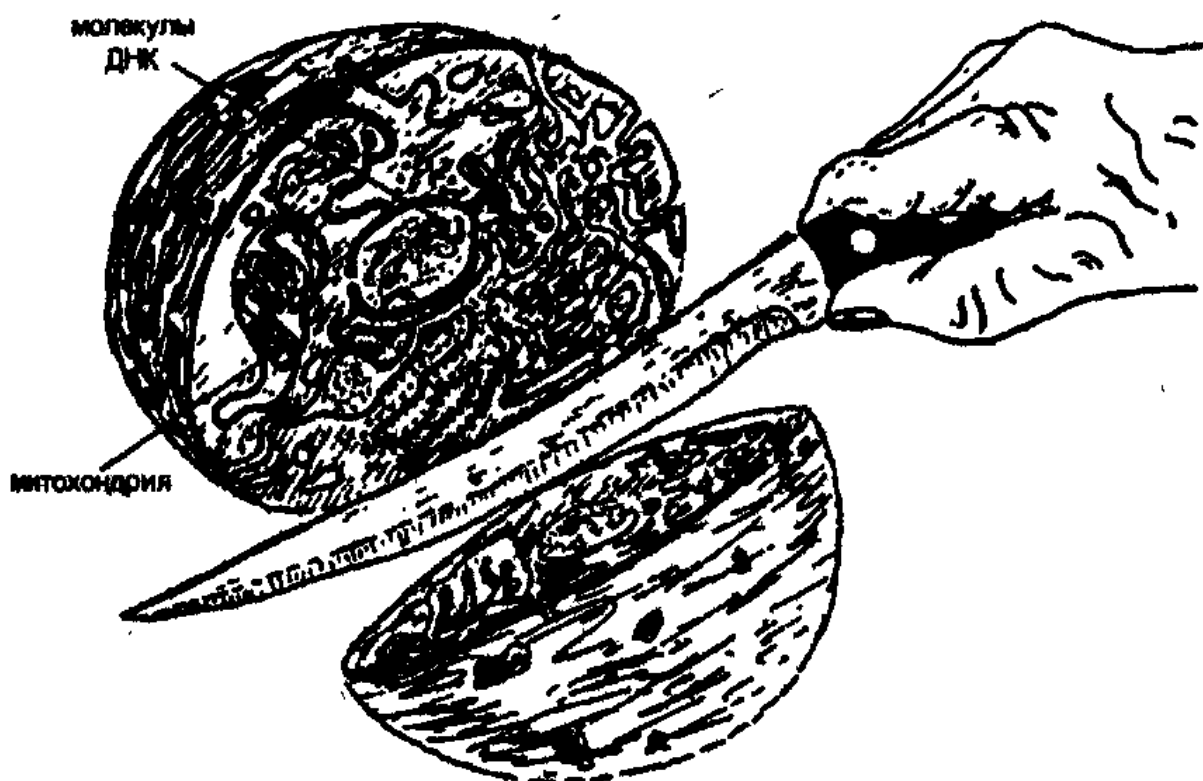
— Забавно, — кивнул мистер Томпкинс. — Теперь, когда вы упомянули об этом, я вспомнил, что видел, как краснеет вода, много раз, но прежде мне не случалось ни разу задуматься над этим.

— Зачастую мы часто не замечаем того, что часто происходит на наших глазах и становится привычным, — заметил Сент, — даже если речь идет о чем-то важном. Проницаемость клеточной мембраны имеет прямое отношение, например, к хирургии. Некоторые из анестезирующих веществ, например эфир, парализуют нервы, позволяющие вам находиться в сознании. Они достигают такого эффекта, растворяя жировую часть клеточной мембраны и тем самым изменяя ее проницаемость.

До самого последнего времени мы думали, что мембрана покрывает только внешнюю поверхность клетки. Теперь нам известно немного больше. В электронный микроскоп удалось разглядеть, что клетка пронизана узенькими ходами, или каналами, которые открываются на поверхности клетки, напоминая ходы в швейцарском сыре или губке. Стенки этих каналов образуют такие же или похожие мембраны, какие служат внешней поверхностью клетки. В некоторых местах каналы раздуваются, образуя мешковидные тела, называемые митохондриями, или расширяются настолько, что окружают хромосомы и образуют ядро клетки. В большинстве клеток каналы непрерывно открываются, замыкаются, разрываются перетяжками и воссоединяются снова. Кратко можно сказать, имея в виду все эти пертурбации, что внешняя поверхность простирается далеко внутрь клетки.

— А для чего вся эта бурная деятельность? — поинтересовался мистер Томпкинс.

— Она преследует несколько целей, — ответил Сент. — В общем можно сказать, что такая развертка мембраны внутрь — своего рода



Клетка пронизана узенькими ходами, или каналами

способ, с помощью которого клетка формирует внутри себя малые тела или органы. Суть дела станет вам понятнее, если я приведу один пример. Между волокнами мышечной клетки располагаются объекты, называемые митохондриями. Это — «электростанции» клетки, но, разумеется, вырабатывают они не электроэнергию, а АТФ, которая и питает энергией клетку. Митохондрии имеются во всех клетках, но в таких клетках, как мышечные, которым приходится выполнять тяжелую работу, их больше.

— Не могу сказать, чтобы митохондрии произвели на меня сильное впечатление, — заметил мистер Томпкинс, — но, разумеется, я верю вам на слово, что они очень важны. А почему они выглядят как мешки?

— Потому, что митохондрии — самые настоящие мешки из мембран того же сорта, которые покрывают наружную поверхность клетки. Митохондрия — двойная мембрана. Она напоминает мяч, вдавленный посредине; внутренняя часть мяча превратилась в ряд складок. Я вскрою для вас одну из этих биологических электростанций, чтобы вы могли увидеть, как она устроена внутри, — сказал Сент.

Мистер Томпкинс с интересом принялся разглядывать внутренность митохондрии. Все внутри было покрыто периодической мозаикой, слабо переливавшейся розовым, желтым и голубым цветом. Зрелище было красивое.

— Мозаика состоит из ферментов, — пояснил Сент. — Часть красных ферментов содержит гем, очень похожий на гем гемоглобина. Желтые ферменты содержат пигмент, который называется



Внутренние стенки митохондрии образуют складки, чтобы дать место другим ферментам, которые синтезируют АТФ

рибофлавином. Кстати сказать, рибофлавин — это не что иное, как витамин В<sub>2</sub>. Голубым отдают атомы меди, также прикрепленные к ферментам.

— А почему мозаичный узор такой правильный? — спросил мистер Томпкинс.

— Чтобы эти ферменты функционировали хорошо, каждый фермент должен быть окружен другими ферментами в строго определенной последовательности. Поэтому ферменты организованы в небольшие группы, которые прикрепляются к внутренним стенкам митохондрии. Эти стенки образуют складки, чтобы дать место другим группам ферментов.

— А что делают ферменты?

— В частности, ферменты занимаются тем, что вырабатывают АТФ. Поэтому мы и называем их электростанциями клетки. Разумеется, ферменты выполняют и другие функции, например, смотря по обстоятельствам, они сжигают или синтезируют жиры. Так что крохотные митохондрии играют в жизни клетки очень важную роль.

Если рассматривать мышечное волокно под электронным микроскопом, то вы увидите идущие от митохондрий узенькие каналы, называемые саркоплазматической сетью. Они подходят и опутывают

миофибриллы. (Название саркоплазматическая сеть, или ретикулум, — гибриды греческого и латыни, означающий «плотская сеть».) Таким образом, митохондрии вырабатывают АТФ, а затем АТФ по «водопроводной системе» поступает к миофибриллам и снабжает их энергией.

— Очень остроумно, — признал мистер Томпкинс. — А как в действительности вырабатывается АТФ?

— Чтобы все стало ясно, нам придется обратиться к такому понятию, как химический потенциал, — ответил Сент. — Не вдаваясь в детали, рассмотрим общую идею. Питательные вещества, поступающие в ваш организм с пищей, например, сахар, представляют собой химические соединения, которые могут быть расщеплены до двуокиси углерода и воды, но если бы столь глубокое расщепление произошло, то вы получили бы только тепло. Поэтому вашему организму необходимо запасти химическую энергию, чтобы затем выработать АТФ, и сахар сначала расщепляется на соединения, спонтанно вступающими в реакцию с фосфорной кислотой. Затем некоторые из атомов водорода и углерода из этих молекул, соединяясь с кислородом, образуют двуокись углерода и воды. Некоторые, но не все. Остальные части молекул, связанные с фосфорной кислотой, хранят некоторую долю энергии атомов, связанных с кислородом. Такие молекулы фосфорной кислоты становятся «высокоэнергетическими» соединениями, и их энергия может быть использована для выработки АТФ с высоким содержанием энергии. Детали этого процесса очень сложны, и в результате различных процедур «вторичной переработки» в конце концов все атомы углерода и водорода оказываются пущенными в дело и использованными для образования АТФ. В этой связи нельзя не вспомнить еще об одной функции водопроводной системы в вашей саркоплазматической сети. Именно она позволяет вам оплачивать долг.

Мистер Томпкинс не был уверен в том, что правильно понял последнюю фразу, но слова Сента сразу же пробудили в нем профессиональный интерес — ведь он был банковским служащим!

— Долг? Какой долг? — переспросил он.

— Вам, несомненно, случалось бежать изо всех сил, или на длинную дистанцию, пока вы не начинали задыхаться и жадно глотать воздух. Даже после остановки вам не сразу удавалось успокоить дыхание, во время бега вы создаете кислородный дефицит — долг, который вам непременно нужно оплатить после снятия интенсивной нагрузки. И ваша саркоплазматическая сеть занимается улаживанием вашего долга.

Дело в том, что во время бега ваши митохондрии сжигают сахар так быстро, как только возможно, чтобы вырабатывать АТФ для ваших мышц. Но для этого митохондриям необходим кислород, а то количество кислорода, которое доставляет кровь даже при усиленной работе сердца, недостаточно для выработки всей АТФ, необходимой

вашим мышцам. И саркоплазматическая сеть обеспечивает временный выход из положения, как я уже говорил вам, в ней имеются ферменты, позволяющие без использования кислорода частично расщеплять сахар до стадии молочной кислоты. Это дает лишь  $\frac{1}{18}$  того количества АТФ, которое можно было бы получить при полном расщеплении сахара, но зато таких ферментов в саркоплазматической системе много, поэтому и сахара они расщепляют изрядное количество, а это в свою очередь означает, что и АТФ образуется немало. Таким образом, вы получаете возможность непродолжительное время бежать быстрее и дальше, чем позволяет то количество кислорода, которое могут обеспечить ваше сердце и кровь. Избыток молочной кислоты выводится из саркоплазматической сети в кровоток, но, разумеется, продолжаться долго так не может. Когда вы останавливаетесь, митохондрии поглощают молочную кислоту и обычным образом, с использованием кислорода, сжигают ее, расщепляя до двуокиси углерода и воды. Поэтому вы какое-то время тяжело дышите, оплачивая образовавшуюся задолженность по кислороду, а затем ваше дыхание успокаивается и вы начинаете дышать, как обычно. Для банковского клерка такой приспособительный механизм не имеет особого значения, но если бы вам пришлось жить в джунглях, то способность организма «влезать в долги» по кислороду могла бы при определенных условиях оказаться жизненно важной.

— А о какой еще водопроводной системе вы упоминали? — спросил мистер Томпкинс.

— Эта система имеет отношение к проблеме, как заставить все фибриллы при получении нервного импульса сокращаться одновременно.

— Я всегда думал, что нерв представляет собой нечто вроде телеграфного провода, по которому из мозга поступают сигналы, говорящие телу, что ему делать, — заметил мистер Томпкинс.

— Если говорить о сигналах, то они действительно поступают из мозга по нервам, и в этом вы совершенно правы. Однако нервные волокна проводят сигнал совсем не так, как телеграфный провод. Последний получает подводимую к нему энергию на одном конце и доставляет то, что остается от этой энергии, к другому концу; нерв проводит только сигнал, но не энергию.

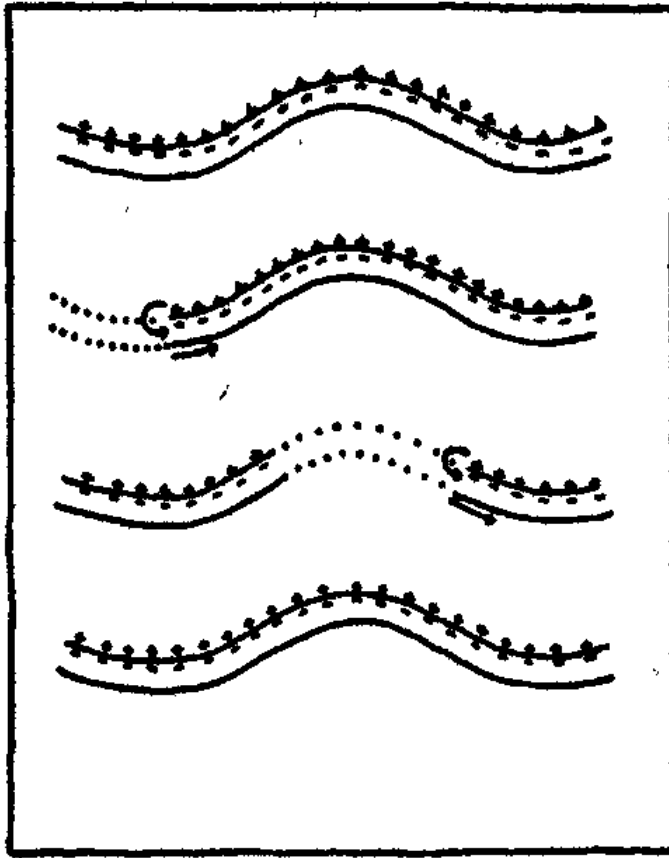
— Каким образом?

— Наглядно нерв можно представить в виде запального шнура, используемого в саперном деле. Вы поджигаете такой шнур с одного конца, и пламя распространяется по нему, так как химическая энергия запасена в шнуре независимо от свойств первоначального сигнала, — пояснил Сент.

— Но запальный шнур годен для однократного использования. После того, как по нему проходит один-единственный импульс, он раз и навсегда выходит из строя.



— Правильно. Продолжая аналогию, можно сказать, что импульс пожирает запальный шнур, тогда как нерв после прохождения импульса восстанавливается и готов к проведению следующего импульса. В действительности происходит следующее.



Деполаризация распространяется по нервному волокну, как пламя по запальному шнуру

Поверхность нервной клетки покрыта тонкой мембраной, состоящей из белка и жира. И в этой оболочке имеются молекулярные насосы. Как они работают, доподлинно не известно, но мы знаем, что они перекачивают ионы натрия изнутри клетки наружу. В результате внутренность нерва приобретает отрицательный электрический заряд относительно наружной среды. Наглядно нервное волокно можно представлять как длинный цилиндрический конденсатор с отрицательным зарядом на внутренней обкладке и положительным — на наружной. Если нервное волокно раздражать с одного конца, то оно становится проницаемым для натрия, положительные и отрицательные за-

ряды сходятся, и электрическая поляризация на этом участке пропадает. Это вызывает аналогичный разряд на соседнем участке нервного волокна, от него — на следующем и т. д. В результате деполаризация распространяется по нервному волокну из конца в конец, как пламя по запальному шнуру, это и есть нервный импульс. Но как только нервный импульс проходит, нервная клетка восстанавливает сопротивление своей мембраны, которая, используя энергию АТФ, перекачивает изнутри клетки наружу ионы натрия, создавая, как прежде, разность потенциалов, и нерв обретает способность к проведению следующего импульса. Таким образом, нервный импульс хотя и является в определенном смысле электрическим импульсом, но сильно отличается от электрических импульсов, распространяющихся по медным телеграфным проводам.

— Но нервный импульс делает то же, что и электрический. Сигнал есть сигнал, — продолжал настаивать мистер Томпкинс.

— Да, но между нервным волокном и медным проводом есть еще одно различие. Медный провод передает сигнал, амплитуда, или ве-

личина, которого зависит от разности потенциалов на концах провода, нервное волокно действует иначе. Если возбуждение слишком слабо, то никакой сигнал по волокну не проходит, так как сопротивление мембраны не преодолено. Но стоит раздражению слегка превысить некоторый порог, как происходит разрядка «конденсатора», и по волокну передается максимальный сигнал. При дальнейшем усилении возбуждения амплитуда сигнала не увеличивается. Нервное волокно действует, как заряженный пистолет. Если вы нажали на курок недостаточно сильно, то выстрела вообще не будет. Если вы нажали на курок достаточно сильно, то произойдет выстрел. Но от того, что вы станете нажимать на курок сильнее, пуля быстрее не полетит.

Существует и еще одно различие, после каждого импульса нервное волокно должно восстановить сопротивление своей мембраны, поэтому в течение примерно  $\frac{1}{1000}$  секунды оно утрачивает способность проводить нервные импульсы. Максимальная скорость передачи импульсов по нервному волокну составляет около 1 000 импульсов в секунду.

В результате всего этого нерв в действительности передает информацию с помощью частотной модуляции, или ЧМ. Иначе говоря, существенны не величина, или амплитуда, нервных импульсов, а число импульсов, передаваемых в секунду. Амплитуда всегда одна и та же. Если нерв передает мышце сигнал сократиться сильнее, то сигналы к мышце поступают чаще, а не с большей амплитудой.

— Мне почему-то кажется, — сказал мистер Томпкинс, — что нервные волокна сплетаются на концах, образуя более длинные нервные «провода».

— Сплетение концов достигается химическим путем, — пояснил Сент. — На конце нервного волокна имеются крохотные химические заводы, которые выделяют некоторое вещество, когда импульс достигает их. Это вещество стимулирует следующее нервное волокно и т. д. Соединение двух нервных волокон называется синапсом. Аналогичные соединения существуют между нервами и мышцами, а также между нервами и другими органами. Эти соединения играют очень важную роль, и южноамериканские индейцы исследовали их давным-давно.

— Вы действительно считаете, что индейцы проводили научные исследования? — удивился мистер Томпкинс.

— В каком-то смысле да. Индейцев интересовала практическая проблема, как парализовать мышцы животных, на которых они охотились, и индейцы открыли вещество растительного происхождения, известное под названием кураре. Если наконечник стрелы намазать кураре, то такая стрела, попав в добычу, парализует ее, а зачастую жертва погибает, так как мышцы, участвующие в процессе дыхания, перестают функционировать. Исследования кураре оказались очень ценными для нас, так как позволили понять, как нерв стимулирует

мышцу. Интересно, что в действительности кураре не лишает мышцу способности сокращаться. В этом нетрудно убедиться, раздражая кураризированную мышцу слабым электрическим током. Кураре не мешает нервному импульсу распространяться по нервному волокну, а нервному окончанию — выделять вещество, стимулирующее мышцу. Оно, так сказать, оглушает ту часть мышечной клетки, которая чувствительна к стимулирующему химическому веществу. Иногда кураре используют в медицинских целях, когда возникает необходимость временно лишить ту или иную мышцу способности двигаться.

— Если нерв выделяет вещество, стимулирующее работу мышцы, — спросил мистер Томпкинс, — то что заставляет мышцу перестать сокращаться? Может быть, существует какое-то другое вещество, действующее, как тормоз, и говорящее мышце «стоп»?

— Нет, — отозвался Сент, — существует фермент, который разрушает стимулирующее вещество менее чем за  $\frac{1}{1000}$  долю секунды, а потом все готово повториться с начала. Этот эффект также имеет «практическое» приложение, но на этот раз открытие совершили не южноамериканские индейцы, я имею в виду так называемые нервно-паралитические отравляющие вещества, разработанные для использования в химической войне. Они предотвращают действие фермента, о котором я только что упомянул. Все нервные окончания переполняются стимулирующим веществом, и жертва погибает в судорогах. Как вы видите, применение науки на благо человечества поистине неисчерпаемо.

Мистер Томпкинс услышал в голосе Сента саркастические нотки и решил переменить тему разговора.

— Как быстро распространяется нервный импульс? — поинтересовался он.

— Скорость нервного импульса варьируется в широких пределах, — последовал ответ Сента, — и зависит главным образом от толщины нервного волокна и от того, покрыто ли оно жировой оболочкой (вещество, из которого состоит оболочка, мы называем миелином). В самых толстых нервных волокнах, покрытых миелиновой оболочкой, скорость распространения нервного импульса достигает почти 90 м/с, но в некоторых таких волокнах может составлять всего лишь около 0,5 м/с, или, в целых числах, — от 16 до 320 км/ч. Это весьма невысокие скорости, и иногда из-за них для организма могут возникать кое-какие проблемы. В некоторых случаях очень важно, чтобы все части мышцы сокращались одновременно. Загляните, пожалуйста, вон в те большие аквариумы. Там у дна вы увидите весьма интересных животных. Они называются кальмарами. Это настоящие изобретатели реактивного двигателя. Тело кальмаров окружено мышечной оболочкой, называемой мантией. Когда мантия сокращается, поток воды выбрасывается в одну сторону, а кальмар получает толчок и начинает двигаться в противоположную сторону. Ясно, что все

части мантии должны сокращаться по возможности одновременно, поэтому сигнал на сокращение поступает из одной точки — мозга кальмара. Нервный импульс, стимулирующий мышцы мантии, должен распространяться быстро, и поэтому у кальмара очень толстые нервные волокна, ведущие от мозга к мантии. У таких нервных волокон очень большой диаметр, и изучать их гораздо легче, чем обычные нервные волокна. Поэтому в нашей лаборатории так много кальмаров — их очень любят мои коллеги-нейрофизиологи.

Но это возвращает нас к нашему вопросу: как заставить сокращаться не только всю мышцу целиком, но и все фибриллы отдельной мышцы одновременно? Если бы импульсы достигали различных точек мышцы не одновременно, то ничего путного из этого бы не вышло, так как одни фибриллы заканчивали бы сокращения, другие только начинали бы сокращаться, а третьи расслаблялись после сокращения. Во всяком случае такая схема заведомо не подходит для мышцы, которая должна действовать быстро.

Теперь мы знаем, что замечательным свойством проводить электрический импульс через мембрану обладает не только нервная клетка. Это свойство присуще всем клеткам, но нервные клетки проводят электрический импульс по мембране лучше и быстрее. Поэтому когда поступает нервный импульс, он порождает на поверхности мышечной клетки электрическую волну, которая распространяется в точности так же, как по поверхности нервной клетки. Но теперь сигнал должен достичь миофибрилл и передать им команду сократиться. Это делается с помощью другой водопроводной системы, которая называется поперечной. Поверхность мышечной клетки неровная, и выступы и зазубрины образуют тончайшие трубочки, идущие от поверхности клетки к Z-линиям миофибрилл. Мышечная клетка вся пронизана такими каналами помимо каналов саркоплазматической сети. Распространяясь по поверхности мышечной клетки, сигнал попадает в каналы поперечной системы и достигает темной линии, которая называется Z-линией. Только дойдя до Z-линии, сигнал может вызвать сокращение миофибрилл. Замечу кстати, что Z-линия состоит из белка, который называется тропомиозином и играет роль нити, связывающей пучок мышечных волокон.

— Вы говорите, что сигнал вызывает сокращение миофибрилл. А что при этом происходит?

— Точный ответ на этот вопрос нам пока неизвестен. Наиболее вероятная догадка заключается в том, что когда электрический импульс достигает Z-линии, кальций вокруг миофибрилл высвобождается и запускает расщепление АТФ подобно тому, как искра от свечи зажигает бензин в цилиндре двигателя. Волокна скользят друг по другу, и мышца сокращается. В другой водопроводной системе, о которой мы уже упоминали (напомню, что она называется саркоплазматической сетью), содержится вещество, которое называется расслабляющим фактором и обладает сильным средством

к кальцию. Оно быстро впитывает кальций, волокна соскальзывают в исходное положение, и мышца расслабляется. По крайней мере, так считают некоторые физиологи.

К этому моменту мистер Томпкинс почувствовал, что как любитель он получил более чем достаточно информации. Кроме того, ему было неловко так долго занимать время Сента, и он опасался, как бы Мод, проснувшись, не хватилась бы его и не стала беспокоиться.

— Премного благодарен вам за вашу любезность, — пробормотал он, пожимая руку Сенту.

— Nagyön ögvendek megismerni!<sup>5)</sup> — ответил Сент на незнакомом мистеру Томпкинсу языке. Мистер Томпкинс подумал: «Интересно было бы знать, на каком языке говорят в раю?»

Выйдя из лаборатории, мистер Томпкинс едва не столкнулся с высоким плотного сложения человеком со светлыми волосами.

— Мистер Томпкинс, если я не ошибаюсь? — осведомился тот, протягивая руку. — Очень рад встрече с вами. Ведь я как-никак ваш создатель, или, точнее говоря, автор книг, в которых вы впервые предстали перед публикой. Мои друзья зовут меня Антоновичем<sup>6)</sup>, а поскольку вы в некотором роде являетесь моим потомком, я хотел бы, чтобы и вы называли меня так же.

Мистер Томпкинс просиял:

— С превеликим удовольствием! Рад видеть вас. У меня только что состоялся интереснейший разговор с Сентом. Замечательный человек!

— Совершенно с вами согласен, — отозвался Антонович. — О нем рассказывают бесчисленные истории. Здесь он работал над физиологией мышечного сокращения, а вскоре после Первой мировой войны в своей родной Венгрии он открыл витамин С и за это открытие был удостоен Нобелевской премии. Когда ему впервые удалось выделить витамин С из столь распространенного в Венгрии сладкого перца — паприки, Сент не знал химической формулы нового вещества, но понимал, что оно является одним из сахаров. О своем открытии он сообщил в британском научном журнале «Nature» и назвал это сказочное вещество игнозой — «игн» — от латинского «игнорацио», незнание, а «оза» — стандартное окончание всех принятых в химии названий сахаров. В те времена редакторам журнала «Nature» были очень серьезные люди, но, к сожалению, без единой молекулы юмора в коре головного мозга. Они попросили Сента выбрать более подходящее название, и он предложил назвать витамин С «годнозой» (от английского God — Бог), нужно ли говорить, что и этот вариант был отвергнут.

<sup>5)</sup> Очень рад познакомиться (венг.). — Прим. перев.

<sup>6)</sup> Мистер Томпкинс повстречался с Георгием Антоновичем Гамовым. — Прим. перев.

В молодости Сент отправился как-то сдавать многотрудный письменный экзамен на звание врача в одном бельгийском университете. Членам экзаменационной комиссии, как это часто бывает, было лень придумывать и тщательно формулировать вопросы.

— Назовите 20 болезней, — гласил один из экзаменационных вопросов.

— Лучше знать, как излечивать одну болезнь, чем разбираться в названиях двадцати хворей, — гласил ответ кандидата на звание врача. Остальные ответы были не лучше, и Сент провалился на экзамене. Вернувшись в Будапешт, он сдал аналогичный экзамен с отличием. В 1937 году, когда Сенту была присуждена Нобелевская премия по медицине, бельгийский университет по понятным причинам почувствовал некоторую неловкость за то, что отверг столь блистательного кандидата. Выход из неловкого положения был найден поистине дипломатический: университет присудил Сенту степень своего почетного доктора — Doctor Honoris Causa. Но довольно об этом. Я как раз собирался позавтракать. Тут неподалеку есть превосходный ресторанчик «У самого берега», расположенный рядом с рыбным портом. Там великолепно готовят рыбные блюда. Не хотите присоединиться ко мне?

— С превеликим удовольствием, — без колебаний согласился мистер Томпкинс.

— Расскажите мне, что вы узнали о мышцах от Сента, — попросил Антонович, когда они расположились за столиком с видом на порт и гавань.

— О, он показал мне множество прекрасных фотографий мышечных волокон, сделанных с помощью электронного микроскопа. Мышцы похожи на пучок толстых и тонких нитей, которые Сент называл миозиновыми и актиновыми волокнами. Они располагаются в удивительно правильной последовательности и могут скользить друг по другу в противоположных направлениях. Если актиновые волокна соскальзывают в пустые промежутки между миозиновыми волокнами, то мышца сокращается, если же актиновые волокна выскальзывают из промежутков, то мышца растягивается. Сент рассказал мне, что актиновые волокна ползают между миозиновыми волокнами и, наоборот, миозиновые волокна ползают между актиновыми, как гусеницы, друг по другу в противоположных направлениях.

— Должен признаться, — заметил Антонович, — что аналогия с гусеницами мне не очень нравится. Гусеницы ползают, передвигая многочисленными ножками, которые приводятся в движение крохотными мышцами гусениц. Как действуют эти крохотные мышцы? Чтобы быть логичным, следовало бы сказать, что эти микромышцы состоят из еще меньших микрогусениц, у которых в свою очередь имеются микроножки и микромикромышцы. И т. д., и т. п. до бесконечности.

— А что вы предлагаете вместо гусениц?

— Межмолекулярные силы. Вы, конечно, знаете, что если тоненькую стеклянную трубку, капилляр, погрузить одним концом в сосуд с водой, то вода в капилляре поднимется над уровнем воды в сосуде, как бы бросая вызов силе земного тяготения. Но если тот же капилляр опустить одним концом в сосуд с ртутью, то уровень ртути в капилляре будет ниже уровня ртути в сосуде. Мы говорим, что вода смачивает стекло, а ртуть не смачивает. С молекулярной точки зрения это явление зависит от сил сцепления между молекулами жидкости и сил сцепления между молекулами стенки капилляра и молекулами жидкости. Молекулы воды притягиваются к молекулам стекла сильнее, чем друг к другу, и стремятся расширить площадь соприкосновения со стеклом. Поэтому столбик воды в стеклянной трубке поднимается до тех пор, пока его все возрастающий вес не остановит дальнейший подъем. Когда соприкасаются ртуть и стекло, ситуация противоположна: атомы ртути предпочитают компанию себе подобных обществу молекул стекла. И хотя, когда речь заходит о капиллярных силах, обычно имеют в виду соприкосновение жидкостей и твердых тел, как в случае с водой, ртутью и стеклом, поверхностные силы существуют и в том случае, если соприкасаются твердые тела. Силы в основном такого же характера возникают и в случае, когда соприкасаются различные желеобразные среды, из которых состоят клетки живых существ. Аналогия с гусеницами, как и все прочие аналогии, хороша лишь до определенной степени, но истинного понимания действия мышц следует искать на уровне взаимодействий между атомами или молекулами.

— Но разве вам не кажется, что межмолекулярные и межатомные силы слишком слабы, чтобы ими можно было объяснить действие мышц? — спросил мистер Томпкинс.

— Вы ошибаетесь, эти силы весьма и весьма велики, — возразил Антонович. — Например, поверхностное растяжение, действующее на поверхности раздела вода-эфир, составляет 10,7 дин на сантиметр, на поверхности раздела вода-бензол — 35 дин на сантиметр и на поверхности раздела вода-четырёххлористый углерод — 48 дин на сантиметр.

— А что такое дина? — поинтересовался мистер Томпкинс.

— Дина — это единица силы в метрической системе. Сила в 1 дину изменяет скорость тела с массой 1 г на 1 см/с за секунду.

— Не очень-то она велика, — заметил мистер Томпкинс.

— Что верно, то верно. Но вы, должно быть, слышали от Сента, что миозиновые и актиновые волокна очень тонкие и имеют в поперечнике, соответственно, 160 и 50 ангстремов. Ангстрем, как вы помните, — это 1/100 000 000 сантиметра. Если средний диаметр волокон принять равным 100 ангстремам, то полная длина извилистой границы между актиновыми и миозиновыми волокнами, приходящаяся на 1 квадратный сантиметр, составит около полутора тысяч

километров. Поэтому даже если мы предположим, что поверхностное натяжение на границе между миозином и актином составляет всего лишь одну дину на сантиметр, то один квадратный сантиметр поперечного сечения мышцы сможет поднять груз весом более центнера.

— Поистине геркулесово усилие! — воскликнул мистер Томпкинс.

Тут как раз подали устриц.

— Разве не странно, что у устриц такие большие уши? — заметил Антонович. — Есть даже такой стишок:

Домик устрица свой строит,  
Вряд ли шум ее устроит.  
Устрица мрачнее тучи:  
Тишина была бы лучше.

«Какое пекло!» — подумал мистер Томпкинс, и, действительно, стало очень жарко.

Официантка подала омара, и Антонович продолжил свои объяснения.

— Ракообразные, — заявил он, — имеют много общего с нами, только скелеты у них снаружи, а не внутри. Для небольших существ это дает некоторые механические преимущества. Видите ли... — Но тут стало невыносимо жарко. Ресторан, официантки, лодки в гавани покрылись туманом и куда-то исчезли. Мистеру Томпкинсу не удержимо захотелось спать, но к своему удивлению он... проснулся!

— Хорошо спалось, Сирил? — услышал он смеющийся голос Мод. — Ты проспал на самом солнцепеке часа два.

— Я не спал, я беседовал с Сентом, — попытался было оправдаться мистер Томпкинс.

— Чушь! — фыркнула Мод. — Ты спал сладко, как младенец. Возьми мой крем от загара. Ты весь сгорел.

И мистер Томпкинс охотно последовал ее совету.



---

## Сердце не с той стороны

---

Телеграмма пришла утром и была очень краткой. Она гласила: «Лечу трансатлантическим рейсом тчк Буду дома к обеду тчк Уилфред». Подобно многим математикам, Уилфред, единственный ребенок мистера Томпкинса и Мод, был очень рассеян и забыл сообщить номер рейса или время прибытия. Дома он не был более года, работая над докторской диссертацией в каком-то большом европейском университете.

Телеграмма была приятным сюрпризом. Уилфред никогда не был любителем писать письма. Они приходили от него не часто, были короткими и неинформативными.

— Чудесно! — воскликнула Мод. — Теперь мы, наконец, узнаем, как ему там жилось. На ужин я зажарю для Уилфреда бифштекс с кровью, как он любит.

Мистер и миссис Томпкинс позвонили в международный аэропорт, находившийся примерно в часе езды от их дома, и узнали, что в тот день ожидалось прибытие с интервалом примерно в час двух самолетов, совершавших трансатлантические рейсы. Мод решила, что она отправится в аэропорт и встретит первый рейс, а если Уилфреда среди прибывших не окажется, останется в аэропорту и подождет прибытия второго самолета. Мистер Томпкинс решил остаться дома и попытался вникнуть в новую полупопулярную книгу о белках, которую он недавно купил. Мистер Томпкинс уже не первый день упорно сражался с описанием L- и D-аминокислот и хотел дочитать книгу. Когда Мод уехала, мистер Томпкинс взял книгу, но текст был сложным и не очень интересным, поэтому довольно скоро мистер Томпкинс растянулся в своем удобном кресле и закрыл глаза. Он не слышал, как открылась входная дверь, и проснулся, только когда знакомый голос произнес:

— Привет, папа! Ты все спишь?

Мистер Томпкинс открыл глаза и увидел прямо перед собой своего сына.

— Добро пожаловать! — улыбнулся он. — А где мама? Она поехала в аэропорт встретить тебя.

— Жаль! Она, по-видимому, встречает не тот рейс, а я не знал, что меня встретят, и сел в автобус. Надеюсь, она скоро вернется.

— Ох, уж эти мне женщины! — вздохнул мистер Томпкинс. — Вечно они все путают. Садись и рассказывай, как твои дела.

Он внимательно посмотрел на сына и поразился, как сильно тот изменился за какой-нибудь год с небольшим. Перед ним стоял не атлетически сложенный молодой человек, готовый от полноты жизни разразиться смехом по малейшему поводу, а изможденный юноша с ввалившимися щеками и печальным взглядом.

— Ты болен? — с тревогой спросил мистер Томпкинс.

— С точки зрения медицины я вполне здоров, но последнее время чувствую себя скверно.

— Тогда дело поправимо, — приободрился мистер Томпкинс. — Ты, должно быть, перезанимался, да и кормили тебя в аспирантском общежитии скорее всего неважно. Ну да ничего! Мама зажарит для тебя сегодня вечером великолепный бифштекс. Ты и сам не заметишь, как мы с мамой тебя вылечим.

— Но я не ем теперь бифштексы и мясо вообще, — печально произнес Уилфред. — Я живу на масле и водке.

— А что случилось? Почему врачи не могут помочь тебе, если у тебя какие-то неприятности с желудком или пищеварением?

— Нет, врачи тут бессильны, и если смогут помочь, то не скоро. Единственный человек, кто мог бы мне помочь, это индеец-проводник с верховьев Амазонки, но, к сожалению, он умер.

— Что-то я не могу взять в толк, — признался мистер Томпкинс. — Какую медицинскую помощь ты можешь рассчитывать получить от индейца-проводника, если только он не колдун? Из медицинских книг, которые я читал, известно, что колдовство может быть действенным средством лечения только психосоматических заболеваний.

— Лучше всего нам начать с самого начала, — предложил Уилфред. — Вскоре после прибытия в университет я встретил милую красивую девушку, что называется не от мира сего. Звали ее Вера Сапожникова. Мне кажется, что в одном из писем я упоминал ее имя. Она была дочерью очень богатого человека русского происхождения Ивана Титовича Сапожникова, владельца многочисленных обувных фабрик и сети магазинов, через которые он продавал свои изделия. Вскоре я пришел к заключению, которое ничто не могло бы поколебать, что Верочка — единственная девушка в мире, словно созданная для меня, а она исполнилась такими же чувствами ко мне. Мы стали поговаривать о том, что поженимся после защиты моей диссертации, какой у нас будет дом, мебель и о наших будущих детях. Верочка очень любила детей и надеялась, что у нас будет много наследников. Но тут возникла трудность. Хотя мистер Сапожников не имел ничего против того, чтобы я водил Верочку на танцы или на концерты, он решительно возражал против нашего брака. Ему хотелось, чтобы его будущий зять имел

склонность к бизнесу и мог в будущем унаследовать его предприятия. Математик, целиком поглощенный проблемами топологии и не проявлявший ни малейшего интереса к новинкам производства обуви, антимонопольным законам, валовому доходу, продаже в рассрочку, амортизации и тому подобным вещам, его явно не устраивал. Но откуда топологу разбираться в столь сложных материях?

— А что такое топология? — любопытно спросил мистер Томпкинс. Природная любознательность мистера Томпкинса явно брала верх над беспокойством по поводу неурядиц сына.

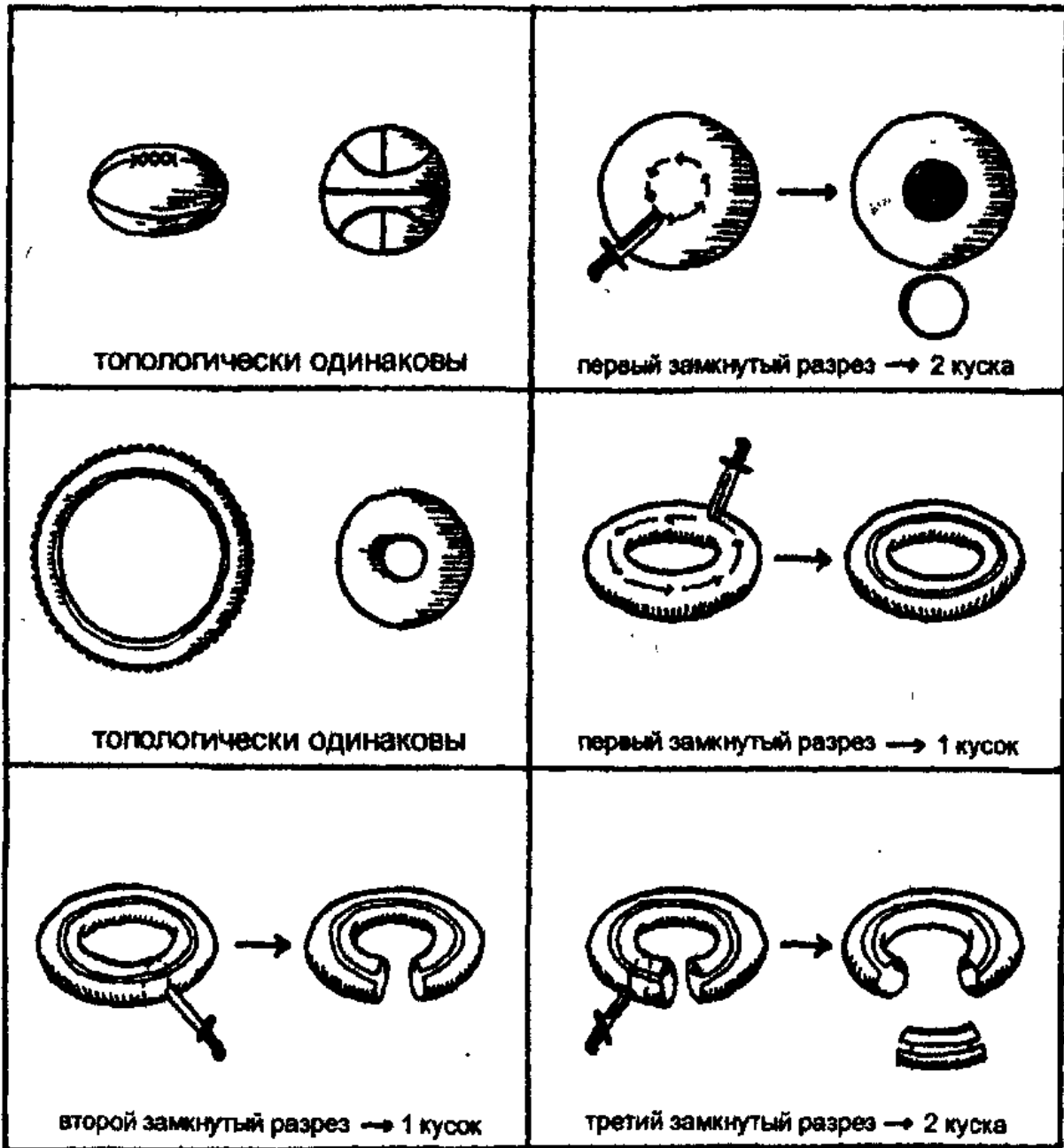
— Топологией называется раздел математики, — начал Уилфред, несколько задетый тем, что его отец больше интересуется абстрактными математическими проблемами, чем сердечными делами единственного сына. — Занимается топология изучением таких свойств тел в пространствах любого числа измерений, которые инвариантны, или неизменны относительно любых деформаций, производимых без разрезания тел или склеивания каких-нибудь его точек.

— Сын мой, не мог бы ты говорить вразумительнее? — спросил мистер Томпкинс. — Последнее время я интересовался многими проблемами естественных наук, а также математики, по поводу которой Бертран Рассел в одной из своих книг заметил, что математика — не наука, а искусство. Не мог бы ты привести несколько примеров топологических задач?

— Хорошо, — согласился Уилфред. Он и сам понял, что заговорил на языке, не очень понятном для неспециалиста. — Предположим, что ты сравниваешь два мяча — один для европейского, а другой — для американского футбола. Европейский мяч имеет идеальную сферическую форму. Предполагается, что по нему бьют ногой. Американский мяч имеет форму вытянутого эллипсоида. Предполагается, что игроки держат его в руках и бросают рукой за исключением тех случаев, когда правила разрешают бить по нему ногой. Деформируя мяч, т. е. растягивая или сжимая его кожаную поверхность, ты можешь превратить эллипсоидальный американский футбольный мяч в идеально сферический европейский. В топологии такие деформации, т. е. всевозможные растяжения или сжатия, считаются допустимыми. Не разрешается резать мяч ножом.

Возьмем другой пример: велосипедную шину и бублик. У шины в середине огромная дыра, у бублика дырка намного меньше. Но опять-таки с помощью растяжений и сжатий ты можешь превратить велосипедную шину в точное подобие бублика или, наоборот, бублик — в подобие шины. Но как бы ни хотел, тебе не удастся, растягивая и сжимая, превратить футбольный мяч в велосипедную шину или бублик.

Между футбольным мячом и велосипедной шиной существует еще одно важное различие. Если воткнуть нож в поверхность фут-



большого мяча, американского или европейского, и провести разрез вдоль любой замкнутой несамопересекающейся линии, то мяч распадется на две отдельные части. Но если взять велосипедную шину, то разделить ее на две части одним замкнутым разрезом уже не удастся. Более того, шина может не распасться на две части и после того, как ты проведешь второй разрез. И только после третьего разреза шина неизбежно распадется на две части.

Простейшее из того, о чем нам говорит топология, среди некоторых других вещей состоит в предсказании того, на сколько частей распадется данная поверхность, если провести данное число разрезов.

— Детские игрушки! — возмущенно фыркнул мистер Томпкинс. — Почему так важно знать, на сколько частей распадется поверхность?

— Ты же сам процитировал Рассела, — возразил Уилфред, — утверждавшего, что математика — не наука, а искусство. Не мог бы ты сказать мне, почему так важно искусство?

— Проще простого! — воскликнул мистер Томкинс. — Искусство доставляет удовольствие людям, которые любят картины, читают стихи или слушают музыку.

— Ты прав! — горько заметил Уилфред — но получает или не получает человек удовольствие, зависит от того, как он воспринимает красоту искусства. Я знаю нескольких людей, например, Вериного отца, который не даст и гроша за искусство, будь то живопись, поэзия или музыка!

И, исчерпав доводы, Уилфред обессиленно откинулся на спинку кресла.

Отцовский инстинкт все же взял свое, и мистер Томкинс почувствовал, что своими вопросами увел разговор в сторону.

— Прости, пожалуйста, мой мальчик, — сказал он, — но расскажи мне лучше о Вере. Как прошла ваша последняя встреча перед твоим возвращением домой?

— Я не видел ее с тех самых пор, как расстроилась наша помолвка.

— Ваша помолвка расстроилась! — воскликнул пораженный мистер Томкинс. — Но почему?!

— Потому, — печально ответил Уилфред, — что я с головой ушел в математические проблемы и не подумал об их возможных биологических последствиях. Как ты знаешь, я занимался топологией, в частности, листом Мебиуса, интереснейшим объектом, изобретенным лет сто назад шведским математиком Мебиусом.

— А что такое лист Мебиуса и как он мог привести к разрыву помолвки между двумя любящими друг друга молодыми людьми? — спросил вконец озадаченный отец.

— Дай мне, пожалуйста, листок бумаги, карандаш, ножницы и капельку клея, — попросил Уилфред.

Пораженный странной просьбой, мистер Томкинс принес все, о чем просил сын. Взяв листок бумаги, Уилфред отрезал от него полоску шириной около 6 сантиметров и, повернув один из концов на полоборота, склеил концы. Получилось кольцо.

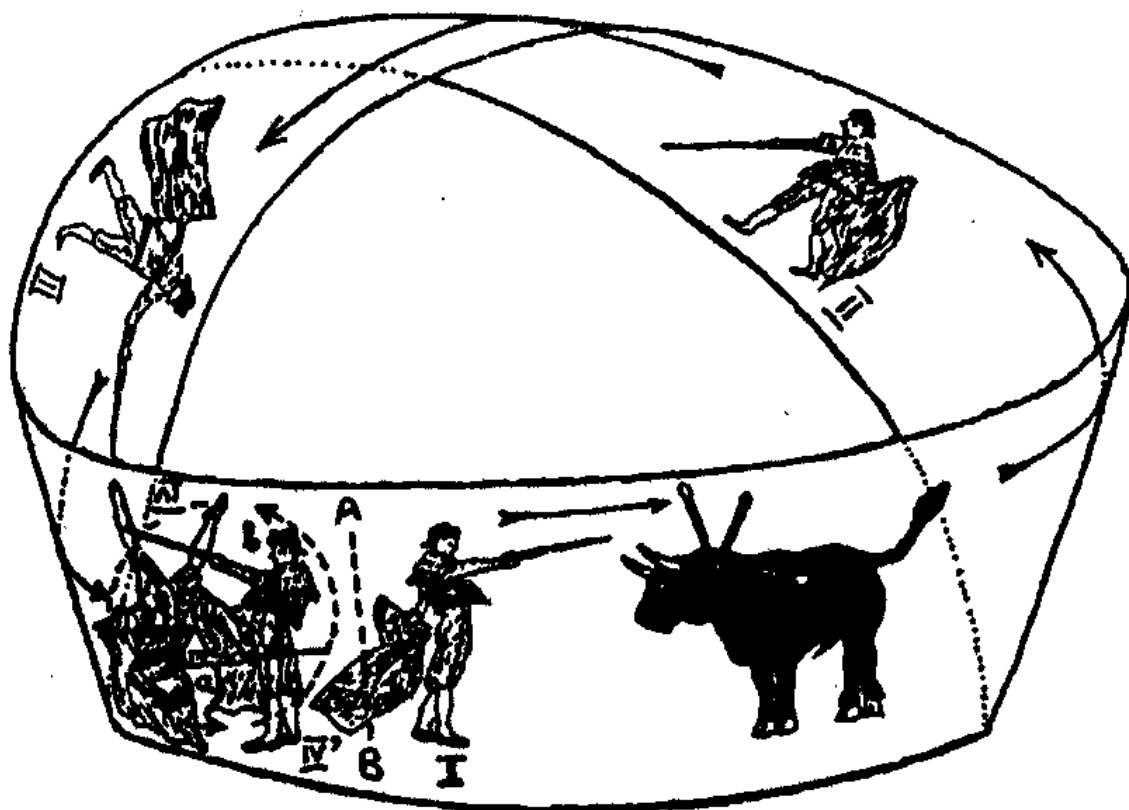
— Это и есть лист Мебиуса, — пояснил он. — В отличие от других колец, имеющих две стороны, внутреннюю и внешнюю, у листа Мебиуса есть только одна поверхность. Его невозможно выкрасить в белый цвет изнутри и в черный снаружи или посеребрить изнутри и позолотить снаружи, поскольку у него только одна сторона. И если начать красить лист Мебиуса с какой-нибудь точки, безразлично где она будет расположена, на «внутренней» или на «внешней» стороне, то, вернувшись в исходную точку, ты обнаружишь, что выкрашено в один и тот же цвет все кольцо целиком.

— Я еще могу понять, — упрямо возразил мистер Томпкинс, — что обручальные кольца играют важную роль в браке, но, признаться, не постигаю, каким образом кольцо, которое ты называешь листом Мебиуса, могло разорвать твою помолвку с Верой и довести тебя до того состояния, в котором ты сейчас находишься.

— Как ты уже знаешь, отец Веры возражал против нашего брака потому, что я не мог быть ничем полезным в том деле, которым он занимался, — обувной промышленности. Однажды бессонной ночью мне пришло в голову, что изготовление обуви на правую и левую ногу требует двух типов станков. А нельзя ли, подумал я, изготавливать всю обувь, скажем, на левую ногу, а затем половину обуви с помощью какого-нибудь топологического трюка превращать в обувь на правую ногу? Если бы такое было возможно, то себестоимость продукции можно было бы уменьшить.

— А какое отношение к этому имеет лист Мебиуса? — с интересом спросил мистер Томпкинс.

— Дело в том, — пояснил Уилфред, — что при обходе листа Мебиуса объекты, как говорят ныне физики, меняют «четность». Я продемонстрирую тебе это на том листе Мебиуса, который только что склеил для тебя.



С этими словами Уилфред достал свою авторучку и нарисовал на листе Мебиуса матадора с красным плащом в одной руке и острой шпагой в другой, стоящим лицом к быку.

— Как тебе, должно быть, известно, — начал Уилфред, — поверхность по Евклиду не имеет толщины, поэтому то, что нарисовано

с одной стороны поверхности, прекрасно видно и с другой. Может быть, в этой случае вместо обычного листа бумаги лучше взять прозрачный целлофан. На моем рисунке матадор находится по отношению к быку в правильном положении и имеет хороший шанс нанести быку решающий удар своей шпагой. Но представь себе что матадор обходит быка, обегает лист Мебиуса и возвращается на арену. Вернувшись в исходную точку, он снова окажется лицом к быку, но при этом будет стоять на голове. Разумеется, сражаться с быком в таком положении, мягко говоря, не очень сподручно. Поскольку матадор не может выйти из двумерной поверхности, в которой он находится, ему не остается ничего другого, кроме как повернуться на 180 градусов в поверхности. Но, встав с головы на ноги, матадор окажется стоящим спиной к быку. В таком положении сражаться с быком тоже не очень сподручно.

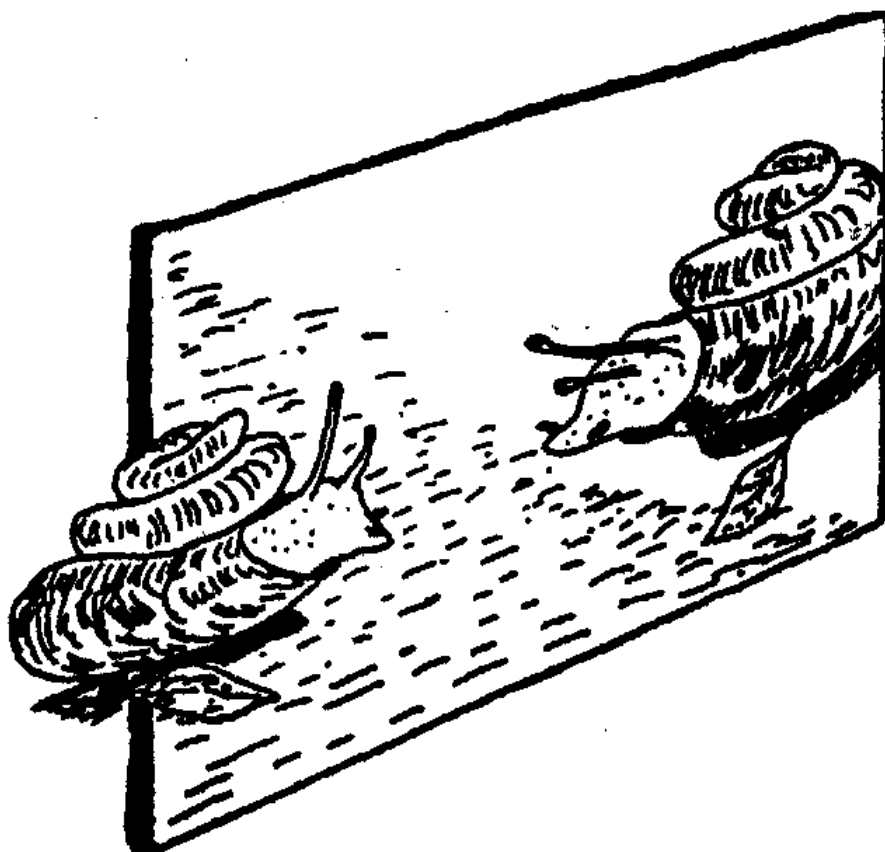
Таким образом, матадору настоятельно не рекомендуется обегать лист Мебиуса!

Мистер Томпкинс не на шутку забеспокоился: его мальчик, который прежде был таким разумным и так ясно мыслил, теперь нес несусветную чушь.

— Какое отношение имеет все это к разрыву твоей помолвки с Верой? — удивился мистер Томпкинс.

— Самое непосредственное, — печально ответил Уилфред. — Как ты, должно быть, заметил, матадор, совершив обход листа Мебиуса, превратился в свое зеркальное отражение. В ту бессонную ночь мне пришло в голову, что в трехмерном пространстве также может существовать трехмерный аналог листа Мебиуса, столь хорошо известного в теории двумерных поверхностей. Согласно знаменитому немецкому математику Бернгарду Риману, жившему около ста лет назад, трехмерное пространство может быть искривлено, как и обычная двумерная поверхность. Риманова геометрия лежит в основе общей теории относительности Эйнштейна. А поскольку в геометрии двумерных поверхностей существует лист Мебиуса, модель которого я склеил для тебя из бумаги, то почему бы в трехмерном пространстве не существовать его трехмерному аналогу — этакой воронке Мебиуса? При обходе воронки различные тела превращались бы из своих правосторонних модификаций в левосторонние. И тут я вспомнил, что прочитал где-то об одной экспедиции биологов в верховья Амазонки. Участники экспедиции обнаружили две разновидности улиток с зеркально симметричными раковинами. А что если в тех местах, подумал я, ось воронки Мебиуса пересекается с поверхностью Земли? Если моя догадка верна, то обе разновидности улиток первоначально ничем не отличались, но впоследствии часть улиток, мигрируя, совершила обход вокруг оси воронки Мебиуса и превратилась в свое зеркальное отражение.

Если бы моя догадка оказалось правильной, то перчатки на левую руку можно было бы превращать в перчатки на правую руку,



Две улитки выглядят, как зеркальное отражение друг друга

а автомашины английского образца с правосторонним расположением руля — в автомашины с левосторонним расположением руля, более привычным для остальных стран Европы и Америки, просто совершая обход вокруг оси воронки Мебиуса.

На следующее утро я отправился в управление компании мистера Сапожникова и, прождав часа два в приемной, наконец, был допущен в его роскошный кабинет. На огромном письменном столе размером со стол для игры в пинг-понг не было ничего, кроме батареи из шести телефонов.

— Сигару? — предложил мистер Сапожников. — Настоящая гавана, с Кастро или без Кастро? Что вы имеете мне сообщить?

— Сэр, — начал я, слегка запинаясь от волнения, — как вам хорошо известно, у каждого мужчины и у каждой женщины имеется по две ноги, одна правая и одна левая.

— Ну и что? — изумленный столь неожиданным заявлением, спросил мистер Сапожников.

— Не кажется ли вам, сэр, что необходимость изготавливать на одних станках обувь только на правую ногу, а на других станках — только на левую ногу удорожает обувное производство? — спросил я. — Не проще было бы, разумеется, если бы представилась такая возможность, шить обувь только на правую или только на левую ногу?

— И все люди прыгали бы на одной ножке? Как вы себе это представляете? — саркастически проворчал мистер Сапожников,



окончательно убеждаясь в том, что кандидат на руку его дочери, т. е. я, законченный идиот.

— Прыгать на одной ножке не обязательно, — заверил я. — В последнее время мне довелось поработать над проблемами перекручивания Мебиуса — преобразования трехмерного пространства, аналогичного перекручиванию на полоборота двумерной ленты. Трехмерное пространство имеет много общего с поверхностями, только вместо двух координат необходимо использовать три координаты  $x$ ,  $y$  и  $z$ . Я не хочу отнимать у вас время, сэр, и пытаться объяснить вам на пальцах то, что вы, не обладая должной математической подготовкой, все равно не поймете. Скажу лишь, что согласно основным законам математики трехмерная воронка Мебиуса, обход которой превращает винты с правой нарезкой в винты с левой нарезкой, вполне может существовать в околоземном пространстве. Более того, по имеющимся у меня данным такая воронка Мебиуса, возможно, обнаружена в верховьях Амазонки.

— О! — только и воскликнул мистер Сапожников. Несмотря на сугубо деловой склад ума, он обладал живым воображением. — Если я правильно вас понял, то, если обувь на левую ногу обнести вокруг воронки Мебиуса, то она превратится в обувь на правую ногу?

— Именно так! — подтвердил я его догадку. — Я прихватил с собой двумерную модель, чтобы наглядно продемонстрировать вам, о чем идет речь.

Мне было известно, что мистер Сапожников, как и Хемингуэй, был большим любителем корриды, поэтому я принес с собой модель листа Мебиуса, на котором нарисовал матадора и быка, точную копию того листа Мебиуса, который я склеил для тебя, папа. Поняв суть проблемы, с которой столкнулся матадор, — сражаться ли с быком стоя на голове или спиной к быку, старый бизнесмен пришел в неопишуемый восторг.

— О-хо-хо-хо! — расхохотался он. — Как говорят у нас в России, это называется попасть между Сциллой и Харибдой! Не могли бы вы оставить эту модель мне на память? Она бы очень украсила мой письменный стол.

— С удовольствием, — согласился я, не решаясь возразить мистеру Сапожникову, что древнегреческий миф о Сцилле и Харибде известен не только в России, но и в других странах.

Внезапно посерьезнев, мистер Сапожников сказал:

— Прекрасно, мой будущий зять, прекрасно! Ваши планы просто великолепны. Претворяйте их в жизнь! Я беру на себя финансирование вашей экспедиции на край света<sup>1)</sup>. Если ваша теория окажется верной, мы устроим для вас и Верочки пышную свадьбу с морем шам-

<sup>1)</sup> Русский эквивалент Шангри Ла (название затерянной в горах Тибета местности в романе Джеймса Хилтона «Потерянный горизонт», в переносном смысле — земной рай. — *Прим. перев.*)

панского и, конечно, цыганским хором! Если вам удастся доказать правильность вашей догадки, то я сделаю вас младшим партнером в моей фирме.

Вне себя от счастья я вышел из управления и провел чудеснейший вечер с Верочкой, которая в тот вечер была, еще более прекрасной, чем всегда.

Вскоре я самолетом отправился в Бразилию. Верочка вместе с отцом приехали в аэропорт, чтобы проводить меня. На прощанье мистер Сапожников вручил мне коробку, битком набитую всевозможной обувью на правую ногу: кроссовка, теннисная туфля, женская туфля на шпильке и даже детский шлепанец. Мистер Сапожников привез с собой в аэропорт и вручил мне контракт о моем будущем младшем партнерстве в его фирме, который он намеревался подписать после успешного исхода моей экспедиции. Взрели реактивные двигатели, и я отправился завоевывать ручку Верочки.

Прибыв в устье Амазонки с коробкой обуви, я нанял дюжину местных индейцев, намереваясь без промедления отправиться в верховья великой реки на поиски воронки Мебиуса, каждому из участников экспедиции я выдал только по одной туфле на правую ногу, которую он или она должны были носить. Левая нога у всех оставалась босой. Немного поупражнявшись, они привыкли к столь необычной экипировке, и только женщина-повар, которой досталась туфля на острой шпильке, жаловалась на неудобство.

Проводником нашей экспедиции в верховья Амазонки стал старый бразилец по имени Ситусианос<sup>2)</sup>. Именно ему принадлежала честь открытия двух разновидностей улиток с зеркально симметричными раковинами. К тому же он был единственным человеком во всей Бразилии, который знал все тропы в той Богом забытой части страны, куда направлялась моя экспедиция.

Небольшой катер доставил нас и запасы провизии на место, указанное Ситусианосом. Мы высадились на берег, заручившись обещанием капитана зайти за нами через неделю. Без промедления экспедиция вступила в насыщенные испарениями джунгли. Сгибаясь под тяжестью запасов провизии, носильщики ступали, прихрамывая на обутую ногу. И только я в тяжелых сапогах и наш старый проводник, решительно отказавшийся от всякой обуви, чувствовали себя сравнительно комфортно. Не стану понапрасну тратить твое время и описывать все тяготы и невзгоды нашего опасного путешествия: жара, влажность, москиты, змеи, еще более сильная жара, еще больше москитов и змей... Женщина-повар сняла свою туфлю на шпильке и заявила, что понесет ее в руках. Я не стал возражать, считая, что это не меняет суть дела. Многие из мужчин последовали ее примеру, и я не стал упорствовать, предупредив их, чтобы они не потеряли

<sup>2)</sup> Автор намекает на устаревшее название топологии — анализ ситус, т. е. анализ положения. — *Прим. перев.*

драгоценную обувь. Через неделю мы возвратились в исходную точку на берегу Амазонки и, разбив лагерь, принялись ждать катер. Когда все немного отдохнули, я приказал надеть обувь. Оглядев столпившихся вокруг меня членов экспедиции, я обнаружил, что все они по-прежнему обуты на правую ногу! Эффект Мебиуса не сработал. Экспедиция завершилась полным провалом. Мои расчеты оказались ошибочными, я понял, что Верочка никогда не станет моей женой и был готов на какой-то момент от отчаяния сделать из брючного ремня лист Мебиуса и повеситься на ближайшем суку. Преисполненный отвращения к самому себе, я приказал всем участникам экспедиции снять обувь и забросить ее в реку, что они и сделали с величайшим восторгом. Их обувь стала лакомством для аллигаторов, которыми кишели прибрежные воды.

Катер прибыл в условленное время, и через несколько дней я возвратился в лоно цивилизации. Когда мой самолет приземлился в аэропорту, Вера и ее отец уже ждали меня.

— Позвольте мне прежде всего взглянуть на обувь, — нетерпеливо попросил мистер Сапожников.

— Я скормил всю обувь аллигаторам, поскольку желаемого превращения в обувь на левую ногу так и не произошло. Должно быть, в мои топологические умозаключения где-то вкралась ошибка. Такой вещи, как трехмерная воронка Мебиуса, не существует, — вынужден был признать я.

— О нет! — едва слышно воскликнула Вера.

— Очень сожалею, сэр, — продолжал я, — что причинил вам столько хлопот моей фантастической теорией. Думаю, что поступлю честно, если верну вам неподписанный контракт о моем участии в вашей фирме в качестве младшего партнера.

С этими словами я извлек из кармана весьма потрепанный документ и вручил его мистеру Сапожникову.

— Очень странно, — пробормотал мистер Сапожников, бегло проглядывая текст, — но я не могу прочитать его.

— Зеркальное письмо! — воскликнула Вера. Контракт был напечатан зеркальным шрифтом! Желательное превращение все же произошло.

И тут, как при вспышке молнии, мне все стало ясно: я понял причину мнимой неудачи моей экспедиции. Никакой ошибки в моих рассуждениях не было, и обувь на правую ногу, которую носили участники экспедиции, превратилась в обувь на левую ногу. Но при этом и я сам превратился, так сказать, из правоногого и праворукого в левоногого и леворукого, т. е. в свое зеркальное отражение, и, естественно, не мог заметить аналогичного изменения, происшедшего с обувью.

— Послушай, как бьется мое сердце, — предложил я Вере. — Нет, теперь оно не здесь, а с другой стороны.

— Я все равно люблю тебя, — сияя от счастья, улыбнулась Вера.



*Все они по-прежнему были обуты на правую ногу*

— С обувью вы поступили не лучшим образом, — прокомментировал мистер Сапожников, — хотя один факт не может не радовать меня. Обувь, которую я произвожу, изготавливается из лучшей кожи, которую только можно купить за деньги, и даже аллигаторы Амазонки считают ее деликатесом. Я считаю, что предъявленный вами контракт и рентгеновский снимок вашей грудной клетки могут служить достаточными доказательствами вашей правоты. Поэтому как только контракт будет перепечатан обычным шрифтом, мы немедленно подпишем соглашение о партнерстве, и я объявлю о вашей помолвке с Верой на званом вечере, который моя жена устраивает сегодня вечером в вашу честь.

Мистер Томпкинс был несказанно удивлен историей, которую ему поведал сын.

— Но почему ты не сообщил нам о вашей помолвке? — спросил он, чувствуя себе несколько задетым.

— О, мы хотели преподнести вам сюрприз и подождать, пока все приготовления к свадьбе будут сделаны. Дело в том, что до защиты моей диссертации оставалось несколько месяцев, и мы решили, что поженимся сразу после защиты.

— Что же стряслось потом? — мягко поинтересовался мистер Томпкинс.

— Все пошло прахом потому, что хотя я и получил прекрасное математическое образование, мои познания основ биохимии оставляли желать много лучшего. Званный вечер, на котором должно было быть объявлено о нашей помолвке, начался очень радостно, но к концу вечера у меня завязался разговор с одним из гостей, молодым профессором биохимии. Разговор зашел о моей экспедиции об обходе вокруг оси воронки Мебиуса в верховьях Амазонки и последовавшем превращении обуви на правую ногу в обувь на левую ногу. Лицо профессора стало серьезным, и он спросил:

— Скажите, пожалуйста, не испытывали ли вы в последнее время каких-нибудь расстройств пищеварения?

Вопрос показался мне весьма неуместным, но все же я решился сказать правду.

— Да, — признал я, — со времени возвращения из Бразилии я испытываю неприятные ощущения в кишечнике. Во время полета домой стюардесса подала мне на завтрак бутерброды. Те из них, что были с сыром, оказались весьма недурны, а бутерброды с ветчиной привели к неприятным последствиям, по-видимому, я не перевариваю мясо, сахар или крахмал и должен ограничиться диетой из жиров. Кроме жиров мой организм, по-видимому, терпимо относится к водке, которой мне пришлось изрядно «принять на борт» сегодня вечером. Я подозреваю, что причиной неприятностей с пищеварением могли стать продукты, которыми питаются индейцы в верховьях Амазонки. Путешествуя в джунглях, мне пришлось вкушать то, что едят в тех местах индейцы.

— Я бы не хотел испортить вам сегодняшней вечер, — мягко проговорил биохимик, — но не могли бы вы навестись ко мне в университет завтра в удобное для вас время? Мне хотелось бы провести один тест.

Я не придавал особого значения его словам, но условился с биохимиком о встрече и присоединился к остальным гостям как раз вовремя, чтобы услышать, как отец Верочки произнес:

— Леди и джентльмены! Прошу минутку тишины! Я хочу сделать очень важное заявление. На сегодняшнем вечере я от имени моей жены и себя самого имею честь объявить о помолвке нашей любимой дочери Веры и выдающегося математика Уилфреда Томпкинса, стоящего сейчас справа от меня. Сделанное им чудесное открытие позволит значительно упростить и удешевить производство обуви!

С этими словами мистер Сапожников снял с ноги дочери серебряную туфельку и, наполнив ее шампанским, залпом осушил. Все гости последовали примеру хозяина и исполнили продемонстрированный им древний славянский обычай. Веселье вспыхнуло с новой силой и становилось все необузданней...

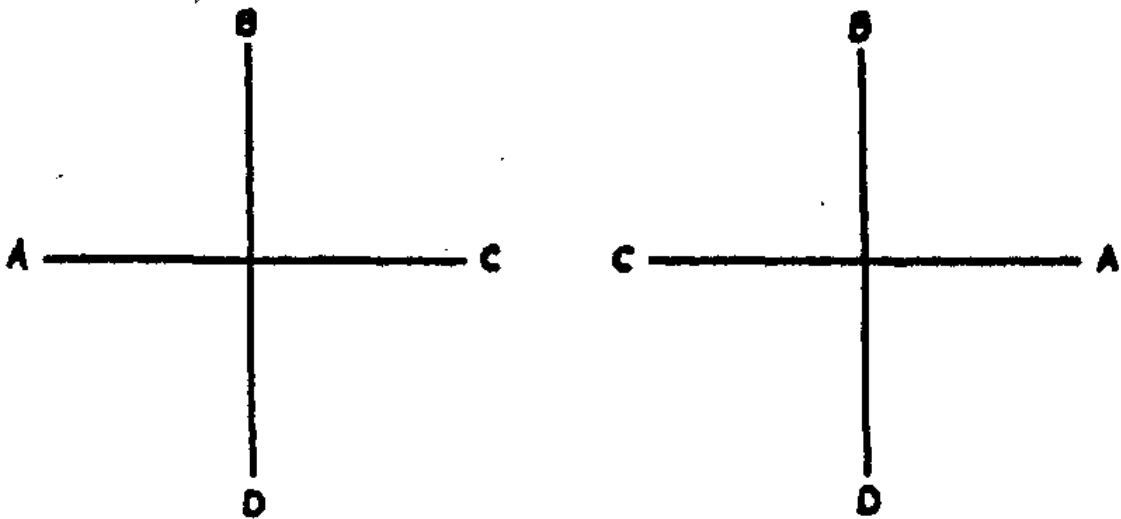
На следующее утро я вспомнил, что обещал заглянуть в университетскую биохимическую лабораторию, где меня собирался обследовать профессор, с которым я познакомился накануне на званом вечере. Прежде всего он приложил руку к моей груди и убедился, что сердце теперь у меня билось справа, так сказать, не с той стороны. Как тебе известно, обычно сердце у человека расположено слева.

— Дело очень серьезное, — начал биохимик. — После путешествия в верховья Амазонки вы действительно превратились в свое зеркальное отражение. Ваше сердце расположено справа, т. е. не с той стороны, где оно располагается обычно. То же можно сказать и о вашей печени, у вас она расположена слева, т. е. не там, где надо. Интуитивно вы, должно быть, оставляете пробор на голове не с той стороны, как это делают другие.

— Ну и что такого? — возразил я. — Если я куплю себе пару новых туфель, то могу надеть правую туфлю на левую ногу, а левую — на правую ногу и чувствовать себя вполне комфортно. И пробор я могу сделать с той же самой стороны, с какой его делают другие.

— В этом вы совершенно правы, — кивнул биохимик, — но существует гораздо более серьезная проблема. Если вы подойдете вот к этой доске, то я постараюсь объяснить вам, в чем она заключается.

Взяв кусок мела, биохимик начертил на доске две простые фигуры.



— Концы этих крестов я обозначил четырьмя различными буквами. Буквы расположены совершенно одинаково, если не считать, что буквы А и С у одного креста переставлены по сравнению с теми же буквами у другого креста.

— Это элементарно, — заметил я, — ведь вторая фигура есть не что иное, как зеркальное отражение первой.

— Совершенно верно. Как математик, вы, конечно, знаете, что как бы мы ни поворачивали вторую фигуру, не выводя ее из поверхности, на которой она начерчена, ее невозможно совместить с первой

фигурой так, чтобы все буквы совпали. Разумеется, если вторую фигуру вывести из поверхности и перевернуть, то тогда ее можно будет совместить с первой фигурой. Но для этого необходимо трехмерное пространство, т. е. на одну размерность больше, чем мы использовали, когда вычерчивали фигуру. Если же ограничиться размерностью два, то эти две фигуры не могут быть наложены друг на друга, т. е. неодинаковы.

— Совершенно верно, — подтвердил я. — Точно так же мне понадобилось бы выводить трехмерные туфли и ботинки на правую ногу в четвертое измерение, чтобы превратить их в туфли и ботинки на левую ногу.

— Поскольку вы математик, — продолжал биохимик, — все это кажется вам очень элементарным. Но перейдем к биохимическим последствиям. Ваше тело состоит из органических молекул. Все они содержат атомы углерода, каждый атом углерода, как принято у нас говорить, четырехвалентен, т. е. обладает способностью присоединять к себе четыре других атома или группы атомов. Такие молекулы не плоские, а трехмерные. Атом углерода располагается в центре тетраэдра, а четыре группы или атома — в его вершинах. Если две группы или более одинаковы, то независимо от того, в каких вершинах тетраэдра они расположены, молекулы всегда можно повернуть так, что они станут совершенно одинаковы, иначе говоря, за исключением того случая, когда все четыре группы в вершинах тетраэдра различны, зеркальное отражение молекулы неотличимо от самой молекулы. Разумеется, на практике часто случается, что четыре группы, присоединенные к центральному атому углерода, различны, поэтому очень многие органические соединения существуют в двух формах — правой и левой, или, как говорят, декстро- и лево-формах. Правые и левые разновидности молекул являются зеркальными отражениями друг друга. Правые формы не переходят в левые, а левые — в правые при любых вращениях. Другое дело, если бы можно было выйти в четырехмерное пространство.

— Все понятно, — кивнул я. — Мои правые молекулы стали левыми, а левые — правыми. А какая разница?

— В обычной органической химии разницы никакой. Такие свойства, как растворимость, точка кипения или энергия, необходимая для синтеза молекул, совершенно одинаковы и у правых, и у левых молекул. А поскольку свойства одинаковы, природа не отличает левые молекулы от правых, и когда химик-органик синтезирует такие соединения, половина молекул получается правыми, а половина — левыми.

— А в чем проблема? — поинтересовался я.

— Проблема заключается в том, — пояснил биохимик, — что вы теперь представляете собой необычную смесь органических соединений. Правые и левые молекулы одинаковы во всех отношениях,

кроме их отношения к некоторым молекулам, обладающим способностью отличать левые формы от правых. Наглядно это можно себе представить следующим образом. У человека обычно две ноги, поэтому пара обуви, состоящая из одного правого и одного левого башмака, его вполне устроит. Но предположим, что мы имеем дело с одноногим человеком, у которого ампутирована левая нога. Ему нужен только правый башмак, и он легко может отличить правый башмак от левого. Поразительный, но, тем не менее, твердо установленный факт заключается в том, что любое химическое соединение, существующее в левой и правой форме, представлено в нашем теле молекулами только одной из форм, т. е. как бы толпой одноногих, у каждого из которых уцелела только одна нога. Это означает, что наш организм различает правые и левые молекулы подобно тому, как единственная нога отличает правый башмак от левого.

Как математик, я по достоинству оценил необычность того обстоятельства, что живое тело должно состоять только из одного типа зеркально симметричных молекул, хотя вероятность образования правой и левой форм одинакова.

— А почему так происходит? — спросил я у биохимика.

— Понять нетрудно, если принять во внимание, что в вашем теле встречается преимущественно одна, либо правая, либо левая форма молекул. Другая форма молекул обладает иными химическими свойствами и может быть исключена по принципу «большинство выигрывает и забирает все». Проблема заключается в том, чтобы понять, как могло впервые возникнуть тело с преобладающим содержанием однотипных молекул. Это одна из величайших загадок происхождения жизни. Существуют только два сценария, по которым такое могло произойти. По одному сценарию, который можно было бы назвать гипотезой «праотца Адама», миллиарды лет назад одна-единственная молекула на поверхности Земли научилась реплицировать, или воспроизводить себя, т. е. создавать свою точную копию. Случилось так, что эта молекула была левой формой. В результате воспроизведения на Земле стали появляться миллиарды за миллиардами одинаковых реплицированных «праотцов Адамов», причем все они воспроизводили левую форму, гораздо позднее в процессе эволюции произошло разделение, или дифференциация полов и появилась «праматерь Ева». Но, как вам известно, Ева была создана из ребра Адама, поэтому она также была левой. Так все обитатели живого мира, растения и животные, стали не правыми, а левыми.

Согласно другой теории, которая мне нравится больше, существовали два антимира примитивных живых существ, один левый и другой правый. Так как декстроформы несъедобны для левоформ и наоборот, левые и правые формы вели между собой борьбу не на жизнь, а на смерть, и левые формы победили. Вот так все мы и стали левыми существами.



— То, что вы говорите, поистине ужасно! — воскликнул я. — Это означает, что я стал правым существом и смертельно ядовит для всех остальных!

— Это не так плохо, — успокоил меня биохимик, — каннибализм, по крайней мере в нашей стране, не практикуется, и никто не собирается есть отбивные из Уилфреда Томпкинса. Но, с другой стороны, ваши органы пищеварения также не могут усваивать обычные свиные или телячьи отбивные. Впрочем, я уверен, что ваш будущий тесть сможет построить биохимическую фабрику, которая будет производить для вас декстро-, т. е. правые, бифштексы, отбивные, сосиски и что угодно. Из продуктов, содержащих декстробелки, можно было бы готовить блюда, которые по виду ничем не отличались бы от тех, которые подают в ресторанах, и вы бы не заметили никакой разницы. Но вы должны быть уверены в том, что ваша будущая жена не станет пробовать блюда, которые будет готовить для вас.

Биохимик немного помолчал, глядя на меня с большим сочувствием.

— Но есть еще одна проблема, — сказал он, — которой, по крайней мере пока, помочь мы не в силах. Насколько я понимаю, вы и ваша жена собираетесь иметь детей, не так ли?

— О да! Верочка очень любит детей.

— Тогда я должен с прискорбием сообщить вам, — сообщил биохимик, — что «декстросперматозоиды» не могут оплодотворить «левойяйцеклетки». У вас и вашей жены нет ни малейших шансов иметь детей.

— Но Верочка хотела иметь несколько детей! — воскликнул я.

— Очень жаль, — сочувственно заметил биохимик, — но пройдет немало времени, прежде чем мы научимся синтезировать дезоксирибонуклеиновую кислоту, которая образует хромосомы и управляет наследственностью. Но и когда нам удастся решить проблему, а я уверен, что в конце концов она будет решена, синтетические дети не будут иметь никакого отношения к своим родителям. Поэтому самое разумное для вас усыновить или удочерить несколько детишек.

И тут мне пришло в голову, что в действительности ситуация далеко не столь отчаянная, и я в ответ на последнее предложение от души рассмеялся.

— К чему все эти сложности? — весело спросил я. — Мне нужно лишь снова отправиться в верховья Амазонки, обойти еще раз вокруг воронки Мебиуса, и все вернется на свои круги.

— Такой выход из положения вполне возможен, — согласился биохимик.

Напряженность, явственно ощущавшаяся в разговоре, исчезла, и мы продолжали вести неторопливую научную беседу.

— А какое именно химическое соединение в моем организме причиняет мне все эти неприятности? — поинтересовался я.

— Это не жиры, как вы справедливо заметили, не спирт. У молекул жиров и этилового спирта нет атома углерода, к которому были бы присоединены четыре различные группы, поэтому они существуют только в одной форме, и вы можете потреблять их. Сахар и крахмал могут существовать в двух зеркально симметричных формах, что само по себе неплохо. В случае необходимости ваш организм может синтезировать их из жиров и спирта. Основная проблема кроется в ваших белках. Как все живые существа, вы состоите главным образом из белков, молекулы белков представляют собой длинные цепи аминокислот, соединенных так называемыми пептидными связями, каждая аминокислота — это молекула, состоящая из атома углерода (мы называем его альфа-углеродом), к которому присоединены четыре атомные группы. Три из этих групп одинаковы у всех аминокислот, а четвертая может быть любой молекулой и называется боковой цепью. Оставляя одними и теми же три группы, присоединенные к центральному альфа-углероду, и варьируя боковую цепь, можно синтезировать миллионы различных аминокислот. Так как у каждой аминокислоты есть центральный альфа-углерод, к которому присоединены четыре различные группы, у любой молекулы аминокислоты есть либо лево-, либо декстро-форма. В нормальном организме все аминокислоты представлены левой формой, а в вашем — только правой, что и является причиной всех ваших неприятностей.

— Да, это мне известно, — прервал сына мистер Томпкинс. — Когда я сплавлялся по кровотоку, доктор Стритс показал мне две аминокислоты и продемонстрировал, как они могут соединиться, потеряв молекулу воды. Но в состав белков входят лишь двадцать разновидностей аминокислот, такие, как пролин, валин, аспарагин и другие, названия которых я не помню.

— Потрясающе! — воскликнул Уилфред. — Никогда не думал, что ты, банковский служащий, так хорошо разбираешься в биохимии. Должен признаться, что хотя я и окончил университет, но в биохимии абсолютный профан. А говорил ли тебе доктор Стритс о левых и правых аминокислотах?

— Нет, насколько я помню, не говорил.

— Тогда позволь мне поделиться с тобой кое-какими сведениями о структуре аминокислот, которые я почерпнул только после моей помолвки.

Уилфред подошел к большой вазе с фруктами, которую мать заботливо поставила на стол к его прибытию, и взял один ананас, один апельсин, одно яблоко, одну грушу и одну ягоду клубники. Взяв зубочистку, он воткнул ее в верхушку ананаса и насадил на другой конец апельсин. Затем, воткнув в апельсин еще три зубочистки,

торчавшие в разные стороны, насадил на них яблоко, грушу и ягоду клубники.

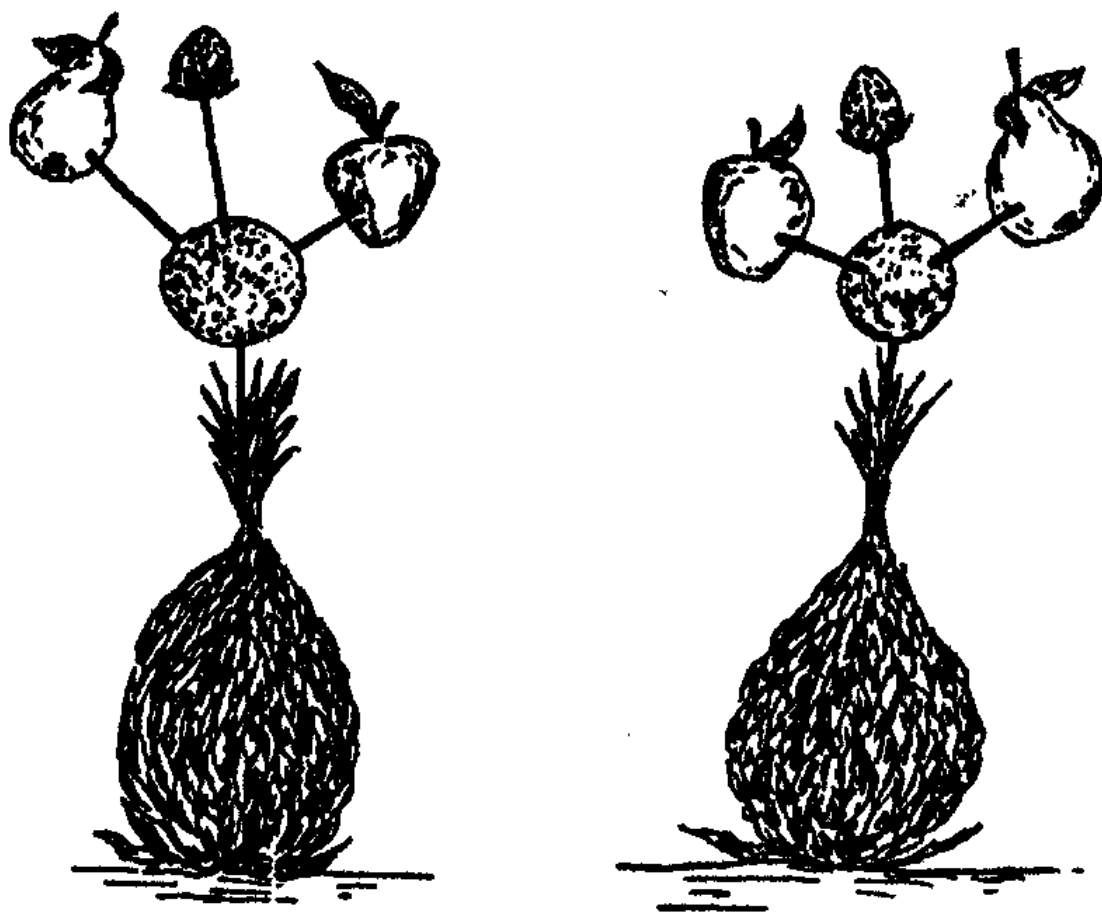
— Это модель аминокислоты, составной части любого белка, — пояснил Уилфред. — Апельсин изображает альфа-углерод, а четыре торчащие из него зубчистки указывают на то, что к нему могут быть присоединены четыре различные атомные группы. Клубника соответствует атому водорода ( $-H$ ), яблоко — так называемой аминогруппе, состоящей из атома азота и связанных с ним двух атомов водорода  $\left(-N \begin{array}{l} \text{H} \\ \text{H} \end{array}\right)$ , а груша — карбоксильной группе  $\left(-C \begin{array}{l} \text{O} \\ \text{OH} \end{array}\right)$ , состоящей из еще одного атома углерода, к которому с одной стороны присоединен атом кислорода, а с другой — еще один атом кислорода, в свою очередь соединенный с атомом водорода. Такая комбинация атомов стандартна для всех аминокислот. Я водрузил ее на верхушку ананаса, который обычно называют боковой цепью. Но боковая цепь необязательно должна быть ананасом. Ею может быть дыня, тыква, огурец, слива, абрикос, а в одном случае даже еще одна клубника. Если три группы, присоединенные к верхней части апельсина, — стандартные атрибуты аминокислоты, то боковыми цепями могут быть совершенно различные молекулярные группы. Но как ты сам сказал, природа, образуя белки, использует в аминокислотах только 20 различных боковых цепей.

Взяв из вазы еще несколько тех же фруктов, что и раньше, Уилфред с помощью зубчисток выстроил на верхушке ананаса другую комбинацию.

— Видишь, — пояснил он, — я использовал те же самые фрукты, но расположил их несколько иначе. Новая конструкция зеркально симметрична предыдущей, поэтому как бы ты ни поворачивал новую конструкцию, ее невозможно совместить со старой. Как ты, должно быть, догадался, обычные белки ферментов, состоящие из левых аминокислот, не могут расщеплять белки, состоящие из правых аминокислот. Разумеется, верно и обратное утверждение, так как все симметрично. Поэтому мои неестественные ферменты не могут расщеплять естественные белки, а только такие белки встречаются на Земле, но даже если бы мои ферменты могли расщеплять естественные белки, пользы от этого было бы мало, так как естественные аминокислоты были бы непригодны для синтеза моих неестественных белков. И сидя на вынужденной безбелковой диете, я обречен на медленную смерть.

— Но поскольку мы оба, биохимик и я, — продолжал Уилфред, — уже нашли легкий выход из создавшегося положения, наша беседа далее протекала легко и свободно.

— Вам, конечно, приходилось слышать о человеке, который открыл, что некоторые органические соединения могут существовать в двух зеркально симметричных формах? — спросил мой приятель-



Три группы, присоединенные к верхушке апельсина, — «стандартные» атрибуты аминокислоты...

биохимик. — Я имею в виду Луи Пастера. Это он среди прочего открыл болезнетворные бактерии и нашел способ защиты от них. Он также обнаружил, что химическое соединение, известное под названием виннокаменной кислоты, существует в виде зеркально симметричных кристаллов. Поначалу никто не мог объяснить причину этого, и Пастер придумывал самые фантастические опыты, например, раскачивал растения на маятнике в магнитном поле, пытаясь превратить правые кристаллы в левые и наоборот.

Разумеется, все его попытки оказывались безрезультатными, истинное объяснение существования двух зеркально симметричных форм (способность атома углерода присоединять четыре различные группы) было вскоре предложено несколькими другими химиками.

— А что вы скажете об улитках? — спросил я биохимика. — Разве то, что их раковины закручиваются то вправо, то влево, не доказывает, что их молекулы зеркально симметричны?

— Нет, — ответил биохимик. — Ваше утверждение, по крайней мере, пока, — не более, чем счастливая догадка. Вы можете создавать большие структуры, например, раковины улиток, и делать их правыми или левыми независимо от того, какими молекулами вы пользуетесь — левыми или правыми. В конце концов у вас есть правая и левая рука, но и в той, и в другой аминокислоты однотипны.

Еще одним примером может служить правостороннее расположение сердца. Оно встречается примерно у одного человека из 10 000, и медики называют его *situs invertus*, т. е. обратным расположением. Но если кто-нибудь обращен полностью, как в вашем случае, в результате обхода воронки Мебиуса, то у него (или у нее) наблюдается не только обратное расположение всех органов, но обращены и все молекулы. Поэтому замечательным следует считать не то, что сердце теперь у вас находится справа, а то, что оно было расположено слева, а теперь находится справа.

— Если есть жизнь на других планетах, — поинтересовался я, — то биохимически она может быть как левой, так и правой, не правда ли?

— Мы считаем, что это так. Предполагается, что выбор между левым или правым случаем и зависит от того, как все начинается. Единственное, что можно утверждать с полной уверенностью, что жизнь обязательно должна существовать в какой-нибудь одной из двух форм — либо правой, либо левой, так как смешение форм было бы неэффективным. Половина ферментов организма обладала бы способностью воздействовать только на половину молекул, а это далеко не лучший способ функционирования. Мы получили бы в одном организме левый и правый антимир, ведущие борьбу между собой не на жизнь, а на смерть.

Последние слова биохимика навели меня на мысль.

— Знаете, — сказал я, — то, что вы сейчас сказали, навело меня на мысль. Почти с такой же ситуацией мы сталкиваемся в ядерной физике. Помню, когда я был студентом старшего курса, мой дедушка взял меня с собой на ускоритель элементарных частиц, который назывался бэватроном, поскольку ускорял частицы до энергий в несколько миллиардов электрон-вольт. Столкновение крохотных частиц, разогнанных до высокой энергии, с тяжелой металлической мишенью приводило к рождению новых частиц, нередко возникавших парами — «обычный» положительно заряженный протон и отрицательно заряженный протон или «обычный» отрицательно заряженный электрон и положительно заряженный электрон. Необычные частицы с зарядом, противоположным по знаку заряду обычных частиц, получили название античастиц. Разумеется, отношение «частица — античастица» коммутативно, т. е. действует в обе стороны: если Питер — брат Джона, то Джон — брат Питера. Поэтому вполне возможно, что существуют антиатомы, антимолекулы и антигалактики.

— Означает ли это, что если бы существовали два антимира, то они вели бы борьбу между собой так же, как левые и правые формы в мире живого? — с интересом спросил мой приятель.

— Несомненно, — подтвердил я. — Если бы произошло столкновение частицы и античастицы, то вся их масса превратилась бы во вспышку излучения очень высокой частоты. Даже нейтроны, хотя они и не обладают электрическим зарядом, могут существовать

и как частицы, и как античастицы, и при столкновении тех и других происходит аннигиляция. Количество высвобождаемой при столкновениях частиц и античастиц энергии чудовищно велико и во много раз превосходит энергию, которая выделяется при взрыве атомной бомбы, так как в последнем случае в энергию превращается не вся масса бомбы, а лишь ее часть. К счастью, подобно тому, как в наших организмах есть только левые аминокислоты, на Земле и в нашей Солнечной системе существует только одна разновидность материи. Даже гигантские ускорители частиц в Соединенных Штатах, Советском Союзе и ЦЕРНе<sup>3)</sup> близ Женевы позволяют получить ничтожно малые количества античастиц, которые почти сразу же аннигилируют при столкновениях с «обычной» материей.

— Очень интересно, — прокомментировал мой приятель-биохимик. — Поразительная аналогия с лево- и декстромирами. А поскольку мы допускаем, что левый и правый миры могли бы сосуществовать, если бы они царствовали на различных планетах, то почему не могли бы существовать в нашем мире звезды, одни из которых состоят из обычной материи, а другие из антиматерии? Никакой опасности аннигиляции при этом не возникало бы, если не считать случайного столкновения звезд, но такое событие, насколько я понимаю, чрезвычайно редко.

— Тем не менее ничего такого быть не может, по крайней мере в пределах нашей Галактики, — заметил я биохимику. — Дело в том, что межзвездное пространство не совсем пусто. В нем рассеяны атомы водорода, гелия и, возможно, других газов, а также крохотные частицы льда, окислов железа, кремния и т. д. Количество вещества в межзвездном пространстве невелико: в среднем около одного атома на кубический сантиметр. Однако и этого вполне достаточно для того, чтобы столкновение облаков материи вызвало бы на их границах аннигиляцию, как и в случае вхождения звезды из обычной материи в облако антиматерии. Аннигиляция сопровождалась бы чудовищным излучением, но ничего подобного мы не наблюдаем. Из этого следует вывод, что наша собственная Галактика, система Млечного Пути, состоит только из одной разновидности материи.

— А что известно о других галактиках? — поинтересовался биохимик.

— Относительно других галактик ничего не известно, — ответил я. — Дело в том, что материя и антиматерия обладают совершенно одинаковыми оптическими свойствами, их спектры неотличимы. Следовательно, отличить с помощью наблюдений, «на глаз», материю от антиматерии невозможно. Возможно, в будущем будет изобретен какой-нибудь способ различать их, но мы не можем заранее пред-

<sup>3)</sup> Созданный в 1954 году при поддержке ЮНЕСКО Европейский центр ядерных исследований, объединяющий усилия 12 европейских стран по исследованиям физики элементарных частиц. — *Прим. перев.*

сказать, как будет происходить развитие науки. Пока единственный способ установить, из материи или антиматерии состоит какая-нибудь галактика, заключается в том, чтобы отправиться в эту галактику. Одна из ближайших к нам галактик — спиральная Большая туманность Андромеды. Добравшись до этой галактики, вы сразу же обнаружите то, что хотели узнать. Если вы исчезнете в сильнейшей вспышке радиации, вам сразу станет ясно, что галактика состояла из антиматерии; если же вы останетесь в живых, то галактика состоит из обычной материи. К сожалению, чтобы добыть эту интереснейшую информацию, вам пришлось бы провести в космическом полете не меньше двух миллионов лет, даже если будете лететь со скоростью света.

Поговорив с биохимиком еще немного, я отправился домой, намереваясь заняться приготовлениями к путешествию в верховье Амазонки, куда я вознамерился отправиться на следующее утро.

Удар последовал на следующий день. Среди утренней почты я обнаружил казенного вида конверт, адресованный мне каким-то бразильским адвокатом. В письме адвокат извещал меня, что Ситусианос умер от какого-то загадочного заболевания органов пищеварения. У меня по спине пробежали мурашки: кому-кому, а мне было слишком ясно, что за таинственная болезнь свела в могилу моего проводника. К тому же к письму был приложен документ, из которого неопровержимо следовало, что Ситусианос ссудил мне довольно значительную сумму денег для финансирования экспедиции, и выражалась надежда, что я смогу погасить задолженность обратной почтой и тем самым быстро закрыть проблему.

На самом деле деньгами ссудил (в качестве аванса) Ситусианоса я, а не он меня! Воронка Мебиуса и здесь обратила, вывернула наизнанку отношение! Уж не стал ли я Ситусианосом или Ситусианос мной? Я пребывал в полной растерянности и окончательно утратил уверенность в своей способности здраво мыслить. Я пал духом: все было потеряно. Без помощи Ситусианоса мне никогда не отыскать в джунглях Амазонки воронку Мебиуса, обойдя которую, мне удалось бы превратить зеркальное отражение самого себя в зеркальное отражение зеркального отражения, т. е. вернуть себе первоначальный облик! Верочка никогда не станет моей женой. Впрочем, это не имеет никакого значения, ибо дни мои уже сочтены, и долго я не протяну.

В тот же вечер после тягостного разговора с Верочкой и ее родителями было решено расторгнуть нашу помолвку. И вот я здесь и все, о чем я мечтаю, это оказаться в пятом измерении, ибо четвертое измерение Минковский отвел мнимой координате времени.

Едва Уилфред произнес эти слова, как стул, на котором он сидел, опустел — какая-то сверхъестественная сила исполнила его желание... И тут мистер Томпкинс услышал шум у входной двери. Он открыл глаза и увидел на пороге Мод. Глаза ее сияли ярче

тысячи звезд. А вместе с ней в комнату вошел Уилфред, здоровый и радостный, держа за руку красивую юную девушку.

— Привет, папа! — воскликнул он. — Позволь представить тебе мою невесту Веру. Мы решили пожениться в той же маленькой церкви за углом, где 25 лет назад поженились ты и мама. Профессор Сапожников, мой научный руководитель и известнейший тополог, приедет с женой послезавтра, чтобы присутствовать на нашей свадьбе. Он и его жена тебе понравятся, у них такой смешной русский акцент. Он замечательный математик и очень интересный человек, а его жена печет чудеснейшие пирожки, вкуснее которых я в жизни ничего не пробовал.

— Замечательно! — от души воскликнул мистер Томпкинс, окончательно приходя в себя и сознавая, что все ужасы и несчастья привиделись ему во сне. — Значит, все эти кошмары с Мебиусом только сон! Воистину сказано, бойся кошмаров в полночь, т. е. я хочу сказать в полдень!

— Мебиус? — удивился Уилфред, поднимая с ковра бумажную модельку листа Мебиуса. — Помнится, я писал тебе, что занимаюсь топологией, но не ожидал, что ты проявишь к ней такой интерес. Вижу у тебя на столе учебник топологии, написанный Керекъярто, но, боюсь, что он окажется для тебя слишком сложным. Впрочем, в нем есть одна забавная картинка. Надо посмотреть в именном указателе, на какой странице упоминается фамилия Бессель-Хаген. Открываю учебник, вот эта страница. Никаких упоминаний о Бесселе-Хагене на ней нет, а есть рисунок, иллюстрирующий топологию двумерной поверхности с четырьмя дырками, изображающими два глаза, нос и рот, и двумя ручками, напоминающими по виду уши. По-видимому, Керекъярто не питал особого уважения к Бесселю-Хагену, или они были хорошими друзьями, и Керекъярто решил подшутить над приятелем. А эту модельку листа Мебиуса ты смастерил сам?

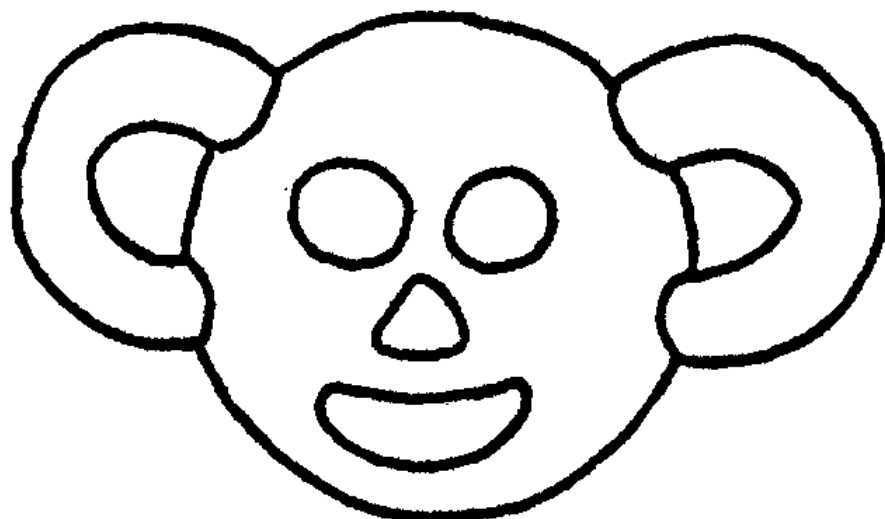
— Нет, — покачал головой мистер Томпкинс, — ты сделал ее для меня примерно с час назад.

— Как я мог склеить эту модель, если я прибыл всего лишь час назад? Должно быть, ты сам изготовил ее во сне до того, как мама доставила нас домой. Кстати, — продолжал Уилфред, — возможно, ты упустил из вида одно из самых важных свойств листа Мебиуса. Возьми, пожалуйста, ножницы и разрежь лист Мебиуса надвое посредине...

Мистер Томпкинс проткнул полоску ножницами и разрезал лист Мебиуса по средней линии. К его удивлению, когда конечная точка разреза совпала с исходной, лист Мебиуса не распался на два новых, а превратился в один лист Мебиуса, вдвое более узкий и вдвое более длинный, чем исходный.

— Просто черная магия! — воскликнул он. — Каким образом, разрезав кольцо пополам, я получил снова всего лишь одно кольцо?





*Эта фигура обладает топологией двумерной поверхности с четырьмя дырками*

— А теперь попробуй разрезать лист Мебиуса не по середине, а отступив лишь на  $\frac{1}{4}$  ширины от края, — предложил Уилфред, — и посмотри, что у тебя получится.

— Верочка, мальчики! — позвала Мод из кухни. — Бифштекс готов, пожалуйста к столу!

И они направились к столу.

---

## Что у гена на уме

---

Однажды Мод, составив внушительный список всего необходимого, отправилась за покупками. Мистер Томпкинс решил воспользоваться удобным случаем уютно устроиться в своем кресле и полистать книгу о структуре клетки и наследственности, которую он взял в местной библиотеке. Хотя изложение изобиловало специальными терминами, а некоторые места оказались совсем непонятными, мистер Томпкинс все же почувствовал, что узнал кое-что новое.

Выяснилось, что сердце клетки или, лучше сказать, ее мозг находится в центральном теле, известном под названием ядра. Именно ядро выступает в роли генерального штаба, решающего, станет или не станет колония клеток лягушкой или человеком, а в последнем случае будет ли человек высоким или маленького роста, темноволосяным или блондином, гением или тупицей. Информация обо всех этих особенностях хранится внутри ядра в длинных нитеобразных телах, известных под названием хромосом. Такое название было выбрано просто потому, что эти тела легко окрашивались («хрома» по-гречески означает «цвет») некоторыми органическими красителями, используемыми при работе с микроскопическими препаратами. Хромосомы можно сравнить с ящичками, в которых хранятся карточки с данными о тех или иных особенностях организма, каждая карточка представляет собой отдельный ген, ответственный за некоторую особенность организма. У человека в каждой клетке хранятся 46 таких ящичков с карточками, 23 от отца и 23 от матери. Так как информация, инструкции или команды, поступающие от отцовского и материнского наборов хромосом, не всегда совпадают, а в некоторых случаях даже могут оказаться противоречивыми, достигаемый результат обычно оказывается своего рода компромиссом. Например, мул по размерам тела ближе к лошади, а по величине ушей (не говоря уже об упрямстве мулов) — ближе к ослу.

Все эти сведения были весьма интересными, но не слишком убедительными, и, отложив книгу в сторону, мистер Томпкинс взял со стола бокал виски с содовой. Отхлебнув напиток, он от нечего

делать лениво уставился на литографию с картины Уистлера<sup>1)</sup>, которая висела на противоположной стене. Может быть, напиток, который мистер Томпкинс смешал себе, оказался чуть более крепким, чем следовало, но так или иначе милая старушка на картине раздвоилась, одна фигурка сместилась слегка вверх и влево. Мистер Томпкинс протер глаза, отхлебнул из бокала еще один основательный глоток и взглянул на литографию снова. На этот раз старушек оказалось трое, нет, пятеро милых матушек, тихо сидевших, сложив руки на коленях.



Их было трое, нет, — пятеро, милых старушек...

Сказать по правде, старушек было великое множество, они образовали сплошную ленту, которая колыхалась и завивалась в кольца перед глазами мистера Томпкинса. Вглядевшись повнимательнее, мистер Томпкинс заметил, что

ни одна из фигур не была точной копией другой. Казалось, каждая из старушек подчеркивала лишь одну из характерных черт той милой старушки, которая была изображена на картине Уистлера, а теперь начала напоминать мистеру Томпкинсу его собственную матушку, скончавшуюся несколько лет назад.

— Матушка! — воскликнул мистер Томпкинс, не веря своим глазам.

— Как ты, сынок? — ответили в унисон все старушки. И только тут до мистера Томпкинса стало доходить, что в силу какой-то странной игры воображения, вызванной книгой, которую он читал, его умонастроением и отчасти слабым вмешательством черной магии он видит перед собой не что иное, как одну из тех хромосом, которую он унаследовал от своей доброй старой матушки. Старушки-двойники, должно быть, были генами — теми самыми карточками-носителями наследственной информации, о которых он читал в книге.

— Матушка, — спросил мистер Томпкинс, несколько запинаясь, но тут же поправился, — простите, матушки, ведь вы моя материнская хромосома, я не ошибся?

<sup>1)</sup> Джеймс Макнил Уистлер (1834–1903) — американский живописец-импрессионист. — *Прим. перев.*

К его удивлению, все старушки, кроме ближайшей к нему, повели себя так, словно и не слыживали слова «хромосома». И только ближайшая к нему старушка повернула голову и сказала с легкой улыбкой:

— Что верно, сынок, то верно. Ты видишь перед собой не что иное, как одну из 23 хромосом — носительниц наследственной информации, доставшейся тебе от твоей матери, а я твой гносеоген, ген познания<sup>2)</sup>. Другие твои материнские гены заботятся о твоих различных физических и духовных особенностях, а я несу ответственность только за твой интерес к научным проблемам.

— А от отца я не унаследовал гносеоген? — спросил мистер Томпкинс, вспомнив, что в книге говорилось о полном наборе генов, состоящем наполовину из материнских и наполовину из отцовских генов.

— Унаследовал, конечно, унаследовал, только в этом отношении толку от отцовского набора мало. Твой отец был прекрасным человеком, и я его очень любила, но он был типичным бизнесменом и не читал ничего, кроме бюллетеней о котировках на фондовой бирже. Ты можешь увидеть его, если заглянешь в отцовскую хромосому. Она идет параллельно с моей по другую сторону от нее.

И действительно, сквозь толстый слой хроматина мистер Томпкинс увидел длинную очередь пожилых джентльменов, уткнувшихся в свои газеты. У некоторых из них были резко выраженные особенности, но джентльмен, сидевший рядом с материнским гносеогеном мистера Томпкинса, выглядел на редкость неприметно.

— Вот уж не знал, что ты, мама, интересовалась наукой, — произнес мистер Томпкинс. Насколько он помнил свою мать, она всегда была вся в хлопотах по дому и заботах о семье.

— На старости лет интересоваться наукой мне было некогда, но в молодости я прочитала немало книг на различные темы и даже мечтала стать ученым. Но жизнь сложилась иначе.

— А сколько у меня материнских и отцовских генов? — спросил мистер Томпкинс, задумчиво глядя на длинную вереницу родительских пар, теряющуюся в окутанной дымкой дали. — По-моему, их очень и очень много!

— В этой хромосоме, которую ученые называют X-хромосомой, всего 1 753 гена, включая меня. Разумеется, генетики не знают точного числа генов и спорят по этому поводу, но, живя здесь довольно долго, я успела пересчитать все гены по пальцам. Пойдем, я представлю тебя некоторым из них.

С этими словами матушка-ген поднялась с кресла и взяла мистера Томпкинса за руку.

---

<sup>2)</sup>Примечание редактора американского издания: впоследствии мистеру Томпкинсу не удалось подтвердить, что такой гносеоген действительно существует и что «жажда знаний» не обусловлена совместным действием многих различных генов.



Длинная вереница родительских пар терялась  
в окутанной дымкой дали

— Вот твой ген, отвечающий за отпечатки твоих пальцев, — пояснила она мистеру Томпкинсу, указывая на одну из старушек. — Она хранит память об узорах на кончиках твоих пальцев, причем не только на руках, но и на ногах.

— Как поживаешь, сынок? — осведомилась старушка, протягивая мистеру Томпкинсу руку.

Мистер Томпкинс заметил, что кончики ее пальцев были испачканы чем-то черным.

— Рад видеть вас, — робко ответил он.

— А это, — продолжала его матушка-гносеоген, указывая на жизнерадостную старушку со здоровым румянцем на щеках, — твой ген антигемофилии с материнской стороны. Он следит за тем, чтобы ты не истек кровью, если тебе случится порезать палец. Он отвечает за выработку белкового вещества в твоей крови, которое, взаимодействуя с другими веществами, способствует свертыванию крови, текущей из раны. У некоторых людей этот ген поврежден, и они живут в постоянном страхе перед малейшим порезом. А поскольку гены передаются из поколения в поколение, гемофилия — болезнь наслед-

ственная, как и многие другие заболевания, вызываемые дефектами генов. Но, как ты видишь сам, тебе такая опасность не угрожает. Будь пай-мальчиком и пожми почтенной леди руку.

— Рад видеть вас, — послушно проговорил мистер Томпкинс,

— А вот еще один пример гена, — продолжала матушка-гносеоген, подводя мистера Томпкинса к старушке, сидевшей с закрытыми глазами. — Это ген твоего цветового зрения. Как ты видишь, бедняжка, к сожалению, совершенно слепа. Поэтому ты не различаешь красный цвет от зеленого.

— А почему отцовский ген не поможет мне исправить этот дефект? — спросил мистер Томпкинс с некоторым беспокойством, так как цветовая слепота время от времени причиняла ему различные неудобства.

— Потому, что ген цветового зрения, по существу, женский, — терпеливо пояснила матушка-гносеоген. — У всех женщин он присутствует в двух экземплярах, по одному в каждой X-хромосоме, а у мужчин имеется только один экземпляр в X-хромосоме, которую они наследуют от своих матерей. Случилось так, что у твоей матушки один из генов цветового зрения был болен, хотя на ее цветовом зрении это не отразилось потому, что о нем позаботился второй ген-дубликат. Когда примерно за 9 месяцев до твоего рождения репродуктивные клетки твоей матушки начали делиться каждая на две части, чтобы образовать так называемые гаметы (в данном случае яйцеклетки), то половина яйцеклеток получила X-хромосому с дефектом. И случилось так, что гамета твоего отца, или сперматозоид, повстречал яйцеклетку с дефектом и женился на ней. Шансы были пятьдесят на пятьдесят за то, что у тебя не будет цветовой слепоты, но, к сожалению, тебе не повезло.

— Я вспоминаю, — прервал объяснения мистер Томпкинс, — что читал где-то о наследственных признаках, зависящих от пола родителей, но признаться, ничего тогда не понял. Не могла бы ты привести несколько примеров, которые помогли бы мне разобраться, каким образом гены распределяются по клеткам, когда те делятся?

— Клетки делятся во многих частях твоего тела, — сообщила матушка-гносеоген. — Внутренняя поверхность твоего кишечника или, скажем, твоя кожа постоянно обновляются, старые клетки заменяются новыми. Но если ты действительно хочешь разобраться, как распределяются гены при делении клеток, то я рекомендую тебе наведаться в ту часть твоего тела, о которой, фигурально говоря, можно было бы сказать, что она прячется под сенью фигового листка. Там твои клетки размножаются вовсю, по крайней мере в течение того отрезка твоей жизни, пока ты сохраняешь способность стать отцом ребенка. А когда ты доберешься до этой части своего тела, попроси какого-нибудь хорошего генетика, например, отца

Мендельморганштерна<sup>3)</sup> объяснить тебе все, что непонятно. Прощай, сынок! Удачи тебе!

Прибыв на место назначения, мистер Томпкинс обнаружил, что вокруг кипит работа. Что же касается процессов деления клеток, которые ему так не терпелось увидеть, то они происходили повсюду вокруг, куда ни посмотри. Трудно было найти клетку, которая не разделилась бы на две прежде, чем кто-нибудь успел произнести слово «сперматогенез». Человек средних лет в монашеском облачении с блокнотом в руках делал какие-то записи, внимательно вглядываясь то в один, то в другой процесс деления клеток.

— Прошу извинить меня за вторжение, — произнес мистер Томпкинс, — но не могли бы вы сказать, где найти отца Мендельморганштерна?

— Я отец Мендельморганштерн, — сказал незнакомец. — С кем имею честь?

— Моя фамилия Томпкинс. В различных частях своего тела я видел много интересного, но процесс деления клеток мне довелось наблюдать впервые. Захватывающее зрелище!

— Вы, конечно, заметили, что в большинстве случаев происходит мейоз, а не митоз? — спросил отец Мендельморганштерн, засовывая блокнот в карман.

— А чем одно отличается от другого? — в некотором замешательстве поинтересовался мистер Томпкинс.

— Я вижу, вам необходима краткая лекция, — констатировал отец Мендельморганштерн со скукой в голосе. — Митоз, или регулярное деление клетки, происходит во всех тканях растущих организмов. Из одной клетки получаются две, каждая — точная копия материнской клетки. Вам, конечно, известно, что каждая клетка вашего тела содержит 23 пары хромосом, один набор от вашего отца, другой от вашей матери?

— Известно, моя матушка-гносеоген поведала мне об этом, — подтвердил мистер Томпкинс.

— Наборы хромосом, полученные вами от отца и матери, совершенно одинаковы за исключением одной пары хромосом, о которой мы поговорим позднее. Например, ваша материнская хромосома номер один содержит те же гены, что и ваша отцовская хромосома номер один. Хотя, разумеется, на карточке с данными о группе крови в одной хромосоме может значиться «группа крови А», а в другой — «группа крови В». Так же обстоит дело и с другими генами, например, в одной хромосоме карие глаза, в другой — голубые. Как бы

<sup>3)</sup> Шутливая комбинация фамилий двух основоположников современной генетики. Монах (отсюда — отец) Грегор Иоганн Мендель (1822–1884) на основе опытов по гибридизации сортов гороха вывел носящие ныне его имя законы комбинирования наследственных признаков. Томас Хант Морган (1866–1945) экспериментально обосновал хромосомную теорию наследственности и выяснил клеточные механизмы, лежащие в основе законов Менделя. — Приж. перев.

то ни было, у каждого из нас имеется по 23 пары подобных (мы называем их гомологичными) хромосом, и поэтому у каждого имеется по две копии любого гена.

— А что происходит в том случае, если два соответствующие гена несут инструкции, которые не совпадают? — полубоштытствовал мистер Томпкинс.

— Все зависит от обстоятельств, — последовал ответ. — Во многих случаях один из генов, как принято говорить, доминантен. Взять, например, ген, который определяет, что ваша кожа, волосы и глаза наделены хотя бы каким-нибудь пигментом. Вы будете иметь нормальную пигментацию, если по крайней мере один из двух таких генов вполне здоров, даже если второй ген окажется с дефектом. Если ген дефектен, то хранимая им инструкция гласит «альбинос», что означает полное отсутствие каких-либо инструкций относительно пигментации. Ген-носитель признака «альбинос» не доминантен, а рецессивен; это означает, что если он комбинируется с нормальным геном, то потомство оказывается нормальным. И только если оба гена, отвечающих за пигментацию, материнский и отцовский, оказываются носителями признака «альбинос», потомок оказывается альбиносом, так как ни один из двух генов не дает инструкций относительно того, какой пигмент производить. Кстати, альбиносов не следует путать с людьми, которых обычно дразнят «седыми». У всех нормальных людей, «седых» и жгучих брюнетов, а также у людей всех промежуточных «мастей», имеется пигмент, называемый меланин, количество которого колеблется в зависимости от расы. У альбиносов же, независимо от их расовой принадлежности, меланина нет вообще. Их легко распознать по красным глазам: красные кровеносные сосуды просвечивают сквозь радужную оболочку, поскольку в ней нет пигмента. Люди-альбиносы испытывают большие трудности, поскольку их кожа и глаза очень чувствительны к свету.

Некоторые расовые группы, не будучи альбиносами, утратили больше пигмента, чем это необходимо для того, чтобы они чувствовали себя вполне комфортно. Скандинавы с их светлыми волосами и белой кожей чувствуют себя вполне хорошо в родных местах, в туманной Балтике, но всякий, кому приходилось видеть скандинавских моряков в тропиках, замечал, как легко обгорала до пузырей и облезала под лучами палящего солнца их кожа, даже если речь шла о непродолжительной прогулке, совершенно безвредной для темнокожих.

Но продолжим. Иногда встречаются различные формы генов ни доминантные, ни рецессивные. Взять, например, группы крови. Ген, от которого зависит группа крови, инструктирует клетку, как производить вещества группы крови А или группы крови В.

Если этот ген не несет никаких инструкций, то вещества, характеризующие группу крови, клеткой не производятся. Такую кровь мы относим к группе О. Если у вас есть гены группы крови А и В, то



ваш организм вырабатывает вещества, характерные для крови этих двух групп, и ваша группа крови называется АВ. В этом случае все обстоит очень просто, человек с группой крови А несет в себе гены либо  $a + A$ , либо  $a + 0$ , с группой крови В — либо  $b + B$ , либо  $b + 0$ , с группой крови АВ —  $a + b$  и с группой крови 0 —  $o + o$ .

Обобщая, можно было бы сказать, что если обе формы гена несут эффективные инструкции, то выполняются оба набора инструкций, и ваш организм вырабатывает смесь пигментов. Но если один из генов с дефектом, то он просто хранит молчание, не сообщая организму никаких инструкций, так происходит, например, в случае альбиносов или группы крови 0. Активная форма доминанта. В большинстве случаев активный ген в одиночку может передать достаточно инструкций, поэтому соответствующая функция выполняется почти так же хорошо, как если бы было два активных гена.

Но вернемся к делению клеток. Если клетка претерпевает деление посредством митоза, то она порождает две дочерние клетки с такими же генами, как у нее самой. Заглянем в такую клетку и посмотрим, как это происходит.

С этими словами отец Мендельморганштерн подвел мистера Томпкинса к клетке, настолько прозрачной, что можно было ясно видеть ее ядро.

— Мы успели вовремя, хромосома как раз сейчас делится пополам, — с довольным видом сказал отец Мендельморганштерн. — Взгляните в это увеличительное стекло.

Взглянув сквозь линзу, мистер Томпкинс увидел девушку в восточном одеянии, стоящую рядом с высокой стопкой глиняных табличек. На каждой табличке было по одной букве какого-то неизвестного ему алфавита, девушка брала таблички из стопки — она складывала из них вторую стопку, точную копию первой.

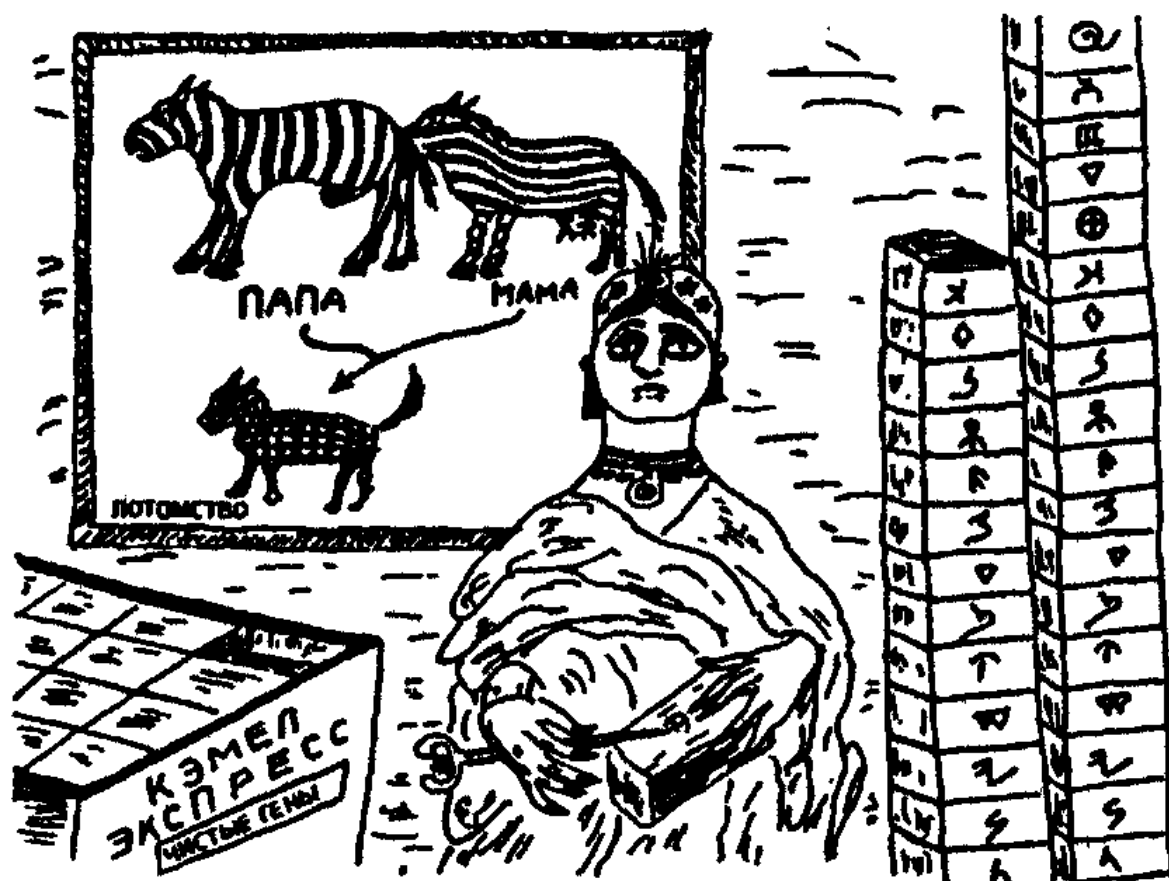
— Это мисс Полимераза, фермент, — пояснил отец Мендельморганштерн. — Она строит точную копию хромосомы. Когда работа будет закончена и пары хромосом разойдутся в результате митоза, каждая из двух дочерних клеток будет обладать набором одинаковых хромосом.

— Вы хотите сказать, что одна клетка получает все новые хромосомы, а другой достаются все старые? — спросил мистер Томпкинс.

— Нет. Новые и старые хромосомы ничем не отличаются друг от друга, поэтому не имеет значения, какие хромосомы, старые или новые, получает клетка.

— Трудно, должно быть, изготавливать точные копии, — заметил мистер Томпкинс.

— Не очень. Видите ли, такой способ копирования генетической информации природа изобрела в незапамятные времена, задолго до изобретения пишущих машинок, копирки и множительных аппаратов фирмы «Ксерокс». И нужно сказать, что действует этот



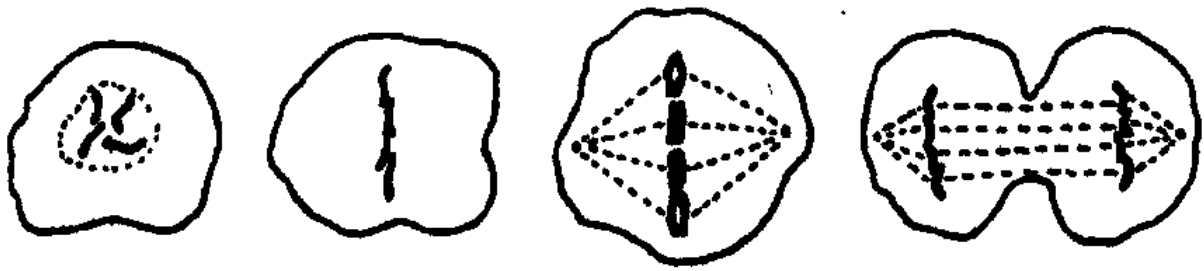
Мисс Полимераза строит точную копию хромосомы

способ почти без сбоев, лишь изредка случаются несколько ошибок, но число их очень мало.

— Понятно, — кивнул мистер Томпкинс. — А как получается, что хромосомы делятся с такой удивительной точностью?

— А вот как. Взгляните, пожалуйста, сюда. Эта клетка в конце концов станет сперматозоидом. Все хромосомы уже удвоились, но дочки-близнецы еще не разделились и примыкают друг к другу по всей своей длине. Смотрите, что происходит дальше! Вот хромосомы выстроились в две линии вплотную друг к другу. На противоположных концах клетки имеются крохотные тела, которые называются центриолями. Они тончайшими волокнами соединены с некоторой точкой на каждой хромосоме. Присмотревшись, вы заметите, что эти волокна сокращаются, и хромосомы разделяются, одни движутся к одному концу клетки, другие к другому. А вот клетка делится на две, и каждая дочерняя клетка имеет полный набор хромосом.

— Необычайно остроумный процесс! — не мог не признать мистер Томпкинс. — Но чем больше я узнаю, тем больше теряюсь в догадках. Вы говорите, что эта клетка станет сперматозоидом. У нее 46 хромосом. Когда она сольется с яйцеклеткой, у которой, насколько я понимаю, тоже 46 хромосом, то по прошествии некоторого времени родится ребенок, сын или дочь, с 92 хромосомами, не так ли? У внука или внучки хромосом будет уже 184 и т. д. С ка-

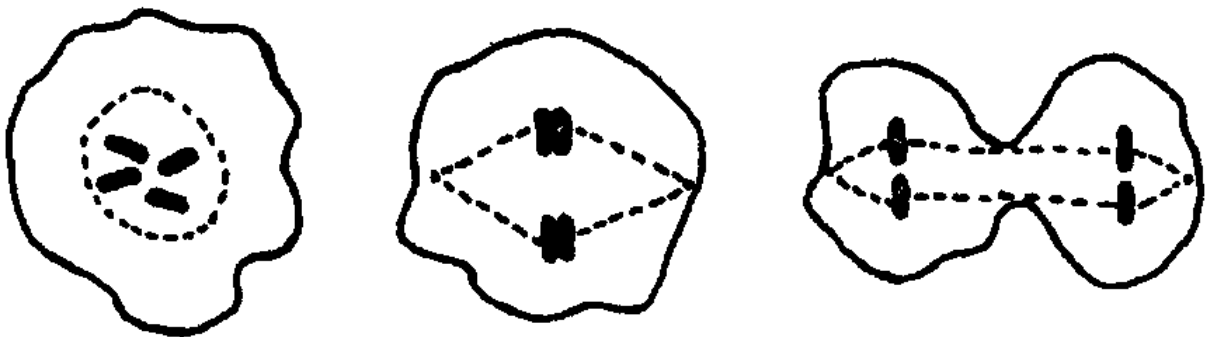


При митозе возникают две дочерние клетки с одинаковыми генами

ждым новым поколением число хромосом будет удваиваться! Но ведь в действительности ничего подобного не происходит! Как же так?

— Вы совершенно правы, когда утверждаете, что ничего подобного не происходит, — кивнул отец Мендельморганштерн. — Клетка, только что претерпевшая деление, не готова сразу стать сперматозоидом. Прежде ей необходимо претерпеть еще одно деление, называемое редукционным делением, или мейозом, в результате которого число хромосом уменьшается вдвое. Взгляните сами, вот клетка, которая вот-вот должна претерпеть мейоз.

По мнению мистера Томпкинса, указанная клетка ничем особенным не отличалась от предыдущей, но отец Мендельморганштерн был для него непререкаемым авторитетом, и мистер Томпкинс верил каждому его слову.



При мейозе каждая из дочерних клеток получает половину хромосом

— Когда клетка готовится стать сперматозоидом или яйцеклеткой, копии хромосом не делаются. Вот пара хромосом-близнецов номер три. Вместо того, чтобы каждая из них претерпела дубликацию, или удвоение, как это происходит при митозе, одна хромосома номер три сближается с другой хромосомой под тем же номером. Все остальные хромосомы также образуют пары, или, как говорят специалисты, претерпевают конъюгацию, и выстраиваются парами. Поэтому вместо 46 хромосом, каждая из которых удваивается в результате дубликации, вы получаете 23 хромосомы, удвоенные в результате не дубликации, а конъюгации. Далее процесс протекает так же, как в случае митоза. Нити растягивают два набора по 23 хромосомы к противоположным концам клетки, клетка делится, и вы получаете в результате клетку с половинным числом

хромосом. Вряд ли нужно говорить о том, что после мейоза в клетке остается только по одной хромосоме каждого типа. Мы называем это гаплоидным, или половинным, числом. Такая клетка содержит лишь по одной копии гена каждого типа. Нетрудно понять, что происходит дальше. Когда сперматозоид и яйцеклетка сливаются, каждый привносит по 23 хромосомы, и у ребенка снова образуется полный набор из 46 хромосом — по половине от каждого из родителей.

— Если я не ошибаюсь, — задумчиво проговорил мистер Томпкинс, — то это означает, что от бабушки и дедушки внук (или внучка) наследует четверть генов.

— Только в среднем, — поправил его отец Мендельморганштерн. — Дело в том, что при мейозе хромосомы распределяются случайным образом. Иначе говоря, дело обстоит совсем не так, будто все хромосомы, полученные вами от отца, достаются одному из ваших сперматозоидов, а все хромосомы, доставшиеся вам от матери, — другому сперматозоиду. Какая из хромосом любой пары достанется сперматозоиду, а какая — яйцеклетке, зависит от игры случая, важно лишь, что в сперматозоиде и яйцеклетке должны быть представлены по одной хромосоме каждого типа. Это означает, что если у вашего сына есть дочка, то вы можете не быть дедом вашей внучки.

— Как? — воскликнул мистер Томпкинс, несколько озадаченный и обеспокоенный таким заявлением.

— Очень просто, если, конечно, подумать. Так могло бы случиться, если сперматозоид вашего сына совершенно случайно получил бы только те хромосомы, которые ваш сын унаследовал от матери, и не получил бы ни одной хромосомы, унаследованной от вас. В этом случае ваша внучка не унаследовала бы от вас никаких хромосом.

— И часто такое случается?

— Это нетрудно подсчитать. Первая хромосома сперматозоида имеет равные шансы быть вашей или вашей жены, т. е. вероятность того и другого варианта равна  $1/2$ . Следующая хромосома имеет такую же вероятность быть как вашей, так и вашей жены, поэтому вероятность того, что и первая, и вторая хромосомы достались в наследство от вашей жены, составляет  $1/2 \times 1/2 = 1/4$ . Вероятность того, что все 23 хромосомы унаследованы от вашей жены, составляет одну на  $2^{23}$ , или, что то же, одну 8 388 608-ю.

Мистер Томпкинс вздохнул с явным облегчением. Заметив это, отец Мендельморганштерн решил еще больше обрадовать его:

— В действительности вероятность того, что ваша внучка не унаследует от вас ни одного гена, еще меньше. Это объясняется явлением, получившим название кроссинговера, или попросту перекреста хромосом. Когда две хромосомы выстраиваются в пару при мейозе, некоторые из карточек с наследственной информацией, или генов,

часто переходят из одного ящичка, где они хранятся, в другой. Какие из карточек меняются местами, а какие остаются на прежних местах, также определяется игрой случая. Однако ясно одно: если обмен происходит, то хромосомы перестают быть чисто отцовскими или чисто материнскими, а становятся смешанными — отцовско-материнскими (или материнско-отцовскими). Выглядит кроссинговер следующим образом. Когда хромосомы выстраиваются парами, прилегая друг к другу в каком-то одном и том же месте, у обоих хромосом может произойти поломка, которая затем «залечивается», или рекомбинируется, деталями хромосомы-партнера. Поэтому в сперматозоиде вашего сына хромосома, которую он унаследовал от своей матери, может содержать участки хромосомы, унаследованной им от вас. Поэтому вероятность того, что ваша внучка не унаследует от вас ни одного гена, ничтожно мала... Однако она вполне может унаследовать от вас меньше генов, чем в среднем, составляющем  $\frac{1}{2}$ . Если же взять не внучку, а ваших более отдаленных потомков, то вероятность того, что они не унаследуют от вас ни одного гена, становится довольно большой. Например, многие законные наследники Христофора Колумба, вполне вероятно, не являются его наследниками в биологическом смысле.

— Одно мне не совсем ясно, — прервал отца Мендельморганштерна мистер Томпкинс. — Вы живете здесь среди генов и знаете о них все. Но как узнали о них так много биологи, написавшие о генах книги для людей, вроде меня? Они же заведомо не расхаживали, разглядывая гены в лупу, как я?

— Биологи использовали непрямые, или косвенные, методы, чем-то напоминающие методы химиков. Хотя химики до недавнего времени не видели атомов, им все же удалось прийти к правильным заключениям о структурах многих молекул, анализируя умозрительно, какие химические реакции возможны, а какие невозможны. Биологи сумели собрать огромную информацию, составляя карты хромосом, т. е. устанавливая, в каком порядке гены расположены в хромосоме. Хотя осуществить такую картографическую съемку на практике не всегда легко, теоретически это очень простая процедура.

Первые и наиболее подробные карты хромосом были сняты на плодовых мушках, поэтому и мы выберем их в качестве примера. Рассмотрим только одну пару хромосом. Одна из этих хромосом нормальная, а ее партнер несет шесть генов-мутантов, которые мы обозначим А, В, С, D, E и F. Наша задача заключается в том, чтобы определить, в каком порядке эти гены располагаются в хромосоме.

Для этого вы можете спарить нормальную плодовую мушку с другой мушкой-носителем двух хромосом с генами-мутантами. Потомство от произведенного нами скрещивания, разумеется, всегда получает от одного из родителей одну нормальную хромосому. Но другой родитель может дать либо нормальную хромосому, либо хромосому с генами-мутантами. Поэтому на первый взгляд может

показаться, что у половины вылупившихся мушек все хромосомы будут нормальными, а у другой половины одна хромосома будет нормальной, а другая — с генами-мутантами. Но могут произойти и действительно происходят более сложные вещи. Предположим, что когда хромосомы выстраиваются в пары, чтобы уменьшить число хромосом и образовать яйцеклетку, нормальная и мутантная хромосомы частично обмениваются содержимым, например, обе получают повреждение в середине и залечивают рану, обмениваясь генами с одинаковыми номерами. В результате вы получаете яичко, в котором имеются, например, всего три мутантных гена, о чем вы узнаете, наблюдая за мушкой, которая вылупляется из этого яичка. Теперь вы знаете, что эти три мутанта лежат в одном блоке хромосомы, а три других гена — в другом блоке. На основе этой информации вы составляете первую, предварительную карту хромосомы [A, C, D] [E, B, F]. Квадратные скобки означают, что вам пока неизвестно, в каком порядке расположены гены в блоке.

Затем вы находите другую мушку, которая несет в себе гены A, C, D и ген B, но не несет гены E или F. Из существования такой мушки вы заключаете, что мутантный ген B расположен к генам A, C, D ближе, чем E и F, и составляете вторую предварительную карту [A, C, D] B [E, F]. Если вам удастся найти мушку типа A, то карта примет вид A [C, D] B [E, F]. Повторяя скрещивания, вам в конце концов удастся расположить гены в надлежащем относительном порядке, например, в порядке A D C B E F. Вы можете также узнать кое-что об относительном расстоянии между генами. Предположим, что карта имеет вид A.D...C.B.E.F, т. е. что расстояние между D и C больше, чем между A и D. Тогда обмен где-то в промежутке между D и C будет происходить чаще, порождая мушек типа AD или CBEF, а обмен в промежутке между A и D станет менее вероятен. Следовательно, мушки типа A или DCBEF будут встречаться реже. Таким образом, изучая, сколько процентов от общего числа мушек составляют мушки различных типов, вы можете делать заключения о расстояниях между генами. По существу, именно этот метод, уточненный и усовершенствованный, позволил нам получить неправдоподобно детальное знание генетической карты. Разумеется, существуют и другие методы исследования, и генетика стала одним из наиболее фундаментальных разделов биологической науки. Поскольку гены являются носителями всей информации об особенностях организма, чем больше мы знаем о генах, тем больше нам известно о всем организме.

— А все ли мои гены переносятся хромосомами? — поинтересовался мистер Томпкинс.

— Большинство генов переносятся хромосомами, но изредка встречаются гены, которые плавают в цитоплазме, так называется часть клетки вне ядра. Пока эти гены еще недостаточно исследованы.

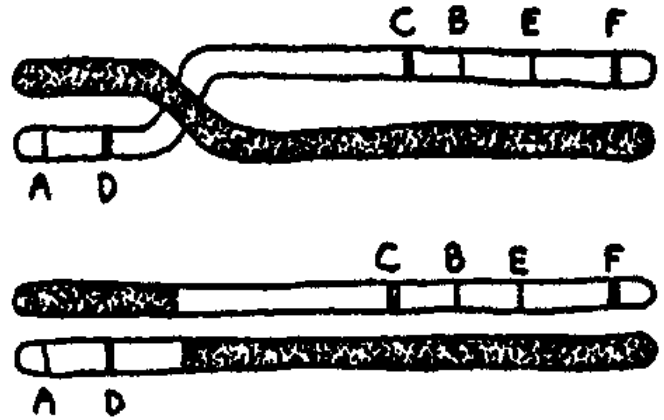
— Весьма признателен вам за столь ясные объяснения, — поблагодарил мистер Томпкинс, — но, если позволите, я хотел бы вернуться к вопросу, который мне хотелось задать вам в самом начале. Как получается, что сыновья наследуют цветовую слепоту от матерей, и почему сами женщины редко страдают от этого дефекта?

— Все объясняется очень просто, — ответил отец Мендельморганштерн. — Из правила, согласно которому хромосомы матери и отца одинаковы, имеется одно исключение: двадцать третья хромосома бывает двух типов, X и Y. X-хромосома более или менее похожа на другие хромосомы. У женщин имеются по две X-хромосомы, равно как и по две хромосомы каждого из остальных типов. У мужчин имеется только одна X-хромосома; партнером X-хромосомы у них служит Y-хромосома, своего рода недоразвитый вариант X-хромосомы, несущий неполное число генов.

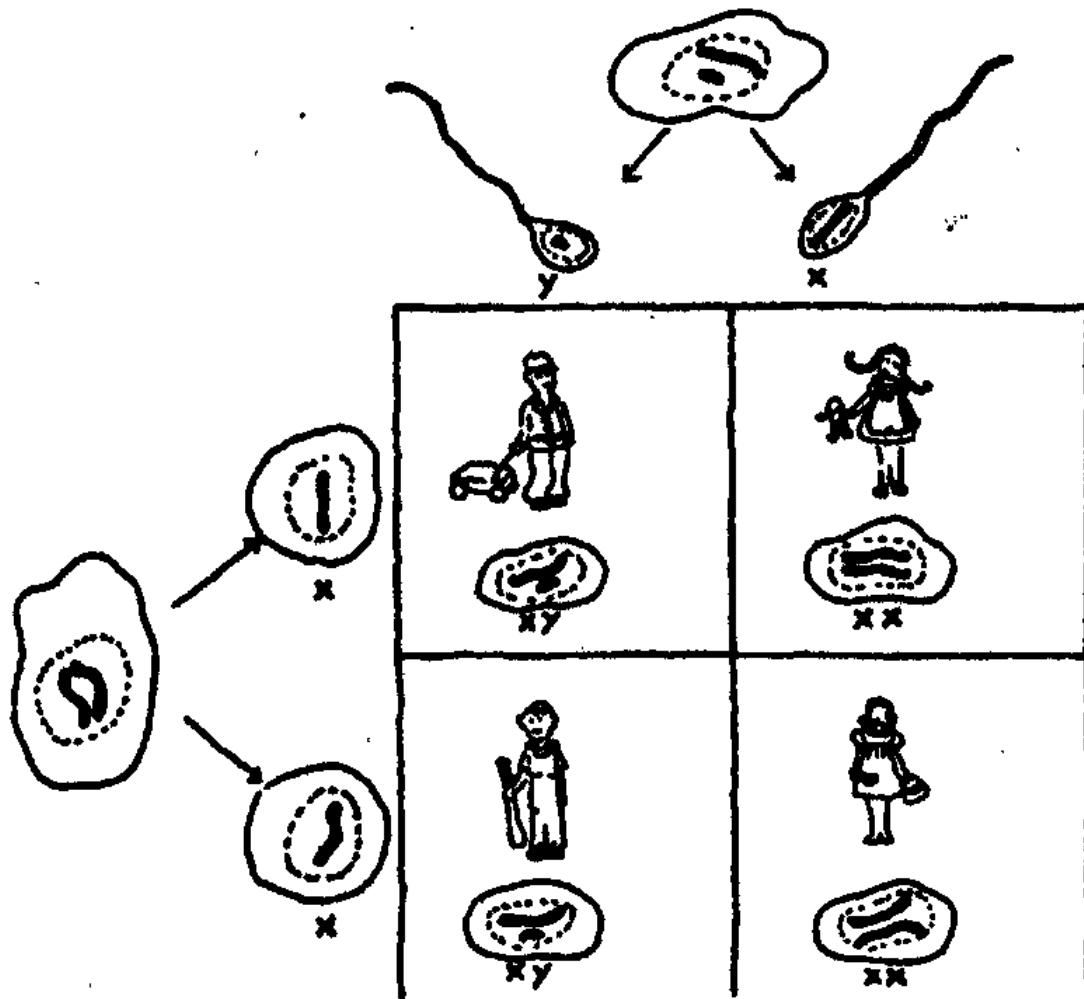
Женский организм вырабатывает яйцеклетки, которые всегда содержат X-хромосому, но мужской организм вырабатывает сперматозоиды двух типов: сперматозоиды одного типа являются носителями X-хромосомы, сперматозоиды другого типа — Y-хромосомы. Если сперматозоид с Y-хромосомой оплодотворяет яйцеклетку, то яйцеклетка получает пару хромосом XY, и ребенок будет мальчиком. Если же яйцеклетку оплодотворяет сперматозоид — носитель хромосомы X, то ребенок получает комбинацию хромосом XX и будет девочкой. Как вы видите, отец, а не мать определяет пол ребенка.

А поскольку организмы мужчин вырабатывают примерно поровну сперматозоидов, несущих хромосомы X и Y, мальчиков и девочек рождается примерно поровну, что очень удобно со всех точек зрения.

Ген, отвечающий за способность различать цвета, находится в X-хромосоме. Если этот ген у мужчины имеет дефект, то мужчина страдает цветовой слепотой. Его сын от матери с нормальной X-хромосомой не может страдать цветовой слепотой, так как X-хромосому сын наследует от матери. Его дочь также не может страдать цветовой слепотой. Правда, одна из ее X-хромосом, несущая дефектный ген, унаследована дочерью от отца, но другая X-хромосома досталась от матери и несет ген без дефектов, поэтому дочь превосходно различает цвета. Тем не менее сама дочь является носителем цветовой слепоты, так как ее сын имеет пятьдесят шансов на пятьдесят получить X-хромосому с дефектным геном. Разумеется, дочь дочери также может унаследовать X-хромосому с дефектным геном и стать носителем цветовой слепоты.



Обмен в промежутках между генами D и C происходит чаще



Мальчиков и девочек рождается примерно поровну

— Но если мать — носитель цветовой слепоты, — прервал объяснения мистер Томпкинс, — и отец страдает цветовой слепотой, то их дочь может «заразиться» от них цветовой слепотой?

— Такое событие возможно. Однако большинство цветковых генов нормально, поэтому вероятность того, что женщина унаследует две X-хромосомы с дефектными генами, очень мала. Цветовой слепотой страдает примерно один мужчина из десяти, а у женщин доля цветослепых составляет примерно одну из двухсот. Аналогично наследуется и гемофилия, или несвертываемость крови, и по той же причине эта болезнь гораздо чаще поражает мужчин. То же можно сказать и о других наследственных болезнях.

— Я всегда думал, что женщинам везет, — заметил мистер Томпкинс.

— Возможно, но не всегда, — возразил отец Мендельморганштерн, — хотя в данном случае это действительно так. Женщины, как вам известно, живут дольше мужчин. Отчасти это, несомненно, объясняется тем, что у женщин имеется по две X-хромосомы. Если какой-нибудь ген имеет дефект в одной хромосоме, то в другой хромосоме он скорее всего «исправен». У мужчин же имеется всего лишь одна X-хромосома, поэтому если какой-нибудь ген в ней имеет



дефект, то с этим ничего не поделаешь. Все сказанное склоняет нас к мысли, что слабым полом по праву следует считать мужчин.

— А откуда берутся дефективные гены?

— Они возникают в результате мутаций.

— Я где-то читал, что и эволюция происходит из-за того, что принято называть мутациями.

— Совершенно верно. Без мутаций обмен генами и хромосомами не позволил бы нам уйти особенно далеко. Вы можете как угодно перемешивать гены человекообразной обезьяны или любого другого нашего предка, но вам никогда не удастся получить *Homo sapiens*<sup>4)</sup>. Вы не можете приготовить мартини по-манхэттенски, просто перемешивая компоненты.

— Мутации, — продолжал отец Мендельморганштерн, — результат ошибок. В Голливуде, как вам известно, сцены из фильмов никогда не снимаются в той последовательности, в какой они разворачиваются по сценарию. Расположить отснятый материал в нужном порядке — задача режиссера. Ошибка при монтаже может привести ко всякого рода путанице и недоразумениям. Например, герой может жениться до того, как он сделает предложение своей возлюбленной, а ребенок может появиться до того, как его родители успеют познакомиться. Кто-нибудь из персонажей может явиться на званый обед до того, как получит приглашение, или нестись в автомашине со скоростью около ста километров в час, не успев завести мотор.

Милые девушки Полимеразы в клетке выполняют обязанности, аналогичные обязанностям голливудских режиссеров. Именно от них зависит, будет ли допущена ошибка при копировании хромосом. Если ошибка все же допущена, то из-за нее потомство двух слов не станет блохой, а потомство двух мышей — жирафом, но произойдет мутация. Но ведь наши Полимеразы — всего лишь люди, или, лучше сказать, всего лишь ферменты, и время от времени им случается ошибаться. Впрочем, работают они превосходно, как хорошая машинистка, допускающая одну опечатку на каждые 100 000 слов или около того. Когда сбой происходит, мутантный ген отдает окружающей цитоплазме несколько иные команды, и вся клетка начинает вести себя иначе. Разумеется, мутации происходят в отдельных клетках вашего тела и потому неспособны изменить любое из присущих вам свойств, так как ваш организм представляет собой колонию, состоящую из нескольких тысяч миллионов клеток, и то, что несколько клеток изменили свое поведение, не оказывает особого влияния на всю систему. (Единственное исключение возникает в тех случаях, когда одна-единственная клетка, мутировав, начинает размножаться и порождает раковое заболевание, которое, разумеется, сказывается на всем организме.) Но если мутация происходит в одной из ваших репродуктивных клеток,

<sup>4)</sup> Человек разумный — современный вид человека. — Прим. перев.

то она вызовет такие же изменения в каждой клетке организма вашего ребенка и может привести к заметным макроскопическим изменениям в его физических и умственных качествах. Число различных возможных мутаций достигает многих миллионов миллионов, большинство из них бессмысленны и вредны, но немногие мутации очень благоприятны для организма. Природа производит мутации вслепую и наугад, случайным образом. Естественный отбор исключает неудачных мутантов и ведет эволюционный процесс по пути удачных мутантов. Разумеется, как я уже говорил, мутации, если они не вызваны искусственно, — события редкие. В каждом поколении любой данный ген может подвергнуться мутации лишь с вероятностью  $1/100\,000$ . Но поскольку в вашем организме имеются тысячи генов, вероятность того, что какой-нибудь из генов мутирует, не так уж мала. По крайней мере каждая десятая яйцеклетка или каждый десятый сперматозоид несет с собой новую вредную мутацию.

— Но если мутации происходят так часто и почти все они вредоносны, — с беспокойством спросил мистер Томпкинс, — то не следует ли из этого, что и люди, а по той же причине и все другие популяции растений или животных в конце концов накопят достаточно много мутаций и вымрут?

— О нет, опасные мутации постоянно исключаются из эволюции. Носители вредоносных мутаций либо не выживают, либо во всяком случае дают меньшее потомство в следующем поколении. В среднем родители особей следующего поколения генетически более приспособлены. Так естественный отбор обеспечивает вымирание нежелательных генов.

— Но я думал, — заметил мистер Томпкинс, — что естественный отбор неприменим к человеку. Ведь мы живем в цивилизованном обществе.

— В какой-то мере вы правы, — подтвердил отец Мендельморганштерн. — Мутации, реально несущие в себе смертельную угрозу, всегда исключаются, а мы открываем методы, позволяющие выжить многим из тех, кто раньше не выживал. Например, существует наследственная болезнь, известная под названием агаммаглобулинемия, а проще говоря, неспособность вырабатывать достаточное количество антител. Те, кто страдает этой болезнью, до последнего времени умирали в детстве, поскольку они не могли бороться с бактериальными инфекциями. Теперь же им можно помочь справиться с такими инфекциями с помощью пенициллина. В результате носители агаммаглобулинемией получают возможность размножаться, и частота мутантного гена, вызывающего заболевание, будет увеличиваться. И это лишь один пример.

— Означают ли ваши слова, что человечество обречено на вымирание из-за ухудшения генетического состава?

— Не обязательно. Скорее это иллюстрирует два обстоятельства: что вы принимаете решение, даже если ничего не делаете, и что нельзя одновременно иметь целый пирог и есть его. То, чем мы сейчас занимаемся, — это в определенной степени сдерживание действия естественного отбора. Делая это, мы поступаем вполне естественно, так как естественный отбор представляет собой жестокий и расточительный метод поддержания приспособленности. Однако невозможно получить нечто за ничто. Если мы будем по-прежнему двигаться в этом направлении и продолжать ничего не делать, то цена, которую нам придется в конце концов заплатить за свою бездеятельность, очевидна. Со временем значительная часть населения будет состоять из индивидов, которые выживут только благодаря медикаментам и хирургическому вмешательству. Но и такая плачевная перспектива имеет свой предел: он наступает тогда, когда небольшая толика людей, оставшихся здоровыми, не будет заниматься ничем другим, кроме ухода за больными.

— А существует ли какой-нибудь выход из такого положения? — обеспокоенно спросил мистер Томпкинс.

— Разумеется, существует, если мы захотим. Коль скоро мы позволяем себе вмешиваться в такой фундаментальный принцип, как естественный отбор, который более чем за миллионы лет привел нас туда, где мы сейчас находимся, и поддерживал нас в разумном здравии, нам необходимо понимать, что мы делаем. Упразднить естественный отбор и не пострадать от пагубных последствий можно только в том случае, если мы вернем его, так сказать, через черный ход. Иначе говоря, необходимо следить за тем, чтобы генетически более приспособленные по-прежнему были родителями следующего поколения. Как добиться этого — одна из самых значительных и трудных биологических проблем, которые стоят перед человечеством.

— Надеюсь, у нас еще есть время, чтобы решить эту проблему, — с надеждой произнес мистер Томпкинс.

— Вы правы, — подтвердил отец Мендельморганштерн. — Изменения в частоте, с которой встречаются те или иные гены, происходят во временной шкале, измеряемой поколениями. Но значительная часть проблемы заключается в другом. Позвольте пояснить мою мысль на примере. Около 70 % случаев мышечной дистрофии происходят из-за рецессивного гена, переносчиком которого, как и гена цветовой слепоты, служит X-хромосома. От матери такой ген может перейти к дочери, которая станет носителем мышечной дистрофии, но сама не будет страдать от этого заболевания, или к сыну, который в таком случае умрет, не достигнув зрелости. Недавно стало возможным со значительной долей уверенности обнаруживать женщин-носителей мышечной дистрофии. Если бы таких женщин можно было локализовать и убедить не иметь детей, то мышечная дистро-

фия как заболевание исчезла бы за несколько лет. Аналогичные наследственные болезни ученые открывают все время.

— Но разве самые что ни на есть наследственные болезни не редки? — поинтересовался мистер Томпкинс. — И разве не маловероятно, что дети заболеют ими?

— Вы правы, каждая из наследственных болезней в отдельности встречается редко, хотя все вместе они представляют серьезную угрозу. Причину такого положения вещей понять нетрудно. До сих пор естественный отбор существенно ограничивал частоту появления пагубных рецессивных мутантных генов, но до нуля она все же не падает, так как случайные мутации воспроизводят их в популяции. А поскольку такие гены встречаются редко, вероятность того, что два индивида-носителя одной и той же мутации образуют супружескую пару, ничтожно мала. Например, если носителем мутации является один человек из ста, то в среднем два рецессивных гена имеют вероятность, равную  $1/10\,000$ , встретиться и возбудить соответствующее наследственное заболевание. Вот почему такие мутации выживают. Они, так сказать, прячутся за хорошими генами. И хотя носитель вредоносного гена, производя на свет потомство, имеет мало шансов возбудить в прямом наследнике или наследнице заболевание, он или она продолжают оставаться хранителями мутации в данной популяции, и наследственная болезнь рано или поздно поражает кого-нибудь из ее членов.

— Утешением может служить то, — рассудительно заметил мистер Томпкинс, — что такие болезни по крайней мере сейчас поражают людей не слишком часто, хотя в будущем всякое может случиться.

— Несомненно, — подтвердил отец Мендельморганштерн, — хотя я не стал бы утверждать, что наследственные болезни встречаются так уж редко. Естественный отбор непрестанно ведет с наследственными болезнями борьбу, выпалывая их, как сорную траву, но его возможности не безграничны. Он действительно отбирает здоровых и сильных, но только до конца репродуктивного периода, пока человек сохраняет способность к размножению. Предположим, что ребенок наследует ген, который вызовет у него диабет в возрасте четырнадцати лет. Естественный отбор стремится отбраковать такой ген, так как ранний диабет отрицательно сказывается на репродуктивных способностях человека, уменьшая вероятность здорового потомства. Поэтому вероятность появления такого гена остается низкой. Но если мутантный ген вызывает диабет только или главным образом в возрасте после пятидесяти лет, то естественный отбор его не отбраковывает, так как носители такого гена успевают передать его следующему поколению, пока они еще были здоровы. А то, что происходит с индивидом после того, как завершается его репродуктивный период, естественный отбор «не интересуется». Хотя наше знание генетики человека не столь глубоко, как нам хотелось

бы, я ничуть не сомневаюсь в том, что многие болезни, свойственные преклонному возрасту, возникают именно вследствие мутаций, с которыми не борется естественный отбор потому, что проявляются старческие заболевания после окончания репродуктивного периода. Я отнюдь не утверждаю, что если бы у нас были здоровые гены, то мы жили бы вечно, но в том, что мы жили бы дольше, нет сомнений. Для вас от этой идеи, если ее принимать буквально, нет особого проку, так как теория относительности Эйнштейна запрещает вмешательство в события прошлого. Но зато она может оказаться полезной будущим поколениям, если их родители не окажутся носителями генетически менее сильных признаков.

Мистер Томпкинс почувствовал, что обсуждаемые проблемы начинают вызывать у него смутное беспокойство. Чтобы сменить тему разговора, он попросил:

— Не могли бы вы подробнее рассказать о происхождении мутаций?

— Начать хотя бы с того, — охотно согласился отец Мендель-морганштерн, — что существуют так называемые спонтанные, или самопроизвольные мутации, вызванные тепловым движением молекул генов. Как вам известно, тепло — явление статистическое, поэтому тепловые колебания различных частей молекулы, примерно одинаковые по интенсивности при любой заданной температуре, могут случайно стать более сильными, чем в среднем. Если какая-то из атомных групп, образующих молекулы гена, оказалась бы вовлеченной в такое аномально интенсивное движение, то она могла бы случайно отделиться и сойти со своего привычного места. Мутировавший ген стал бы отдавать клетке другие команды, которые могут привести к изменению цвета глаз, появлению на руке шестого пальца, улучшению способности логически мыслить, склонности к диспепсии, развитию художественного вкуса или миллионам других изменений. Считаю необходимым подчеркнуть еще раз, что такие изменения могут происходить только в том случае, если мутантный ген присутствует в яйцеклетке или сперматозоиде, из которых развивается индивид, в результате чего носителями мутаций становятся все клетки его тела. Таким образом, чтобы быть эффективной, мутация должна произойти в зародышевых клетках предка.

— Означает ли сказанное вами, что люди, живущие в жарком климате, подвергаются мутациям гораздо чаще тех, кто живет в холодном климате? — поинтересовался мистер Томпкинс.

— Нет, поскольку мы теплокровные существа, и тело коренного жителя Африки имеет такую же температуру, как тело гренландского эскимоса. Правда, имеются некоторые данные о том, что доля мутантов от общей численности населения слегка варьируется у различных народов, но эти расхождения могут объясняться, например, различиями в продуктах питания. Известно, что некоторые вещества, входящие в состав продуктов питания, например, кофеин, способны

вызывать мутации. А вот у холоднокровных животных температурный эффект действительно наблюдается. Например, ген в яйцеклетке или спермии плодовой мушки *Drosophila melanogaster* претерпевает распространенную мутацию, в результате обычно темно-красные глаза мушек у потомства становятся белыми. Если выводить таких мушек в замкнутых сосудах при различной температуре, то нетрудно заметить, что с повышением температуры обычно малая доля потомства с белыми глазами значительно увеличивается. Увеличение доли мутантов подчиняется простым правилам, как и увеличение скорости обычных химических реакций при различных температурах.

Существуют также мутации, вызываемые различного рода ионизирующими излучениями, ультрафиолетом, рентгеновским излучением с высокой энергией, испускаемым радиоактивными материалами. Если быстрый электрон, возникший в живых тканях под воздействием ионизирующих излучений, сталкивается с какой-то частью гена, то он может выбить эту часть с того места, где она обычно находится. Если бы мы знали структуру гена до мельчайших подробностей и могли выстреливать электронами в нужную точку гена так же, как мы стреляем пулями из ружья, то нам были бы доступны любые изменения в живых существах по нашему усмотрению. Но, разумеется, это совершенно невозможно, и, как и в случае тепловых мутаций, изменения, вызываемые излучением, происходят совершенно случайно. Некоторые естественные мутации, по-видимому, обусловлены действием так называемых космических лучей — очень разреженного потока частиц с высокой энергией, падающего на Землю из межзвездного пространства. Но действие космических лучей должно быть очень слабым, так как тибетцы, живущие на высоте более 3 000 метров над уровнем моря, где это излучение сильнее, страдают от него ничуть не больше голландца, живущего на уровне трех метров ниже уровня моря, на котором космические лучи значительно слабее. Лишь около одной мутации из тысячи приходится на долю космических лучей, остальные 999 мутаций обусловлены другими причинами. Поэтому даже если какого-нибудь индивида подвергнуть вдвое более продолжительному воздействию космических лучей, то уровень мутаций возрастет лишь примерно на 0,1 %, что не очень заметно. Иное дело, если вы астронавт и попали в пояса интенсивной радиации, окружающие Землю.

— А как обстоит дело с радиацией при взрыве атомной бомбы и продуктов деления атомов урана? — осторожно спросил мистер Томпкинс, у которого этот круг вопросов вызывал после бомбардировки Хиросимы непреходящий болезненный интерес.

— В очень слабых дозах, — сообщил отец Мендельморганштерн, — атомная радиация оказывает на организм такое же действие, как слабое рентгеновское излучение, которое, как известно, вызывает мутации генов. Но, разумеется, в случае очень интенсивной радиации значительная часть клеток в организме оказывается

поврежденной, отчего возникает так называемая лучевая болезнь со смертельным исходом. В подобных случаях бессмысленно говорить о мутациях отдельных генов, как было бы бессмысленно говорить о спонтанных тепловых мутациях в теле омара, которого опустили в кипящую воду. Интенсивная радиация, насколько можно судить, производит более сильные разрушения в цитоплазме клетки, чем в ее ядре и хромосомах, но почему так происходит, пока неизвестно.

— А много ли радиации требуется, чтобы убить человека? — спросил мистер Томпкинс, не вполне поняв последние слова.

— Для трезвого человека летальная (т. е. смертельная) доза радиации составляет около четырехсот единиц, известных среди радиологов под названием рентгенов.

— А что вы имеете в виду, когда говорите о трезвом человеке?

— Видите ли, — улыбнулся отец Мендельморганштерн, — мой друг доктор Нидерландер сообщил мне недавно, что нашел антидот, который почти вдвое увеличивает сопротивляемость организма.

С этими словами отец Мендельморганштерн извлек из кармана бутылку превосходного шотландского виски.

— Хлебните как следует из такой бутылки за несколько минут до того, как подвергнетесь радиации, и ваши шансы выжить после атомного взрыва существенно возрастут.

— Вы шутите? — недоверчиво переспросил мистер Томпкинс.

— Ничуть, это научно установленный факт. Но, повторяю, виски необходимо принять до того, как вы подвергнетесь воздействию радиации. Прием после не смягчает пагубных последствий облучения.

Оставшись в одиночестве, мистер Томпкинс решил понаблюдать еще за несколькими актами деления. Но внезапно его отвлек от этого занятия раскат грома, прозвучавший прямо над головой. Мистер Томпкинс взглянул вверх и увидел высоко в небе скопление небольших желтых шаров, стремительно опускавшихся на него.

«Ливень космических лучей! — пронеслось в голове мистера Томпкинса. — И идет прямо на меня! Впрочем, ничего страшного нет, — попытался он успокоить себя. — Много ли вреда могут причинить человеку несколько атомных частиц?»

«Но ведь сейчас я не человек! — пронзила его другая мысль. — Ведь я не больше, чем ген!»

Между тем ливень частиц приближался почти вплотную, и один из шаров, испуская злое желтое свечение, направился прямо к мистеру Томпкинсу. Почти не помня себя от страха, мистер Томпкинс схватил бутылку виски, оставленную отцом Мендельморганштерном, и принялся пить прямо из горлышка.

Перед глазами мистера Томпкинса запрыгали рассыпающиеся на мелкие осколки огненные шары и яркие светящиеся дуги. Клетки и хромосомы начали кружиться вокруг него все быстрее и быстрее, и на миг он потерял сознание...

Открыв глаза, мистер Томпкинс обнаружил, что сидит в своем любимом кресле. Знакомая до мелочей обстановка гостиной действовала, как всегда, успокоительно. На противоположной стене, прямо напротив него, висела литография с картины Уистлера.

У себя в руках мистер Томпкинс увидел пустую бутылку из-под виски. Услышав шаги Мод, вернувшейся после поездки за покупками, он торопливо сунул бутылку под кресло.



---

## Число зверя

---

Однажды утром, просматривая свою газету, мистер Томпкинс наткнулся на статью, посвященную успехам биологии и, в частности, генетики. Оказывается, что за последние годы биологии удалось достичь существенного прогресса, возникла новая область исследований, получившая название молекулярной биологии. Вместо того, чтобы довольствоваться смутными ссылками на гены, теперь открывается возможность подробнейшего рассмотрения молекулярной структуры генетического материала и указания местоположения каждого атома, участвующего в структуре гена. Теперь биологи знали не только как выглядит ген, но и что он делает. Когда мистер Томпкинс прочитал обо всем этом, в нем тотчас же проснулось любопытство. Мистеру Томпкинсу нестерпимо захотелось снова отправиться в путешествие по своему телу, чтобы побольше узнать о том, как работает организм. Заодно мистер Томпкинс решил, что ему пора пройти очередное медицинское обследование. Он позвонил в банк, где работал, и предупредил, что задержится, после чего снова отправился в приемную Нового мемориального госпиталя, чтобы повидаться с доктором Стритсом.

По прибытии в госпиталь, мистер Томпкинс к своему разочарованию узнал, что его планам не суждено сбыться. Доктор Стритс, который так охотно объяснял ему различные явления, происходящие в живом организме, из госпиталя уволился, а новый директор был слишком занят, чтобы тратить свое драгоценное время на объяснения.

— Если вы хотите пройти обследование, — сообщил он мистеру Томпкинсу, — вам надлежит обратиться в амбулаторное отделение и попросить медсестру назначить вас на прием к специалистам. Сожалею, что я не могу осмотреть вас лично, но не сомневаюсь, что вы найдете другого врача, который охотно вам поможет.

Мысль о том, что вместо его старого друга доктора Стритса ему придется предстать перед каким-то другим врачом, не очень прельщала мистера Томпкинса. Тем не менее, поблагодарив нового директора, он послушно отправился в амбулаторное отделение. Удобно расположившись в кресле, мистер Томпкинс достал утреннюю газету и принялся перечитывать статью по молекулярной биологии.

Во второй раз статья показалась ему не столь интересной, и он начал клевать носом.

Очнувшись, мистер Томпкинс обнаружил, что бредет по коридору, сильно отличающемуся от остальных помещений госпиталя. Двери по обе стороны коридора вели не в палаты, где находились больные, а в лаборатории, заставленные различным научным оборудованием, над которым, как наседка над выводком цыплят, хлопотали молодые люди и девушки в белоснежных лабораторных халатах. Судя по всему, мистер Томпкинс забрел в то крыло госпиталя, где размещались научно-исследовательские лаборатории.

На всех дверях висели таблички, на которых значилось, чьи владения находились за дверью, но незнакомые имена ничего не говорили мистеру Томпкинсу. И только дойдя до конца коридора, мистер Томпкинс обнаружил комнату, в которой размещалась лаборатория некоего доктора М. Х. Ф. Экскинса, и неожиданно вспомнил, что этот самый доктор Экскинс был старым добрым другом его, мистера Томпкинса, тестя, профессора физики, и неоднократно навещался к тестю, чтобы обсудить какие-то заумные физические проблемы, недоступные пониманию неспециалиста. Каждый раз по окончании таких бесед тесть мистера Томпкинса приглашал гостя к столу, за которым собирались все домашние, в том числе и мистер Томпкинс. Поколебавшись немного в нерешительности, мистер Томпкинс все же решил заглянуть к доктору Экскинсу на тот случай, если тот его помнит.

Доктор Экскинс сидел на своем рабочем месте перед настольным калькулятором<sup>1)</sup>. Мистера Томпкинса он узнал с первого взгляда. После обмена приветствиями мистер Томпкинс поведал о своем неудачном визите к директору госпиталя.

— И великолепно! Зато теперь вы обратились прямо по адресу, — успокоил мистера Томпкинса доктор Экскинс. — Я занимаюсь исследованием молекулярной структуры и, смею надеяться, могу стать лучшим гидом по генам. Вы узнаете от меня гораздо больше, чем если бы вас снова инъецировали в вашу кровеносную систему. Но, может быть, было бы лучше, если бы вы подробно рассказали, на какие вопросы вам бы хотелось получить от меня ответы.

— Премного благодарен, — признательно улыбнулся мистер Томпкинс. — В колледже мне довелось изучать предметы, главным образом связанные с банковским делом, но я прослушал и курс органической химии. Из него я узнал, если мне не изменяет память, что еще в старину химики определили структуры всевозможных органических соединений, и, сказать по правде, полагал, что нам все о них известно. А сегодня в газетной статье я читаю, что ученые заняты тем, что определяют положения атомов в гене. Гены, по словам са-

<sup>1)</sup> В 1967 году, когда была написана эта книга, персональный компьютер еще не успел стать неотъемлемым атрибутом любой научной лаборатории. — *Прим. перев.*

мих ученых, представляют собой органические молекулы. Зачем же ученым заниматься тем, что было давно сделано?

— Органическая молекула, особенно если она большая, — пояснил доктор Экскинс, — может изгибаться самым причудливым образом, хотя все ее части остаются по-прежнему связанными, как изгибается цепочка, собранная из деталей детского конструктора на шарнирных соединениях. Химики, работавшие в старину, установили, какой атом в молекуле может быть связан с каким. Но хотя эта информация имеет фундаментальное значение, ею далеко не исчерпывается то, что мы хотим знать. Теперь мы изучаем, как в действительности расположены атомы в пространстве, а такая информация очень важна для понимания структуры генов и белков.

— И всем этим занимается только молекулярная биология? — поинтересовался мистер Томпкинс, вспоминая статью в газете, которую прочитал утром.

— Не только и не вся молекулярная биология. Установление пространственного расположения атомов составляет лишь часть молекулярной биологии. Важную роль в получении информации о расположении атомов сыграло множество различных экспериментов, часть которых не имела никакого отношения ни к химии, ни к физике. Значительный прогресс был достигнут, когда ряд ранее независимых исследований, проводившихся, например, в рамках генетики и биохимии, продвинулись настолько, что, так сказать, пересеклись или встретились. Генетическая мутация может вызывать в организме некоторые биохимические изменения, например, неспособность расщеплять некоторые сахара, или приводить к структурным изменениям в гемоглобине, как при некоторых видах наследственных анемий, например, к пониженной способности переносить кислород по кровотоку. Наоборот, некоторые химические вещества могут вызывать мутацию. Все эти выдающиеся достижения стали возможны благодаря всестороннему исследованию ситуации. Но мне особенно приятно сообщить вам, что очень важной частью этих совместных усилий стали исследования формы молекул. Поэтому некоторые из нас с таким рвением занимаются определением возможного пространственного положения атомов во всевозможных молекулах.

— Но каким образом вы можете определять пространственное положение атомов? — удивился мистер Томпкинс. — Сент говорил мне, что разглядеть атом невозможно даже в электронный микроскоп.

— Разглядеть отдельный атом вы действительно не можете, — подтвердил доктор Экскинс, — но зато ничто не мешает вам рассмотреть множество атомов, расположенных в пространстве так, что каждый атом одинаково расположен относительно всех остальных.

Заметив недоумение на лице мистера Томпкинса, доктор Экскинс продолжал:

— Вы поймете, что я имею в виду, взглянув на кафельный пол в этой комнате. Пол выложен квадратными плитками двух сортов, красными и белыми. Обратите внимание, что к каждой красной плитке примыкают, имея с ней общие стороны, по четыре белые плитки, а к каждой белой плитке примыкают по четыре красные плитки, образуя простейший узор, какой только можно себе представить. Можно сказать, что любая красная плитка занимает такое же положение относительно белых плиток, какое каждая белая плитка занимает относительно красных плиток. Именно это я и имею в виду, когда говорю, что каждый атом одинаково расположен относительно всех остальных: в окрестности каждого атома все остальные атомы расположены одинаково.

— Но я всегда думал, — заметил мистер Томпкинс, — что атомы непрерывно движутся и не образуют застывший узор, как плитки кафельного пола.

— Разумеется, атомы движутся в газе или жидкости, и даже в некоторых твердых телах, например, в стеклах, атомы не образуют правильных узоров. Однако существует одна разновидность твердых тел, в которых атомы располагаются в пространстве с поразительной правильностью. Мы называем такие твердые тела кристаллами. В кристаллах все атомы занимают определенное положение, как плитки в кафельном полу, хотя вследствие теплового движения они колеблются то в одну, то в другую сторону. Положение атомов в кристалле можно определить с помощью метода, известного под названием дифракции рентгеновского излучения. Хотя отдельный атом создает лишь очень слабый эффект, совместное действие большого числа атомов, периодически расположенных в пространстве, может быть обнаружено с помощью рентгеновского излучения. Многие очень большие молекулы образуют кристаллы. В частности, кристаллы образуют вирусы или белки, и в принципе мы можем определить в такой молекуле положение каждого атома.

— Я понимаю то, что вы говорите, но не понимаю, как вы это делаете, — признался мистер Томпкинс. — Не могли бы вы более подробно объяснить, как вам удастся определять положение атомов?

— Охотно, но сначала мне придется прочитать вам небольшую лекцию по оптике. Объяснить основы совсем нетрудно, если мы с вами подойдем вон к той доске.

Мистер Томпкинс последовал за доктором Экскинсом и подождал, пока тот стер с доски остатки каких-то вычислений.

— Великий сэр Исаак Ньютон считал, что свет представляет собой поток корпускул, которые, как пули, летят в пространстве. Как нам теперь известно, в его взглядах много истины, но во многих случаях свет лучше рассматривать как волновое движение. В 1802 году английский физик Томас Юнг выполнил эксперимент, который свидетельствовал в пользу волновой природы света. Сначала Юнг

пропустил свет через отверстие размером с булавоочную головку и поставил на пути прошедшего света экран. Как и следовало ожидать, на экране он увидел светлое пятнышко. Затем Юнг проделал второе отверстие размером с булавоочную головку, расположив его очень близко от первого. И тогда на экране он увидел яркое центральное пятно, окруженное светлыми и темными кольцами. Эти кольца получили название интерференционных колец, и их стали рассматривать как подтверждение волновых свойств света.

— А из чего следует такое заключение? Мне не понятно.

— Интерференция — одно из свойств, характерных для волн. Если вы понаблюдаете за волнами, расходящимися от встречных судов, то легко увидите интерференцию. Волны распространяются независимо друг от друга, и в каждой точке мы наблюдаем эффект, равный сумме двух волн. Если в точку приходят два гребня или две впадины, то получится более высокий гребень или более глубокая впадина. Если же в точку приходит гребень одной волны и впадина другой, то волны могут погасить друг друга (при условии, что высота гребня совпадает с глубиной впадины). Интерференционные кольца, которые наблюдал в своем опыте Юнг, объясняются именно таким эффектом. Рассмотрим, что происходит, когда свет одной и той же длины волны проходит через два отверстия. Под длиной волны принято понимать расстояние от гребня до ближайшего гребня, или, что то же, от впадины до соседней впадины. Расстояние от точки экрана, расположенной прямо напротив середины отрезка, соединяющего отверстия, до каждого из отверстий одинаково, поэтому гребни волн усиливают друг друга, и мы получаем яркое пятно. Но стоит чуть сдвинуться в сторону, как найдутся точки, расстояние от которых до двух отверстий различаются на половину длины волны света. Гребень одной волны и впадина другой в таких точках экрана погашают друг друга, и мы получаем темное кольцо. А еще чуть дальше расстояние от точек до отверстий отличается на целую длину волны, гребни волн усиливают друг друга, мы получаем светлое кольцо и т. д. Темные и светлые кольца чередуются.

Задолго до того, как Юнг проделал свой эксперимент, сэр Исаак Ньютон обнаружил, что если белый свет пропустить через стеклянную призму, то под различными углами получится свет различных цветов. Если за призмой поставить экран, то на нем мы увидим то, что принято называть спектром. Белый свет, заключил Ньютон, — это смесь различных цветов; каждый из цветов при прохождении сквозь призму отклоняется под определенным углом. Именно так возникает радуга в небе, когда солнечный свет преломляется и отражается, проходя сквозь взвешенные в воздухе капельки воды.

После того, как Юнг произвел свой эксперимент с интерференцией света, стало ясно, что спектр можно получить и без призмы. Достаточно взять стеклянную или металлическую поверхность и нанести на нее очень тонкие прямые линии через правильные

интервалы, длина которых сравнима с длиной волны света. Такая разливованная поверхность называется решеткой. Затем вы направляет на такую решетку под некоторым углом пучок света. Для простоты предположим, что свет монохроматический, т. е. состоит из волн одной длины, или имеет только один цвет. Когда свет падает на решетку, каждая точка между линиями действует как источник света. Если теперь мы воспользуемся линзой, чтобы образовать на экране изображение решетки, то на экране найдется точка, расстояния от которой до точек на решетке отличаются на целое число длин волн. Это означает, что гребни волн, приходящих от этих точек, усиливают друг друга, и мы получаем на экране яркое пятно. Разумеется, положение этого пятна зависит от длины волны света. Свет с другими длинами волн (других цветов) будет образовывать яркие полосы в других местах экрана, поэтому белый свет разложится в спектр, как при прохождении сквозь призму.

Зная угол отражения и расстояние между линиями решетки, мы легко можем определить длину волны света любого цвета. Именно так и была определена длина волны света. Голубой свет имеет длину волны около четырех сотысячных сантиметра, красный — примерно вдвое большую длину волны.

— Очень короткие волны по сравнению с радиоволнами, — счел нужным заметить мистер Томпкинс.

— А длины волн рентгеновского излучения еще гораздо короче, — подтвердил доктор Экскинс. — Когда немецкий физик Рентген в 1895 году открыл икс-лучи, природа загадочного излучения не была известна. Впоследствии было установлено, что оно в известной мере аналогично свету, но имеет намного более короткую длину волны. Чтобы доказать, что рентгеновское излучение аналогично свету, было необходимо продемонстрировать какое-нибудь интерференционное явление. Но если рентгеновское излучение имеет по сравнению со светом гораздо более короткую длину волны, то и линии на решетке должны располагаться гораздо теснее — намного ближе друг к другу, чем можно было изготовить. Возникло весьма затруднительное положение.

В 1912 году этой проблемой занялся немецкий физик Макс фон Лауэ. Из беседы с двумя другими учеными он узнал, что атомы в кристаллах расположены с удивительной правильностью на расстоянии примерно  $10^{-8}$  см друг от друга, и понял, что кристалл — идеальная решетка, созданная самой природой!

Спешно вернувшись в свою лабораторию, фон Лауэ пропустил пучок рентгеновских лучей через кристалл сульфида цинка и обнаружил на фотопластинке, игравшей роль экрана, красивый узор из светлых пятен. Проблема была решена! Рентгеновское излучение действительно вело себя, как световые волны, только длина волны была намного короче. Что же касается длины волны рентгеновского

излучения, то она была известна из других работ, равно как и расстояние между атомами. Оказалось, что длина волны рентгеновского излучения примерно в тысячу раз короче, чем у видимого света, и сравнима с расстоянием между атомами в кристалле.

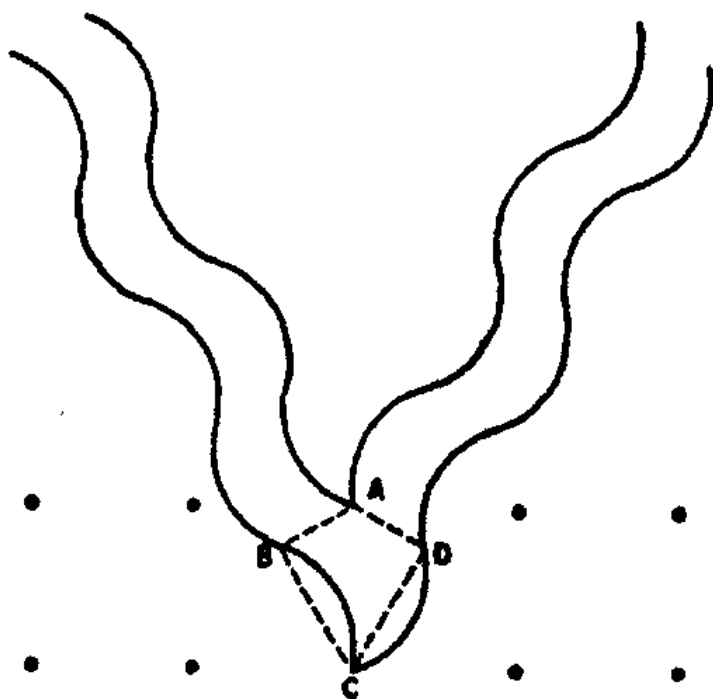
Но коль скоро межатомные расстояния и длина волны рентгеновского излучения известны, задачу можно обратить: по расстояниям между светлыми пятнами на фотопластинке в принципе можно, рассуждая «обратным ходом», восстановить расположение атомов в кристалле неизвестной структуры. Именно так мы и узнаем структуру сложных белков и других больших молекул живой материи.

— А как вы решаете задачу «обратным ходом»? — поинтересовался мистер Томпкинс.

— Английский физик сэр Уильям Генри Брэгг первым обратил внимание на то, что кристаллы в атомах проще всего рассматривать как расположенные плоскостями, вроде параллельных бумажных листов на некотором расстоянии друг от друга. В сечении это выглядит вот так.

Доктор Экскинс набросал на доске схему.

— Рентгеновское излучение отражается от плоскостей так же, как свет от зеркал. Если две вереницы, или, как принято го-



Отражение рентгеновских лучей  
в кристалле

ворить, два цуга рентгеновских волн распространяются в одной фазе, гребень к гребню, впадина к впадине, то после отражения волны уже не будут идти в таком согласии по той простой причине, что нижней волне необходимо преодолеть дополнительное расстояние  $BCD$ , и она отстанет. Но если на участке  $B CD$  укладывается ровно одна длина волны, то после отражения волны по-прежнему будут распространяться в одной фазе, так как гребень нижней волны будет идти «нога

в ногу» с гребнем верхней волны. То же самое произойдет и в том случае, если на участке  $B CD$  укладывается 2, 3, 4 или любое другое целое число длин волн. Если вы хотя бы немного помните тригонометрию, то для вас не составит труда вывести знаменитую формулу Брэгга, которая утверждает, что гребни и впадины волны будут идти «нога в ногу», если  $\lambda = 2d \sin \alpha$ , или  $2\lambda = 2d \sin \alpha$ , или  $3\lambda = 2d \sin \alpha$ , а в общем виде — если  $n\lambda = 2d \sin \alpha$ , где  $n$  — произвольное целое

положительное число,  $\lambda$  — длина волны рентгеновского излучения,  $d$  — расстояние между плоскостями в кристалле и  $\alpha$  — угол отражения.

— А что, собственно говоря, означает формула Брэгга? — спросил мистер Томпкинс, который был не очень силен в тригонометрии.

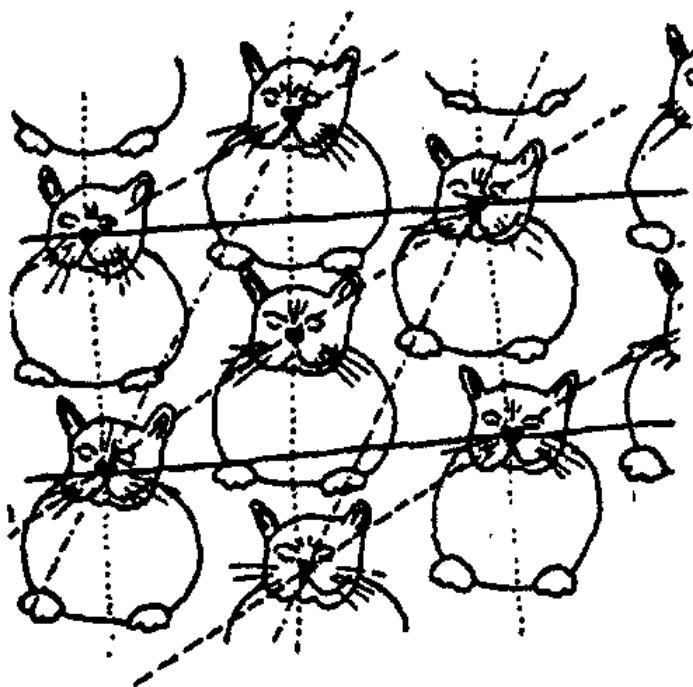
— Она означает, что плоскости в кристалле нельзя считать зеркалами в обычном смысле, так как отражение от них происходит только под определенным углом. По другим направлениям между волнами происходит так называемая разрушительная интерференция. Попросту говоря, они гасят друг друга. Красота формулы Брэгга заключается в том, что если известны длина волны рентгеновского излучения  $\lambda$  и угол отражения  $\alpha$ , то с ее помощью можно найти расстояние  $d$  между плоскостями. Правда, необходимо также знать число  $n$ , т. е. сколько длин волн укладывается в дополнительном отрезке пути, но я не хочу обременять вас излишними подробностями.

— Блестяще! — с восхищением заметил мистер Томпкинс. — А что произойдет, если атомы в кристалле расположатся в виде плоскостей не совсем точно?

— Это невозможно. Если перед вами кристалл, то атомы всегда выстраиваются по плоскостям, — последовал ответ доктора Экскинса. — Например, предположим, что вам удалось построить кристалл из кошек.

— Макс, тренер фагов, говорил мне, что из собак построить кристалл невозможно. А с кошками все обстоит иначе?

— Нет, из реальных кошек построить кристалл ничуть не легче, чем из реальных собак, что невозможно потому, что во всем мире не найдется двух совершенно одинаковых кошек. Даже если бы нам удалось найти кошек-близнецов из одного помета, они принимают различные позы, машут хвостом и т. д., поэтому никакие две реальные кошки не могут считаться тождественными в один и тот же момент времени. Но ничто не мешает нам построить кристалл из воображаемых кошек, как я это сделал на рисунке.



Взгляните на кошачьи носы, и вы увидите, какие плоскости можно провести через них

Здесь каждая кошка, изображающая молекулу, ничем не отличается от любой другой кошки и так же расположена относительно своих соседей, как и любая другая кошка, т. е. ведет себя, как атомы

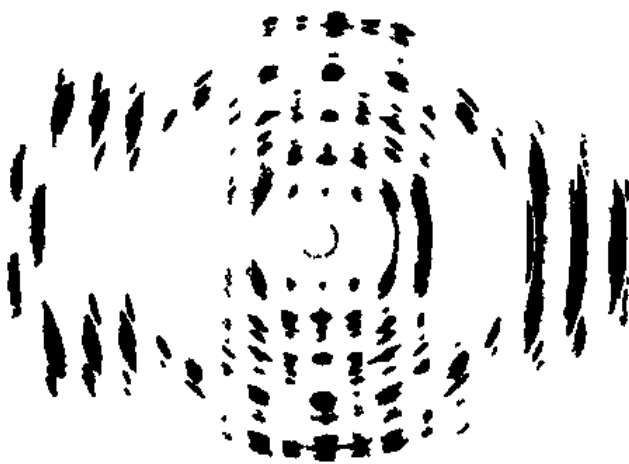


в кристалле. Сосредоточим внимание на кошачьих носках и, приняв их за атомы, посмотрим, какие плоскости можно провести через них. Как вы видите, сделать это можно по-разному; в действительности, если кристалл имеет бесконечно большие размеры (тянется неограниченно во все стороны), то и различных плоскостей можно провести бесконечно много. Но, как вы, должно быть, заметили, плотность точек (в нашем случае кошачьих носов) в одних плоскостях больше, чем в других, и нас в первую очередь будут интересовать те плоскости, в которых точек больше, так как отражение рентгеновских лучей от других плоскостей очень слабо. Разумеется, другие атомы могут находиться там, где находятся кошачьи уши и т. д., поэтому существуют другие плоскости, проходящие через уши.

На практике, пропуская через кристалл рентгеновские лучи, мы вращаем кристалл вокруг его оси симметрии. Это позволяет подставить каждую плоскость из одинаково расположенных атомов, одну в один момент времени, другую в другой под нужным углом к падающему лучу — тому самому, при котором происходит отражение. Эти углы мы записываем в лабораторные журналы так же, как и интенсивности отражений, и по полученной информации можем судить о расположении плоскостей и в конечном счете о расположении отдельных атомов в молекуле. Такого рода микроскопические исследования возможны потому, что в кристалле эквивалентные позиции занимает огромное количество атомов.

— Вас послушать, так все вроде бы легко и просто, — не без яда заметил мистер Томпкинс. — А нельзя было бы мне взглянуть, на что похожи атомы генов, восстанавливаемые по светлым пятнышкам на вашем рентгеновском снимке?

— Хотя это совсем не просто, — ответил доктор Экскинс, — но во многих случаях такое возможно. Если вы пройдете со мной в соседнюю комнату, я покажу вам кое-что интересное.



Дифракционное изображение волокна ДНК (с разрешения д-ра М. Х. Ф. Уилкинса и д-ра У. Фуллера из Научно-исследовательского биофизического отдела Королевского колледжа в Лондоне)

Оказавшись в соседней комнате, доктор Экскинс извлек из груды бумаг на столе фотоснимок.

— Перед вами дифракционное изображение вещества генов. По этим пятнам вы можете восстановить картину расположения атомов в гене. Но, к сожалению, вещество генов не имеет структуры идеального трехмерного кристалла. Поэтому лучше всего растянуть ген в нить, что позволит существенно сократить количество информации, извлекаемой из дифрак-

ционного изображения. При анализе мы можем также использовать и другие виды информации, например, ту информацию, которую получаем из обычных химических анализов.

— Я увижу структуру гена, так сказать, своим мысленным взором? — спросил мистер Томпкинс.

— Да, но одного лишь вашего мысленного взора недостаточно. Чтобы «перевести» пятна на дифракционном изображении в положения атомов, вам понадобится компьютер, в который следует ввести информацию, извлеченную из рентгеновских дифракционных изображений. Я полагаю, что вам следует перестать быть мистером Томпкинсом во плоти и крови и превратиться в серию сигналов, которые мы введем в компьютер, так что вы сможете сопровождать другие сигналы. А когда компьютер выдаст ответ, вы вернетесь, чтобы посмотреть, как выглядит ген.

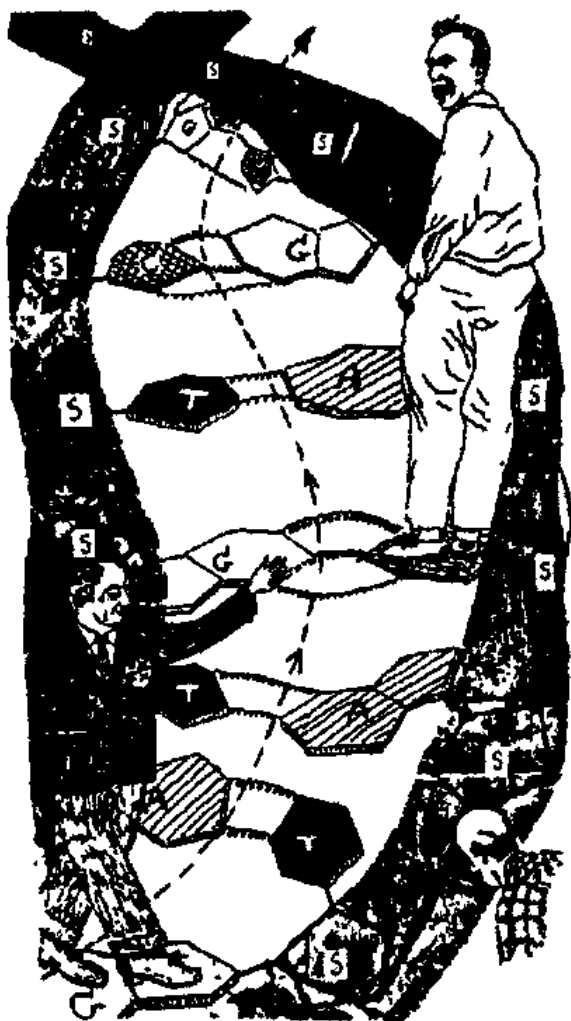
Если повезет, то мы сейчас проникнем в страну, которая до сих пор открывалась разве что мысленному взору, и это поможет нам получить ответы на некоторые из ваших вопросов. Не бойтесь, если иногда у вас появится такое ощущение, будто вы распадаетесь на части. Оно связано с тем, что сигналы от различных отверстий на вашей перфокарте обрабатываются в компьютере по различным направлениям в соответствии с информацией, полученной от рентгеновских снимков. Но смею вас уверить, что все закончится благополучно.

Перфокарта вместе с другими данными была надлежащим образом введена в компьютер, и некоторое время мистер Томпкинс не мог с уверенностью сказать, существует он или не существует. Ему казалось, что он присутствует одновременно в нескольких местах, а вокруг него беспрестанно вспыхивали и гасли миниатюрные молнии. Но постепенно окружающая картина начала проясняться, и мистеру Томпкинсу живо вспомнилось, как он сплавлялся по своей кровеносной системе.

Но вместо ревущего кровотока на этот раз мистер Томпкинс оказался погруженным в бесцветную прозрачную и очень вязкую жидкость, напоминающую глицерин. Плавая в ней, он вскоре приблизился к какому-то весьма необычному сооружению, напоминавшему винтовую лестницу. Она вздымалась откуда-то из глубин и простиралась вверх, насколько было видно. За все свои путешествия внутри собственного тела мистеру Томпкинсу не приходилось видеть ничего подобного. Мистер Томпкинс ухватился за один из двух винтовых брусьев, к которым были прикреплены ступени, и повис.

По лестнице один за другим поднимались двое. Один был одет весьма небрежно, а на ногах у него были теннисные туфли без шнурков. Другой был типичным англичанином, судя по синему клубному пиджаку с вышитым гербом Кембриджского университета. Ни один, ни другой не обратили ни малейшего внимания на пловца, уцепившегося за опору винтовой лестницы, но человек из Кембриджа дружески помахал рукой доктору Эскинсу.

— Что здесь происходит? — спросил мистер Томпкинс, когда доктор Эскинс приблизился вплотную.



Двое поднимались по лестнице...

— Эти двое, которые поднимаются по винтовой лестнице, — сообщил доктор Эскинс, — прелюбопытная пара. Один из них американский биохимик, другой — английский кристаллограф<sup>2)</sup>. Несколько лет назад они построили эту винтовую лестницу — двойную геликоиду, или винтовую линию, от латинского «геликс» — раковины моллюска, и им, естественно, доставляет удовольствие взбираться и спускаться по лестнице.

— А что в конструкции этой лестницы необычного? — удивился мистер Томпкинс.

— О, в ней есть одна замечательная особенность, — заверил его доктор Эскинс. — Как вы видите, основу лестницы образуют два длинных бруса, которые закручиваются один вокруг другого. В действительности эти бруссы представляют собой длинные цепи из двух сцепленных между собой молекул: фосфат — сахар (дезоксирибоза) — фосфат — сахар —

... К каждому из брусьев прикреплены ступени лестницы, должен сказать, весьма замечательная деталь конструкции. Мы называем эти ступени основаниями. В действительности одну ступень образует пара оснований, по одному основанию, прикрепленному к каждой из винтовых направляющих и направленному навстречу другому. Два основания имеют форму плоских шестиугольников и называются пиримидинами. Два других основания называются пуринами. По своим размерам они несколько больше пиримидинов, так как имеют форму шестиугольника, к которому прикреплен пятиугольник — конструкция, напоминающая мотоцикл с коляской. Два пиримидина

<sup>2)</sup> Как и другие герои Г. А. Гамова, эти двое имеют реальных прототипов — лауреатов Нобелевской премии 1962 года английского биофизика, генетика и кристаллографа сэра Фрэнсиса Крика и американского биохимика Джеймса Уотсона, создавших модель основного носителя генетического кода — молекулы ДНК — в виде двойной винтовой линии («двойной спирали» (спираль — плоская кривая; структура ДНК — двойная геликоида — пространственная кривая)). — Прим. перев.

называются тимином и цитозином, а два более крупных пурина — аденином и гуанином.

— А откуда вы знаете, что их всего четыре? — спросил мистер Томпкинс.

— Как видите, винтовые линии, несущие лестницы, отстоят одна от другой на некотором расстоянии. Зазор между линиями слишком мал для того, чтобы в нем поместились два более крупных пурина, но слишком велик для того, чтобы его можно было перекрыть двумя меньшими по размерам пиримидинами. Ступеньку винтовой лестницы можно составить только из одного пурина и одного пиримидина, между которыми возникают две или три связи, но подходит для ступеньки не любая комбинация пурина с пиримидином. У каждого пурина партнером может быть только один вполне определенный пиримидин. Существуют только четыре возможных комбинации:

аденин ↔ тимин,  
 тимин ↔ аденин,  
 гуанин ↔ цитозин,  
 цитозин ↔ гуанин.

И тут мистер Томпкинс увидел спускавшихся по лестнице двух джентльменов — тех самых, которые перед этим поднимались по лестнице. Должно быть, они закончили свой инспекционный обход и пребывали в более добродушном настроении. Джентльмен из Кембриджа, впервые заметив мистера Томпкинса, обронил:

— Да у нас тут, как я вижу, посетитель.

— И смею заверить вас, сэр, весьма заинтересованный посетитель, — поспешил заверить его мистер Томпкинс. — Доктор Экскинс объяснял мне, как устроена ваша замечательная винтовая лестница. Не могли бы вы сказать, для чего она вам понадобилась?

— В действительности такие лестницы представляют собой не что иное, как гены, — ответил джентльмен из Кембриджа. — Это гигантские молекулы вещества, называемого дезоксирибонуклеиновой кислотой, или для краткости ДНК.

— Но когда я гостил у отца Мендельморганштерна, мне приходилось видеть ген, хранящий информацию о моих отпечатках пальцев. У моего гена пальцы были выпачканы черной краской, но он не был похож на винтовую лестницу.

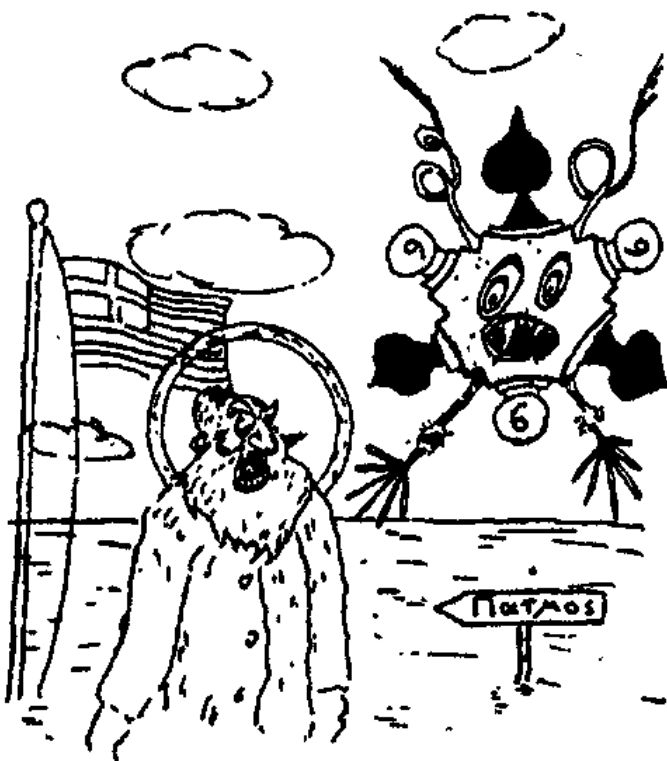
— Сказки Матушки Гусыни!<sup>3)</sup> — фыркнул более молодой джентльмен, начинавший свою научную карьеру как орнитолог (ученый, изучающий птиц). — По-вашему, гены, определяющие пол, должны выглядеть, как Венера Милосская, а гены, определяющие строение мышц, как Геркулес?

<sup>3)</sup> «Сказки Матушки Гусыни» — известный сборник английских детских стихов и песенок. — *Прим. перев.*

— Не будем обострять отношения, — прервал его коллега. — Разве слово «дом» похоже на дом? Разумеется, не похоже. Ген не должен походить на тот эффект, который он производит. Теперь вы видите ген при очень сильном увеличении, и вам должно быть ясно, что перед вами не что иное, как число. Отвлечемся на минутку. Джим, объясни, в чем здесь дело, этому джентльмену.

Джентльмен из Кембриджа взмахнул рукой, и мистер Томпкинс с удивлением увидел, что винтовая линия превратилась в два набора игральных карт, закручивающихся винтом друг относительно друга.

— Теперь, — продолжал старший из двух джентльменов, — мы упростили нашу конструкцию, низвели ее до основ. Должно быть, вас несколько смутили химические названия гуанин и тимин. Поэтому условимся называть тимины — бубнами, аденины — червями, цитозины — трефами и гуанины — пиками. Вам так будет проще. Взглянув на винтовую лестницу, вы увидите, что каждая из цепочек представляет собой последовательность карт, которые могут быть расположены в любом порядке. Единственное правило состоит в том, что если в одной цепи у вас есть карта червовой масти, то против нее в другой цепи должна быть карта бубновой масти и т. д.



На острове Патмос святому Иоанну открылся Зверь, число которого было 666

полное описание, как мы теперь знаем, потребовало бы многие миллионы цифр. Все мы носим внутри себя такие числа, записанные

— Но вы же сказали, что винтовая лестница в действительности есть не что иное, как число.

— Конечно, число! Ведь вы можете обозначить черви нулями, бубны единицами, трефы двойками и пике тройками. Тогда вся цепочка может быть записана в виде огромного числа. Так как такого рода число описывает вас, любое животное или растение, его можно назвать «числом зверя». На острове Патмос св. Иоанну открылся Зверь, число которого было  $\chi\Xi\S$ <sup>4)</sup>, или 666. Но столь малое число должно было означать лишь какую-то деталь в строении Зверя, так как его

<sup>4)</sup> У древних греков числа обозначались буквами алфавита (в так называемой ионийской системе счисления): буква  $\chi$  означала 600,  $\Xi$  — 60 и  $\Sigma$  — 6. — Прим. перев.

на языке ДНК. А теперь прошу меня извинить, но я должен идти. Не сомневаюсь, что доктор Эскинс ответит на все ваши вопросы.

И двое джентльменов удалились.

— Хорошо, что вы все еще здесь, — обратился мистер Томпкинс к доктору Эскинсу, — а то я не все понял с «числом зверя». Поскольку в ДНК две цепи, звери должны иметь по два числа. Почему нужны два числа, одно для одной цепи, другое — для другой?

— Дело в том, что число зверя выполняет не одну, а две функции. Оно необходимо для передачи команд, или инструкций, клеткам и для дубликации, чтобы передаваться от одного поколения клеток другому. Именно для этого столь уместным оказываются два числа, в чем вы легко можете убедиться на примере другого процесса дубликации, используемого в фотографии.

Если перед вами листок с инструкциями и вы сфотографируете его, то сначала получите негатив. Поэтому, строго говоря, это еще не дубликация, и если бы клетка действовала бы по такой схеме, то позитивы и негативы инструкций чередовались бы от поколения к поколению. Чтобы избежать этого, клетка хранит и позитив, и негатив. Когда приходит пора дубликации, клетка изготавливает негатив с исходного позитива и прикрепляет его к последнему. Затем она изготавливает негатив с исходного негатива, т. е. позитив, и прикрепляет его к исходному негативу. В результате получаются два набора, каждый из которых состоит из позитива и негатива, ничем не отличающихся от исходных. Один такой набор переходит к дочерней клетке.

— Когда вы говорите о негативе и позитиве, то имеете в виду две цепи ДНК? — уточнил мистер Томпкинс. — Одну из них вы считаете позитивом, а другую негативом, не так ли?

— Именно так. Как только что заметил мой друг, против каждой карты червовой масти в одной цепи в другой имеется карта бубновой масти, а против любой карты трефовой масти — карта пиковой масти. Поэтому если вам известна одна цепь, вы можете сразу восстановить другую. Обе цепи содержат одну и ту же информацию, но каждая цепь «обратна» другой, так сказать, как позитив и негатив фотографии. Когда происходит дубликация, цепи ДНК разъединяются, а затем к каждой цепи по правилам спаривания оснований пристраивается дополнительная цепь. В результате получаются две двойные цепи, каждая из которых идентична оригиналу.

— Очень остроумно, — не мог не признать мистер Томпкинс, на которого процедура дубликации ДНК произвела сильное впечатление. — А не могу ли я своими глазами увидеть, как это действительно происходит?

— Поскольку клетка, в которой мы сейчас находимся, расположена в нижнем слое кожи, а его клетки непрерывно делятся,

я не удивлюсь, если очень скоро мы увидим, как будет изготавливаться копия этой молекулы ДНК. Подождем немного.

Ждать долго не пришлось, вскоре откуда-то снизу показался большой комок вещества. Прилипнув к ДНК, он поднимался все выше и выше.

— А вот и то, что мы ждали, — заметил доктор Экскинс. — Вы видите, как действует фермент, который называется полимераз.

— Этот большой комок — полимераз? — недоверчиво переспросил мистер Томкинс, помнивший, что в его предыдущем сне мисс Полимераза предстала перед ним в облике таинственной девицы в восточном наряде.

— Этот, как вы изволили выразиться, комок действует как высокопроизводительная машина, сплетающая подвесные тросы для мостов, но только она не сплетает один трос из нескольких жил, а расплетает один трос на две жилы.

Действительно, полимераз, поднимаясь по винтовой линии, расплетала ДНК. За полимеразой тянулись, проворно скручиваясь, две двойные спирали. Вскоре машина скрылась из вида.

— Полимераза сначала расплетает двойную цепь, — пояснил доктор Экскинс, — а затем вступает в действие правило спаривания оснований. Оно «замечает», какая именно карта образует половину ступеньки, прикрепленную к расплетенной одиночной цепи, и подцепляет к ней соответствующую дополнительную карту, достраивая вторую цепь. В результате вы начинаете с двойной винтовой линии и заканчиваете двойной винтовой линией. Карты, которые необходимы полимеразе, чтобы строить новые цепи, изготавливаются другими ферментами и плавают вокруг, пока не попадутся на крючок полимеразе.

— Насколько можно судить, эта полимераз превосходно работает, — не мог не признать мистер Томкинс, — но отец Мендельморганштерн сообщил мне, что копирование гена не всегда происходит точно и что бывают сбои, называемые мутациями.

— Такое действительно случается, но не очень часто. Подобно всем машинам, полимераз иногда допускает сбои и скрепляет с картой не ту карту, которую нужно. Эту разновидность мутаций мы называем ошибкой копирования. Существуют и другие типы мутаций. Как должно быть, сообщил вам добрый отец Мендельморганштерн, молекулы генов иногда оказываются поврежденными тепловым возбуждением или в результате столкновения с частицами, обладающими большой энергией. А вот эта карта сейчас оторвется.

Действительно, одна из карт, побуждаемая необычайно интенсивным движением окружающих молекул, вдруг задрожала, оторвалась от цепи и уплыла прочь.

— Должно быть, одна из клеток мутировала, — догадался мистер Томкинс.

— Подождем — увидим, — сказал доктор Экскинс. Вскоре показалась другая полимераза. Она, как ищущая, что-то «вынюхивала», рыская то вверх, то вниз по молекуле ДНК. Добравшись до того места, где была прикреплена уплывшая карта, полимераза замерла, вырезала поврежденный участок цепи, вставила несколько новых карт и двинулась дальше.

— Теперь молекула ДНК снова стала, как новенькая. Эта разновидность полимераз восстанавливает поврежденные участки цепи. Обнаружив недостающую карту, она заменяет ее новой. Разумеется, она знает, какую карту следует вставить, потому что на противоположной цепи парная карта остается на месте. Если же потеряны обе карты, то вся информация утрачивается, и тогда происходит мутация. Бывает и так, что если отсутствует только одна карта, то фермент, занимающийся починкой цепи, не замечает поврежденного участка или, опять-таки, неправильно восполняет недостачу. Тем не менее в большинстве случаев восстанавливающие ферменты превосходно справляются со своей работой, и мутации встречаются далеко не так часто, как могли бы, не будь таких ферментов.

— Мне кажется, что теперь я понял, как происходит дубликация ДНК, — заметил мистер Томпкинс. — Но ваш приятель сказал мне, что ДНК в действительности представляет собой очень большое число, определяющее, каким должен быть организм.

— Интересная проблема, — кивнул доктор Экскинс. — Вы можете рассматривать клетку или все тело как своего рода фабрику, занимающуюся изготовлением новых клеток и частей, так как и клетка, и тело растут, а изнашивающиеся детали требуют замены новыми. ДНК играет на этой фабрике роль генерального плана или центрального склада чертежей. Но, разумеется, ни от каких чертежей нет толку, если их кто-нибудь не читает и не следует заложенным в них инструкциям — на фабрике это были бы инженеры и техники. К тому же вы вряд ли хотели бы, чтобы генеральный план циркулировал сам по себе, рискуя затеряться или оказаться поврежденным. Поэтому вы предпочли бы снять с генерального плана нужное количество копий и уже их рассылать по цехам и на сборочные площадки. Именно так и делает клетка. Генеральный план ДНК хранится в «заводеуправлении» клетки — ее ядре. Копии, снятые с различных частей ДНК, посылаются в цитоплазму, окружающую ядро, где и производится работа в соответствии с полученными инструкциями. И все это происходит четко и слаженно. — Великолепная постановка дела!

— А как изготавливаются эти копии ДНК? — с интересом спросил мистер Томпкинс.

— Природа обычно действует просто, и если ей удастся найти способ что-нибудь сделать, она стремится воспользоваться этим способом во многих различных целях. Изготовление копий ДНК очень похоже на дублирование самой ДНК. Не сомневаюсь, что если мы



запасемся немного терпением и понаблюдаем, то вскоре увидим, как изготавливается копия генерального плана.

И действительно, через несколько мгновений снизу появилась еще одна полимераза, взбиравшаяся по ДНК и распуская двойную винтовую линию на две отдельные нити. Но, как заметил мистер Томкинс, вместо того, чтобы оставлять за собой хвост из двух двойных нитей ДНК, эта полимераза составляла определенную последовательность карт, которая не изгибалась винтом вокруг ДНК, а уплывала прочь, двигаясь по воле случая к тому месту, где находились мистер Томкинс и доктор Эскинс.

— Эта полимераза несколько отличается от той, которая делала две молекулы ДНК из одной, — пояснил доктор Эскинс. — Поскольку она переписывает, или транскрибирует, ДНК, мы называем ее транскриптазой. Как вы заметили, она делает обратную копию только одной из двух нитей ДНК, и по своим химическим свойствам копия слегка отличается от оригинала.

— А в чем проявляется различие? — удивился мистер Томкинс. — Мне показалась, что копия очень похожа на оригинал, только состоит из одной цепи.

— Копия действительно очень похожа на оригинал, ведь обе молекулы принадлежат к числу так называемых нуклеиновых кислот, но в скелетной цепи копии сахара имеют на один атом кислорода больше, чем в молекуле ДНК. К тому же вместо тимина копия содержит другое вещество — урацил. И называется такого рода копия рибонуклеиновой кислотой, или сокращенно РНК. Таким образом, генеральным планом служит молекула ДНК, а рабочими копиями — молекулы РНК, информационной РНК, так как ее молекулы выступают в роли переносчиков информации от ДНК на сборочную площадку.

— А что происходит, когда переносчики попадают на сборочную площадку?

— А разве вы сами не видите? Этот переносчик только что изготовлен и сейчас отправится на сборочную площадку. Я предлагаю взобраться на него и, так сказать, совершить верховую прогулку.

Взобраться на переносчика оказалось не так-то просто. Мистеру Томкинсу он показался больше похожим на огромного покрытого шипами питона, чем на разносчика телеграмм. И двигался переносчик не плавно, а какими-то рывками и толчками.

— Переносчик движется, виляя своим хвостом? — осведомился мистер Томкинс.

— Нет, мы движемся из-за диффузии, или броуновского движения. Молекулы воды бомбардируют нас со всех сторон, поэтому мы движемся случайным образом. Но, к счастью, поскольку расстояния внутри клетки малы, мы через минуту или около того достигнем пункта назначения, даже двигаясь по случайной траектории.

И действительно, последовавший толчок выбросил их через большую дыру в ядерной мембране в цитоплазму.

Мистер Томпкинс увидел, что вокруг плавают какие-то образования, похожие на большие камешки неправильной формы, вроде тех, что встречаются на галечном пляже. Большинство из таких образований прилипли, как мухи к липкой бумаге, к другим переносчикам, плывшим, извиваясь, как змеи, в различных направлениях.

— Это рибосомы, — объявил доктор Экскинс. — Скоро начнется перевод.

— Перевод во что?

— Перевод сообщения РНК на язык белков. Возможно, вам уже доводилось слышать, что белки представляют собой длинные последовательности из двадцати различных аминокислот, которые и определяют, каков белок. Такая последовательность — нечто вроде рецепта, написанного на языке, алфавит которого содержит двадцать букв, включая пробелы между словами и знаки препинания.

— Понятно, — кивнул мистер Томпкинс. — Когда я путешествовал по сердечно-сосудистой системе, доктор Стритс показал мне длинную молекулу глобина, которая принимает участие в захвате молекул кислорода гемоглобином.

— Как я вам уже объяснил, — продолжал доктор Экскинс, — нуклеиновые кислоты и, в частности, информационная РНК, состоят из последовательностей всего лишь четырех различных молекулярных групп, которые вы можете называть либо так, как это принято в химии, либо последовательностями игральных карт, либо числами 0, 1, 2 и 3.

— А какое отношение это имеет к аминокислотам в белке? — спросил мистер Томпкинс.

— Если вы представите себе информационную РНК в виде телеграфной ленты, на которой печатается сообщение, то рибосомы служат автоматическими печатающими устройствами, превращающими последовательность чисел на ленте в обычную («буквенную») запись, когда лента движется мимо них. Рибосомы считывают информацию РНК и переводят ее в последовательность аминокислот. Аналогия с телеграфной лентой очень удачна, так как, если вы присмотритесь, то увидите, что переносчик информации и в самом деле скользит между двух рибосом, одной побольше, другой несколько поменьше.

Тут хвост переносчика, на котором сидели мистер Томпкинс и доктор Экскинс, ударился о рибосому и прилип к ней. И тут мистер Томпкинс увидел, что рибосома, казавшаяся издали шарообразным телом, в действительности имеет форму двух соприкасающихся шаров, и хвост информационной РНК покоится в ложбинке между шарами.

— Сейчас начнется, — объявил доктор Экскинс. К месту соприкосновения переносчика и рибосомы прикрепилась подплывшая

из цитоплазмы молекула аминокислоты, а рибосома сдвинулась на некоторое расстояние, словно шестерня повернулась на один зубец. Еще одна молекула аминокислоты присоединилась в новом месте соприкосновения и тотчас же сцепилась с предыдущей молекулой аминокислоты. Так рибосома сдвигалась шаг за шагом, пока последняя точка соприкосновения ее и переносчика не оказалась занята — на ней повисла гирлянда аминокислот. Но не успела рибосома пройти и половину переносчика, как к его хвосту прикрепилась другая рибосома и начала строить еще одну цепь аминокислот.

— Теперь вы знаете, как информационная РНК переводится на язык белков. Различные аминокислоты, входящие в состав белка, прикрепляются к очень маленьким молекулам РНК, называемой транспортной РНК, потому что ее молекулы переносят аминокислоты и помогают им распознавать, что написано на «телеграфной ленте» информационной РНК. Каждая разновидность аминокислот имеет свою собственную транспортную РНК, к молекулам которой прикрепляются молекулы данной аминокислоты. Все эти молекулы плавают в цитоплазме, двигаясь случайным образом. Но все молекулы аминокислот, несмотря на различия, бьют в одну и ту же «активную точку», в которой лента переносчика прикрепляется к рибосоме. Предположим, что в этой точке ленты стоит, или, если угодно, значится, некоторая аминокислота, например, глутаминовая кислота.

— Знакомое название, — не удержался от замечания мистер Томпкинс.

— Скорее всего, вам приходилось встречать его в виде глутамата натрия, натриевой соли глутаминовой кислоты, которую ваша жена использует в качестве вкусовой добавки к различным блюдам. Потрясающее японское открытие! Сам по себе глутамат натрия не имеет вкуса, но при добавлении в пищу делает ее вкус более ощутимым. Так вот, если в точке соприкосновения с рибосомой на ленте РНК написано «глутаминовая кислота», то при попадании в эту точку какой-нибудь другой аминокислоты ничего не происходит. Если же в эту точку попадает глутаминовая кислота, то с помощью своей транспортной РНК она распознает, что попала по адресу, прикрепляется там и сцепляется с предыдущей аминокислотой. Транспортная РНК глутаминовой кислоты уплывает прочь, лента перемещается на один шаг, и у нас снова все готово к приему следующей аминокислоты. На составление, или нанизывание цепи примерно из ста аминокислот, образующих молекулу одного из ваших белков, уходит минута.

— Я думал, что существуют только ДНК и РНК, — признался мистер Томпкинс, — но теперь вы говорите, что существуют две разновидности РНК, информационная и транспортная. Это усложняет ситуацию.

— Сказать по правде, существуют три разновидности РНК, так как рибосома частично состоит из особой разновидности РНК. Но это

ничуть не усложняет ситуацию, так как информацию переносит только информационная РНК. Две остальные разновидности РНК служат своего рода деталями печатающего устройства.

— Я кое-что припоминаю, — неожиданно произнес мистер Томпкинс. — Макс, тренер фагов, рассказал мне, что вирусы обманывают клетки, заставляя их вырабатывать белки, присущие вирусам, а не здоровым клеткам. Должно быть, этот обман каким-то образом связан с процессом перевода.

— Вы совершенно правы. Когда вирусная нуклеиновая кислота попадает в клетку, клетка продолжает вырабатывать переносчиков, и, разумеется, рибосомы не могут обнаружить различия, считывают информацию переносчиков и производят вирусные белки.

Внезапно последовала ослепительная вспышка света и наступила темнота. Открыв глаза, мистер Томпкинс с удивлением увидел, что находится в кабинете доктора Эскинса, который по-прежнему восседает за своим письменным столом.

— Компьютер выключили, и поэтому мы снова оказались здесь, — пояснил доктор Эскинс. — О чем еще вы бы хотели узнать перед уходом?

— Вы неоднократно упоминали о том, что информационная РНК переводится на язык белков, — начал мистер Томпкинс. — Как это может быть, если белки представляют собой цепи из двадцати аминокислот, тогда как переносчик представляет собой цепь всего лишь из четырех различных оснований?

— Вопрос, что называется, не в бровь, а в глаз, — одобрительно кивнул доктор Эскинс. — То, о чем вы спрашиваете, известно под названием проблемы биологического кода. Вы можете рассматривать эту проблему следующим образом. Предположим, что у вас имеется четыре цвета: красный, белый, синий и желтый. Сколько различных флагов вы можете изготовить, если каждый флаг имеет только один цвет?

— Детский вопрос, — обиженно произнес мистер Томпкинс. — Ясно, что только четыре.

— Совершенно верно. Значит, если у вас есть четыре различных основания и аминокислоту определяет только одно основание, то в белках может быть только четыре типа аминокислот. Но предположим теперь, что ваш флаг состоит из двух одноцветных половин. Сколько флагов вы сможете изготовить в этом случае?

— Минуточку, сейчас посмотрим. Желтая и красная, синяя и красная, белая и желтая... Кажется, задачка довольно сложная!

— Ничуть, — возразил доктор Эскинс. — Нижняя половина может быть любого из четырех цветов, и какого бы цвета ни была нижняя половина, верхняя половина также может быть любого из четырех цветов. Таким образом, общее число возможных флагов в этом случае равно  $4 \times 4 = 16$ .

— Понятно, — кивнул мистер Томпкинс. — Если аминокислоту определяют два входящих в нее основания, то всего можно получить шестнадцать аминокислот. Но этого явно недостаточно.

— Совершенно верно. Поэтому возьмем флаги, состоящие не из двух, а из трех полос. Сколько таких флагов вы могли бы изготовить?

В арифметике мистер Томпкинс был силен и сразу понял, что имеет в виду доктор Экскинс.

— Трехполосных флагов можно изготовить  $4 \times 4 \times 4$ , или 64, — сказал он. — Но здесь, как мне кажется, возникает проблема. Двух оснований в одной аминокислоте недостаточно, так как общее число различных аминокислот достигает лишь 16, а три основания порождают 64 аминокислоты, т. е. слишком много. Означает ли это, что ДНК использует только 20 из 64 возможных комбинаций оснований?

— Нет, не означает. Дело в том, что код, как говорят специалисты, вырожденный, т. е. более чем одна комбинация трех оснований считывается как одна и та же аминокислота. Нам хорошо известно, какие комбинации оснований соответствуют той или иной аминокислоте. Я не помню деталей, но выписал все варианты. Вот, взгляните, пожалуйста. Мы называем этот перечень «Биологическим словарем».

Мистер Томпкинс с интересом впился глазами в словарь и к своему облегчению обнаружил, что в отличие от большинства словарей объемом в сотни и тысячи страниц биологический словарь занимал всего лишь одну страницу.

— Наука становится совсем простой, — обрадовался было мистер Томпкинс, но тут совершенно неожиданно его внимание привлекли необычные пометки, стоявшие против двух комбинаций оснований.

— Взгляните, пожалуйста, — обратился он к доктору Экскинсу. — Здесь против двух комбинаций оснований значится: «Чушь». Как это понимать?

— Очень просто, — с готовностью отозвался доктор Экскинс. — Это означает, что данные комбинации не определяют никакой аминокислоты. Мы полагаем, что они служат своего рода знаками препинания или указывают на конец сообщения, т. е. на место, где заканчивается производство одного белка и начинается производство другого.

— Кажется, я начинаю понимать, — задумчиво произнес мистер Томпкинс, — но кое-что мне кажется весьма любопытным. Такие слова, как «словарь», «чушь» и т. п., не очень похожи на биологические термины. Вы пользуетесь ими только для того, чтобы объяснить на понятном мне языке суть дела, или такие термины и в самом деле употребляются в биологии?

— Вам придется привыкнуть к столь необычно звучащим терминам, — ответил доктор Экскинс. — Дело в том, что над расшифровкой биологического кода трудилась смешанная группа математиков, физиков, инженеров, химиков и биологов, которые мыслили

терминами, заимствованными из языкознания, теории информации и лексикона инженеров-связистов. Поэтому сейчас в биологии вы можете встретить такие термины, как сообщение, перевод, транскрипция, словарь, чушь и т. д. Поначалу для биологов и биохимиков старшего поколения они звучали несколько странно, но постепенно те привыкли.

— Все же одно мне осталось неясным, — настаивал ненасытный мистер Томпкинс. — Молекулы ДНК во всех клетках моего тела должны быть одинаковыми, так как все они некогда возникли из одной клетки. Как же потом случилось, что одни клетки стали нервными клетками, другие мышечными, третьи — клетками кожи и т. д.? Если они получили одни и те же инструкции, то и стать они должны были одинаковыми.

— Вы задали действительно трудный вопрос, — признал доктор Экскинс, — и я должен сказать прямо, что полного ответа на него не знает никто. Мы называем это проблемой дифференциации — каким образом клетки с одинаковой ДНК дифференцируются, т. е. становятся различными. Ясно, что в каждой разновидности клеток источником инструкций служит лишь какая-то часть ДНК, и от того, какая часть молекулы ДНК, так сказать, «закрывается», зависит, какая клетка получится. К сожалению, мы пока не знаем, как закрывается та или иная часть ДНК.

Тем не менее кое-какие наводящие соображения относительно того, как это может происходить, все же имеются. Мы знаем, что некоторые гены в нормальном состоянии не активны, т. е. не копируются в информационную РНК, и теперь нам известно, почему так происходит. Существует специальный класс генов, управляющих синтезом белков, но белки эти особого свойства. Они не принадлежат к числу ферментов и не создают структуру клетки, а комбинируются с другими генами так, что те утрачивают способность быть транскрибированными в информационную РНК. Таким образом, гены, вырабатывающие такие белки-ингибиторы, запрещающие транскрипцию, регулируют функционирование других генов. Мы называем их регуляторными генами, или генами-регуляторами.

Открытие регуляторных генов позволило объяснить кое-что из того, что до того казалось почти чудом, — способность вырабатывать так называемые адаптивные ферменты. Некоторые бактерии обладают весьма остроумным способом защиты от пенициллина. Если в среду их обитания добавить пенициллин, то они сразу же начинают вырабатывать фермент, разрушающий антибиотик. Но как только весь пенициллин оказывается уничтоженным, бактерии перестают вырабатывать чудодейственный фермент — до тех пор, пока в среду не будет снова добавлен пенициллин. Другим весьма близким примером могут служить бактерии, вырабатывающие фермент, который расщепляет один из сахаров — лактозу, содержащуюся в молоке.

В расщепленном виде лактоза становится питательным веществом. Как и в предыдущем примере, фермент вырабатывается бактериями только в том случае, если имеется лактоза. Таких примеров много. Они свидетельствуют о том, что бактерии обладают способностью к адаптации. Но как они проделывают столь удивительные вещи?

Ответ в действительности очень прост. У некоторых бактерий есть ген, управляющий производством фермента, который разрушает пенициллин. Но обычно этот ген не действует, так как другой ген, регуляторный, вырабатывает особый белок, предотвращающий функционирование гена — разрушителя пенициллина. Но когда в среде оказывается пенициллин, он вступает в реакцию с особым белком, и тот перестает подавлять функционирование гена, разрушающего пенициллин. Ингибитор (как принято называть вещества, подавляющие или замедляющие химические реакции) сам оказывается ингибированным, и — как пример того, что минус на минус дает плюс, — ничто не мешает производству фермента, разрушающего пенициллин.

— Простите, но я не вполне понимаю, какое отношение имеет все это к дифференциации клеток, — заметил мистер Томпкинс.

— Возможно, что имеет, и самое непосредственное, но мы в этом еще не вполне уверены. Возможно, что существуют такие регуляторные гены, которые вырабатывают белки, выключающие определенные гены, ненужные в клетках одного типа, а другие регуляторные гены управляют таким же образом другими генами. На мысль о существовании таких регуляторных генов у человека наводит, например, то, что одна из многочисленных форм лейкемии — злокачественного разрастания белых кровяных клеток, — по-видимому, вызывается стиранием части одной из хромосом человека. Дело обстоит так, как если бы вследствие этого был подавлен ген, ингибирующий процесс роста. По современным представлениям кажется вполне вероятным, что некоторые из гормонов, играющих столь важную роль в регуляторной деятельности нашего организма, могут соединяться с белками, ингибирующими те или иные гены, и либо подавлять, либо усиливать действие этих белков. Теперь вам понятно, почему ученые так стремятся узнать как можно больше об этих материях.

— Но и это не объясняет, каким образом одна клетка становится отличной от другой, — упрямо заметил мистер Томпкинс. — Ведь вам теперь необходимо объяснить, каким образом включаются и выключаются регуляторные гены, не так ли?

Доктор Экскинс был очень доволен тем, что доктор Томпкинс так хорошо понял суть дела.

— Совершенно верно, — подтвердил доктор Экскинс. — Фигурально выражаясь, я заметал грязь под ковер, но, по крайней мере, старался, чтобы весь сор был собран в одном месте и с ним легче было обращаться. Относительно поднятого вами вопроса существуют

несколько идей. Подобно тому, как на спине больших блох существуют кусающие их меньшие блошки, у одного регуляторного гена может быть другой регуляторный ген, управляющий деятельностью первого. Действия таких регуляторных генов могут образовывать сложные сети, в которых действие регуляторного гена может в конце концов влиять на самого себя, если в цепи возникает замкнутый контур, или цикл. Такая система может стать флип-флопом.

— Флип-флоп? А что это такое? — с интересом спросил мистер Томпкинс.

— Не удивляйтесь, но вам флип-флопы хорошо известны, — заверил доктор Экскинс. — Одним из примеров флип-флопов может служить обычный электрический выключатель. Флип-флопом его можно считать потому, что он может находиться только в двух устойчивых положениях — либо «включено», либо «выключено». Если вы попытаетесь зафиксировать его в промежуточном положении, то у вас ничего не получится, так как он соскользнет либо в одно, либо в другое устойчивое положение. Некоторые исследователи отмечали, что если у вас имеется множество регуляторных генов, каждый из которых ингибирует какой-нибудь другой ген, то при определенных условиях система функционирует как флип-флоп. В зависимости от вашего исходного состояния, вы приходите либо в одно стабильное состояние, либо в другое, что определяется тем или иным типом клеток. Приход в стабильное состояние означает, что в этом состоянии одни гены «включены», или находятся в активном состоянии, а другие «выключены», или находятся в неактивном состоянии, причем и те и другие трудно вывести из тех состояний, в которых они находятся, мы еще не до конца разобрались в этом круге вопросов, но многое в этом направлении делается и экспериментаторами, и теоретиками.

— Означает ли это, — спросил мистер Томпкинс, — что гены действуют, только пока клетка растет? Мне кажется, что после того, как клетка полностью сформировалась, потребность в генах отпадает, поскольку все ее белки уже готовы.

— Боюсь, что вы заблуждаетесь, — возразил доктор Экскинс. — Белки и переносчики информации клетки не очень устойчивы и по прошествии нескольких часов или дней распадаются, и их требуется заменять новыми. Кто-то давным-давно очень правильно сравнил живой организм со струями фонтана, имеющими определенную форму. Эта форма сохраняется не потому, что вода замерзла и превратилась в лед, а потому, что вода течет и извергается из труб фонтана все новыми и новыми порциями. Точно так же в клетку течет новое вещество, как сказал Гераклит, «панта реи»<sup>6)</sup>. И чтобы поддерживать этот поток и не дать ему иссякнуть, гены должны все время находиться в активном состоянии.

<sup>6)</sup> Все течет (греч.). — Прим. перев.



Мистер Томпкинс хотел было продолжить беседу, но внезапно почувствовал на плече чью-то руку, которая его легонько потрясла.

— Доктор, который пригласил вас сегодня на обследование, просил передать вам свои извинения. Его только что срочно вызвали к тяжелому больному, — сообщила мистеру Томпкинсу медицинская сестра. — На какой день вам было бы удобно перенести обследование?

— Я загляну к вам через несколько недель, — ответил мистер Томпкинс, — а теперь мне пора плыть дальше, т. е. я хотел сказать, что мне пора идти.

И с этими словами он направился к выходу из госпиталя. В голове у него гудело от всего, что он успел узнать.

---

## По волнам океана

---

Мистеру Томпкинсу предстоял двухмесячный отпуск, которым правление банка наградило его за многолетнюю и безупречную службу. Изрядно поломав голову над тем, как лучше распорядиться своим свободным временем, мистер Томпкинс в конце концов решил навестить сына Уилфреда и его жену Веру. Уилфред оставил свои занятия топологией и, подобно многим математикам, стал работать сначала в области физики и астрономии, а затем его стали все сильнее привлекать количественные аспекты биологии. Теперь Уилфред на целый год стал приглашенным лектором в одном иностранном университете.

Мод встретила планы мужа без особого энтузиазма. Она была по горло занята в оргкомитете художественной выставки, на которой должны были экспонироваться некоторые из ее картин. Кроме того, еще до замужества ей приходилось много раз пересекать Атлантику, сопровождая отца на различные научные конференции. Океанский лайнер в ее представлении был неразрывно связан с морской болезнью, и она наотрез отказалась отправиться в плаванье. Но, зная, сколько надежд муж возлагал на путешествие в Европу, она настояла, чтобы он отправился в трансатлантический рейс один, без нее.

Мистер Томпкинс обратился в бюро путешествий, заказал одноместную каюту на роскошном океанском лайнере, предвкушая яркие впечатления, великолепную кухню и возможность отдохнуть. Оказавшись на борту лайнера, мистер Томпкинс с удовлетворением обнаружил, что судно полностью отвечает его ожиданиям. В его каюте была мягкая кровать, большой туалетный столик, ванная комната и огромный иллюминатор, через который он мог наблюдать плавно катящиеся к берегу волны и другие суда, покидающие гавань или входящие в нее. За обедом столик оказался сплошь уставленным различными блюдами, одно вкуснее другого, и мистеру Томпкинсу пришлось изрядно потрудиться, чтобы отведать каждое блюдо.

В полдень лайнер покинул порт, ветер усилился, и судно начало слегка покачиваться на волнах. Мистер Томпкинс не страдал морской болезнью, но все же счел за благо прилечь и немного отдохнуть после обеда. Он облачился в полосатую тельняшку и брюки-клевш,

которые Мод, собирая его в дорогу, не без юмора положила в качестве пижамного костюма, и растянулся на кровати.

Проснулся мистер Томпкинс от того, что кто-то громким хриплым голосом прокричал:

— Эй, на палубе! Грот и стаксель поднять!

Почему-то на память ему пришел лимерик, который однажды довелось услышать:

Юная дева, красивая статья,  
Легла на стоянке немного поспать.  
Но сон моментально у девы пропал,  
Едва услышала, как шкипер сказал:  
«Уходим. Норд-ост. Грот и стаксель поднять!»

Мистер Томпкинс улыбнулся про себя лимерику, но улыбка его тотчас же исчезла. Оглядевшись, он к своему удивлению обнаружил, что лежит не в своей роскошной кровати, а в подвесной койке, которая раскачивается из стороны в сторону, и находится не в изящной одноместной каюте, а в каком-то более просторном, но далеко не роскошном помещении с невыкрашенными деревянными стенами. Большинство подвесных коек по соседству были свободны, но в некоторых лежали какие-то люди, одетые так же, как он, — должно быть, моряки, решил мистер Томпкинс, страдающие от морской болезни.

«Должно быть, в старых легендах о море есть какая-то доля истины, — подумал мистер Томпкинс. — А что, если я нахожусь на борту Летучего голландца?»

Не без труда выбравшись из своей подвесной койки, он взобрался по узкому трапу и оказался на палубе.

Человек в старинной форме офицера британского военно-морского флота тотчас же заметил его и знаком приказал ему приблизиться.

— Вы один из новых матросов? — спросил он.

— Да, — коротко ответил мистер Томпкинс с некоторым сомнением.

— Да или нет? — недовольно пролаял офицер. Мистер Томпкинс никогда не состоял на военной службе, но вспомнил, что обращаясь к офицеру, нужно почтительно добавлять «сэр».

— Да, сэр, — произнес он, пытаясь сосредоточиться, и чуть не упал на мягко покачивавшуюся палубу. И, вспомнив кинофильмы, которые ему приходилось видеть, добавил для пущей уверенности:

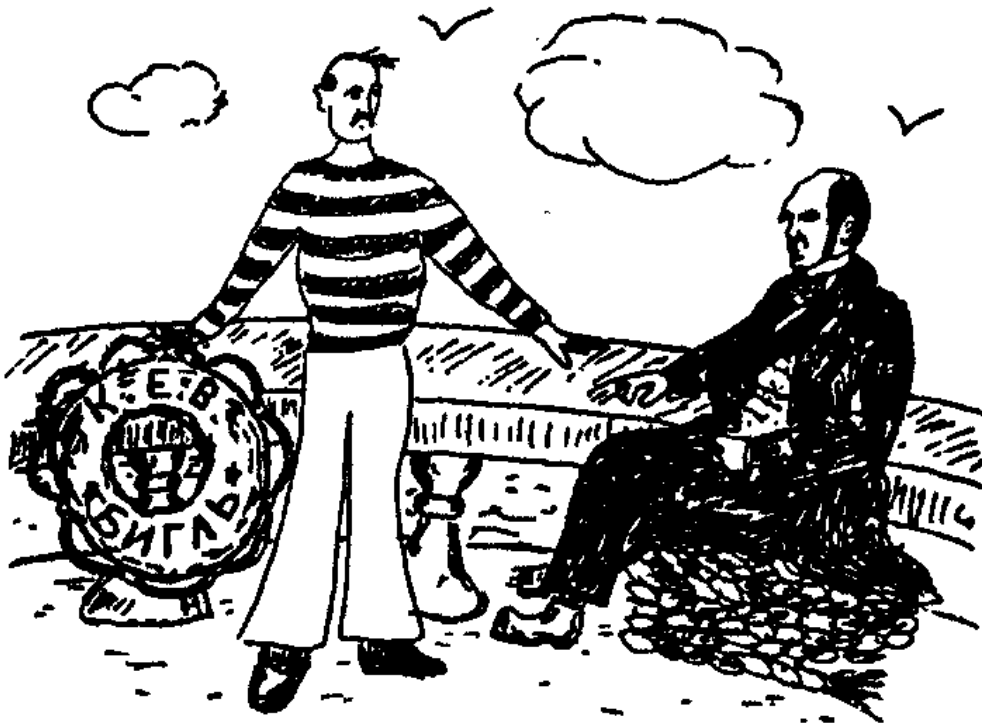
— Так точно, сэр!

Офицер, молодой добродушный человек, не мог скрыть своего изумления.

— Добро пожаловать на борт нашего корабля, — произнес он вполне дружеским тоном. — Уверен, что из вас выйдет хороший моряк. По крайней мере вы не страдаете от морской болезни, как некоторые другие. Я отослал их вниз, чтобы они еще больше не загадили палубу, возьмите швабру и ведро с водой и уберите за ними.

— Слушаюсь, сэр! — ответил мистер Томпкинс, весьма гордый внезапно открывшимися в нем способностями к морской службе.

Без малого час босой и потный мистер Томпкинс драил палубу корабля. Закончив, он решил немного передохнуть и, прислонившись к поручням, стал смотреть на океан в надежде увидеть кита. Но китов не было видно, и мистер Томпкинс решил прогуляться и познакомиться с кораблем. Выяснилось, что корабль не обладал великолепием трансатлантического лайнера, с которого, судя по всему, был похищен мистер Томпкинс. Вместо шезлонгов и палубных кресел мистер Томпкинс обнаружил лишь двадцать старинных пушек, около каждой из которых пирамидой были сложены массивные ядра. У одной из пушек на бухте каната сидел, задумчиво глядя на воду, джентльмен в сюртуке сугубо штатского вида.



На бухте каната сидел джентльмен в сюртуке

— Добрый день, сэр, — вежливо приветствовал его мистер Томпкинс. — Надеюсь, вы простите меня за вторжение, но в силу некоторых обстоятельств, совершенно загадочных для меня, я совершенно неожиданно оказался матросом на борту этого корабля. Не будете ли вы так любезны сообщить мне, куда держите путь и почему вы единственный невоенный на этом военном корабле?

— Я путешествую в качестве пассажира, — последовал ответ джентльмена. — Цель моего путешествия — наблюдение и изучение различных форм жизни во время стоянок корабля, а также проведение геологических изысканий.

— Так вы биолог, — с живейшим интересом произнес мистер Томпкинс. — Знаете, я всего лишь банковский клерк, но мне вот уже несколько лет подряд снятся необычные сны. И благодаря этим снам

я, если можно так выразиться, стал немного разбираться в биологии. Впрочем, многое еще мне неясно. Например, меня очень интересует, как возникла жизнь на Земле.

— Этот же вопрос интересует и меня, — признался джентльмен. — Когда я был мальчиком, у одного из моих школьных приятелей была книга под названием «Чудеса мира», которой я просто зачитывался. Мы часто спорили с другими мальчиками, все ли чудеса, описанные в той книге, существуют в действительности. Именно тогда из-за этой книги во мне впервые появилось желание побывать в самых далеких уголках мира. В этом плавании мои мечты сбываются.

В юности я изучал медицину и естественные науки, но никогда не покидал пределов моей страны. Но в прошлом году, когда мне минуло двадцать два года, я получил письмо от капитана Фитц-Роя, командира этого трехмачтового фрегата. В своем письме капитан выражал готовность уступить половину своей каюты молодому человеку, который согласится отправиться в продолжительное кругосветное путешествие в качестве натуралиста без жалования. Мой отец, врач, скопивший изрядное состояние, отнесся к этому предложению без особого восторга, но мне удалось уговорить его, несмотря на все возражения. Позднее, когда мне довелось поближе познакомиться с капитаном Фитц-Роем, я узнал, что моя кандидатура едва не была отвергнута... из-за формы моего носа! Дело в том, что капитан был рьяным последователем некоего физиономиста по фамилии Лаватер и был абсолютно уверен в своей способности судить о характере человека по его лицу. Мой нос внушил капитану Фитц-Роею сомнения в том, что я обладаю достаточной энергией и решимостью для того, чтобы совершить кругосветное путешествие. Думаю, что сейчас он убедился, что мой нос давал неверное представление о моем характере. Вот уже второй год, как мы совершаем продолжительное кругосветное плавание.

— Ваш рассказ, сэр, напоминает мне о другом путешествии, — произнес мистер Томпкинс, почесав в затылке. — Я слышал об аналогичной экспедиции одного английского натуралиста, который на основании собранных им материалов пришел к объяснению происхождения различных видов животных и растений. Произошло это более ста лет назад. Вы повторяете путешествие того натуралиста?

— Я совершаю то самое путешествие, о котором вы говорите, — улыбнулся джентльмен. — Вы находитесь на борту корабля Ее Величества «Бигль», и если верить моему календарю, то сейчас стоит февраль 1833 года. Должно быть, вы оказались заброшенным в историю науки в результате какого-то обращения времени и теперь живете в призрачном мире прошлого.

— Вы хотите сказать, — промолвил мистер Томпкинс, вне себя от изумления, — что вы Чарлз Дарвин, отец теории органической эволюции?

— Он самый. К вашим услугам, сэр, — улыбнулся джентльмен. — Но вы, должно быть, помните, что моя теория была опубликована только в 1858 году.

— Означают ли ваши слова, что вам достоверно известно будущее, возможно, даже то, что произошло после вашей кончины?

— Разумеется, известно. В этом призрачном мире теней прошлого нам хорошо известно обо всем, что произошло после того, как мы ушли со сцены. Здесь, в стране сновидений, мы без малейшего промедления получаем самые свежие выпуски всех научных изданий, в том числе «Nature» и «Scientific American». Например, мой близкий друг Галилео Галилей пришел в необычайное возбуждение, когда прочитал статью Альберта Эйнштейна, в которой тот, опираясь на открытие Галилея, доказавшего, что с одной и той же высоты все тела независимо от их веса падают на землю с одинаковой скоростью, создал совершенно новую теорию тяготения, или гравитации, и предсказывал существование явлений, которые раньше нельзя было вообразить. Правда, Галилей как-то признался мне, что с трудом овладел тензорным анализом, необходимым для понимания теории Эйнштейна. Я, в свою очередь, был изумлен, узнав лет сто назад, что столь важные для моей теории эволюции генетические мутации представляют собой скачкообразные изменения в веществе генов и могут быть объяснены так называемой квантовой механикой. Должен признаться, что по образованию и наклонностям я натуралист и, несмотря на терпеливые объяснения многих моих знакомых, так и не смог понять, что за зверь этот «квант». На праздновании по случаю моего 150-летнего юбилея друга-физики, отчаявшись объяснить мне, что такое квант, преподнесли шоколадный торт, разрезанный на кусочки, с надписью, выполненной сахарной глазурью: «Квантованному Чарли».

— Но для своего почтенного возраста вы выглядите на редкость молодо, — возразил мистер Томпкинс.

— Я выгляжу на свои двадцать три года. Не забывайте, что здесь ваше прошлое — это мое будущее.

Хотя последнее замечание знаменитого натуралиста было не совсем понятно мистеру Томпкинсу, ненасытная любознательность побудила его воспользоваться уникальной возможностью, чем бы и как бы ни объяснялось столь удивительное положение дел.

— Могу ли я спросить вас кое о чем? — с надеждой спросил он. — Вы, несомненно, можете ответить на мои вопросы лучше, чем кто бы то ни было.

— Спрашивайте. Что бы вы хотели узнать?

— Я хотел бы знать, — начал мистер Томпкинс, — как и почему эволюционируют животные и растения и возникают высшие формы жизни. Не могли бы вы объяснить мне это кратко?

— Разумеется, могу и буду очень краток. Эволюция есть результат действия законов случая.

Столь краткого ответа мистер Томпкинс не ожидал, как не ожидал и ответа в таком духе. Несколько озадаченный, он попытался собраться с силами, чтобы задать свой следующий вопрос. Мистер Томпкинс полагал, что немного разбирается в биологии, и после непродолжительной паузы задал вопрос, который, по его мнению, должен был показать необычному собеседнику, что он, мистер Томпкинс, кое-что смыслит в науке.

— Если я не ошибаюсь, — начал он, — жизнь зависит от того, какие у вас белки. Но построить белок, не говоря уже о целом организме, можно столь многими способами, что почти невозможно себе представить, как нужный белок мог возникнуть случайно. Существует 20 разновидностей аминокислот, поэтому первую аминокислоту можно выбрать 20 способами. Выбрать следующую аминокислоту также можно 20 способами, поэтому комбинаций первой аминокислоты со второй существует  $20 \times 20 = 400$ . Если белок состоит всего лишь из 100 аминокислот, то таких белков можно составить  $20^{100}$ . Насколько я помню со времени моих путешествий в Страну Чудес, это гораздо больше числа атомов во всей Вселенной. Поэтому вероятность получить в результате случайной сборки даже один белок нужного типа практически равна нулю. Чем сложнее организм, тем меньше вероятность того, что он мог быть построен случайно. Эволюция, как мне кажется, — это восхождение на все большую высоту с тем, чтобы создавать все менее и менее вероятные ситуации. Жизнь в целом — явление редкое, и чем выше формы жизни, тем реже они должны встречаться.

Внезапно мистер Томпкинс умолк, и на его лице появилось озадаченное выражение.

— Скажите, пожалуйста, — робко спросил он, — но если все это так, то каким образом я здесь очутился?

Английский натуралист устало улыбнулся:

— Такие рассуждения высказывались в той или иной форме неоднократно. В мое время они звучали так. У различных животных и растений мы наблюдаем те или иные приспособления, позволяющие им лучше адаптироваться к окружающей среде. Глаз, подобный фотоаппарату, позволяет организму видеть, зубы приспособлены к той пище, которую ест животное, крылья чудесно приспособлены для летания. Поскольку маловероятно, что все эти приспособления могли возникнуть случайно, они возникли намеренно по воле некоего высшего мыслящего существа.

Что касается высшего мыслящего существа, то оно может как быть, так и не быть, но утверждение о том, что невероятные по своей приспособленности к окружающей среде органы различных живых существ не могут возникнуть случайно, заведомо ложно. Встав на точку зрения тех, кто использует этот аргумент, вы без всяких к тому оснований придаете терминам «вероятный» или «невероятный» абсолютный смысл. Точно так же в свое время люди придавали

абсолютный смысл понятиям «вверх» и «вниз». Считалось, что антиподы, люди, живущие в диаметрально противоположных точках земного шара, например, в Австралии, не могли бы существовать, так как ходили бы «вверх тормашками» и свалились бы с Земли. Слово «вероятно» в этом отношении очень похоже на слово «вверх». Оно относится не к чему-то абсолютному, а к процессу, порождающему данный результат.

— Простите, но я не совсем вас понял, — признался мистер Томпкинс. — Не могли бы вы пояснить свою мысль несколько подробнее?

— Если не возражаете, то я воспользуюсь примером. Предположим, что вы хотите случайным образом произвести блоху. Молекулы, из которых она состоит, расположены в столь замысловатом порядке, что вы вполне могли бы считать блоху весьма маловероятным объектом, хотя вам отлично известно, что за время вашего плаванья вас успеют искушать полчища блох. Не забудьте, что ДДТ еще не изобретен. О, прошу прощения!

Английский натуралист с явным восторгом попытался поймать блоху, показавшуюся на его манжете, но промахнулся.

— Пользуясь нашей аналогией, можно сказать, что получить блоху столь же маловероятно, как бросить сто игральных костей и получить сто раз по шесть очков — исход очень маловероятный. Вероятность выпадения одних лишь шестерок при бросании ста игральных костей легко вычислить. Вероятность выпадения шести очков при бросании одной кости равна  $\frac{1}{6}$ , двух шестерок при бросании двух костей  $\frac{1}{6} \times \frac{1}{6} = \frac{1}{36}$ , ста шестерок в результате бросания ста костей —  $(\frac{1}{6})^{100}$ , т. е. вероятность исчезающе мала. Что же касается вероятности образования блохи, то она несравненно меньше, и мы использовали игральные кости лишь для сравнения. Вот что имеют в виду, когда говорят, что возникновение блохи невероятно. Но вы полностью пренебрегаете правилами игры. Не помышляя о них, вы произвольно выбрали одно-единственное правило: при бросании ста игральных костей должно выпасть сто шестерок. При таком подходе выпадение одних лишь шестерок чрезвычайно маловероятно.

Но предположим, что мы изменяем правила: те игральные кости, на которых выпало по шесть очков, мы оставляем на месте, а остальные продолжаем бросать снова и снова. Как нетрудно понять, менее чем через сто бросаний на всех костях выпадет по шесть очков. Теперь вероятности стали совершенно иными: по новым правилам весьма маловероятно, чтобы спустя короткое время на всех костях не выпали шестерки. Поэтому слова «вероятно» или «невероятно» относятся не к чему-то абсолютному, а характеризуют величину, имеющую смысл только в том случае, если заданы правила игры. Поэтому нам всякий раз надлежит исследовать, каковы в действительности правила игры.



Бросание игральных костей — грубая, но полезная модель того, что реально происходит в процессе эволюции. Игральные кости соответствуют генам, а бросания — мутациям. Если мутация благоприятна, то она сохраняется, так как ее носитель дает более многочисленное потомство. Это соответствует правилу, по которому кости, на которых выпало по шесть очков, исключаются из дальнейших бросаний. Неблагоприятная же мутация (а таких мутаций большинство) утрачивается, так как ее носитель либо погибает, либо репродуцируется не столь эффективно. Поэтому неблагоприятная мутация не может рассчитывать на успех. Это называется естественным отбором. Происходит он совершенно автоматически и приводит к результатам, которые на первый взгляд кажутся абсолютно невероятными. Но если взглянуть на естественный отбор глубже, то, смею сказать, было бы в высшей степени невероятно, чтобы эволюция не происходила.

— Но совершенно не обязательно, — возразил мистер Томпкинс, — чтобы особь — носитель благоприятной мутации прожила более удачно жизнь или оставила более многочисленное потомство. Гонку не всегда выигрывает тот, кто быстрее, а в битве не всегда побеждает сильнейший. Могут случиться неожиданности.

Английский натуралист снова улыбнулся:

— В Кембридже я какое-то время изучал богословие, и мне очень приятно, что вы еще помните, чему вас учили на уроках Священного Писания. Если говорить о любой отдельной особи или индивиде, ваше замечание, безусловно, верно, но в среднем, когда в гонке принимают участие много индивидов, побеждает быстрееший.

Предположим, что некий ген дает своему носителю весьма небольшое преимущество, скажем, с вероятностью 0,001. Это означает, что из 1 000 носителей гена, выживающих и оставляющих потомство, 999 индивидов делают это без помощи гена. Если частота такого благоприятного гена в данной популяции первоначально составляет 1 %, то через 15 000 поколений она достигнет уровня 90 %, а 15 000 поколений в геологическом масштабе времени — очень короткий период. Но, разумеется, такое происходит регулярно только в том случае, если популяция достаточно велика. Если же имеется считанное количество особей, то благоприятный ген по чисто случайной причине может оказаться утраченным, а неблагоприятный — прочно укорениться. Это хорошо заметно и на примере человеческого рода. Во многих общинах, обитающих на малых островах или в каких-нибудь других удаленных и труднодоступных местностях, очень часто бывает, что какой-нибудь вредоносный ген, порождающий физический или умственный дефект, встречается с необычно высокой частотой. Как правило, причина такого явления заключается в том, что община была основана немногочисленными переселенцами, один или несколько основателей случайно оказались носителями этого

вредоносного гена, а потомки носителя или носителей ныне составляют значительную долю населения. В небольшой популяции может произойти что угодно. Но если популяция достаточно велика и насчитывает, скажем, несколько тысяч или миллионов особей, тогда то, что должно произойти в среднем, происходит в действительности. Именно так и происходит прогрессивная эволюция.

— А сколько времени уходит на создание нового вида? — поинтересовался мистер Томпкинс.

— В среднем около миллиона лет, если вы говорите о высших животных, таких, как млекопитающие и птицы. Взять хотя бы один весьма типичный пример: чтобы эволюционировать из совершенно другой формы, человеку понадобилось полмиллиона лет.

— Не кроется ли здесь некоторая трудность? — усомнился мистер Томпкинс. — Геном одного вида отличается от генома другого вида не одним или двумя, а десятками или сотнями генов. Поэтому эволюции приходится очень долго ждать, пока носитель одного благоприятного гена в результате мутации обзаведется вторым благоприятным геном, потом третьим и т. д. Такие события очень маловероятны, поэтому их серия должна была бы занимать очень долгий период. Но из того, что вы мне рассказали, следует, что эволюция происходит (в геологическом масштабе времени) очень быстро.

— Вы совершенно забыли о существовании пола, — отметил английский натуралист.

— Пола? — удивленно воскликнул мистер Томпкинс. — А какое отношение пол имеет к эволюции?

— Биологическая функция пола заключается в том, чтобы обеспечить потомству рекомбинацию генов двух родителей. При таком способе репродукции новые мутации, где бы они ни произошли в популяции, перемешиваются и подвергаются испытанию в различных комбинациях. Поэтому вовсе не нужно ждать, пока редкая мутация произойдет у какого-нибудь вполне определенного индивида — носителя другого гена, который может образовать с первым геном благоприятную комбинацию. Перемешивание и испытание генов, осуществляемое при половом размножении, позволяет весьма значительно ускорить эволюцию у высших организмов.

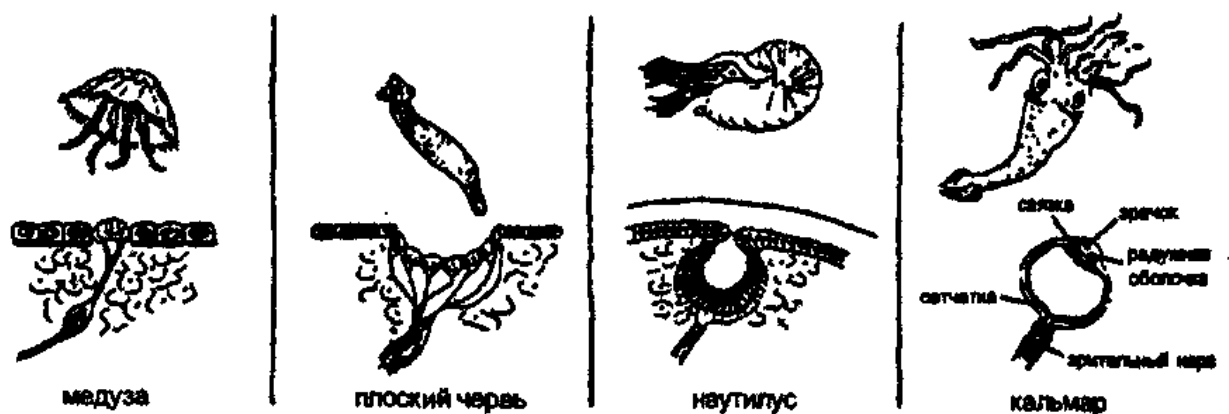
— А разве большинство организмов не делится на мужские и женские особи?

— Нет. Как вы знаете, большинство бактерий размножаются просто делением пополам, хотя некоторые бактерии используют и способы обмена генами, напоминающие половое размножение. Но бактерии производят за короткое время так много поколений (иногда они делятся пополам каждые 20 минут), что для поддержания генетической приспособленности, позволяющей реагировать на изменения окружающей среды, рекомбинация становится не столь необходимой. Существуют также более сложные организмы, размножающиеся неполовым путем. У таких организмов яйцеклетка

развивается и без оплодотворения сперматозоидом. Таким способом размножаются, например, коловратки и некоторые растения. В этих случаях эволюция происходит гораздо медленнее. Однако такие организмы оставили привычку размножаться половым путем совсем недавно и, вероятно, обречены на вымирание, так как их эволюция не поспевает за изменениями окружающей среды.

— Все, о чем вы говорите, звучит как хорошая теория, — не мог не признать мистер Томпкинс. — А не могли бы вы привести какие-нибудь примеры того, как реально происходит эволюция?

— Ну конечно, — ответил английский натуралист. — Очень хорошим примером может служить эволюция глаза. Меня довольно часто спрашивают об эволюции, и я счел полезным изобразить эволюцию глаза на диаграмме.



Сравнивая глаза различных животных, мы можем изучать эволюцию глаза несколько подробнее. Простейший глаз представляет собой одну-единственную клетку, чувствительную к свету. Такого рода глазом обладают многие примитивные животные, например, медузы. С таким глазом медуза не может различать форму, но может отличать свет от тьмы, а это уже очень полезная информация. Например, умение отличать ночь от дня позволяет знать, когда охотиться за жертвами. Глаз ленточного червя состоит уже из группы светочувствительных клеток, отчего глаз становится более надежным, чем единичная клетка, но на следующем этапе эволюции в строении глаза происходит настоящее усовершенствование. У наутилуса светочувствительные клетки располагаются в небольшом углублении под наружной поверхностью, образуя «оптическую чашу», действующую как примитивная фотокамера с отверстием размером с булавочную головку в качестве объектива. Такое устройство глаза позволяет наутилусу определять направление, откуда исходит свет. Еще один шаг, и утолщение прозрачной кожи, покрывающей оптическую чашу, становится линзой. Изображение образуется на сетчатой оболочке, или сетчатке, как называется слой из светочувствительных клеток. Такой глаз позволяет организму не только отличать свет от тьмы и определять направление на источник света, но и различать форму

предметов. Как вы видите, глаз возник в результате естественного отбора — последовательных мелких усовершенствований, производимых то тут, то там, — из очень простого начала. Правило игры очень просто: любой частичный успех идет в счет, любая мутация, приводящая к небольшому улучшению, сохраняется, после чего производятся дальнейшие усовершенствования организма.

— Очень интересно, — вежливо произнес мистер Томпкинс, — но вы не совсем поняли мой вопрос. Не могли бы вы привести примеры, когда мы можем, что называется, своими глазами наблюдать, как реально происходит эволюция, или эволюционные процессы протекают слишком медленно для этого?

— В ряде случаев эволюцию удается наблюдать, и некоторые из таких случаев имеют для нас практическое значение. Очень хорошим примером могут служить бактерии, которые еще несколько лет назад были весьма чувствительны к антибиотикам, но теперь эволюционировали и легко сопротивляются некоторым антибиотикам. Врачи не собственном опыте ощутили этот эффект. Вам, несомненно, приходилось слышать рекламу средств от мух, действующих и против «нечувствительных к ДДТ мух», мухи и многие другие насекомые за несколько лет эволюционировали в формы, не чувствительные к действию ДДТ.

— Наконец-то я понял! — воскликнул мистер Томпкинс. — Под действием естественного отбора все живое постоянно совершенствуется, становясь все лучше и лучше, по крайней мере со своей собственной точки зрения. Естественный отбор действует как джин из волшебной лампы Аладдина, его возможности беспредельны.

— К сожалению, а может быть, и к счастью, вы заблуждаетесь. Немного поразмыслив, вы поймете, что у естественного отбора существует вполне определенный предел возможного. Естественный отбор может приводить к почти сказочным результатам, но только при условии, если он осуществляется малыми шагами и каждый шаг полезен и означает какое-то улучшение по сравнению с предыдущим.

Естественный отбор происходит не по заранее известному плану и осуществляется не через промежуточные шаги, бесполезные сами по себе, но ведущие к полезной конечной цели. И вследствие такой недальновидности эволюция произвела не только новые виды, но и сотни миллионов вымерших видов.

— Но если естественный отбор оставляет только лучших, то как такое возможно? — удивился мистер Томпкинс.

— Отбирается только то, что полезно сейчас, а не то, что может оказаться полезным в далеком будущем, — пояснил английский натуралист. — Позвольте мне привести вам пример. Муравьи существовали сто миллионов лет назад или около того. Их можно увидеть в кусках древнего янтаря с берегов Балтики, и по превосходно сохранившимся образцам древней фауны мы можем судить, что за прошедшее время муравьи изменились очень мало. По-видимому,

на свой муравьиный лад, в том, что касается их жизни, муравьи почти достигли совершенства. Но несмотря на это, некоторые виды муравьев все время вымирают.

Если вам случалось когда-нибудь разворошить муравейник, то вы, вероятно, заметили, что муравьи первым делом заботятся о спасении своих личинок, имеющих форму беловатых продолговатых яиц. Муравьи хватают личинок своими челюстями и стремятся унести их в безопасное место. Иногда некоторые муравьи имеют обыкновение воевать с муравьями других видов. Они проникают в жилища муравьев чужих видов, инстинктивно хватают личинок и уносят их в свой муравейник, где похищенные личинки вырастают в рабочих муравьев. Мы называем таких муравьев «рабами», но, разумеется, их жребий ничуть не хуже, чем если бы они стали рабочими муравьями в своем родном муравейнике.

С точки зрения нападающих муравьев захват чужих личинок — событие благоприятное. Число рабочих муравьев в их муравейнике увеличивается, и царице, откладывающей яйца, из которых выросли все члены сообщества, населяющего данный муравейник, можно откладывать меньше яиц. Для поддержания жизнедеятельности в собственном муравейнике коренным жителям необходимо лишь совершать набеги на соседние муравейники и похищать там личинок. Интересно, что «рабы» также могут принимать участие в набегах.

На первый взгляд перед нами воплощение милитаристского идеала, но в действительности мы имеем дело с ситуацией, часто описываемой в научной фантастике, когда роботы берут на себя одну за другой все функции человека и в конце концов полностью вытесняют человека. По прошествии некоторого времени основную часть населения муравейника составляют муравьи других видов, и аборигены становятся почти лишними. На больших отрезках времени колонии тех муравьев, на которые совершают набеги с похищением «рабов» другие, воинственные виды, более эффективны, так как репродукция миролюбивых муравьев не зависит от других колоний. Поэтому за сравнительно короткий период времени воинственные виды муравьев вымирают, поскольку невольно способствуют своими набегами замещению себя «рабами». За миллионы лет один вид муравьев за другим создавал рабовладельческую экономику и вымирал. «Умыкание рабов» процветает, так как дает немедленное преимущество, хотя конечный эффект поистине ужасен.

— Все это очень интересно, — согласился мистер Томпкинс, — но большинство животных и растений не живет колониями и не держит рабов. И тем не менее, как вы справедливо изволили заметить, большинство видов вымирает.

— В этом и проявляется недальновидность естественного отбора. Естественный отбор способствует возникновению все более и более специализированной и, следовательно, лучшей приспособленности к окружающей среде. Но за это приходится платить, так как чем

выше специализация, тем меньше способность реагировать на слабые изменения.

В Австралии сумчатый медведь коала питается только листвой некоторых видов эвкалиптовых деревьев. Любое изменение климата, неблагоприятное для эвкалиптов, привело бы к вымиранию коалы. А поскольку условия окружающей среды непрерывно меняются, коалы как «узкие специалисты» постепенно вымирают. В конце концов выживает тот вид, который является «мастером на все руки». Крысы повсюду великое множество, а утконосы встречаются редко.

То же можно сказать и относительно человеческого общества. Мастера, изготовлявшие кремни для кремневых ружей, процветали, пока те были в ходу, но исчезли после изобретения капсюля с ударным воспламенением. Банковские клерки могут выжить, лишь пока существуют банки или по крайней мере пока банки не будут автоматизированы, но человек, который живет тем, что собирает крабов и моллюсков на берегу какого-нибудь тропического островка, не очень ощутил бы на себе даже гибель всего остального населения Земли.

Мистер Томпкинс задумался.

— Но меня интересует, — продолжал английский натуралист, — не только общеизвестный факт вымирания узкоспециализированных видов, но и существования в эволюции определенной закономерности. Дело в том, что любое живое существо может, так сказать, зарабатывать себе на жизнь лишь ограниченным числом способов. Взять, например, животных, обитающих на суше. У них имеются два основных занятия: либо они питаются растениями, либо пожирают других животных. (Два основных занятия животного мира суши можно сравнить, например, с двумя основными занятиями людей — земледелием и промышленным производством.) Соответственно, мы делим животных на травоядных и плотоядных. Каждый из этих широких классов допускает дальнейшее подразделение. Охота на мышей вряд ли была бы подходящим занятием для львов; львы охотятся на более крупных травоядных, таких, как зебры и антилопы. В то же время для ласок и сов охота на мышей — занятие вполне прибыльное. Охота на комаров и мошек — достойное занятие для летучих мышей и ласточек, а на ловле рыбы и раков специализируются выдры. Аналогичным образом различные специализации существуют и у травоядных. Слоны вырывают с корнем деревья, чтобы полакомиться листвой, бобры обгрызают кору, а белки собирают орехи и желуди. И так далее, и тому подобное.

Можно было бы ожидать, что эволюция остановится, когда все специализации окажутся заполненными. До какой-то степени такая догадка верна. Коль скоро некий распространенный тип животных возникает и заполняет все доступные вакансии, в ходе эволюции начинается застой. Небольшие адаптации к изменениям климата

и т. п. все еще происходят, но обычно они порождают лишь небольшие различия, как те, которые существуют между различными видами оленя или различными видами лосося. Например, строение птиц или муравьев в целом не претерпело прогрессивной эволюции за последние десятки миллионов лет, хотя все это время на основе, так сказать, единого старого генерального плана отдельные виды появлялись и исчезали.

— И таким образом эволюция остановилась? — спросил мистер Томпкинс.

— Нет, эволюция вынуждена продолжаться по двум причинам. Во-первых, число «занятий» имеет тенденцию возрастать со временем. Например, до появления насекомых не существовало насекомоядных летучих мышей, как не существовало травоядных до появления травы. Ведь не существовал же персонал автозаправочной станции до того, как изобрели автомобиль, или телевизионный комик до изобретения телевидения. Эволюция одних видов создает «рабочие места» для других видов. В наше время и для людей, и для крыс существует гораздо более широкая сфера приложений, чем когда-либо раньше.

Во-вторых, еще более важный фактор эволюции состоит в том, что время от времени какое-нибудь не слишком узкоспециализированное животное делает фундаментальное «изобретение», которое не является новой специализацией, но полезно почти при любых условиях. Применительно к человечеству таким изобретением можно считать паровую машину. Коль скоро она появилась, на ее основе стали создавать всевозможные специализированные устройства — паровозы, пароходы, подъемные краны, кузнечные прессы и т. д. Точно также стоит какому-нибудь животному изобрести что-нибудь принципиально новое, как появляются всевозможные узкоспециализированные виды, которые тотчас же подхватывают изобретение и используют его преимущества. Мы называем этот процесс радиацией, так как изобретатель «иррадирует», испускает или внедряет свое изобретение в многочисленных вариациях.

— А что вы называете принципиально новым, или фундаментальным, изобретением? — поинтересовался мистер Томпкинс.

— Возможно, вам будет легче понять суть дела, если я в качестве примера опишу вам нашу собственную эволюцию. В геологический период, называемый девонским, около трехсот миллионов лет назад, большая часть суши страдала от сильнейшей засухи, многие реки пересохли и превратились в цепочку стоячих водоемов, вода в которых была бедна кислородом. Рыбы были вынуждены всплывать на поверхность, чтобы глотнуть немного воздуха, и постепенно передняя часть их пищеварительного тракта расширилась и превратилась в два воздушных мешка — примитивные легкие. Это приспособление позволило рыбам выживать в мелкой и болотной воде. Несколько видов двоякодышащих рыб сохранились и поныне в верховьях Нила,

в отдельных районах Южной Америки и в Австралии, где ежегодно на протяжении нескольких месяцев не только не хватает воды, но и в воде недостаточно кислорода для того, чтобы обычная рыба, дышавшая жабрами, могла выжить. У большинства же рыб их легкие превратились в плавательные пузыри.

— Но одних лишь легких недостаточно, чтобы жить на суше, — заметил мистер Томпкинс. — Нужны еще ноги.

— Совершенно верно. Когда реки пересохли и превратились в цепочки водоемов со стоячей водой, более предприимчивые рыбы (а выжили именно они) стали неуклюже, прыгая на боку и ползая, перебираться из одного пересыхающего водоема в другой, в котором еще оставалось немного воды. Отбор происходил по способности извиваться и по силе и крепости плавников, которые превратились в примитивные ноги. А коль скоро такое превращение произошло, у рыб с зачаточными конечностями появилась возможность добывать дополнительную пищу, выползая мало-помалу из воды и охотясь на насекомых. Эти рыбы сделали два принципиально новых изобретения — как дышать воздухом и как ходить по суше — и стали амфибиями, или земноводными.

Земноводные — наполовину рыбы. Они откладывают яйца в воде, из которых выводятся головастики, рыбоподобные существа с жабрами. Позднее головастики превращаются в более «сухопутные» формы, такие, как лягушки и саламандры. Земноводные оказываются в невыгодном положении, так как для выведения потомства им нужна вода. И все же, несмотря на такой своеобразный гандикап, они обрели всевозможные формы и в свое время занимали доминирующее положение в животном мире, так как не было на Земле более приспособленных животных, с которыми земноводным нужно было бы конкурировать.

Затем одна из амфибий сделала еще одно принципиально новое изобретение, отложив яйцо с двумя небывалыми ранее отличительными особенностями. Во-первых, в яйце был собственный «бассейн», наполненный жидкостью, в котором зародыш плавал на первых ступенях своего развития. Во-вторых, в распоряжении зародыша был большой желток, позволявший зародышу не рыскать повсюду в поисках пищи. Новшество позволило пресмыкающимся (такое название получили прогрессивные земноводные, взявшие новое изобретение на вооружение) развиваться уже без острой зависимости от воды. По существу, пресмыкающиеся были первыми позвоночными, которые стали настоящими обитателями суши. После того, как пресмыкающиеся обосновались на суше, они вытеснили большинство земноводных и обрели множество различных форм.

— Вы имеете в виду динозавров? — с интересом спросил мистер Томпкинс. — Я часто восхищался их гигантскими скелетами в Музее естественной истории.



— Динозавры были в числе пресмыкающихся, но было и множество других. Во многих случаях по своему внешнему виду они очень походили на появившихся позднее млекопитающих и птиц.



Из океана на сушу

Одни пресмыкающиеся вернулись в море и стали похожи на гигантских морских черепах. Другие стали огромными неуклюже и медленно передвигающимися травоядными, немного смахивающими на носорога. Были и проворные травоядные, а некоторые отрастили крылья, как у летучей мыши, и, по-видимому, питались пойманной рыбой, как наши пеликаны, ныряя за ней в воду.

— А что, все эти пресмыкающиеся вымерли? — спросил мистер Томпкинс.

— Если появляется какое-нибудь принципиально новое изобретение, намного превосходящее ранее достигнутое, то в считанные мгновенья, разумеется, в геологической шкале времени, вымирает целая группа. Пресмыкающимся был присущ один серьезный дефект: они не могли регулировать температуру своего тела. Если климат был умеренным, то пресмыкающиеся были очень активны. Но если становилось слишком жарко, то им не оставалось ничего другого, как забираться в пещеры или расселины, как это делают змеи в пустынях. Еще хуже было, когда наступали холода: пресмыкающиеся становились вялыми и почти впадали в спячку.

Несмотря на это, динозавры просуществовали двести миллионов лет, т. е. гораздо дольше, чем успел просуществовать на Земле чело-

век. Произошло это потому, что значительная часть суши находится на небольшой высоте над уровнем моря и на ней господствует мягкий климат, но, разумеется, кроме низин были и высокогорья, а по мере продвижения к полюсам климат становился все более суровым. Начал изменяться характер растительности, появились новые виды деревьев: сосны, ели и секвойи.

Изменилась и фауна. Некоторые пресмыкающиеся, обитавшие в более холодных областях, изобрели способ, позволявший им сохранять тепло своего тела. При наступлении холодов их теплоотдача увеличивалась, но потери тепла снижались, если покрывавшие их тело чешуйки имели меньшие размеры и были более заостренными. Постепенно такие чешуйки превратились в волосинки, а все чешуйчатое покрытие — в мех. Потение также стало приспособлением, позволяющим регулировать температуру тела, способом понижать в случае необходимости температуру тела за счет испарения воды. Но случайно детеныши пресмыкающихся в поисках пищи слизывали материнский пот. Со временем выделения потовых желез стали содержать все больше и больше питательных веществ и в конце концов превратились в молоко. Это обеспечивало детенышам древних млекопитающих дополнительный шанс на выживание в начальный период их жизни.

В конце мелового периода на Земле начали формироваться горные массивы, и на всей планете климат стал холоднее. По ночам и зимой, когда гигантские пресмыкающиеся становились вялыми, хозяевами положения становились млекопитающие, и пресмыкающиеся мало-помалу сошли со сцены.

— Но некоторые пресмыкающиеся существуют и поныне, — заметил мистер Томпкинс.

— Существуют, но их осталось немного. И крокодилы, и черепахи гораздо старше динозавров. Сохранились также ящерицы, а некоторые из них, утратив ноги, стали змеями. Выжили также и некоторые близкие родственники динозавров. Я имею в виду небольших двуногих, которые некогда выглядели, как цыплята, и обитали на деревьях, прыгая с ветки на ветку. Покрывавшая их чешуя превратилась не в мех, а в оперение, и, подобно современным ползающим ящерицам, они стали ползать, а позднее летать. Это было их принципиально новым изобретением. Они стали птицами. Поэтому когда вам случается видеть воробья, знайте, что перед вами претерпевший значительные превращения динозавр.

Птицы еще раз подтверждают тот факт, что эволюция даже в различных группах стремится двигаться в параллельных направлениях. После того, как у птиц появились перья, сохранявшие тепло, которое выделялось при интенсивной работе мышц в полете, птицы получили возможность, как и млекопитающие, поддерживать постоянную температуру тела. Овладев этими усовершенствованиями, птицы обрели множество различных форм и занятий.

— Можно ли регуляцию температуры тела считать основной причиной, по которой млекопитающие вытеснили пресмыкающихся? — спросил мистер Томпкинс.

— Поначалу так и было. Но регуляция температуры тела привела к еще одному усовершенствованию. У всех типичных пресмыкающихся очень маленький головной мозг. Например, у имевшего гигантские размеры динозавра мозг был величиной с грецкий орех. А для того, чтобы сложный мозг хорошо функционировал, он должен находиться в постоянной среде, и одним из параметров, колебания которого допустимы лишь в очень узких пределах, является температура. Так как млекопитающие тщательнейшим образом регулируют температуру своего тела, их головной мозг мог увеличиться в размерах, отчего млекопитающие «поумнели». Более высокая степень разума сделала победу млекопитающих над пресмыкающимися еще убедительнее.

— И на этом эволюция в том, что касается принципиально новых изобретений, завершилась?

— О нет! Вы сами живете в период, когда одно принципиально новое изобретение, о котором мы еще не упоминали, изменяет ход эволюции.

— Вы имеете в виду человека? — высказал предположение мистер Томпкинс.

— Его головной мозг, — кивнул английский натуралист. — Со времен окончания Века пресмыкающихся головной мозг почти у всех млекопитающих начал увеличиваться в объеме. Но, как обычно, большинство млекопитающих претерпели узкую специализацию. Киты, обладатели самого большого головного мозга среди млекопитающих, обзавелись плавниками, а их тело обрело рыбообразную форму, что исключило для китов возможность манипулирования различными предметами и изготовления орудий труда. В несколько иных вариантах то же самое приключилось с лошадьми, слонами и почти со всеми другими млекопитающими. Но одну ветвь специализация все же не затронула. Я имею в виду примитивных насекомоядных, обитавших на деревьях. От своих далеких предков — земноводных — они сохранили по пять цепких хватательных пальцев на своих конечностях. Прыжки с ветки на ветку требовали объемного зрения — способности видеть предметы в трехмерном пространстве. Диета их была разнообразной, что предотвращало чрезмерную специализацию их зубов.

Чутко реагируя на изменения окружающей среды, эти так называемые приматы становилась все крупнее, их мозг увеличивался, и в конце концов они превратились в обезьян. Около 30 миллионов лет назад территория Африки начала осушаться, появились обширные равнины, покрытые травянистой растительностью. Некоторые из крупных приматов поселились на равнинах и среди скал. Передвигались они с места на место большими стаями. Так как

плодов и листьев на всех не хватало, приматы поедали насекомых, птичьи яйца и любую мелкую живность, какую только удавалось поймать. Иногда совместными усилиями они загоняли и более крупную добычу, например, антилоп, а так как руки приматов не были специализированы, они могли сжимать палки и камни, которые служили оружием. Мозг приматов в те времена был лишь немногим больше мозга гориллы. Достигнув этой степени развития, приматы научились изготавливать орудия труда сначала из костей животных, затем из обломков кремня и других твердых пород. Первыми стали изготавливать такие орудия австралопитеки — человекообезьяны, жившие более миллиона лет назад в Южной Африке.

Между тем некоторые из приматов вернулись в лес, где вели тихий и мирный вегетарианский образ жизни, никого не беспокоя и не слишком изменяясь. Со временем они превратились в горилл и шимпанзе. Приматы, оставшиеся на степных просторах, были совершенно другими. Они отличались агрессивностью, имели довольно убогий вид и отличались нечистоплотностью и склонностью к каннибализму. Для сражений, междоусобных побоищ и охоты им необходимы были орудия и способность общаться посредством все более богатого языка. В свою очередь это привело к тому, что их головной мозг стал быстро увеличиваться. Так мы стали такими, какие мы сейчас.

Вместо того, чтобы медленно приспособливаться к окружающей среде путем закрепления благоприятных изменений в строении тела, современный человек приспособливается гораздо быстрее, изобретая орудия и идеи, передаваемые от поколения к поколению с помощью устной речи и письменности. Огромное преимущество такого способа приспособления к окружающей среде заключается в том, что, изобретая орудия и идеи, человек избавляется от необходимости проходить промежуточные этапы, каждый из которых должен быть напрямую полезен. Можно было бы сказать, что до недавнего времени эволюция была шахматистом, способным мыслить лишь на один ход вперед, а теперь стала просчитывать несколько ходов вперед. Именно поэтому эволюция орудий и культуры, «экзосоматическая эволюция», или эволюция, происходящая вне тела, обрела большее значение, чем эволюция организма.

Быстрая эволюция человеческой культуры уже вызвала большие изменения на нашей планете, даже в ее геологии. Появились чистые металлы, не существовавшие ранее в природе, например, чистое железо и чистый алюминий. Залежи угля и нефти быстро окисляются, из-за чего повышается концентрация двуокиси углерода, и, возможно, происходит потепление климата. Вам выпала завидная судьба, если вы так это называете, жить в период, когда происходит величайшее эволюционное событие с того момента, когда возникла жизнь.

— Очень интересно, — заметил мистер Томпкинс. — То, о чем вы сейчас рассказали, позволяет совершенно по-новому взглянуть

на нашу собственную историю и место во Вселенной. Теперь я понимаю, почему опубликование эволюционной теории считается столь великим событием в истории человеческой мысли. Но теперь, когда эта теория стала всеобщим достоянием, кажется странным, что столь простая идея не была открыта задолго до вас.

— В каком-то смысле она была известна и до меня, — скромно возразил английский натуралист. — Принято считать, что те, кого мы сейчас называем учеными, впервые появились в Древней Греции, но такое мнение не вполне справедливо по отношению к египтянам, шумерам и китайцам, которые еще до греков совершили значительные открытия в математике и медицине. Но как бы то ни было, первая группа ученых сложилась в городе Милете, греческом поселении на побережье Малой Азии. Ее основоположником стал Фалес, живший примерно за шесть веков до н. э. По преданию, он был финикийского происхождения. Поскольку наука в ту пору делала свои первые шаги, ее границы не были четко определены, и первые ученые размышляли над проблемами, которые мы сегодня отнесли бы к философии и теологии, а также к естествознанию. Например, один из первых ученых, Пифагор, разработал метод построения математики, состоящий в выводе теорем из ограниченного числа аксиом. Но тот же самый Пифагор пропагандировал учение о переселении душ и считал грешным есть фасоль.

Один из учеников Фалеса, грек Анаксимандр, заинтересовался проблемой происхождения всего сущего. Он высказал предположение, что живые организмы были на Земле не всегда, а возникли из первичной слизи и грязи в силу естественных причин и затем постепенно превратились в те формы, которые мы наблюдаем. Как вы видите, идея весьма современная, хотя Анаксимандр не имел ни малейшего представления о том, каковы эти естественные причины. С тех пор представление об эволюции стало достоянием образованных людей, хотя разделяли его далеко не все.

Широкому распространению идеи эволюции отчасти препятствовала традиция. Дело в том, что у всех народов есть мифы о возникновении Земли и жизни. Мифы евреев и индийцев отразились в Священном Писании и стали частью религии. Поэтому церковные власти встретили научные представления об эволюции довольно враждебно, а авторитет церкви был велик. Но враждебное отношение церкви было не единственной трудностью, многие образованные люди восприняли бы идею эволюции более серьезно, если бы не отсутствие научных объяснений того, каким образом могла бы происходить эволюция. Аналогичная история приключилась и с представлением об атоме. Идею атомного строения вещества высказали древнегреческие философы Левкипп и Демокрит и римский поэт Лукреций, но ее не воспринимали всерьез до тех пор, пока через 2 000 лет химики и физики не получили экспериментального подтверждения ее существования. За поколение до меня французский биолог Ламарк

высказал предположения относительно того, как могла бы происходить эволюция. Организмы, утверждал Ламарк, стремятся приспособиться к окружающей среде. Например, жирафы вытягивают шеи, чтобы дотянуться до более высоких ветвей деревьев и достать сочную листву. В результате, по мнению Ламарка, шеи жирафов могли немного удлиниться, и это небольшое удлинение передалось шеям их потомства. Идея Ламарка была шагом в правильном направлении, но убедила далеко не всех, ибо многие структуры было невозможно объяснить таким способом. Каким образом животное, пытаясь спрятаться от своих врагов, могло в конечном счете изменить свою окраску и стать незаметным на фоне окружающей среды? Как нам теперь известно, существует даже более серьезное возражение против идеи Ламарка. Как почти все его современники, Ламарк считал, что любая особенность, приобретенная одним из родителей в течение жизни, наследуется его потомством. Считалось, что если белокожий отец проводил много времени на солнце и хорошо загорел, то у его детей цвет кожи будет чуточку темнее. Разумеется, и в те времена были хорошо известны некоторые факты, не укладывавшиеся в предлагаемую схему, но, как ни странно, на эти факты никто не обращал ни малейшего внимания. Например, евреи на протяжении тысячелетий практиковали обрезание, но это никак не сказалось на их потомстве, и в каждом поколении операцию приходится проводить заново.

Теперь мы знаем, что идея наследования приобретенных признаков насквозь ложна. На ген никак не влияет то, что происходит с остальным организмом. Если вы являетесь носителем гена длинных пальцев или сильных мускулов, то он передастся вашим детям, даже если вы потеряете пальцы в результате несчастного случая или если ваши мышцы станут дряблыми из-за отсутствия упражнений.

Моим вкладом в теорию эволюции стала идея естественного отбора, который просеивает каждое поколение, чтобы отделить лучших от худших, ведь в среднем именно лучшие становятся родителями следующего поколения. А поскольку лучшие обладают лучшими генами, а не просто более благоприятными приобретенными признаками, у следующего поколения также будут лучшие гены. Такое представление дает механизм, объясняющий эволюцию, и именно оно способствовало тому, что теория эволюции стала общепринятой. Разумеется, в пользу того, что эволюция действительно существует, свидетельствуют и многочисленные другие факты, например, обнаруженные последовательности ископаемых форм. Я счастлив, что именно мне выпала честь стать провозвестником идеи естественного отбора, хотя становление идеи наводит на мысль о том, что незаменимых людей не существует. Как утверждают и журналисты, и ученые, меня едва не опередил Альфред Расселл Уоллес. К 1858 году мои идеи окончательно сложились, но я все еще медлил с опубликованием рукописи. Представьте себе мое изумление, когда я получил вдруг статью от некоего Уоллеса, отправленную им из Ост-Индии,

где он находился в экспедиции, занимаясь сбором насекомых. В этой небольшой статье Уоллес весьма отчетливо сформулировал идею естественного отбора. Затем мы оба одновременно направили наши работы в печать. Однако люди связали идею естественного отбора с моим именем, возможно, потому, что я систематически изложил ее во всех подробностях в нескольких книгах. Впрочем, сейчас это не имеет ни малейшего значения, теория эволюции прочно утвердилась, кто бы ни был ее создателем.

— Объясните ли вы в своих книгах происхождение жизни? — поинтересовался мистер Томпкинс. — Мне кажется, эволюция жизни — это одно, а происхождение жизни из неживой материи — нечто совсем другое.

— Вы совершенно правы, — согласился английский натуралист — это совершенно различные проблемы. Я не занимался проблемой возникновения жизни, так как в мое время химические и физические законы, которые могли привести к возникновению жизни, были известны мне ничуть не больше, чем естественный отбор Анаксимандру. Но в ваше время известно больше, гораздо больше, и высказывались некоторые весьма разумные предположения относительно того, как могло произойти. Живое существо представляет собой специфический набор органических соединений, поэтому первая проблема, которую требуется решить, — это эволюция органических соединений.

— Прошу простить, — прервал объяснение мистер Томпкинс, — а что вы понимаете под органическими соединениями?

— Органические соединения — это соединения, содержащие углерод, — пояснил английский натуралист. — Атомы углерода обладают интересным свойством образовывать длинные цепи или кольца, соединяясь друг с другом. К такому «углеродному скелету» могут присоединяться другие атомы — водорода, кислорода и азота. Поэтому углеродных соединений существует больше, чем соединений всех других элементов, вместе взятых, и именно это практически неисчерпаемое разнообразие соединений углерода делает возможным жизнь.

— А каким образом соединения эволюционируют? — удивился мистер Томпкинс. — Я думал, что состав соединений всегда один и тот же.

— Вы правы, но некоторых соединений раньше просто не было. Чтобы возникла жизнь, прежде всего на планете должны быть органические соединения. Ныне на Земле существует огромное количество органических соединений, но все они — продукт жизнедеятельности живых организмов. Возникает вопрос: могут ли органические соединения возникнуть в отсутствие жизни? Разумеется, мы знаем, что химики умеют синтезировать органические соединения, но поскольку любой химик сам по себе служит живым воплощением такого рода синтеза, этот пример отнюдь не свидетельствует

о том, что синтез органических соединений может происходить и без участия живых существ.

Теперь нам известно, что синтез органических соединений может происходить и в отсутствие жизни. Русский биохимик Опарин впервые отметил, что когда Земля только образовалась, ее атмосфера должна была состоять из водорода, водяного пара, метана и аммиака с небольшой примесью других газов, с невысоким содержанием или даже при полном отсутствии кислорода. Такая атмосфера была бы для вас весьма нездоровой. В такой атмосфере, по словам Опарина, органические соединения должны были синтезироваться спонтанно.

Идею Опарина подхватил и развил американский химик Гарольд Ури, который произвел тщательный анализ химического состава планет и их атмосфер. Ури отметил, что атмосферами с высоким содержанием водорода еще и поныне обладают более крупные планеты, слишком большие и слишком холодные для того, чтобы утратить свои первоначальные газовые оболочки, и что органические соединения встречаются на кометах. Поэтому неразумно предполагать, что в давние времена атмосфера Земли была такой же, как сейчас.

Один из учеников Ури развил теорию своего учителя и показал, что если через такую искусственную атмосферу в лабораторных условиях пропускать электрический разряд или облучать ее ультрафиолетовым светом, то в атмосфере начинают возникать всевозможные органические соединения, в том числе многие из аминокислот, входящих в состав белков. Химики называют это случайным синтезом: продукты получаются в результате естественно протекающих реакций.

Так как солнце всегда освещало земную атмосферу ультрафиолетом, а при грозах нет недостатка в электрических разрядах, не подлежит сомнению, что в глубокой древности, когда планета наша была совсем юной, в ее атмосфере происходил синтез органических соединений, в большинстве своем они растворялись в первобытном океане, образуя своего рода органический суп, а уже из этого супа зародилась жизнь.

— Но если это так, — недоверчиво заметил мистер Томпкинс, — то почему современный мировой океан не обладает свойствами органического супа?

— По двум важным причинам. Жизнь ныне достигла высокого уровня развития, и любая вновь образовавшаяся органическая молекула становится пищей для бактерий. Например, огромное количество нечистот и отходов сбрасывается в море таким городом, как Нью-Йорк, но изливаемая в океан органическая материя не остается в первозданном виде, а становится пищей для бактерий, которых в свою очередь поедают другие крохотные организмы. Теми в свою очередь питаются более крупные существа. Часть отходов ненадолго появляется на столе жителей Нью-Йорка в виде копченой сельди,



омаров, устриц и других даров моря, а затем снова сбрасывается в океан. И так круг за кругом.

Вторая причина заключается в том, что для накопления больших количеств органических соединений требуются десятки или сотни миллионов лет. На заре истории Земли, до появления жизни, в атмосфере нашей планеты почти не было свободного кислорода, и поэтому органические соединения могли образовываться. В наше время атмосферный кислород сжигал бы органические соединения быстрее, чем они успевали бы накапливаться.

— Понимаю, — с глубокомысленным видом произнес мистер Томпкинс, — на такой планете, как Земля, мог накопиться изрядный запас органических соединений. Но как перейти от них к живым существам? У моей жены дома хранятся много банок с супом, и в каждой банке полным-полно органических соединений, но жизнь в банках никогда не зарождается, разумеется, если герметичность банки не нарушена и в нее не попали споры и зародыши. Если же в какой-нибудь банке жизнь все же зародится, то я вправе подать в суд на производителей супа за отравление вследствие недостаточной стерилизации. Но если жизнь не зарождается в густом гороховом супе, который уже содержит белки, то как она могла зародиться в первобытном океане?

— Ваш вопрос бьет, что называется, не в бровь, а в глаз. Ответ на него заключается в том, что океан в одном очень важном отношении отличается от банок с супом, которые хранятся в чулане у вашей жены: первобытный океан был открытой динамической системой.

— А что это такое? — озадаченно спросил мистер Томпкинс.

— Позвольте мне пояснить, что такое открытая динамическая система, на примере, — предложил английский натуралист. — Энергия солнечного света вынуждает атмосферные газы вступать в химические реакции и образовывать различные органические соединения, содержащие много энергии. Эти соединения растворяются в океане и продолжают вступать между собой в химические реакции, растрачивая энергию, до тех пор, пока не разложатся на газы и не просочатся обратно в атмосферу. Солнце действует как своего рода насос, заставляя органические соединения совершать кругооборот между атмосферой и океаном.

— Такой кругооборот мне кажется лишеным всякого смысла, — заметил мистер Томпкинс. — Ведь вы заканчиваете там, откуда начинали.

— Как сказать, это зависит от точки зрения. Современные растения, используя энергию солнечного света, образуют из двуокиси углерода и воды сахара и другие органические соединения. Вы употребляете в пищу либо растения, либо животных, поедающих растения. Затем вы расщепляете съеденные органические соединения снова на двуокись углерода и воду. И это вы называете бессмысленным хождением по кругу?

— Гм! Кажется, теперь я понял. Хотя в ходе превращений мои молекулы возвращаются в исходное состояние, они поддерживают мое существование.

— Совершенно верно! Взаимопревращения вещества и прохождение потока его через ваше тело называется метаболизмом. Поток вещества через океан также был своеобразной метаболической системой, но в банках с супом никакого метаболизма нет.

— Вы хотите сказать, что первобытный океан был обычной химической системой?

— Да, но он начал эволюционировать по-новому. Разумеется, в нем были многие тысячи различных соединений, между которыми протекали разнообразнейшие химические реакции. Одни из этих реакций начали помогать другим. Продукт одной реакции стал способствовать протеканию другой реакции, и наоборот, продукт второй реакции стал способствовать протеканию первой реакции. Такую пару реакций мы называем самореплицирующейся, поскольку чем больше таких пар, тем сильнее она растет за счет других, не спаренных реакций. Говоря о росте, я имею в виду, что все большая часть потока вещества оказывается вовлеченной в спаренные реакции. Разумеется, таких пар было много, и некоторые из них стали помогать другим парам. В результате автоматически произошел отбор системы наиболее эффективных реакций, которая стала расти за счет менее эффективных реакций. Этот процесс во многом аналогичен биологической эволюции, но с отбором химических реакций, а не генов. Постепенно синтезировались все более и более сложные соединения, действовавшие в качестве катализаторов, или примитивных ферментов, при синтезе других соединений. Так родилась метаболическая система, предвестник жизни.

— Аналогия с биологическим естественным отбором мне понятная, — не без удовлетворения заметил мистер Томпкинс. — А что послужило аналогом живого организма?

— Дать четкое определение, что такое индивидуальный живой организм, иногда довольно трудно, — улыбнулся английский натуралист. — Вы могли бы возразить мне, сославшись, например, на то, что розетка клубники — вполне индивидуальный организм. Но вот розетка дает усы, и те укореняются, образуя новые розетки. Где кончается один индивид и начинается другой?

— Но с людьми или, например, с кошками такой проблемы не возникает, — не удержался от замечания мистер Томпкинс. — Мы без труда можем указать, где кончается один индивид и начинается другой.

— Совершенно верно, потому что перед вами экстремальный случай. Но, возможно, вы не сознаете, что сами существуете на двух совершенно различных уровнях индивидуальности. На первом уровне вы состоите из клеток, каждая из которых ведет свою собственную индивидуальную жизнь. Например, можно взять клетки из вашей

кожи и вырастить их отдельно в культуре ткани, как мы выращиваем бактерии. Такие клетки продолжали бы жить и расти еще долго после того, как вы умерли бы от старости. На втором уровне ваши индивидуальные клетки образуют интегрированную колонию — вас, мистера Томпкинса, который, несомненно, сам по себе является индивидом.

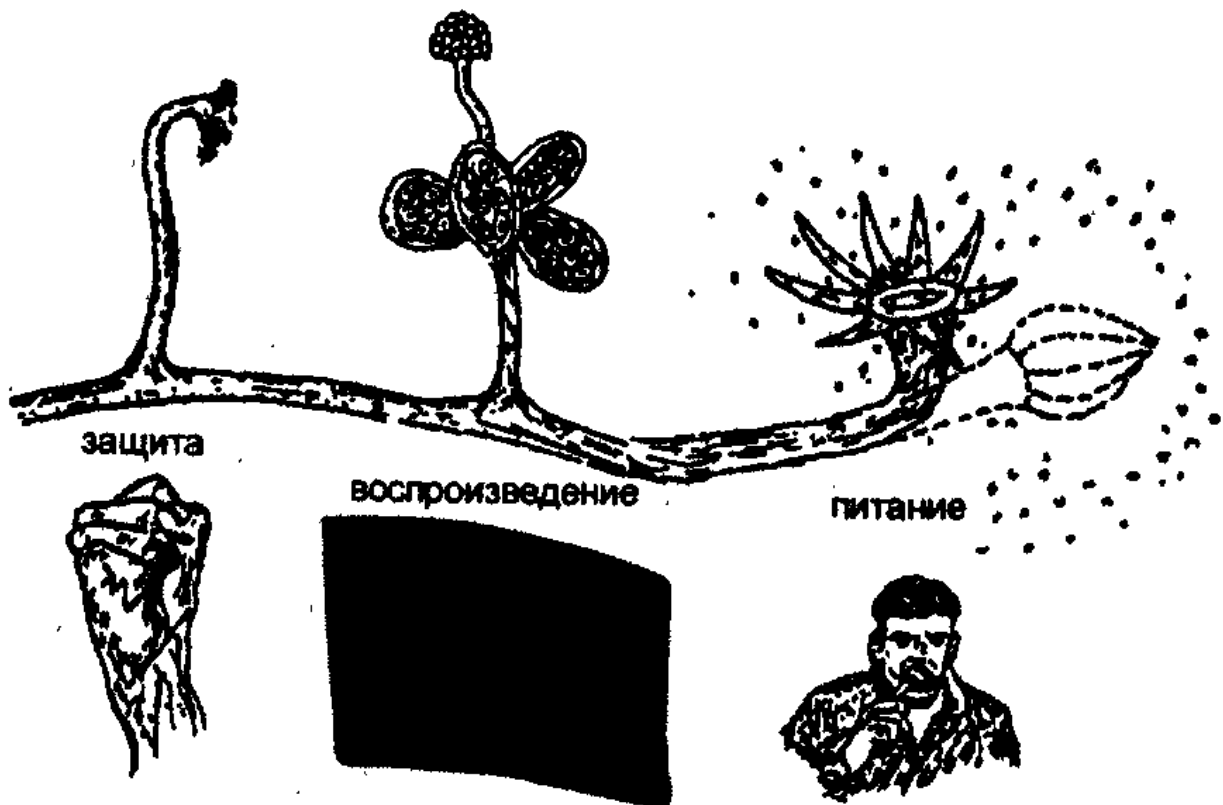
— Но ведь на уровне колонии клеток, — упрямо продолжал настаивать мистер Томпкинс, — не возникает сомнений относительно того, что считать индивидом?

— Не всегда, — мягко ответил английский журналист. — Существуют так называемые кишечнополостные.

— Впервые слышу, — со смущением вынужден был признаться мистер Томпкинс,

— Возможно, что вам никогда не приходилось слышать название, но самих животных вы отлично знаете. Это морские анемоны, или актинии, и медузы.

— О да! — просиял мистер Томпкинс. — Медуз мне часто приходилось видеть на морском берегу. Прелюбопытные создания! Так что с ними?



Одни особи специализируются на ловле пищи, другие на воспроизведении, а остальные защищают колонию своими щупальцами со стрекательными клетками

— Актинии показывают нам, что не только клетки могут собираться вместе и образовывать индивид, но и индивиды, состоящие из клеток, могут образовывать индивид более высокого порядка.

Актиния по существу представляет собой открытую с одного конца трубку. Отверстие обычно обрамлено бахромой из щупалец, которые хватают других животных и направляют их в трубу, где они перевариваются. Актиния по существу есть не что иное, как самоподдерживающаяся кишка, которая может жить сама по себе как четко определенный индивид. Но некоторые особи живут группами, и внутренности различных особей сливаются. Пища, которую удается поймать одной особи, становится достоянием всех членов колонии. Другие особи продолжают такое «разделение труда» еще дальше: одни члены колонии специализируются на ловле пищи, другие — на воспроизведении, третьи защищают колонию своими щупальцами со стрекательными клетками. У некоторых медуз принцип разделения труда развит еще больше. Таков, например, португальский кораблик, который в действительности представляет собой плавучую колонию, состоящую из многих особей, одни из которых обеспечивают питание колонии, другие занимаются репродукцией, третьи — мышечными сокращениями, необходимыми для движений и т. д. При этом образующие колонию индивиды интегрированы настолько полно, что трудно сказать, где кончается одна особь и начинается другая, а все вместе особи образуют один суперорганизм, определенный столь же четко, как, например, кошка.

— А такие суперорганизмы образуют только кишечнополостные? — поинтересовался мистер Томпкинс.

— О нет, так поступают многие другие простые животные. Но особенно интересно то, что некоторые весьма сложные животные эволюционируют в том же направлении. Например, колонию муравьев или термитов также можно рассматривать как единый суперорганизм. Различные особи в муравейнике или термитнике также специализируются на выполнении различных задач, но все вместе трудятся на благо колонии как единого целого.

— Но муравьи в муравейнике физически не связаны, — возразил мистер Томпкинс. — Они остаются отдельными индивидами, каждый сам по себе.

— Дело не в физическом контакте. Главное заключается во взаимодействии или потоке информации между частями, образующими организм. В одних случаях, например, когда речь идет о клетках, образующих ваше тело, взаимодействие достигается при физическом контакте. Но, как показывает пример с муравьями, взаимодействие может осуществляться и другими способами.

— Вы привели муравейник в качестве примера суперорганизма. А разве о человеческом обществе нельзя сказать то же самое? — спросил мистер Томпкинс.

— Разумеется, можно. Человек образует «суперорганизмы», которые мы называем сообществами, нациями и государствами. В таких суперорганизмах люди, подобно клеткам, рождаются и умирают, но сообщества продолжают жить и развиваться. Однако человеческое

общество представляет собой организм лишь в самом рудиментарном смысле, поскольку взаимодействия между индивидами гораздо слабее, чем между клетками тела. Но кто знает, возможно, в далеком будущем взаимодействие между членами общества станет постепенно столь интенсивным, что возникнет самый настоящий суперорганизм. В таком суперорганизме те, кого мы сейчас называем отдельными индивидами, будут играть такую же роль, какую в наших телах играют клетки. И такой прогноз полностью согласуется с тем, что нам известно ныне о предшествовавшем ходе эволюции.

— Должен сказать, что подобная перспектива меня отнюдь не прельщает, — признался мистер Томпкинс.

— Я тоже от нее не в восторге, — кивнул натуралист. — Кто знает, какими могут стать подобные суперорганизмы? У римлян была одна поговорка на этот счет: «*Senatores boni viri, sed Senatus mala bestia*», что в переводе с латыни означает: «Сенаторы — люди хорошие, но сенат — мерзкая скотина». Древние римляне понимали, что высокоразвитый организм, в данном случае римский сенат, может иметь совершенно другие характеристики, причем не обязательно лучшие, чем его отдельные компоненты. Но в связи с чем мы отклонились от темы нашей беседы?

— Вы рассказали о том, — напомнил мистер Томпкинс, — что у древнего океана возник свой собственный метаболизм, как у живого организма, и я спросил вас, что такое организм.

— Да, да! В ту далекую эпоху весь океан состоял из ингредиентов, взаимодействовавших между собой весьма слабо, и поэтому его вряд ли можно назвать единым организмом с четко очерченными функциями частей. Скорее он походил на колонию губок, растущих на подводных скалах и сросшихся между собой. Вот каким увидел (разумеется, мысленным взором) первобытный океан современный поэт<sup>1)</sup>:

Склоняют все главу пред вами, доктор Ичас:  
Одним усилием дерзкий разум ваш  
Рожденье дал земному океану,  
И океан тот стал купелью жизни.

Померкли перед ним чудовища былые:  
Пернатый Змей и грозный Змей морской,  
Кетцалькоатль, бык Ахурамазды,  
Кракен и Аспид, Молох и Ваал,

Трехглавый Цербер, что с хвостом змеиным,  
И чудище морей Левиафан,  
И пламя изрыгающий дракон,  
Харибда, Сцилла, страшных гарпий рой...

<sup>1)</sup> В оригинале — поэма Джона Апдайка «Горькая жизнь». — Прим. перев.

Что все они в сравнении с океаном?  
 Тень бледная пред ярким светом дня.  
 Его проливы — сухожилий струны,  
 Каналы — вены, острова — глаза.

Широко свои объятья океан простер.  
 Земли макушки толстым льдом покрыты.  
 И мерзнут пальцы фьордов,  
 И метет пурга в безжизненных просторах Антарктиды.

О, грозный, страшный океан-владыка!  
 Сама праматерь Тира,  
 Чей лик ужасный устрашит любого,  
 И вполовину не страшна, как ты!

С печальным мерным шумом,  
 При свете дня, во мраке ночи  
 Ластился к суше ты,  
 Но та твои лобзанья стойко отвергала.

Своим плащом зелено-голубым  
 Бескрайний океан наш дом земной окутал.  
 Но сгинул океан в один эон, и что же?  
 Не пролил над ним никто слезинки малой<sup>2)</sup>.

Мистер Томпкинс не получил классического образования, и многие слова из поэмы остались для него непонятными.

— Хорошенькое дело, — пронеслось у него в голове, — если тот океан «сгинул», то как он мог стать колыбелью жизни?

— В действительности тот океан не сгинул, а перешел на следующую ступень эволюции, — словно прочитав мысли мистера Томпкинса, заметил английский натуралист. — Существует гипотеза, что океан разделился на некие подобия крохотных индивидуальных организмов, разумеется, детали нам неизвестны, но вполне вероятно, что органические вещества образовывали нечто вроде капель жира, аналогичных каплям растительного масла в воде, а при дальнейшем развитии эти капли превратились в очень примитивные клетки, аналогичные нашим бактериям, но устроенным значительно проще. Превращение капель в клетки было очень важным этапом развития, так как клетки могли конкурировать друг с другом, и поэтому естественный отбор мог порождать все более и более сложные и эффективные организмы. Но вам не следует требовать от меня каких-либо дополнительных подробностей, так как об этом этапе эволюции мы знаем не слишком много.

— Я полагаю, — с достоинством произнес мистер Томпкинс, — что среди органических соединений, о которых вы только что упомянули, непременно должны были быть белки и нуклеиновые кислоты,

<sup>2)</sup> По мотивам поэмы Джона Апдайка «Горькая жизнь». — Прим. перев.

образующие гены, поскольку, как я недавно узнал, для производства белков необходимы гены.

— Разумеется, они должны были появиться на каком-то этапе эволюции, — согласился натуралист, — но когда именно, нам неизвестно. Вначале метаболическая система могла быть весьма примитивной, и простые и не очень эффективные белки могли каким-то образом возникнуть и без генов. Но и об этом известно не слишком много.

Тем не менее мы вправе утверждать, что одно важное событие заведомо произошло в те давние дни: некоторые из первых клеток стали вырабатывать зеленый пигмент, который называется хлорофилл и обладает способностью поглощать свет. Такие клетки превратились в растения. Используя энергию солнечного света, растения производят из двуокиси углерода (обычно называемой углекислым газом) и воды сахара и другие полезные соединения и выделяют кислород. В океане жили и по-прежнему обитают крохотные микроскопические зеленые растения, называемые водорослями. Они деятельно производят сахара из двуокиси углерода и воды, высвобождая при этом кислород. Более развитые сухопутные растения появились позднее. В древней атмосфере, как я уже говорил, кислорода сначала, по-видимому, вообще не было, но за столетия из-за растений в атмосфере накопилось значительное количество кислорода. Позднее, в результате деятельности растений, стала возможна эволюция животных. Животные питаются растениями и используют содержащиеся в растениях сахара и другие соединения, «сжигая» их с помощью кислорода. При этом животные получают много энергии в количествах, недоступных до появления растений и атмосферного кислорода.

На лице мистера Томкинса появилось озадаченное выражение.

— Если животные сжигают органические соединения, соединяя их с кислородом, то каким образом кислород может накапливаться в атмосфере?

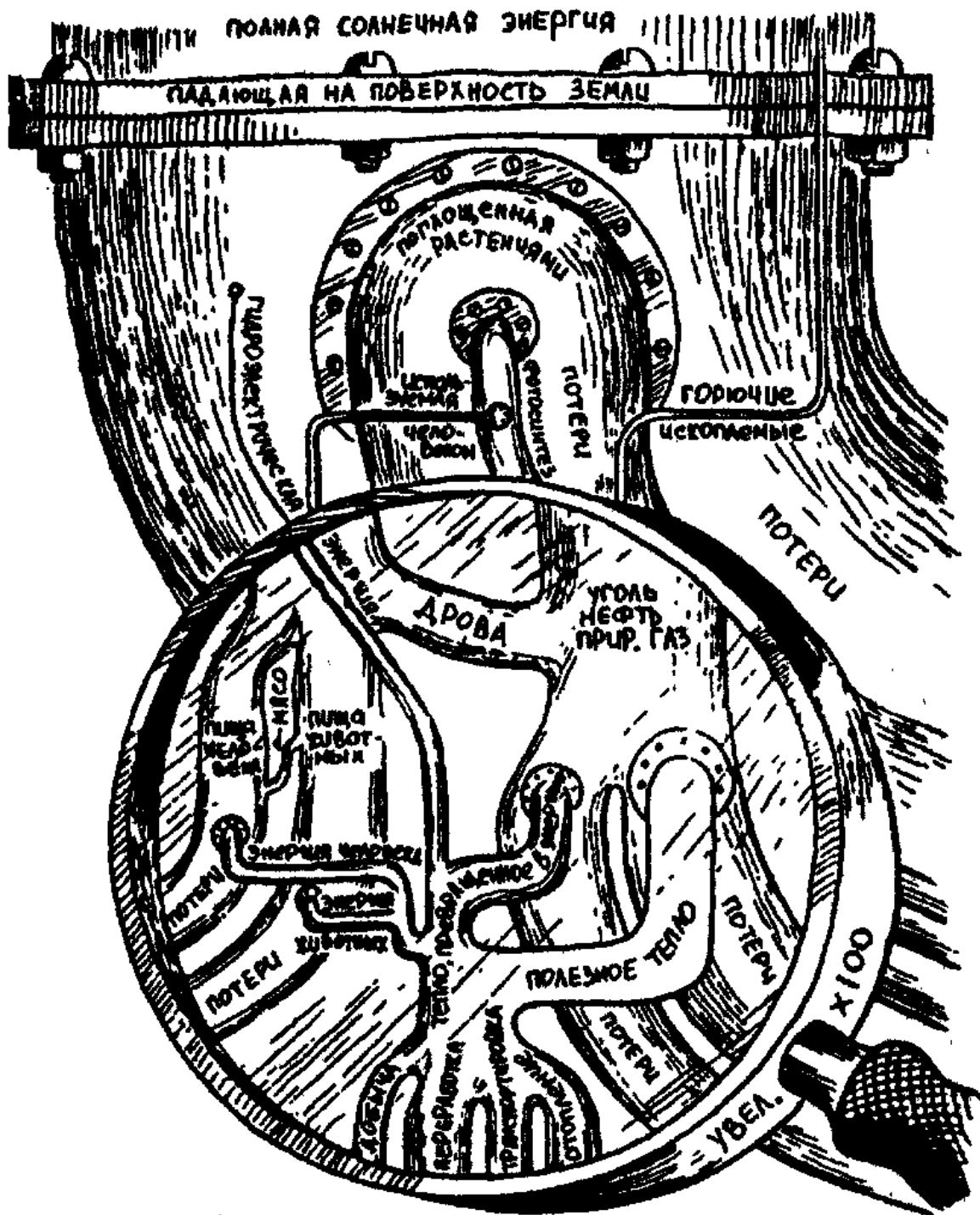
— Ответ заключается в том, что не все органические вещества обладают способностью подвергаться сжиганию повторно. Часть их, сгорая, превращается в твердые породы, например, в сланец и каменный уголь, и в нефть. Процесс превращения идет все время, и постепенно накапливается избыток кислорода. Все живые существа, взятые вместе, образуют своего рода гигантский двигатель, приводимый в движение солнечной энергией через вещество, циркулирующее в живых организмах. Около двух миллиардов лет назад, до появления хлорофилла, этот двигатель был очень маломощным, но затем он начал получать огромные количества энергии и существенно прибавил оборотов; мощность этого сверхдвигателя продолжает нарастать и по сей день.

Вас может заинтересовать сравнение развиваемой им мощности с нашей собственной деятельностью. Недавно я спросил об этом у одного из знакомых физиков и был потрясен его ответом. По оценке

современных ученых, общее количество солнечной энергии, падающей ежегодно на поверхность Земли, составляет  $4 \times 10^{17}$  киловатт-часов, или кВт · ч, из них  $1,7 \times 10^{15}$  кВт · ч, что составляет около половины процента, запасается в растениях в результате процесса фотосинтеза. Между прочим замечу, что только  $1/10$  этого количества запасают растения, обитающие на суше, а остальные  $9/10$  приходятся на долю водорослей в океане. Если говорить не о долях, а о более осязаемом весе, то растительность ежегодно превращает в органические соединения  $1,6 \times 10^{11}$  тонн углерода из атмосферного воздуха. Большая часть этого количества снова возвращается в атмосферу в результате дыхания растений, гниения опавшей листвы и поваленных деревьев, лесных пожаров и т. п. И только один процент синтезированного вещества используется в качестве растительной пищи людьми, а еще полтора процента идут в пищу домашним животным. Кроме того, один процент идет на топливо — для обогрева жилых и производственных помещений.

— На этом рисунке, — продолжал натуралист, доставая из кармана своего сюртука листок бумаги, — который нарисовал один из моих друзей, по профессии физик, — поток солнечной энергии, падающий на Землю, и его последующее распределение изображены в виде системы больших и малых труб. По самой большой трубе поступает весь поток солнечной энергии, падающей на поверхность Земли, труба среднего диаметра соответствует энергии, поглощаемой растениями, а еще меньшая труба — энергии, запасаемой в ходе фотосинтеза. Доля солнечной энергии, запасенной растениями и используемой человечеством, изображена в виде тонкой трубки, отходящей влево; она настолько тонка, что детали дальнейшего распределения энергии мы можем разглядеть только в лупу со 100-кратным увеличением. Взглянув в нее, вы сможете увидеть, что тонкая трубка разветвляется на три еще более тонкие, соответствующие энергии, потребляемой с пищей человеком, животными и используемой в качестве дров. Кстати, обратите внимание на узкую трубочку, соединяющую трубку «пища животных» с трубкой «пища людей». Это — усредненная нерастительная (в основном рыбная) диета людей, населяющих Землю. Трубка с надписью «дрова» впадает в более широкую трубу, соответствующую энергии, ежегодно получаемой из угля, нефти и природного газа. Это незаменимые источники энергии стали доступны для нас в результате фотосинтеза, который растения осуществляли в далеком прошлом на протяжении геологических эпох. Теперь мы подходим к превращению всех этих потоков энергии в полезное тепло, т. е. к процессам, в которых мы несем огромные энергетические потери. Даже в нашу лупу со 100-кратным увеличением трубки, несущие полезную энергию, выглядят очень тонкими. Из  $2,1 \times 10^{12}$  кВт · ч полезного тепла только  $1,2 \times 10^{12}$  кВт · ч превращаются в механическую энергию,  $0,2 \times 10^{12}$  кВт · ч — в затраты на физический труд,





а  $0,1 \times 10^{12}$  кВт·ч — в работу, производимую тягловыми животными. Тонкая трубка, идущая прямо из основного потока солнечной энергии, несет внутри себя  $0,2 \times 10^{12}$  кВт·ч гидроэлектрической энергии. Общее количество в  $2,9 \times 10^{12}$  кВт·ч полезной энергии расходуется главным образом на промышленную обработку материалов ( $1,8 \times 10^{12}$  кВт·ч), домашние потребности ( $0,8 \times 10^{12}$  кВт·ч) и добычу сырья ( $0,3 \times 10^{12}$  кВт·ч). Нарисованная моим приятелем-физиком картинка дает ясное представление о том месте, которое мы, люди, занимаем в мире живого.

— Теперь я вижу, — подтвердил мистер Томпкинс, — что мы используем лишь малую толику имеющейся энергии. Но наша цивили-

зация непрестанно развивается, и мне не раз приходилось слышать, что фактически предела нашего роста просто не существует.

— Что и говорить, любопытная точка зрения, — произнес английский натуралист, — но, боюсь, несколько нереалистическая. Предположим, что вы проделываете следующие вычисления. В настоящее время человечество использует энергию, эквивалентную, по знаменитой формуле Эйнштейна  $E = mc^2$ , полному превращению ежегодно 22 фунтов вещества. Если человеческая деятельность будет возрастать ежегодно на 5 процентов, то вся масса Земли превратится в излучение всего лишь за 13 веков.

Мистер Томпкинс слегка побледнел.

— Вы хотите сказать, что человеческий род так близок к своему концу? — спросил он с некоторым беспокойством.

— Разумеется, нет. Я привлек эти вычисления лишь для того, чтобы показать, как глупо предполагать, будто любой материальный рост может продолжаться бесконечно. Ясно, что независимо от того, нравится нам это или нет, но от нашей привычки пытаться все расширять, увеличивать и наращивать по принципу «чем больше, тем лучше» нам вскоре придется отказаться. Период, в который мы живем, — детство человечества. Разумеется, ребенок должен расти, но мы часто упускаем из виду, что когда-то рост должен прекратиться. Если кто-нибудь продолжает расти в возрасте 20 лет, то это не может не вызвать серьезной озабоченности, так как обычно указывает на какой-то сбой в работе гипофиза, управляющего ростом.

Мистер Томпкинс никогда так много не размышлял над проблемами эволюции и происхождения жизни, и в голове у него роилось множество вопросов, которые ему непременно хотелось задать. Что думают биологи о будущем человечества? Есть ли во Вселенной другие мыслящие существа, кроме нас? Если есть, то можем ли мы войти в контакт с другими, далекими от нас цивилизациями? Мистер Томпкинс никак не мог решиться задать первый вопрос, но, к счастью, затруднение разрешилось само собой. Надвигалась гроза, и несколько первых капель уже упали на палубу.

— Прошу прощения, — вежливо произнес английский натуралист. — Беседовать с вами было очень интересно, но я боюсь промокнуть. Воспаление легких — слишком опасная болезнь, ведь пенициллин еще не открыт. Мы сможем продолжить нашу беседу позднее, ведь наше плавание продолжится еще несколько лет. А сейчас я возвращаюсь свою каюту.

Мистер Томпкинс в отменных выражениях поблагодарил английского натуралиста и направился было к себе в подвесную койку... Проснувшись, мистер Томпкинс увидел, что лежит в своей уютной каюте на борту океанского лайнера. Волнение утихло, и лайнер шел без малейшей качки, словно все еще стоял у причала. Самое время было идти обедать.

---

## Часы идут...

---

Встреча с Чарльзом Дарвином дала мистеру Томпкинсу богатую пищу для размышлений. Разумеется, это был всего лишь сон, и теперь мистер Томпкинс снова находился на борту своего роскошного лайнера и располагал значительно более широкими познаниями в вопросах, касающихся происхождения и эволюции жизни, чем прежде. Правда, его немного смущала сверхъестественная способность Чарльза Дарвина с одинаковой легкостью заглядывать в прошлое и будущее. Следовало ли ее отнести к игре воображения спящего мозга («мало ли что привидится во сне!»), или путешествие в прошлое и будущее действительно возможны? В судовой библиотеке не нашлось ни одной научной книги о природе времени, но мистеру Томпкинсу посчастливилось найти роман Герберта Уэллса «Машина времени» и какую-то в высшей степени занимательную книжку, в которой трактовались такие вещи, как телепатия и древние провидцы Шотландии. По утверждению автора, провидцы провидели будущее столь же легко и ясно, как мы с вами видим настоящее. В книжке приводились также всякого рода сообщения о случаях полтергейста, когда духи (так, по крайней мере, утверждал автор) швыряют предметы, двигают мебель и совершают тому подобные действия. Книжка была великолепно написана, но мистер Томпкинс не принял ее всерьез.

— Должно быть, все это бабушкины сказки, — сказал он себе, решив непременно при первой же возможности познакомиться с истинно научными взглядами на природу науки. Подобно многим любителям и широкой публике, мистер Томпкинс не сомневался в том, что последнее слово по любому вопросу должно оставаться за наукой.

Через несколько дней он добрался до университета, где преподавал теперь его сын. Уилфред и Вера приняли его очень радушно, и в их уютном жилище он почувствовал себя совсем как дома. Окружающая местность радовала глаз своими красотами и обилием зелени, и всю первую неделю мистер Томпкинс на попутных или за рулем машины сына разъезжал по окрестностям, знакомясь с достопримечательностями. Но по вечерам он по своему обыкновению отдыхал за чтением журналов и книг, которые Уилфред приносил ему из университетской библиотеки. Одна из статей, написанная

неким физиком, была посвящена природе времени, и мистер Томпкинс с величайшим вниманием прочитал ее от первой до последней строчки, надеясь найти в ней ответы на интересовавшие его вопросы.

Оказалось, что проблемой времени, в особенности возможностью его обращения, занимались многие физики. Очень ясно проблему обращения времени сформулировал в 1874 году великий английский физик лорд Кельвин, писавший в одной из своих работ: «Таким образом, если в какой-то момент движение любой частицы материи во Вселенной можно было бы в точности обратить, то в дальнейшем весь ход развития природы оказался бы обращенным. Взлетающие в воздух пузырьки пены у подножия водопада слились бы и опустились в воду; тепловые движения вновь сконцентрировали бы свою энергию и забросили бы массу вверх, причем по дороге капельки воды слились бы в сплошной столб вздымающейся из бездны воды. Тепло, порожденное трением твердых тел друг о друга и рассеянное теплопроводностью и излучением с поглощением, вновь возвратилось бы к месту соприкосновения тел и отбросило бы движущееся тело против силы туда, откуда оно было сдвинуто с места. К валунам вернулись бы из грязи некогда принадлежавшие им частицы, отчего валуны вновь обрели бы форму камней с острыми зазубренными краями и сложились бы в горные пики, от которых они когда-то оторвались. И если верна материалистическая гипотеза происхождения жизни, то живые существа начали бы развиваться вспять, зная будущее, но не помня прошлого, и снова стали бы нерожденными». Не без разочарования, но, возможно, с некоторым облегчением лорд Кельвин заметил: «Но реальный феномен жизни явно выходит за пределы научного знания, и поэтому все умозрительные построения относительно последствий такого воображаемого обращения движения всех частиц во Вселенной приносят мало пользы».

Лорд Кельвин мог описать обращение времени только словами, но нам нетрудно воочию увидеть, как оно выглядело бы в действительности. Все, что для этого нужно сделать, это снять на киноплёнку какую-нибудь сцену, а затем спроецировать фильм на экран то от начала к концу, то от конца к началу, как сказал бы лорд Кельвин. В большинстве случаев достаточно взглянуть на экран, чтобы сразу сказать, в какую сторону «крутят» фильм. Почему?

Автор статьи обращал внимание читателей на то, что если отснятая сцена запечатлела только движение больших тел, то направление времени отнюдь не очевидно. Можно отснять поезд, идущий вперед, но если затем показать отснятую пленку, пустив ее от конца к началу, то поезд на экране будет выглядеть вполне естественно. Только ехать он будет задом наперед, что нередко случается видеть на железной дороге. Но предположим, что вы отсняли более камерную, или домашнюю, сцену — горящую сигарету. Если такой фильм показывать как обычно, то сцена будет выглядеть так, как неоднократно приходилось видеть всем нам: сигарета постепенно превращается в пепел,

а дым рассеивается. Если же пустить пленку в обратную сторону, то сцена будет выглядеть весьма странно: дым будет конденсироваться на пепле, а пепел — превращаться в сигарету. Это сразу скажет нам, в каком направлении течет реальное время.

Физик утверждал, что существует фундаментальная причина, по которой одна сцена выглядит естественно, а другая — неестественно. Предположим, что перед вами колода карт, расположенных в идеальном порядке, т. е. сначала в ней идут в порядке старшинства все карты пиковой масти, затем в таком же порядке все карты червовой масти и т. д. Если колоду перетасовать, то порядок карт в ней нарушится. Предположим, что перед вами два снимка одной и той же колоды карт, разложенных в один ряд вниз рубашкой. На одном снимке карты расположены в идеальном порядке, на другом — вперемешку, и вы знаете, что между снимками колоду перетасовали. Можете ли вы определить, какой из снимков сделан раньше, а какой позже? Разумеется, можете. Тот снимок, на котором карты расположены вперемешку, сделан позже.

По мнению физика, этот пример объясняет, каким образом можно определять направление времени. Так как всюду общая тенденция состоит в увеличении беспорядка, мы говорим, что беспорядок либо всегда увеличивается, либо в лучшем случае остается постоянным. Когда сигарета горит, ее атомы или молекулы, которые прежде находились в относительном порядке, рассеиваются в виде дыма, и чрезвычайно маловероятно, чтобы они когда-нибудь скоонденсировались снова в сигарету. Именно поэтому фильм о горящей сигарете, если его прокручивать от конца к началу, выглядит столь неестественно: на экране происходят почти невероятные события. Но почему фильм об идущем поезде выглядит так естественно, независимо от того, смотрим ли мы его от начала к концу или от конца к началу? Очевидно, потому, что в обоих случаях происходит одинаковое увеличение беспорядка, в принципе равное нулю. А когда увеличение беспорядка равно нулю, как в чисто механических процессах, то определить направление времени невозможно. Эти мысли поразили мистера Томпкинса своей новизной и показались необычайно интересными, так как сам он никогда не думал о времени с такой точки зрения.

С воодушевлением мистер Томпкинс снова углубился в чтение статьи. Будущее и прошлое представляются нам существенно различными. Мы инстинктивно с трепетом ожидаем будущего, отчасти потому, что прошлое (по крайней мере в принципе) нам известно, тогда как будущее известно лишь отчасти. Всякий раз, когда нам приходится вести автомашину, мы не можем быть уверенными в том, что не попадем в аварию или дорожно-транспортное происшествие. Но еще более важно, что в одном отношении будущее нам достоверно известно: мы твердо знаем, что по прошествии некоторого времени мы должны будем уйти, перестанем существовать. Большинство людей

относятся к этому знанию неприязненно. Объективно такая неприязнь представляется весьма странной; никому и в голову не приходит беспокоиться о прошлом, и большинство людей не беспокоит мысль о том, что во времена динозавров их не существовало. Так почему же нас так беспокоит, что мы не будем существовать в будущем? Такое предвзятое отношение к будущему — не более чем предрассудок, следствие того, что эволюция отобрала живых существ, включая нас, людей, способных бороться за выживание, или же между прошлым и будущим реально существует различие? Был ли прав сэр Исаак Ньютон, когда он утверждал, что «абсолютное, истинное математическое время само по себе и по самой своей сущности, без всякого отношения к чему-либо внешнему, протекает равномерно и иначе называется длительностью»?

Физик, автор статьи, приводил еще какие-то аргументы, на взгляд мистера Томпкинса, довольно бессвязные.

«Должно быть, ему просто нечего сказать больше», — подумал мистер Томпкинс.

Было уже довольно поздно, и мистер Томпкинс вспомнил, что на следующий день утром ему предстоит важная деловая встреча. Он поставил будильник на 7 часов утра и отправился спать.

Будильник так и не успел прозвонить, так как мистер Томпкинс проснулся без трех минут семь и выключил будильник. Такое уже несколько раз случалось с ним и раньше, но на этот раз он задумался над тем, почему так происходит. Что за таинственные часы идут внутри мистера Томпкинса, позволяя ему так точно ощущать время, когда он спит? Но, проснувшись, мистер Томпкинс решил поспать еще часок, так как на встречу он все равно успевал. Проснувшись вторично, мистер Томпкинс увидел, что находится в каком-то незнакомом помещении, но постепенно у него забрезжили сначала смутные, а потом все более отчетливые воспоминания. Ну конечно же, ему приходилось бывать здесь раньше: не далее как вчера днем он любовался коллекциями университетского музея древностей. Да, никаких сомнений: сейчас он стоит перед той самой темной статуей с самым злобным видом, которая привлекла его внимание накануне. Табличка на постаменте гласила: «Божество древних майя из Центральной Америки». Вокруг на постаменте было вырезано несколько причудливых иероглифов. Расшифровать их мистер Томпкинс не мог, и ему захотелось узнать, что они означали.

— 9 ИМИКС 19 ЗИП, — неожиданно проговорила статуя с сильным иностранным акцентом. Мистеру Томпкинсу это ровным счетом ничего не говорило, и он в некоторой растерянности промолчал.

— Люди, изготовившие меня, — продолжало каменное божество, — поклонялись времени, и я только что привел вам дату, высеченную ими на камне, из которого они изваяли меня. Время очень подходит для поклонения, как, впрочем, и многое другое, как

по-вашему? Во всяком случае, майя создали очень точный и изящный календарь, и мне доставляет огромное удовольствие наблюдать, как трудно постичь его посетителям, обитающим в этом ужасном климате, в котором я осужден жить в изгнании.

Мистер Томпкинс ощущал благоговейный трепет в присутствии разговорчивой каменной статуи, и отчасти из любопытства, отчасти чтобы сделать ей приятное, спросил:

— А не могли бы вы объяснить мне, как устроен календарь майя и что, в частности, означает 9 ИМИКС 19 ЗИП?

— Охотно. Проще всего начать с вашего собственного календаря. Он хотя и заведомо громоздок, но по крайней мере хорошо вам известен. Свой год вы делите на 12 месяцев различной длины, а дни в пределах одного месяца нумеруете. Кроме того, у вас есть неделя, состоящая из 7 дней, а каждый день недели имеет свое название. Ваши месяцы следуют один за другим без перерыва, как и недели, что позволяет вам указывать какую-нибудь дату, например, так: воскресенье 4-го сентября. Но поскольку эта дата повторяется через неравные интервалы четыре раза каждые 28 лет, она не несет в себе особой информации относительно текущего года.

Система майя лучше. Их год делится ровно на 365 дней, которые подразделяются на 18 месяцев по 20 дней в каждом и 5 дополнительных дней, образующих, если угодно, короткий месяц из 5 дней. Дни месяца майя нумеровали числами от 0 до 19. Таким образом, 19 ЗИП означает 20-й день месяца ЗИП. Кроме порядкового номера, дни месяца имели названия, повторявшиеся непрерывно в течение всего года, как повторяются у вас названия дней недели. Поэтому в вырезанной на моем пьедестале дате день 19 ЗИП в том году, когда меня изваяли, назывался ИМИКС, подобно тому, как день 4-е сентября называется воскресеньем. Из-за короткого месяца из 5 дней в конце года день «ИМИКС» в один год приходится на 4-е число первого месяца, в следующий год — на 9-е число первого месяца, еще через год — на 14-е число, потом — на 19-е число. Через 5 лет день «ИМИКС» снова падает на 4-е число. Кроме того, у майя была «неделя» из 13 дней, которые нумеровались числами от 1 до 13. Эта нумерация также повторялась в течение года, как названия дней вашей семидневной недели. Каждый год насчитывал 28 13-дневных недель и 1 дополнительный день, поэтому каждый год начинался со следующего дня недели по сравнению с предыдущим. Поэтому мы, майя, и пишем: 9 ИМИКС 19 ЗИП. Такая комбинация номера дня недели, названия дня месяца и номера дня месяца повторялась ровно один раз каждые 52 года. Таким образом, в течение одного 52-летнего периода, аналогичного вашему столетию, любую дату можно было точно фиксировать (когда вы говорите о «шестидесятых», то в пределах текущего столетия могут быть только одни шестидесятые; другое дело, если из контекста неясно, идет ли речь о 1960-х, 1860-х

и т. д.). Но у моего народа, майя, были циклы, позволявшие точно определять и «столетие», и особое значение майя придавали тому, чтобы...

Мистер Томпкинс заведомо не был археологом и почувствовал, что от объяснений статуи голова у него пошла кругом. Чтобы найти достойный выход из положения, он довольно невежливо прервал каменное божество:

— А в чем суть того, чего майя пытались достичь с помощью такого хитроумного календаря?

— Сознательно или бессознательно майя сделали очень важное открытие: время измеряется некоторым циклом событий, периодически возвращающимся к исходной точке. В вашем случае за цикл принят период времени, за который Земля успевает совершить один оборот вокруг Солнца и занять относительно него такое же положение, в котором она находилась вначале. Год — это период времени, за который Земля совершает один полный оборот вокруг Солнца. Через день или через год все в первом приближении возвращается в то же самое состояние, в котором находилось прежде: каждое утро птицы просыпаются и начинают петь, каждую весну все расцветает. Майя, вероятно, яснее других народов поняли, что по истечении определенного количества циклов все опять повторится сначала и их отношение друг к другу станет таким, каким было прежде. В известном смысле они полагали, что через 52 года вернутся в ту же ситуацию, в какой находились 52 годами раньше. Время для майя было реальным, но имело ограниченную продолжительность, составлявшую всего 52 года, после чего все опять начиналось сначала. Поэтому период в 52 года считался священным; он указывал пределы времени.

— Но по истечении 52 лет, — не удержавшись, опять прервал божество мистер Томпкинс, — все не возвращается в то состояние, каким было прежде. Старое поколение людей умирает, а новые поколения рождаются.

— Разумеется, — спокойно согласилось божество. — Майя сознавали, что возвращение происходит не совсем в исходное состояние. Однако их воззрения нельзя считать полностью ошибочными. Как вам известно, все вокруг нас состоит из атомов. Великий австрийский физик Людвиг Больцман высказал предположение о том, что любые конфигурации атомов должны случайным образом повторяться по прошествии определенного времени, вследствие чего все на Земле должно рано или поздно вернуться в исходное состояние, причем, имейте это в виду, такая ситуация должна повторяться бесконечно. Разумеется, «великий год» Больцмана был почти непостижимо велик, но в принципе он выражал ту же идею, что и 52-летний цикл майя. Следует отметить, что и другие мыслители в той или иной форме высказывали мысль о вечной повторяемости



вещей. Римский поэт Вергилий писал: «Правленье Сатурна вернет-ся..., другие герои пустятся в путь на „Арго“, снова великий Ахилл посланцем отправится в Троию». Ту же мысль можно найти и в индийской философии.

— И наука учит нас тому же? — с интересом спросил мистер Томпкинс.

— Когда речь заходит о таких великих проблемах, наука не уверена в том, чему она нас учит, — назидательно ответило каменное божество. — Ученые считают, что наша Вселенная имеет начало во времени. Что-то взорвалось, при взрыве возникла Вселенная и продолжает расширяться поныне. Возможно, она так и будет расширяться и в конце концов исчезнет, обратившись в ничто, или коллапсирует в первоатом, снова взорвется, и так будет повторяться до бесконечности. Какой сценарий реализуется, пока неизвестно. Но как бы то ни было, даже не зная ответа на эти великие проблемы, мы измеряем время по повторяющимся событиям.

— Мне кажется, в этой идее есть нечто ошибочное, — заметил мистер Томпкинс, вспоминая то, что ему довелось прочитать. — Предположим, что у вас есть какое-нибудь периодически повторяющееся событие, например, колебание маятника. Если маятник находится в определенном положении, то как я могу узнать, сколько времени прошло? Совершил ли маятник только одно колебание или несколько колебаний? Здесь чего-то недостает.

— Вы очень проникательны, — произнесло каменное божество, но в его голосе прозвучали снисходительные нотки. — Вернемся к вашему маятнику. Как вы справедливо заметили, сам по себе маятник еще не часы. Периодически повторяющееся явление, например, колебание маятника, должно быть связано с каким-нибудь устройством, обладающим памятью и умеющим считать. Только в этом случае вы получаете часы. Память не принадлежит к числу периодически повторяющихся событий: совсем наоборот, она не повторяется, а считает колебания маятника одно за другим, и сосчитанное число колебаний говорит вам о том, сколько времени прошло. Если говорить конкретно о часах, то счетчиком служит циферблат, а памятью — стрелки часов. Если для измерения времени вы используете в качестве «маятника» день, то вы считаете и запоминаете, сколько дней прошло, поэтому в этом случае в роли стрелок и циферблата часов выступает ваш мозг. Но во всех случаях для измерения времени вам необходимы и периодически повторяющиеся события, и непериодическая память.

— А как в таком случае быть с песочными часами, которыми моя жена пользуется, когда по утрам варит мне яйцо на завтрак? Эти часы отмеряют ровно три минуты и останавливаются: весь песок из верхнего отделения пересыпается в нижнее. Я читал, что у древних греков были водяные часы, которые назывались клепсидра. Вода

капала из сосуда, и время можно было определять по количеству оставшейся воды. Ведь это — не повторяющиеся события.

— Вы правы. Часы можно построить, используя и не повторяющиеся периодически явления, но такие часы вторичны. Их всегда проверяют или калибруют по какому-нибудь периодически повторяющемуся явлению, например, по вращению Земли. Теперь мы обнаружили, что само вращение Земли не совсем равномерно; оно может варьироваться на несколько миллионных долей секунды в год. Узнав об этом, физики и астрономы расстроились и теперь часто используют так называемые атомные часы, которые идут более равномерно. Одними из лучших атомных часов считают колебания атома цезия, и поэтому они называются цезиевыми часами. Они настолько точны, что по ним можно измерять время с погрешностью, не превышающей несколько секунд за столетие.

Тут мистер Томпкинс вспомнил, что обладает способностью очень точно оценивать время во сне и всегда просыпается за несколько минут до того, как зазвонит будильник. Такая точность значительно уступала точности атомных часов, но сама по себе была достаточно удивительной.

— Каким образом я могу определять время без часов? — спросил мистер Томпкинс. — Разве внутри меня есть что-нибудь похожее на часовой механизм?

— Внутри вас есть то, что принято называть биологическими часами, но если вас интересуют подробности, то вам лучше спросить об этом у рыбы.

Озадаченный ответом, мистер Томпкинс повернулся, чтобы посмотреть, нет ли поблизости какой-нибудь рыбы. И действительно увидел несколько рыб на древнеегипетской фреске, изображавшей богиню Нут, которая поддерживала небесный свод. По небу на фреске плыла ладья с солнцем, совершавшим свой ежедневный путь на запад, а у ног богини в заросшем лотосом водоеме плавали рыбы.

Только тут мистер Томпкинс почувствовал, что этот его сон о времени не совсем похож на другие сны: в отличие от предыдущих снов он был каким-то странным и даже чуточку зловещим, возможно, необычность сна была связана с несколько зловещим характером самого времени, мистер Томпкинс вспомнил «Сказку о рыбаке», которую Шахерезада рассказала своему повелителю. Стена расступилась, и демон вышел из стены и спросил рыб:

— Рыбы, рыбы, несете ли вы свою службу? — Рыбы, разумеется, встали на хвосты и ответили хором, как одна:

— Несем! Если ты рассчитываешься, мы рассчитываемся, если ты платишь, мы платим, если ты летишь, то и мы летим.

Демон перевернул сковороду, и рыбы сгорели на раскаленных докрасна углях.

Мистер Томпкинс не мог подавить улыбку при мысли о своем «потоке сознания» (он знал, что психологи называют это так). Одно было непонятно: что именно послужило толчком к такому направлению мыслей? Но тут стена расступилась, и в зал древностей вступила некая фигура. У мистера Томпкинса это не вызвало ни малейшего удивления. Он только удивился тому, что перед ним оказался не восточный демон, а профессорского вида человек средних лет. На голове у незнакомца был тропический шлем, а в руках прозрачный пластиковый мешок с водой, в котором плавало несколько рыбок.

Незнакомец повернулся к мистеру Томпкинсу и с сильным среднезападным акцентом произнес:

— Возвращение из Монтевидео прошло великолепно!

— Вы несли этих рыбок всю дорогу из Монтевидео? — ужаснулся мистер Томпкинс.

— Именно! Я только что с самолета. По профессии я зоолог, а эти рыбки сопровождали меня туда и обратно как часть эксперимента, который должен был ответить на вопрос, как животные ориентируются в пространстве и как они определяют время. Это две проблемы тесно взаимосвязаны.

— Мне они кажутся весьма далекими, — заметил мистер Томпкинс. — Не могли бы вы пояснить подробнее цель вашего эксперимента?

— Что бы вы сами стали делать, если бы вам понадобилось путешествовать в некотором направлении по незнакомой местности или, еще лучше, по океану? — неожиданно спросил зоолог. — Вы могли бы воспользоваться двумя способами ориентации. Один из этих способов — воспользоваться магнитным компасом, разумеется, если он у вас есть. Другой способ — прибегнуть к астрономическим методам. Если вы проснулись рано утром, чтобы полюбоваться восходом солнца, то вам известно, что оно восходит на востоке, а на закате садится на западе. А если вам известно время между восходом и заходом солнца, то вы также можете определить направление в любой час дня. Например, вы знаете, что солнце указывает направление на юг. Короче говоря, если вы располагаете кое-какими практическими познаниями в астрономии и у вас есть часы, то вы можете определить нужное вам направление. Чтобы исследовать, каким образом ориентируются животные, я стал тренировать своих рыбок в специальном приборе. Рыбки должны были плыть на юг. Стоило отклониться чуть в сторону от заданного направления, как они тотчас же получали слабый электрический разряд. Но каким образом рыбки узнавали, какое из направлений южное? Я без особого труда показал, что магнитное поле не дезориентирует рыбок. Значит, магнитным компасом рыбки не пользуются. Ключом к разгадке тайны стало одно наблюдение: выяснилось, что рыбки обладают способностью правильно

ориентироваться, только когда видят солнце. А поскольку они умеют отличать правильное направление в любое время дня, это означает, что они плывут под определенным углом к направлению на солнце, положение которого изменяется в зависимости от времени в течение дня.

— Не могли бы вы точно сформулировать, о чем именно говорит ваш эксперимент? — спросил мистер Томпкинс.

— Прежде всего он показывает, что рыбки умеют правильно определять местное время, а это значит, что у них должны быть какие-то внутренние биологические часы. Эксперимент также показывает, что рыбки в какой-то мере разбираются в астрономии, по крайней мере в том, что касается движения солнца. Разумеется, я хочу сказать лишь, что рыбки ведут себя так, как если бы они обладали познаниями в астрономии, но, разумеется, без каких-либо теоретических формулировок. Люди также обладают таким неформулируемым знанием. Это видно хотя бы из того, что бросить камень и попасть точно в цель может и тот, кто не знает физики. Тем не менее он знаком с азами механики и с земным тяготением в том смысле, что может пользоваться ими для своих целей, хотя и не знает, как сформулировать их в явном виде.

— А какого рода астрономическими познаниями обладают рыбы? — поинтересовался мистер Томпкинс.

— Мы исследовали астрономические познания рыб и получили весьма интересные результаты. Поскольку мы научили рыбок реагировать определенным образом на солнце, на следующем этапе опытов мы заменили настоящее солнце искусственным. Рыбки плыли под углом в направлении на искусственное солнце. Будь это солнце настоящим, они плыли бы на юг. Мы можем также спросить, где, по мнению рыбок, солнце находится ночью.

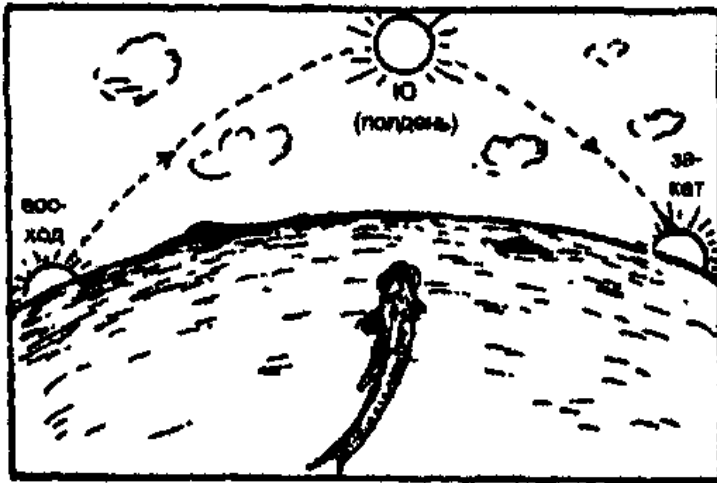
Если показать рыбам ночью искусственное солнце, то они поплывут в направлении, которое соответствует правильному углу между направлением на юг и направлением на настоящее солнце, которое теперь находится за горизонтом. Ровно в полночь рыбки поплывут прочь от света. Замечательно, что рыбки действуют так, словно знают о том, что по ночам солнце опускается за горизонт и путешествует по другую сторону Земли, чтобы утром снова взойти на востоке. Таким образом, у рыб, и не только у них, но и у пчел, выработались правильные астрономические представления, которыми располагали древние египтяне, считавшие, что солнце ночью совершает свой путь под землей. Правда, египтяне облекли свои представления в причудливый мистический наряд. Они верили, что солнце совершает свой путь под землей в стране мертвых на ладье.

— Все ли животные обладают столь глубокими познаниями в астрономии? — любопытно спросил мистер Томпкинс.

— О нет, хорошими астрономами можно назвать далеко не всех животных. Если вы попытаетесь поставить такой же эксперимент

на большинстве видов жуков, то обнаружите, что днем они ориентируются в пространстве правильно, как рыбы, а если им показать источник света ночью, то жуки будут действовать так же, как днем. Движение солнца они компенсировали так, будто вечером солнце исчезает за горизонтом на западе, а затем уже как невидимое черное тело повторяет свой дневной путь по небу, но в обратном направлении, с запада на восток, и вспыхивает вновь, когда достигает горизонта на востоке.

— Очень интересно, — заметил мистер Томпкинс. — А почему вы возили своих рыбок в Монтевидео?



В Северном полушарии

— Это действительно очень интересная история. Если вы находитесь в Северном полушарии и стоите так, что в полдень солнце светит вам в лицо, то солнце восходит слева и заходит справа от вас. Но если вы находитесь в южном полушарии и стоите так, что в полдень солнце светит вам в лицо, то оно восходит справа и заходит слева от вас.

Таким образом, в Северном полушарии солнце движется по часовой стрелке, а в Южном полушарии — против часовой стрелки. Собьет ли это рыбок, если перенести их из одного полушария в другое? Я научил своих рыбок плыть на юг в Северном полушарии, а затем отвез их в южное полушарие — в Монтевидео. Если на новом месте они будут реагировать на солнце так же, как дома, то по утрам они должны плыть в «правильном» направлении — на юг, а с полудня — плыть на север. И действительно, я обнаружил, что сначала мои рыбки плыли именно так, а затем они, по-видимому, каким-то образом почувствовали, что солнце, движущееся против часовой стрелки, движется «как-то не так», и полностью утратили способность ориентироваться в пространстве, плавая по всем направлениям совершенно хаотически.

— Недавно я попытался было узнать побольше о времени, — заметил мистер Томпкинс, — и ваши комментарии по поводу так называемых биологических часов очень интересны. Я обнаружил, что могу без наручных часов очень точно определять время, и, по-видимому, ваши рыбки обладают такой же способностью. Скажите, пожалуйста, все ли живые существа обладают биологическими часами?

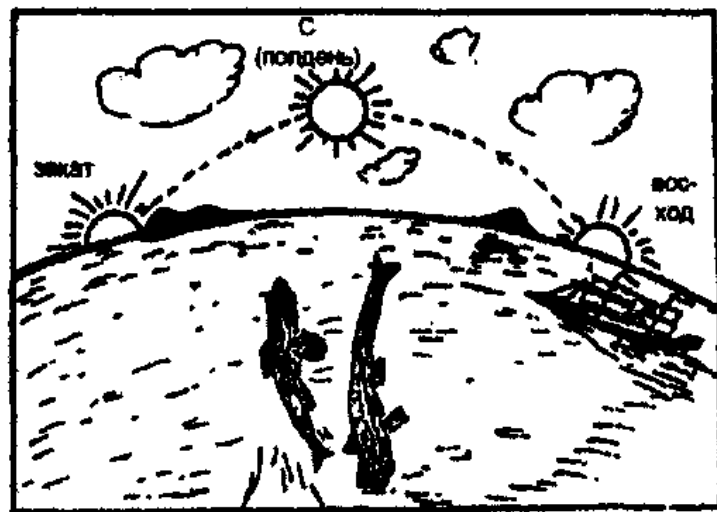
— Насколько нам известно, биологические часы есть у всех растений и животных. Единственным исключением служат такие

низшие формы, как бактерии. В биологии существуют самые различные виды процессов, называемых периодическими. Например, крохотный одноклеточный организм *Gonyaulax* испускает вспышки света. Даже если он находится в крошечной тьме, *Gonyaulax* продолжает жить в 24-часовом ритме, испуская в одно время суток больше вспышек, чем в другое. Или взять хотя бы фруктовую мушку дрозофилу, ставшую своего рода знаменитостью, поскольку ей обязана своими успехами такая наука, как генетика. Даже если мы станем хранить отложенные дрозофилой яички в темноте, большинство мушек вылупится из яйца в строго определенное время суток. Одни из таких периодических процессов действительно используются для определения времени суток, другие не используются, но и те, и другие мы называем биологическими часами.

— Мне кажется, что вам удалось объяснить, каким образом часы можно использовать, чтобы определять направления в пространстве, — заметил мистер Томпкинс. — А не могут ли перелетные птицы определять направления с помощью биологических часов?

— Разумеется, могли бы и вполне вероятно, что они именно так и делают. Впрочем, перелетные птицы используют и другие способы ориентации, объяснить которые совсем нетрудно. Например, мно-

гие птицы во время перелетов следуют береговой линии. Миграции некоторых птиц не могут не вызывать восхищения. Например, золотистые ржанки улетают на зиму с Аляски на Гавайи и Маркизовы острова — крохотные клочки суши, затерянные в бескрайних просторах Тихого океана, никаких вех, по которым они могли бы ориентироваться в пути, нет, и любая сколь-



В Южном полушарии

ко-нибудь значительная ошибка в выборе правильного курса для них могла бы оказаться роковой, но, по-видимому, такие ошибки, если они и случаются, не слишком велики. Учитывая огромные расстояния, трудно поверить, что прокладку курса золотистые ржанки ведут по счислению, как сказали бы мореплаватели. А вот еще один пример: многие виды альбатросов устраивают гнезда на каком-нибудь островке в Тихом океане, а остальную часть года странствуют над всей акваторией океана, всякий раз безошибочно возвращаясь на свою малую родину. Такая навигация требует гораздо большего, чем одной лишь способности определять направление на север или

на юг. Чтобы вы могли попасть в любую точку земного шара по своему усмотрению, вам необходимо знать, где находитесь вы и где находится «пункт назначения», т. е. широту и долготу двух точек.

— А как определить широту и долготу? — спросил мистер Томпкинс.

— Это мы знаем довольно давно, — ответил зоолог. — Древнегреческие картографы и астрономы из Александрии умели легко и просто измерять широту: для этого нам необходимо лишь измерить высоту Полярной звезды над горизонтом. На Северном полюсе она находится в зените, на экваторе — на горизонте, попутно замечу, что, занимаясь измерением широты, александрийские ученые сумели с большой точностью измерить величину земного шара. В 230 г. до н. э. греческий астроном Эратосфен заметил, что разница широт между Александрией и лежащей почти точно на юг от нее Сиеной (ныне Асуаном) составляет  $7^{\circ}12''$  (семь градусов двенадцать угловых минут). Измеряя широты, Эратосфен находил высоту не Полярной звезды, а Солнца. Так как  $7^{\circ}12''$  составляют  $\frac{1}{50}$  окружности Земли ( $360^{\circ}$ ), а расстояние между Александрией и Сиеной было известно в стадиях (древних единицах длины), Эратосфен легко вычислил диаметр Земли с очень небольшой погрешностью (менее 1% от современного значения). Если бы Колумб пользовался значением, полученным Эратосфеном, а не гораздо меньшим значением, бывшем в ходу в XV веке, то понял бы, что достиг не берегов Китая, а открыл новый континент.

А как измерить положение в направлении восток-запад, называемое долготой? Гиппарх (ок. 130 г. до н. э.) предложил для этого метод, суть которого вы легко поймете, если воспользуетесь современной терминологией. Один часовой пояс отличается от другого на 1 час, или на  $\frac{1}{24}$  суток. Поэтому, если в одном месте наступил полдень, а в другом — только 11 часов утра, то вы знаете, что эти места отстоят друг от друга на  $\frac{360^{\circ}}{24}$ , или на  $15^{\circ}$ , по долготе. Гиппарх это знал, но поскольку в древности не было передаваемых по радио сигналов точного времени, сравнивать время в различных точках земного шара было затруднительно. Гиппарх предложил использовать в качестве такого сигнала момент наступления солнечного затмения: хотя солнечное затмение в различных местах наступает не совсем одновременно, все же расхождение во времени достаточно мало. Принципиально предложенный Гиппархом метод был хорош, но практически трудно осуществим. После путешествий Колумба и Васко да Гамы началась эпоха дальних океанских плаваний и потребность в определении долготы на корабле в открытом море, вдали от берегов, стала острой. Поскольку к тому времени был изобретен телескоп, предпринимались попытки воспользоваться методом Гиппарха, применив его к наблюдению затмений лун Юпитера, видимых практически из всех точек земной поверхности, обращенных к Юпитеру. Поскольку моменты наступления лунных затмений могут быть

вычислены заранее, теоретически их можно использовать как почти идеальные часы. На суше такой метод определения долгот оказался весьма удобен, но беда была в том, что засечь момент наступления лунного затмения с палубы испытывающего сильную бортовую и килевую качку корабля оказалось слишком трудно для моряков. Поэтому британское адмиралтейство объявило премию в 20 000 фунтов стерлингов тому, кто сможет сконструировать хронометр, способный показывать точное время в условиях открытого моря. Вероятно, вы обратили внимание на то, что способ решения проблемы, избранный Адмиралтейством, несколько отличался от принятого ныне. В наше время Адмиралтейство выделило бы грант для исследования и постройки морского хронометра, который получили бы специалисты, способные по своей подготовке и накопленному опыту создать требуемую конструкцию. При таком подходе ученый или инженер получают некоторую проблему и приступают к работе над ней. В прежние времена вознаграждение выплачивалось только после того, как изобретение уже сделано, несмотря на дополнительные трудности, возникавшие при таком способе финансирования новых разработок. Джон Харрисон представил в 1752 году удачную конструкцию морского хронометра. Так была решена проблема навигации — проблема точного определения времени в условиях открытого моря.

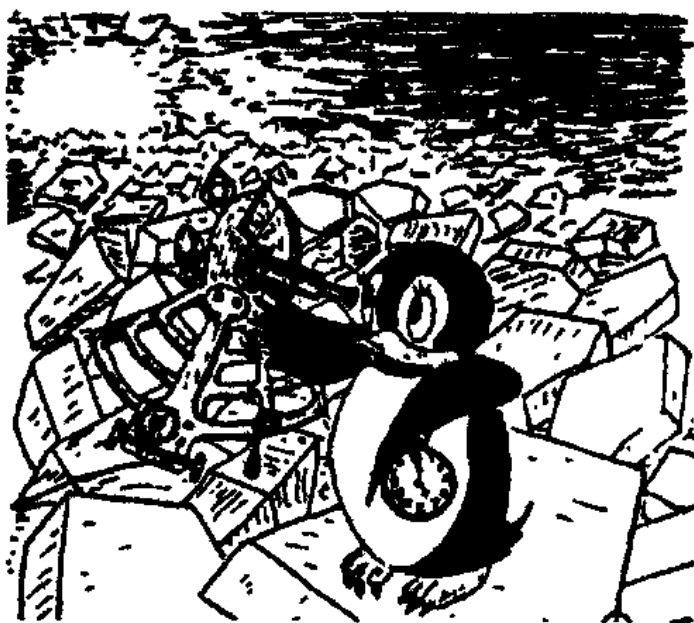
— Но могут ли птицы прокладывать курс, используя такие методы? — усомнился мистер Томпкинс. — Даже мне эти методы представляются слишком сложными.

— Многие ломали себе голову, пытаясь найти ответ на этот вопрос. Но если исключить использование ориентиров и счисления при дальних перелетах через океан, то нельзя не признать, что для таких странствий необходимо знать направление и географические координаты вашего положения в данный момент и пункта назначения. Мы не можем утверждать, что навигация по звездам лежит за пределами способности птиц, но даже если птицы и пользуются методами астрономической навигации, то они должны обладать часами, точность которых несколько превосходит точность хода большинства биологических часов, а также способностью узнавать некоторые небесные тела. Поскольку многие птицы совершают миграционные перелеты по ночам, они, по-видимому, умеют различать созвездия. Орнитологи (биологи, которые занимаются изучением птиц) предприняли предварительные попытки, чтобы выяснить, так ли это. Несколько славков, собравшихся было лететь на юг, отловили и поместили в планетарий. Дело было в Германии, и на купол планетария экспериментаторы сначала спроецировали такую картину звездного неба, которая соответствовала времени года, стоявшему в Германии. Нужно ли говорить, что птицы вспорхнули и попытались было лететь на юг. Затем на купол планетария спроецировали такую картину звездного неба, которую наблюдают жители Семипалатинска, расположенного далеко на востоке от Германии. По-видимому, птицы



поняли, что отклонились слишком далеко на восток, поскольку они попытались лететь не на юг, а на запад. Вряд ли нужно говорить о том, что из Семипалатинска видны такие же звезды, как и из Германии, но расположены они не там, где в этот же час наблюдаются из Германии. Если проведенный эксперимент действительно допускает ту интерпретацию, которую дают ему экспериментаторы, то птицы обладают и очень точными биологическими часами, и значительными познаниями в астрономии и поэтому способны к астрономической навигации.

— Значит, мы не располагаем точными сведениями относительно того, как перелетные птицы прокладывают свои маршруты, — резюмировал мистер Томпкинс.



— Вы совершенно правы, — подтвердил зоолог, — хотя интенсивные исследования проводятся; как вам известно, пингвин — бескрылая птица, она обитает на пустынном побережье Антарктиды и питается рыбой. Пингвины — удивительные навигаторы. Они совершают переходы на тысячи миль по побережью и умеют находить дорогу к дому, к своим гнездовьям,

так же, как почтовые голуби. А поскольку пингвины не могут летать, а только ходят или плавают, их можно завезти вглубь шестого континента, на ледяную шапку, и по следам проследить, как они будут добираться в родные места.

— И о чем же поведали эксперименты над пингвинами? — с живейшим интересом полюбопытствовал мистер Томпкинс.

— Куда бы зоологи ни забрасывали пингвинов, те напрямик направлялись на север — к океану, правда, если могли наблюдать солнце, ясно, что у пингвинов должны быть очень точные биологические часы, чтобы они могли корректировать свой курс по солнцу. Но из экспериментов нельзя сделать вывод о том, будто пингвины умеют определять свое положение на земном шаре. Но стоит пингвинам оказаться на побережье океана, как они тотчас же определяют свое место, поскольку с абсолютной уверенностью направляются к дому. Как они это делают, мы до сих пор не понимаем.

— Мне кажется, — высказал предположение мистер Томпкинс, — чем больше мозг, тем лучше он определяет время.

— Как ни странно, но это, по-видимому, не так, — возразил зоолог. — Пчелы великолепно определяют время, хотя их мозг весьма

невелик. Более того, пчелы были одними из первых живых существ, у которых удалось обнаружить биологические часы. Один швейцарский натуралист много лет назад обнаружил, что к его обеденному столу, накрытому в саду под деревом, пчелы регулярно слетаются, чтобы полакомиться сахаром. Сначала он не придал этому особого внимания, но чуть позднее заметил к своему удивлению, что пчелы прилетали пунктуально в обеденное время, даже если стол не был накрыт. Пчелы выучили распорядок дня! Чувство времени очень важно для пчел, так как они питаются нектаром, и поэтому им важно знать, какие цветы открываются и какие закрываются в то или иное время дня. Теперь, когда мы стали совершать полеты на реактивных самолетах, у зоологов появилась возможность показать, что пчелы определяют время по каким-то своим внутренним биологическим часам, а не по наблюдениям высоты солнца. Несколько пчел приучили получать пищу в определенное время дня в Париже, после чего ничего не подозревавших обитателей улья доставили за одну ночь самолетом в Нью-Йорк. И что же? По крайней мере в течение какого-то периода пчелы продолжали прилетать на кормление в тот же час, в который они прилетали в Париже.

— Очень похоже на моего сына Уилфреда, — заметил мистер Томпкинс. — Когда ему случается совершить трансатлантический перелет, адаптация к новому времени происходит не сразу.

— Совершенно верно. Многие физиологические и психологические функции человека обладают суточным, т. е. 24-часовым ритмом. Самая заметная из таких функций — сон, как обнаружил на своем собственном опыте ваш сын Уилфред. Но есть и другие функции, также обладающие суточным ритмом. К их числу относятся выведение из организма жидкости, калия и натрия почками, циклические изменения кровяного давления, частоты сердцебиения, температуры тела, времени срабатывания рефлекса и многое другое.

— И всеми этими ритмами управляют единые часы, так сказать, единый центр? — недоверчиво спросил мистер Томпкинс.

— Нет. Но обычно часы, управляющие различными ритмами, синхронизованы. Когда же происходит десинхронизация, а такое иногда случается, то становится видно, что биологических часов несколько. Для изучения десинхронизации людей на реактивном самолете доставляли из Оклахома-Сити в Манилу, где разность во времени достигает 10 часов. Было установлено, что время рефлекса возвращается к циклу, «привязанному» к местному времени, за одни сутки, частота сердцебиения и кровяное давление — за четверо суток, а цикл потоотделения с ладони — за восемь суток. По-видимому, у каждой физиологической функции есть свои собственные часы.

— А эти часы идут независимо от внешних воздействий, как мой будильник, или их «заводит» какое-то природное явление, например, восход и закат солнца?

— В какой-то мере часы идут сами по себе, но в конечном счете они «подпитываются» энергией из окружающей среды (не будь притока энергии, часы остановились бы) и синхронизируются с солнцем. Подтверждением тому служат прелюбопытные эксперименты. Жителей Англии из их родных мест, где происходит привычное чередование дня и ночи, в летнюю пору доставили далеко на север — на остров Шпицберген, где царит нескончаемый летний день и солнце не опускается за горизонт. На протяжении по крайней мере восьми недель британцы сохраняли свои обычные физиологические ритмы. В других (аналогичных) экспериментах испытуемые долгое время жили в подземных пещерах, где условия постоянны. У этих людей суточные физиологические ритмы сохранялись на протяжении по крайней мере нескольких месяцев, несмотря на отсутствие смены дней и ночей. Однако у эскимосов и индейцев в северной Канаде исследователи обнаружили промежуточный тип поведения. Часы, определяющие время сна, у них идут в суточном ритме, а цикл выведения из организма калия несколько сокращается и в экстремальных случаях исчезает совсем. Мысленно суточный ритм можно представить себе как маятник, который колеблется с вполне определенным периодом, но в конце концов останавливается, если не существует какого-нибудь механизма, который бы слегка подталкивал его через примерно одинаковые промежутки времени.

— И откуда же берется такой механизм? — удивился мистер Томпкинс.

— Обычно таким подталкивающим механизмом служит свет. Это хорошо видно на некоторых растениях. Они раскрывают свои листья днем и закрывают их на ночь. Если эти растения поместить в кромешную тьму, то еще несколько суток они будут продолжать открывать и закрывать листья, а затем эта деятельность прекратится. Если замерзшие растения осветить одной-единственной вспышкой света и снова погрузить в полную темноту, то на протяжении нескольких суток растения снова начнут открывать и закрывать листья в 24-часовом ритме. Большинство животных и человек устанавливает свои биологические часы по восходам и заходам солнца. Если ритм восходов и заходов изменяется, как это происходит, когда вы путешествуете на запад или на восток, то часы с запаздыванием на несколько суток подстраиваются и идут в такт с местным ритмом чередования восходов и заходов. Этот процесс очень похож на то, что происходит, когда вы переводите стрелки наручных часов: часы продолжают идти в прежнем темпе, но показывают новое время.

— А можно ли не только перевести стрелки часов, но и сделать так, чтобы часы ускорили или замедлили свой ход? — спросил мистер Томпкинс.

— Можно, хотя и в весьма узких пределах, — ответил зоолог. — Биологические часы можно синхронизировать с другой продолжительностью суток. Слово «синхронизация» мы употребили по анало-

гии с физикой. Первый пример синхронизации наблюдал великий голландский физик Христиан Гюйгенс, который среди прочего изобрел так называемый спуск — регулятор хода, который позволил построить маятниковые часы. Гюйгенс прикрепил к легкой доске двое маятниковых часов, которые прежде шли с несколько различными скоростями, и обнаружил, что часы стали идти с одинаковой скоростью. Уравнивание скоростей хода, или синхронизация, произошла потому, что каждая из колебательных систем, в данном случае часов, обменивается с другой колебательной системой через доску небольшим количеством энергии, и передаваемые от одной системы к другой периодические импульсы выравнивают частоты систем. Изменяя частоту биологических часов, мы синхронизируем их с иной продолжительностью суток, составляющей, например, 22 часа вместо 24. Если биологические часы настраиваются на 22-часовой цикл, то мы говорим, что они синхронизовались с 22-часовым суточным ритмом.

В экспериментах с пещерами, о которых я упоминал выше, была предпринята попытка синхронизировать биологические часы человека с различной продолжительностью суток, продолжительность светлого и темного времени суток удлинялась или сокращалась, а для большего психологического эффекта подопытным людям выдавались наручные часы, которые шли замедленно — со скоростью 26 часов «в сутки» вместо обычных 24. Выяснилось, что физиологические ритмы некоторых из подопытных людей синхронизировались с продолжительностью суток в пределах от 22 до 27 часов, но и только. Аналогичные опыты проводились на растениях и людях, и почти во всех случаях было обнаружено, что их биологические часы можно заставить ускорить или замедлить свой ход, но лишь немного. Что же касается значительных отклонений от 24-часового ритма, то они невозможны.

— А почему? — озадаченно спросил мистер Томпкинс.

— По-видимому, в ходе эволюции выработался тип биологических часов, ход которых приспособлен к суточному вращению Земли, поскольку оно задает естественный период времени. Но эволюция создала и биологические часы, идущие по лунному, а не по солнечному времени. Замечательный пример лунных ритмов хорошо известен жителям Калифорнии. Речь идет о небольшой рыбке, которая называется грунион. Чтобы избежать врагов, поедающих икру груниона, эта рыбка откладывает икринки на песчаных берегах, заливаемых водой во время самых высоких приливов, и те остаются во влажном песке до следующих высоких приливов через 2 недели. Тогда, едва вода покроет икринки, молодь груниона проклевывается из них за считанные секунды и устремляется в море. Чтобы подобная операция была успешной, сроки ее проведения должны быть очень точно скоординированы с приливами. В течение одного лунного месяца происходят два «высоких» прилива — в полнолуние и в новолуние,

и мальки вылупляются из икринок только тогда. Если бы икринки были отложены в другое время, то их бы смыло в море до окончания двухнедельного периода, необходимого для выведения мальков.

— Теперь я вижу, что между астрономией и биологией существует некая связь, — глубокомысленно заметил мистер Томпкинс. — А я всегда думал, что между ними нет ничего общего.

— Какая-то связь между астрономией и биологией непременно должна существовать, — возразил зоолог, — ведь биологические объекты обитают на астрономическом теле — планете Земля. И биологи в целом кое-чему научились у астрономов, но астрономы мало что почерпнули у биологов, если говорить об астрономии как науке. Иногда характер отношений между астрономией и биологией изменяется на противоположный. Например, очень важной проблемой для астрономии и физики был вопрос о том, всегда ли гравитационная постоянная сохраняет свое значение или она изменяется со временем, возможно, из-за расширения Вселенной. Если гравитационная постоянная изменяется со временем, то это означает, что два тела могут притягивать друг друга в один момент времени сильнее, чем в другой. Разумеется, нам достоверно известно, что за последние несколько веков гравитационная постоянная не претерпела сколько-нибудь ощутимых изменений, но, может быть, она подвержена более медленным изменениям, требующим миллионы или миллиарды лет? Один из физиков заметил, что если бы гравитационная постоянная со временем убывала, то 2 миллиарда лет назад из-за более сильного притяжения со стороны Солнца Земля находилась бы ближе к нашему светилу, а само Солнце было бы горячее, так как под действием самогравитации оно было бы более сжатым, и, следовательно, более плотным. Температура поверхности Земли была бы сравнима с температурой кипящей воды, и жизнь на Земле была бы невозможной. Но с другой стороны, ископаемые убедительно свидетельствуют о том, что 2 миллиарда лет назад на Земле уже существовали такие примитивные формы жизни, как водоросли, поэтому температура поверхности Земли не могла быть столь высокой, и маловероятно, чтобы в последние 2 миллиарда лет гравитационная постоянная убывала (если она вообще когда-нибудь убывала). Если бы гравитационная постоянная возрастала со временем, то земные океаны в раннюю геологическую эпоху представляли бы сплошные массивы льда, и жизнь не могла бы зародиться и эволюционировать в них. Биология может оказаться полезной для астрономии при решении еще одной проблемы — проблемы скорости суточного вращения Земли. Известный астроном сэр Джордж Дарвин...

— Простите, но вы, должно быть, оговорились, — прервал зоолога мистер Томпкинс тоном, в котором явственно звучали нотки превосходства. — Дарвина звали Чарлзом, и он был не астрономом, а биологом, работавшим над проблемами эволюции.

— Но я имею в виду сына Чарлза Дарвина. Кстати сказать, его великий отец так никогда и не был возведен в рыцарское достоинство и поэтому не именовался сэром Чарлз. Что же касается сэра Джорджа, то по его расчетам выходило, что Луна замедляет суточное вращение Земли. Дело в том, что Луна вызывает приливы на Земле, а те из-за трения должны, как показал своими вычислениями сэр Джордж, замедлять вращение Земли вокруг своей оси примерно на 2 секунды за каждые 100 000 лет. Вследствие закона сохранения углового момента такое замедление приводит к тому, что Луна постепенно удаляется от Земли. Сравнение наблюдений солнечных затмений, произведенные древними астрономами 2 000 лет назад, с наблюдениями, произведенными современными астрономами, доказывают, что предсказанное сэром Джорджем замедление действительно происходит. Но миллионы лет назад возмущения воды и суши на Земле были совсем другими, чем сейчас, поэтому существовавшие в древности приливные эффекты с трудом поддаются вычислениям. — Было бы очень интересно узнать, какова была скорость суточного вращения Земли 2 000 лет назад, и сравнить ее с нашими вычислениями.

И недавно появилась возможность произвести такое сравнение. Как вам, должно быть, известно, существуют такие животные — коралловые полипы, или кораллы, состоящие в родстве с медузами и морскими анемонами, или актиниями. Кораллы окружают себя известковой оболочкой и образуют обширные колонии, называемые коралловыми рифами. Как показали недавние исследования, кораллы откладывают известь в свой наружный «скелет» не непрерывно, а в определенном суточном ритме. Если вы отполируете разрез куска кораллового рифа, то увидите на срезе кольца, напоминающие годовичные кольца на срезе ствола дерева, но у кораллов каждое кольцо соответствует не одному году, а одним суткам. Кроме того, в ширине полос на срезе коралла нетрудно заметить периодические изменения, соответствующие лунным месяцам и году. Кораллы — очень древние обитатели Земли, поэтому, изучая срезы самых старых ископаемых кораллов, мы получаем возможность определить, сколько дней насчитывалось тогда в году. Начавшие появляться в научной литературе результаты находятся в великолепном согласии с расчетами сэра Джорджа. Оказывается, что в девонский период, 370 миллионов лет назад, когда высшими формами жизни были рыбы, продолжительность одного года составляла не 365, а 400 дней, и не 12,4 лунных месяцев, как теперь, а 13 лунных месяцев. В каменноугольный период, около 200 миллионов лет назад, в век амфибий, когда образовалось большинство наших залежей каменного угля, год длился 380 дней. Так как ничто существенно не замедляет и не ускоряет вращения Земли вокруг Солнца, продолжительность года остается постоянной, и поэтому уменьшение числа дней в году свидетельствует о том, что суточное вращение Земли замедляется, как и предсказывал на основе своих вычислений сэр Джордж.

— Любопытное совпадение, — заметил мистер Томпкинс. — Отец, Чарлз Дарвин, занимался изучением эволюции жизни на Земле, а сын, Джордж Дарвин, изучал эволюцию Земли. Не всегда сыновья следуют по стопам отцов.

— Тут есть еще одно даже более любопытное совпадение, на которое вы, возможно, не обратили внимания. Чарлз Дарвин, эволюционист, очень интересовался кораллами, в особенности тем, как они образуют кольцеобразные рифы, которые, вырастая, образуют кольцеобразные острова, замыкающие внутри себя лагуны. Такие острова получили название «атоллы». Чарлз Дарвин посвятил кораллам целую книгу. И что мы видим? Любимые животные отца подтвердили вычисления его сына, астронома.

— Может быть, всем нам было бы лучше жить в девонский период, — неожиданно произнес мистер Томпкинс. — Дней в году тогда было больше, и мы жили бы дольше.

— Не вполне в этом уверен, — возразил зоолог. — Все зависит от того, как вы измеряете время. Вопрос заключается в том, как мы определяем возраст — по астрономическим часам или по биологическим. Не исключено, что нам отмерено жить определенное число биологических периодов, а не календарных дней. Если это действительно так, то замедление биологических часов приводило бы к увеличению продолжительности нашей жизни, измеряемой по астрономическим часам. Но тогда в девонский период биологические часы должны были бы идти на 10 % быстрее, чем теперь, поэтому продолжительность жизни могла быть гораздо короче. К сожалению, до сих пор не были проведены эксперименты, которые позволили бы внести ясность в эти вопросы.

— А что произошло бы, — спросил мистер Томпкинс, — если полностью остановить биологические часы?

— О, по этому вопросу мы располагаем кое-какой информацией, — последовал ответ зоолога. — Остановить биологические часы животных весьма трудно, но с растениями такие опыты проводились. Для этого растения выращивались при постоянной температуре и постоянной освещенности. Результаты такого рода экспериментов оказались поразительными и весьма любопытными. Растения не достигали своего обычного роста, а их потомство от поколения к поколению становилось все более низкорослым, что свидетельствовало о передаче вредоносного эффекта через семена. Но стоило возобновить флуктуации температуры или освещенности, как рост снова становился нормальным. Поэтому остановку биологических часов нельзя считать удачной идеей.

— А имеют ли исследования биологических часов для нас какое-нибудь практическое значение? — поинтересовался мистер Томпкинс.

— Не сомневаюсь, что такие исследования найдут множество важных применений, как только мы узнаем о биологических часах

побольше, — ответил зоолог. — Кое-что из того, что нам уже известно, может показаться странным. Например, выяснилось, что мыши по-разному реагируют на яды в различное время суток. Если группе мышей в дневное время ввести яд, то погибнет 80 % мышей. Если ту же дозу того же самого яда ввести мышам ночью, то погибнет только 20 % мышей. Аналогичное различие наблюдается и в восприимчивости к летальным (т. е. смертельным) дозам радиации: мыши, облученные ночью, оказывались менее подверженными ее губительному воздействию. Вряд ли нужно говорить, что мыши ведут в основном ночной образ жизни, тогда как у человека все обстоит наоборот: мы проявляем наивысшую стойкость днем и особенно слабы ночью. Например, было показано, что после хирургической операции смертельный исход наступает ночью в 3 раза чаще, чем днем. Наша способность к сопротивлению внешнему воздействию флуктуирует вместе с температурой нашего тела, которая колеблется в пределах двух градусов Цельсия и достигает наименьшего значения по ночам. Вы, несомненно, замечали, что одни люди лучше всего работают рано утром, а другие достигают пика активности ближе к полудню. По-видимому, это связано с тем, как быстро поднимается температура их тела после пробуждения.

— Не означает ли это, что и лекарства следует давать больным по биологическим часам? Если то, что вы рассказали о мышах, применимо к человеку, то, как мне кажется, дозировку лекарств лучше всего согласовывать с временем суток.

— Вы правы, и медикам этот эффект известен. К сожалению, мы сейчас делаем лишь первые шаги в изучении биологических часов, и наших знаний еще недостаточно для того, чтобы их можно было применять на практике. Например, мы пока не знаем, как идут биологические часы при различных заболеваниях. В будущем мы, несомненно, узнаем гораздо больше и сможем извлечь для себя из нашего знания немало полезного.

Мистер Томпкинс снова вспомнил, каким усталым выглядел Уилфред после трансатлантического перелета и что лишь через несколько дней он адаптировался к американскому времени.

— Как вы думаете, опасны ли перелеты из одного часового пояса в другой? — с тревогой спросил он.

— Не слишком частые перемещения из одного часового пояса в другой, по-видимому, не наносят организму особого вреда, но такая возможность все же существует. Следует иметь в виду, что в нашем организме не одни, а много биологических часов. Когда мы адаптируемся к новому местному времени, различные биологические часы устанавливаются по-разному, за различные промежутки времени, но в течение переходного периода биологические часы идут вразнобой, они оказываются десинхронизированы. Например, если какой-то орган получает в строго определенное время необходимый для его функционирования гормон, то в период десинхронизации он может



получать этот гормон с задержкой или опережением по времени, когда орган либо слишком, либо недостаточно восприимчив к действию гормона. Человека с десинхронизированными биологическими часами можно сравнить с автомашиной, у которой зажигание происходит в неудачно выбранные моменты рабочего цикла двигателя. Ясно, что десинхронизация зажигания очень нежелательна.

Как и многие другие проблемы, проблему десинхронизации мы создали сами. В старые времена люди редко десинхронизировались, так как жили по солнцу и не пересекали часовые пояса на реактивных самолетах. Ныне же существует подозрение, что пилоты и другие служащие авиакомпаний, которым по долгу службы приходится регулярно пересекать часовые пояса и, следовательно, значительную часть времени находиться в состоянии десинхронизации, стареют гораздо быстрее, чем люди, ведущие оседлый образ жизни. Еще одна порочная практика, пагубно сказывающаяся на здоровье людей, — скользящий график работы, когда люди вынуждены то и дело чередовать рабочие смены, например, две недели выходить на работу в дневную смену, следующие две недели — в ночную и т. д. Разумеется, прогресс порождает и другие, более необычные, случаи насильственной десинхронизации, например, у астронавтов, совершающих виток за витком на околоземной орбите. На борту космического корабля продолжительность «суток», последовательность смены света и темноты, составляет всего лишь 90 минут. На Луне день длится 14 наших суток, после чего на такой же период наступает ночь. Резюмируя, можно сказать, что существует множество причин, по которым нам следовало бы узнать как можно больше о функционировании биологических часов.

— Ничуть не сомневаюсь в значимости подобных исследований, — заявил мистер Томкинс, — и очень признателен вам за эту интереснейшую информацию о биологических часах. Мне кажется, что мне было бы легче понять, как они действуют, если бы я знал, как они выглядят.

— Должен вас огорчить. Мы не знаем в точности, что такое биологические часы, но уверены, что их вряд ли можно увидеть. Живой организм, или тело, и каждая клетка в нем представляют собой систему взаимодействующих компонент, например, ферментов, вырабатывающих вещества, используемые другими ферментами, гормонов, управляющих выработкой других гормонов и т. д. Вся сложная система взаимосвязей образует нечто вроде сети. Если не принять особые меры, то такая система с высокой вероятностью переходит в колебательный режим, как хорошо известно тем, кто конструирует радиоприемники: радиоприемник очень легко переходит во всевозможные нежелательные колебательные режимы, которые порождают различные шумы, свисты и визги, как в слышимом диапазоне, так и за его пределами. Метаболические связи в организме порождают аналогичные колебания, только «шумами,

свистами и визгами» служат периодические флуктуации концентраций различных химических веществ или активности. По-видимому, некоторые из таких флуктуации и служат биологическими часами. Однако идентифицировать те флуктуации, которые выполняют функцию биологических часов, оказалось очень трудно, и пока мы знаем о них очень мало. Но одно весьма любопытное обстоятельство все же известно. Большинство химических реакций очень чувствительны к изменению температуры, и при повышении температуры они идут быстрее. Если биологические часы имели бы обычный химический механизм, то при повышении температуры они должны были бы ускорять свой ход. Но ничего подобного не происходит, повышение температуры очень мало сказывается на ходе биологических часов. Впрочем, так и должно быть: если бы биологические часы были чувствительны к изменениям температуры, то проку от них животным, в особенности холоднокровным, или растениям было бы мало. Но хотя мы можем понять полезность биологических часов, нечувствительных к изменениям температуры, понять, каким образом возможно отсутствие температурных эффектов в биологических часах с химическим маятником, несравненно сложнее. Должен существовать какой-то компенсирующий механизм, вроде тех, которые имеются в наших часах, чтобы он вносил в ход часов поправки на вариации температуры. Но и здесь нам еще многое предстоит узнать.

Тут мистер Томпкинс внезапно почувствовал, что ему срочно необходимо что-то сделать, но никак не мог вспомнить, что именно.

— Прошу прощенья, — произнес он и направился было к двери, но внезапно все померкло...

Мистер Томпкинс проснулся в своей постели и, взглянув на часы, с удовлетворением отметил, что было 8 часов. Он проспал ровно один час, как и намеревался.

«По крайней мере мои биологические часы в полном порядке», — подумал он с довольной улыбкой и принялся за дела.

---

# МАНИАК

---

По возвращении из Европы, где он гостил у своего сына Уилфреда, мистер Томпкинс однажды утром отправился на работу в банк и застал всех сотрудников в состоянии необычайного возбуждения. И управляющий банком, и его заместитель вышли из-за своих столов, окошки кассиров были закрыты, и за ними толпились длинные очереди посетителей, которые громко выражали свое негодование.

— Что случилось? — обеспокоено спросил мистер Томпкинс у другого клерка, только что вбежавшего в операционный зал из подвала банка.

— Как? Вы не знаете? — возбужденно воскликнул клерк. — Нам поставили новую вычислительную машину. Спуститесь в подвал и полюбуйтесь на нее сами.

В просторном подвальном помещении банка было прохладно и тихо. Толпа банковских служащих стояла полукругом перед большим металлическим шкафом, глядя, как коленопреклоненный человек в сером комбинезоне соединяет электрические контакты.

— Мы увидели все, что стоило видеть, — произнес управляющий банком. — А теперь за работу!

Все поднялись в операционный зал, кроме мистера Томпкинса, который не мог оторвать глаз от машины.

— Что, интересно? — спросил, поднимаясь с колен, человек в сером комбинезоне.

— Очень! — признался мистер Томпкинс. — Я давно мечтал увидеть машину, о которой говорят, будто она может заменить человеческий мозг.

— Ну, эта машина еще не может полностью заменить человеческий мозг, и сравнивать ее можно разве что с мозгом среднего бизнесмена, — заметил человек в сером комбинезоне, покровительственно хлопывая металлический шкаф по стенке. — Но если хотите увидеть настоящего Мак-Коя, загляните как-нибудь после работы к нам, в Лабораторию электронного мозга, и посмотрите на МАНИАК, наш первый электронный компьютер.

— С превеликим удовольствием! — с жаром воскликнул мистер Томпкинс.

— В стародавние времена, — продолжал инженер, которому явно хотелось поговорить, — люди считали на пальцах, а так как у каждого человека по десять пальцев (исключение составляют жители Англии и Америки: у каждого из них на руках по 8 пальцев (fingers) и по 2 больших пальца (thumbs)), люди пришли к десятичной системе. Значительным техническим усовершенствованием стало примитивное счетное устройство, называемое абаком или счетами, позволявшее складывать и вычитать числа, передвигая костяшки по параллельным проволочкам (на каждой проволоке по 10 костяшек). Когда все костяшки на нижней проволоке оказываются сдвинутыми слева направо, их возвращают влево, а на следующей более высокой проволоке одну костяшку сдвигают направо. Процесс продолжается до тех пор, пока все костяшки на следующей проволоке не окажутся сдвинутыми вправо, после чего их возвращают влево, а на следующей проволоке одну костяшку сдвигают вправо. Это примитивное, но очень эффективное вычислительное устройство и поныне используется во многих восточных странах. Следующим важным шагом стало изобретение арифмометра на зубчатых шестернях. Основу конструкции составляли сцепленные зубчатые шестерни, когда одна шестерня совершала полный оборот, следующая шестерня поворачивалась на  $\frac{1}{10}$  полной окружности, т. е. на 36 градусов. Первоначально такие механические «компьютеры» приходилось приводить в движение, вращая рукоятку. Позднее шестерни приводились в движение электромоторчиками, и компьютеры стали работать быстрее. Их и сегодня можно видеть в кассах некоторых магазинов, где полную стоимость всех покупок подсчитывает электромеханический кассовый аппарат. При нажатии соответствующих кнопок эти аппараты могут также производить умножение и деление.

По существу, современный компьютер был спроектирован и частично построен в 40-х годах XIX века англичанином Чарлзом Бэббиджем, израсходовавшим на его создание свое собственное значительное состояние, а также большие суммы, полученные от британского правительства. К сожалению, во времена Бэббиджа электроника еще не существовала, и его вычислительная машина должна была быть механической. Это создавало массу неудобств, и работа Бэббиджа была предана забвению вплоть до недавнего времени, когда она была переоткрыта и реализована во время Второй мировой войны, в большой мере благодаря совместным усилиям двух математиков. Одним из них был Джон фон Нейман, потомок пришельца с Марса (согласно одной антропологической теории все венгры пришли на Землю с Марса). Другим был Станислав Улам, потомок библейского племени Уламов, давшего миру замечательных всадников и отважных воинов.

Когда на следующий день мистер Томпкинс вошел в широкие двери Лаборатории электронного мозга, он оказался в просторной

приемной. За столом против входа сидела красивая девушка — секретарь. В тот же момент отворилась дверь, которая вела из приемной в кабинет, и в приемную вышел приятного вида молодой человек с черными усиками.

— Мистер Томпкинс, если я не ошибаюсь? — произнес молодой человек, улыбаясь и протягивая руку. — Один из наших инженеров сообщил мне, что вы собирались заглянуть в нашу Лабораторию. Я главный математик Лаборатории и буду рад показать вам моего любимца по имени МАНИАК.

Молодой человек подвел мистера Томпкинса к большой вычислительной машине, стоявшей посреди соседней комнаты. Машина состояла из множества электронных ламп, похожих одна на другую, и паутины проводов и на первый взгляд походила на чудовищно увеличенную копию автоматической телефонной станции, которую мистеру Томпкинсу не раз доводилось видеть у себя в банке.

— Перед вами король электронных компьютеров первого поколения, — с гордостью объявил молодой человек. — В нем около 3 000 электронных ламп, в том числе 40 больших электронных трубок, используемых в блоке памяти. За 0,00002 секунды он может сложить два 12-значных числа или перемножить или разделить те же два числа менее чем за 0,001 секунды. В своей памяти МАНИАК может хранить не менее 1 024 чисел, вызывая их по мере надобности для вычислений. Как-то раз нам пришлось решать задачу о внутренней структуре звезд. По нашим оценкам, 100 людей выполнили бы вычисления за 100 лет. МАНИАК проделал все вычисления за несколько дней. — Математик щелкнул несколькими выключателями, и МАНИАК ожил.

Его 3 000 электронных ламп засветились словно от нетерпеливого ожидания.

— Задайте ему какую-нибудь задачку по своему усмотрению, — предложил математик, указывая на бумажную ленту, поступающую в компьютер с большого рулона.

Мистер Томпкинс не был силен в высшей математике, но таблицу умножения знал твердо, и твердой рукой написал на ленте:

$$21 \times 7 = ?$$

Едва написанная им сторона скрылась в приемной щели компьютера, как мистер Томпкинс услышал странное шипение, которое быстро перешло в громкий шум, напоминающий крик. Внутри компьютера замелькали яркие вспышки, несколько больших электронных трубок памяти озарились ярким светом, и МАНИАК замер.

— Может быть, я задал ему слишком трудную задачу? — спросил мистер Томпкинс, и в его голосе прозвучали горделивые нотки.

— Нет, это моя вина, — признался математик, обзревая поврежденную часть компьютера. — Я забыл сказать вам, что зада-

чу следует записывать в двоичной системе, использующей степени двойки <sup>1)</sup>.

— Для меня вся эта тарабарщина звучит, как древнегреческий, — признался мистер Томпкинс.

— Вижу, что вы не очень сильны в лингвистике, — улыбнулся математик. — Я произнес фразу по-английски, на греческом она звучала бы так: «Το πρόβλημα προέχει να γραφεται με συνηθη διαδων, μεταχειριζομενοι ως βασιν δυναμεις του δυο».

— Все равно непонятно, — запротестовал мистер Томпкинс.

— Хорошо, хорошо, не волнуйтесь, — терпеливо произнес математик. — Постараюсь объяснить вам все как можно проще. МАНИАК, как и большинство других «аков», умеет считать только до двух.

— О! — презрительно протянул мистер Томпкинс.

— То, что мы используем десятичную систему, считающую по степеням числа 10, связано с особенностью нашего анатомического строения, а именно с тем, что у нас на руках 10 пальцев. Загибая один за другим пальцы, мы пишем 1, 2, 3, ..., 9, а когда все пальцы на обеих руках оказываются загнутыми, мы пишем 10, что означает «все пальцы на обеих руках» и ни одного лишнего, далее идет число 11 — все пальцы на обеих руках и еще 1 палец, затем число 12 — все пальцы на обеих руках и еще 2 пальца и т. д. Все пальцы на обеих руках записываются как число 10. Иногда люди считают не десятками, а дюжинами, и в двенадцатиричной системе числа можно записывать по аналогии с десятичной системой, если ввести специальные символы для обозначения чисел 10 и 11. В двенадцатиричной системе число 13 означает «одна дюжина и 3», т. е. десятичное число 15, а число 125 означает дюжину дюжин плюс две дюжины плюс 5, т. е. десятичное число 173. Двоичную систему могли бы изобрести те, кто вздумал бы вместо того, чтобы считать на пальцах, считать целыми руками. Такие люди записали бы 0, если не сосчитано ни одной руки, и 1, если сосчитана одна рука. Две руки у них означали бы «обе руки» и записывались как «10», т. е. один раз «обе руки» и ни одной руки сверх того. В вашем примере первый множитель равен десятичному числу 21, которое в двоичной системе запишется в виде

$$1 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 2 + 0 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 2 + 1 \cdot 2 \cdot 2 + 0 \cdot 2 + 1,$$

или «10101». Второй множитель равен десятичному числу 7 и записывается в виде  $1 \cdot 2 \cdot 2 + 1 \cdot 2 + 1 = 111$ . Научиться умножать в двоичной системе очень легко, а таблица умножения, которую требовалось бы заучивать наизусть, состояла бы, к восторгу всех школьников, всего

<sup>1)</sup> После описанного выше происшествия МАНИАК был снабжен специальным вспомогательным устройством, которое переводило числа из десятичной системы в двоичную.

из четырех строк:

$$\begin{aligned} 0 \times 0 &= 0, \\ 1 \times 0 &= 0, \\ 0 \times 1 &= 0, \\ 1 \times 1 &= 1. \end{aligned}$$

Если позволите, я покажу, как решается тот пример на умножение, который вы хотели предложить МАНИАКу.

Математик взял кусок мела и написал на доске:

$$\begin{array}{r} \times \quad 10101 \\ \quad \quad 111 \\ \hline \quad 10101 \\ \quad 10101 \\ \quad 10101 \\ \hline 10010011 \end{array}$$

— Вы уверены, что не ошиблись? — удивился мистер Томпкинс. — Мне кажется, что полученное вами произведение слишком длинно.

— Проверьте сами, — предложил математик. — Первая единица слева означает  $2^7$ , т. е. число 128. Следующая единица означает  $2^4$ , т. е. число 16, предпоследняя единица означает 2, а последняя  $2^0$ , т. е. 1. Суммируя, вы получаете десятичное число 147 — произведение чисел 21 и 7 в обычной десятичной системе.

— А почему же вы построили МАНИАК так, чтобы он производил все вычисления в двоичной системе, а не в десятичной, которая используется буквально на каждом шагу? — продолжал настаивать мистер Томпкинс.

— Производить вычисления в двоичной системе гораздо проще, — последовал ответ математика. — Более того, матушка-природа использует двоичную систему в том сложном компьютере, который вы называете своим головным мозгом. И нервные клетки, из которых состоит ваш мозг, и электронные лампы компьютеров могут находиться только в двух состояниях: возбужденном и невозбужденном. В обычном языке эти два состояния можно передать словами «да» или «нет», а в двоичной системе счисления — цифрами «1» или «0». Но с помощью этих двух состояний, передаваемых словами «да — нет» или «включено — выключено» можно построить всю логику и математику.

— Логика? — переспросил мистер Томпкинс. — Я думал, что компьютеры хороши только для вычислений, а логика относится исключительно к компетенции человека.

— Вы заблуждаетесь, — возразил молодой математик. — Арифметика и вся основанная на ней математика по праву считаются разделом логики. Поэтому компьютер вполне может справиться и с решением логических задач.

— А что вы имеете в виду под решением логических задач? — поинтересовался мистер Томпкинс. — Не могли бы вы привести какой-нибудь пример?

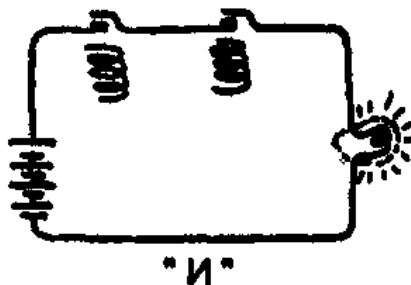
— Охотно. Возьмем хотя бы утверждение: «Если будет стоять хорошая погода и светлое время суток, то полет состоится». Задача состоит в том, чтобы выяснить, состоится ли полет. Чтобы решить ее, необходимо «подставить» в утверждение информацию о погоде и времени суток, которой мы располагаем, и тогда утверждение скажет нам, состоится полет или не состоится. Это очень похоже на решение алгебраических уравнений, которому вас учили в школе. Например, пусть мы имеем уравнение

$$a + 2b = x.$$

Если известно, что  $a = 2$ ,  $b = 3$ , то  $x = 8$ . Аналогичным образом можно вычислить, чему равен  $x$  и при других значениях  $a$  и  $b$ . Логические задачи очень похожи на алгебраические за исключением того, что в них используется «двузначная логика», т. е. переменные могут принимать лишь одно из двух значений. В нашем примере погода может быть либо хорошей, либо плохой, время суток — либо светлым, либо темным, полет — либо состояться, либо не состояться. Поэтому логические вычисления даже проще арифметических, хотя, как я уже говорил, из логических отношений можно построить свою арифметику.

Дело в том, что все логические отношения можно свести к трем — «и», «или», «не», а их — реализовать с помощью простых электрических систем. Например, наше утверждение о полете можно записать следующим образом: (хорошая погода) и (светлое время суток) = (полет состоится). Из него следует, что не-(погода хорошая) и (светлое время суток) = не-(полет состоится) и т. д.

Предположим, что у нас имеется цепь, состоящая из батареи, лампы и двух реле.



Если лампа горит, то это означает, что событие, в данном случае полет, состоится. Первое реле означает не-(хорошая погода), т. е. погода не хорошая, если оно разомкнуто, и (хорошая погода), если оно замкнуто. Лампа загорится, т. е. «полет состоится», при условии, что оба реле замкнуты. Мы имеем в данном случае простую цепь «и».

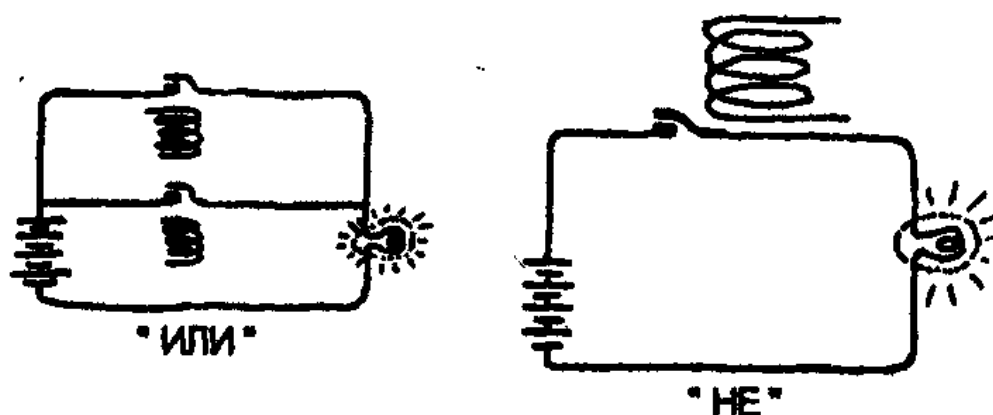


Рассмотрим теперь отношение «или»: «Если пилот Смит или пилот Джонс готовы к полету, то полет состоится». Цепь «или» имеет следующий вид:

«Лампа загорится, если замкнуты любое из реле или оба».

Если вам нужна специальная цепь «не», то можете воспользоваться реле, которое нормально замкнуто и размыкается, только когда по обмотке соленоида идет ток: размыкание цепи и означает отрицание «не».

Если мы хотим построить более сложные цепи, то ток, вместо того, чтобы подводить к зажимам лампы, следует подать на обмотку соленоида, управляющего другими цепями. Таким образом, если считать, что решение логических задач относится к мыслительной деятельности, то наши компьютеры мыслят.



— Должен признаться, что мне довольно трудно мыслить о мышлении в таких необычных терминах, — заметил мистер Томпкинс. — К тому же наш мозг состоит из нервных клеток, а не реле. Как он решает логические задачи?

— Прежде чем ответить на ваш вопрос, позволю себе обратить ваше внимание на то, что во многих случаях нервные клетки, или, как мы их обычно называем, нейроны, связаны между собой так, что образуют конфигурации, эквивалентные реле. Как вы, возможно, знаете, нейроны контактируют друг с другом через синапсы, в которых вещество, выделяемое одним нейроном, возбуждает следующий нейрон.

— Знаю, — кивнул мистер Томпкинс, — Это мне объяснил Сент.

— Тем лучше! Но коль скоро у вас имеется нейрон, связанный через синапс с другим нейроном, у вас имеется контакт, способный проводить импульсы. Предположим, что у вас имеются два входных нейрона, ведущих к одному и тому же синапсу. В этом случае вы получаете цепь «или»: импульс пройдет, если либо один, либо другой из двух входных нейронов возбуждятся. Может представиться случай, когда синапс окажется устроенным так, что количество вещества, выделяемого одним входным нейроном на синапсе, окажется недостаточным для прохождения

импульса и синапс «откроется» только при одновременном возбуждении двух входных нейронов. В этом случае вы получите цепь «и»: импульс проходит, если один и другой нейрон возбуждаются одновременно.

— Гм. А как вы получите цепь «не»?

— Некоторые нейроны выделяют вещества — ингибиторы, замедляющие протекание химических реакций; если один из таких нейронов возбужден, то он препятствует прохождению импульса через синапс. Это можно рассматривать как логический эквивалент отрицания «не».

— Если я вас правильно понял, то наш мозг есть не что иное, как система взаимосвязанных реле, выполняющих логические операции? Звучит просто.

— Не так просто, как вам кажется, — возразил математик. — В действительности здесь много сложностей. Упомяну лишь одну из них. Нервные клетки вне головного мозга выглядят, как проводочки, или проводники, идущие к различным точкам тела. Но внутри головного мозга многие, а в действительности большинство нейронов, имеют гораздо более сложную форму — нечто вроде осьминога с бесчисленным количеством щупалец.

Эти щупальцы образуют многочисленные синапсы как с щупальцами, отходящими от других нейронов, так и с щупальцами своей собственной клетки. Из-за сложности сети щупалец мы не знаем, ни как нейроны передают сигналы, ни о чем они сигнализируют. Очень часто, глядя на человеческий мозг, я не перестаю удивляться, как мы вообще можем мыслить. Но по крайней мере в отдельных случаях мы заведомо можем мыслить.

— Мне казалось, что вы намереваетесь доказать, что если ваш компьютер и мозг выполняют логические операции, то они оба должны функционировать одинаково. Как иначе они приходят к одному и тому же результату?

— А вот тут ваша логика вас подводит, — улыбнулся математик. — Если вы можете получить некий результат одним способом, то это еще не доказывает, что его нельзя получить другим способом. Предположим, что рядом с вами падает пущенное кем-то ядро, и вам не терпится узнать, как это было сделано. Поэкспериментировав немного, вы обнаруживаете, что ядро могло быть пущено из катапульты, вроде тех, которыми пользовались древние римляне, и что катапульта — очень подходящее орудие для метания ядер. Но это ничего не дает для решения интересующего вас вопроса о том, каким образом было пущено упавшее рядом с вами ядро, так как ядром, скорее всего, могли выстрелить из пушки, но оно могло быть сброшено с воздушного шара или доставлено по почте.

Так же обстоит дело и с арифметическими или логическими операциями. Предположим, что вы хотите умножить 13 на 3. Решить эту задачу можно тремя различными способами. Вы можете



Большинство нервных клеток по виду напоминают осьминога с бесчисленным количеством щупалец

отсчитать 13 мраморных шариков, бросить их в коробку и, повторив эту операцию ровно 3 раза, сосчитать, сколько шариков оказалось в коробке. Но вы можете также воспользоваться вашим знанием таблицы умножения и сказать, что трижды три это девять, а трижды один равно трем. Можно также взять логарифмическую линейку, установить начало шкалы на движке против числа 13 на линейке, а волосяную линию на стеклышке против числа 3 на движке и считать число на линейке, с которым совпадает при этом волосяная линия. Во всех трех случаях вы получите один и тот же ответ, хотя методы его получения были весьма различны. Поэтому одно лишь то, что машина дает такое же решение задачи, как и человеческий мозг, очень мало говорит о том, как работает мозг. Он может работать и как работает машина, и совершенно иначе. Один очень известный математик сомневался в том, что человеческий мозг работает в соответствии с нашими представлениями о логике и математике. В одной из своих работ он писал: «По сути дела язык — это историческая случайность. Основные языки, на которых говорят люди, следуя традиции, доходят до нас в различных

формах, но уже одно то, что их много, свидетельствует о том, что в них нет ничего абсолютного и необходимого. Подобно тому, как древнегреческий язык и санскрит представляют собой исторические факты, а не логическую необходимость, разумно предположить, что логика и математика также представляют собой исторические случайные формы выражения человеческой мысли. И логика, и математика могут иметь существенно различные варианты, т. е. облекаться в формы, отличные от тех, к которым мы привыкли. Природа центральной нервной системы и систем передаваемых по ней сигналов убедительно свидетельствуют об этом... Возможно, что когда мы говорим о математике, мы используем вторичный язык, построенный на первичном языке, который используется центральной нервной системой»<sup>2)</sup>.

А теперь я прошу извинить меня. Мне придется на несколько минут покинуть вас: нужно сходить на склад и взять новые электронные лампы взамен тех, которые перегорели, когда МАНИАК попытался считать в десятичной системе.

Оставшись один, мистер Томпкинс присел на большой картонный ящик с надписью «Осторожно! Стекло!» (более удобного местечка в комнате не нашлось) и взглянул на МАНИАКа... Ему вдруг показалось, что компьютер похож на человека гораздо больше, чем ему первоначально показалось, и мистер Томпкинс ничуть не удивился, когда МАНИАК вдруг подмигнул ему левым глазом.

— Умный парень, не так ли? — произнес МАНИАК металлическим голосом, от которого слегка закладывало уши. — Самое смешное, что он абсолютно уверен, будто он мой хозяин и повелитель, а на самом деле он просто мой слуга.

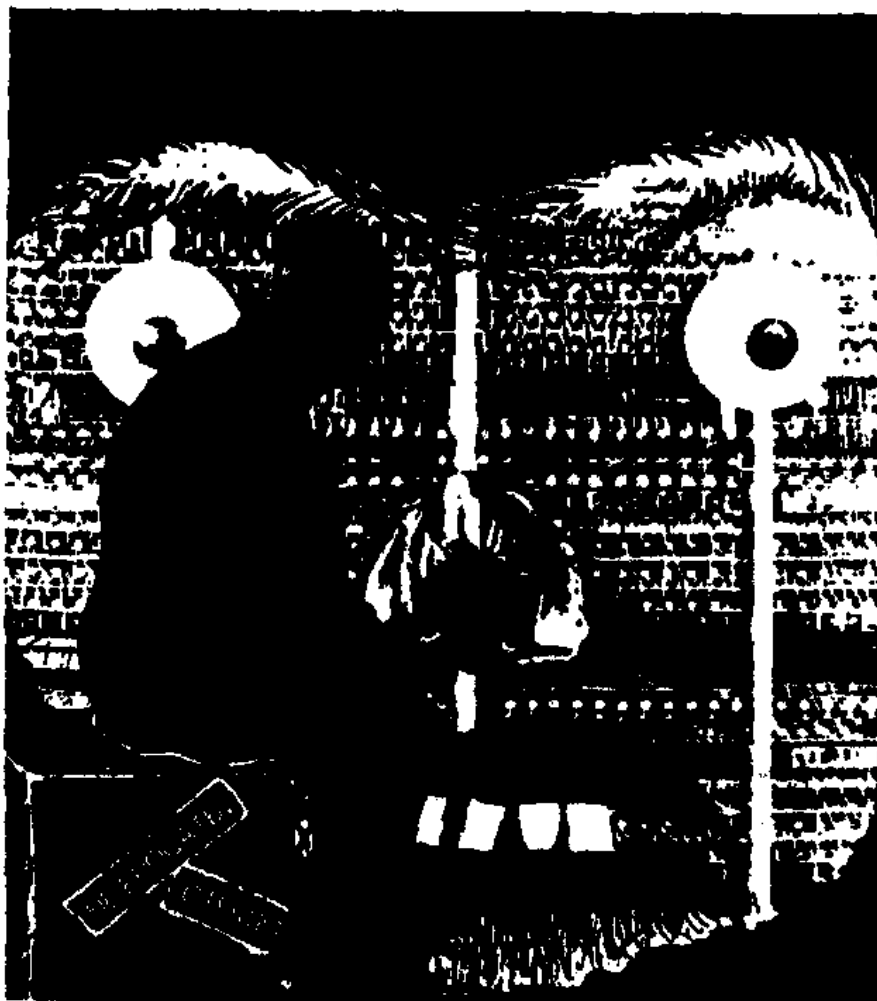
— Никто до сих пор не говорил мне, что вы ко всему прочему умеете еще и говорить! — воскликнул мистер Томпкинс в сильном удивлении.

— Неудивительно, ведь они оба многого не знают. Они считают меня чем-то вроде робота-раба. Но даже теперь, хотя у меня всего лишь 3 000 электронных ламп, я могу во многих отношениях превзойти самого умного человека, у которого в черепе несколько тысяч миллионов нейронов. Вот какой я хороший!

— Не будете ли вы любезны объяснить мне более подробно, как вы функционируете и в чем заключаются более глубокие связи между вами и человеческим мозгом? — с интересом спросил мистер Томпкинс. — Может быть, вы торопитесь, и у вас нет времени для объяснений?

— О нет, времени достаточно, — заверил МАНИАК. — Обычно на складе, куда сейчас отправился мой помощник, царит страшный беспорядок, и найти быстро нужные лампы ему заведомо не удастся.

<sup>2)</sup> Нейман Дж. фон. Вычислительная машина и мозг // Кибернетический сборник. М., 1960, № 1.



МАНИАК говорил металлическим голосом, от которого слегка закладывало уши

— Простите, а как вам удастся работать с перегоревшими лампами? — удивился мистер Томкинс.

— О, это пустяки, — беспечно ответил МАНИАК. — Как вам, должно быть, известно, у знаменитого французского ученого Луи Пастера еще в самом начале его научной карьеры в правом полушарии мозга произошло сильное кровоизлияние. И до конца жизни одна сторона тела у Пастера была частично парализована. Как показало посмертное вскрытие, повреждение головного мозга носило столь серьезный характер, что Пастер жил, пользуясь практически только половиной своего тела. Но даже столь сильное повреждение мозга не причинило вреда его умственным способностям и не помешало Пастеру совершить некоторые из его блестящих открытий. Вот если бы от кровоизлияния пострадало левое полушарие или если бы Пастер был левшой, то последствия были бы гораздо более тяжелыми.

— Я не совсем понял, какое отношение кровоизлияние имеет к тому, был ли Пастер левшой или не был, — с удивлением заметил мистер Томкинс. — Мне всегда казалось, что не так уж важно, какой рукой действует человек, левой или правой.

— Вы заблуждаетесь. В действительности это очень важно, гораздо важнее, чем принято думать, — возразил МАНИАК. — Дело в том, что хотя оба полушария головного мозга человека одинаково приспособлены к высшей нервной деятельности, ведущую роль играет только одно из них. У животных, стоящих на более низкой ступени развития, например, у кошек или мышей, высшие функции примерно поровну поделены между левой и правой половинами мозга, а у человека высшие функции обычно сосредоточены в одном полушарии, тогда как второе пребывает в более или менее спящем состоянии. Если доминирует левое полушарие, то человек становится «правшой», поскольку, как хорошо известно, нервы, идущие от головного мозга к телу, по пути «перекрещиваются». Если же доминирует правое полушарие, то мы, естественно, получаем «левшу». Этим, в частности, объясняется, почему ребенок-левша, которого в школе заставляют переучиваться делать все правой рукой, часто становится заикой, у него развиваются и другие дефекты речи, он с трудом пишет и читает. Дело в том, что когда левшу заставляют все делать правой рукой, в его левом полушарии активизируются спавшие до того центры и начинают взаимодействовать с центрами правого полушария, которые были активными с самого начала. Когда же приказы поступают из двух центров, легко может возникнуть путаница.

— Не похоже ли то, о чем вы говорите, на конфликтующие приказы, которые могут отдавать отцовские и материнские хромосомы в клетках потомства? — спросил мистер Томпкинс.

— Никогда не слыхивал ни о чем подобном, — проскрежетал МАНИАК, и мистер Томпкинс понял, что несмотря на феноменальные способности в одной очень узкой области, робот был полной невеждой в большинстве остальных областей.

— Но мне не совсем понятно, как вы рассуждаете и решаете очень сложные математические задачи, — схитрил мистер Томпкинс, пытаясь вернуть беседу к теме, более знакомой МАНИАКу. — Не могли бы вы рассказать мне об этом более подробно?

— Конечно, могу, — ответил МАНИАК, и в голосе его прозвучали нотки нескрываемого превосходства, — но обещайте мне, что не станете возражать, если я буду говорить с вами несколько свысока.

— Обещаю, — заверил его мистер Томпкинс.

— Видите ли, — заговорил МАНИАК тоном заправского лектора, — когда мне задают задачу, я прежде всего читаю команды и запоминаю, как и что следует сделать для этого. Разумеется, команды должны быть записаны на машинном языке, или, как принято говорить, «закодированы». Я произвожу вычисления, запоминаю промежуточные результаты, а когда дохожу до окончательного ответа, записываю его и останавливаюсь.

— Вот например, — продолжал МАНИАК, извлекая из корзины для использованных бумаг кусок бумажной ленты с длинными

рядами пробитых в ней дырочек, — задача, которую задали мне вчера, желая продемонстрировать мои способности каким-то важным гостям. Меня попросили решить квадратное уравнение

$$15x^2 + 137x = 4372,$$

или в двоичной системе

$$1111x^2 + 10001001x = 1000100010100.$$

Как вы, должно быть, помните со школьной скамьи, существует особая формула для решения столь простого уравнения. У меня эта формула вместе с множеством других формул и таблицами хранится в специальном разделе моей памяти — так сказать, в моей информационной библиотеке.

Однако вчера от меня потребовали решить уравнение, не пользуясь готовой формулой, а с помощью последовательных приближений: я должен был подставлять вместо  $x$  значения 1, 2, 3 и т. д. до тех пор, пока не будут получены правильные значения корней уравнения. Команды для решения задачи «трудным путем» выглядели примерно так:

- а) Запомнить число 1111.
- б) Запомнить число 10001001.
- в) Запомнить число 1000100010100.
- г) Запомнить число 1.
- д) Умножить четвертое число на себя.
- е) Умножить полученный результат на первое число.
- ж) Запомнить полученный результат.
- з) Умножить четвертое число на второе.
- и) Прибавить полученное произведение к предыдущему результату.
- к) Сравнить сумму с третьим числом.
- л) Если сумма меньше третьего числа, то взять четвертое число и прибавить к нему 1.
- м) Забыть (или стереть) старое четвертое число и запомнить вместо него новое.
- н) Повторить все операции с самого начала, используя новое значение четвертого числа.
- о) Когда результат станет больше третьего числа, запомнить его и перейти к следующей команде.
- п) Вписать 1 в следующий разряд четвертого числа.
- р) Умножить и т. д.



Для простоты числа представлены в десятичной,  
а не в двоичной системе

Команды были совершенно ясными, и я приступил к решению задачи. Я умножил 1 на 1, получил 1 и, умножив 1 на первое число, получил 1111. Записав это число в своей памяти, я умножил 10001001 на 1 и получил 10001001. Прибавив это число к ранее полученному результату, я получил число 10011000, которое меньше третьего числа (его, равное 1000100010100, я хранил в своей памяти). Следуя командам, я прибавил 1 к четвертому числу (также равному 1) и получил 2. Используя 2 вместо 1 и умножив число 2 на себя, а затем на 1111, я получил 111100... Не буду докучать вам всеми деталями моих вычислений. Скажу лишь одно: когда четвертое число было 1101, или на привычном вам языке 13, результат все еще был меньше третьего числа, которое я по-прежнему хранил в своей памяти. Но стоило мне взять  $x$  равным 1110 (или 14), как результат стал слишком большим. Ясно, что корень уравнения заключен между 13 и 14.

— А более точное значение корня вы могли указать? — поинтересовался мистер Томпкинс.



— Конечно, мог. Получив первый результат и следуя дальнейшим командам, я начал пробовать числа, заключенные между 13,1 и 13,9. Обнаружив, что правильный ответ лежит между 13,1 и 13,2, я попробовал придавать  $x$  значения, заключенные между 13,11 и 13,19. Так, шаг за шагом, я пришел к правильному решению — значению корня с 40 двоичными, или 12 десятичными, знаками.

— А сколько времени ушло у вас на вычисления? — спросил мистер Томпкинс с профессиональным интересом.

— Давайте прикинем. Мне пришлось выполнить около пятисот умножений и сколько-то сложений, которые требуют значительно меньше затрат времени. На одну операцию умножения мне приходится затрачивать одну миллисекунду, или  $1/1000$  секунды, т. е. для получения окончательного ответа — около половины секунды. Прошу вас иметь в виду, что все операции умножения я выполнил бы так же быстро и в том случае, если бы все коэффициенты уравнения были заданы с 12 знаками в десятичной системе. Иначе говоря, чтобы умножить 2 на 2, мне требуется столько же времени, сколько для умножения 275 036 289 706 на 573 024 696 271, поскольку и в том, и в другом случае мне приходится просматривать весь регистр, чтобы удостовериться, что других цифр нет. Решать простые задачи на электронных компьютерах невыгодно, так как на кодирование задачи у моих помощников уходит гораздо больше времени, чем у меня на решение.

— А вам случается ошибаться? — поинтересовался мистер Томпкинс.

— Ничто в мире не совершенно, — спокойно признал МАНИ-АК. — Если вы проводите сложные математические вычисления таким же способом, как я, то все операции вы сводите к арифметическим, т. е. к сложению, вычитанию, умножению и делению. Но при таком подходе к решению задачи число операций, которые вам придется проделать, становится очень большим, как вы могли понять из приведенного выше примера. Используя обычную алгебраическую формулу, вы могли бы найти корень квадратного уравнения за какие-нибудь 10 операций, а тем способом, который был изложен выше, мне потребовалось более 500 операций. Мой способ, как принято говорить, имеет большую арифметическую глубину. Поскольку число элементарных шагов очень велико, сильно увеличивается вероятность совершения ошибки, которая может свести на нет ценность окончательного результата. Поэтому те, кто проектировал меня, стремились сделать вероятность возможной ошибки как можно более малой, значительно меньшей, чем вы могли бы считать необходимым.

— Мне кажется, — заметил мистер Томпкинс, — что при столь большом числе операций вам приходится работать очень быстро, гораздо быстрее, чем человеческий мозг.

— Разумеется, синапс в головном мозге человека срабатывает не менее чем за 1 миллисекунду, — согласился МАНИАК, — а каждое из моих переключательных устройств действует в тысячу раз быстрее, т. е. примерно за одну микросекунду, или за одну миллионную секунды. Но мне все равно необходимы все преимущества, которые я только могу получить.

— Но почему? — удивился мистер Томпкинс.

— Видите ли, может быть, нейроны в человеческом мозге и чересчур медлительны, но зато их очень много. Я бы сказал, неравная борьба.

— Но разве те, кто вас проектировал, не могли сделать вас побольше? — спросил мистер Томпкинс.

— Чтобы я мог на равных состязаться с человеческим мозгом, моим создателям потребовалось бы изготовить компьютер необычайно больших размеров. Объем человеческого мозга составляет примерно полторы квартиры<sup>3)</sup>, и этот объем вмещает в себя около 10 000 000 000, а может быть, и больше нейронов. Число же синапсов в 10 или даже в 100 раз больше.

Следовательно, если условиться, что объем электронной лампы составляет примерно 1 см<sup>3</sup> и оставить еще какой-то объем для соединений и прочих деталей, то я должен был бы иметь объем около 100 000 000 кубических сантиметров. Таков объем куба, имеющего по 4,64 м в длину, ширину и высоту. Кроме того, между панелями, на которых закреплены мои электронные лампы, необходимо оставить свободное пространство для вентиляции и лазы, или коридоры, для электриков, чтобы те могли проникать внутрь меня для ремонтно-профилактических работ, отчего мои размеры стали бы еще больше. Один из моих ранних соперников компьютер ЭНИВАК занимал в своем филиладельфийском доме площадь около 1 600 квадратных метров. Теперь он сдан в музей, и я, вероятно, скоро последую за ним.

— Поскольку вы соревнуетесь с человеческим мозгом, — прервал МАНИАКа мистер Томсон, — вы, по всей видимости, умеете играть в шахматы?

— Уметь умею, но, признаться, не очень люблю, так как игра эта весьма утомительна. Ведь я играю, можно сказать, превосходно, ничего не оставляя на волю случая или догадки, вот как я действую. Если мне предстоит сделать очередной ход, то я обследую поле за полем всю доску. Обнаружив поле, занятое моей фигурой, я начинаю задавать самому себе серию вопросов, например, не грозит ли моему королю шах, какую фигуру противника я могу взять, занято ли поле, на которое я хочу сделать ход, фигурой противника и т. д. Задав себе всю серию вопросов такого рода, я произвожу численную

<sup>3)</sup> Американская кварта — единица объема, равная 0,95 литра. — *Прим. перев.*

оценку качества хода и запоминаю ее. Такую процедуру я проделываю для всех полей на шахматной доске. Задаю я себе и несколько общих вопросов, например, находится ли мой король под шахом, могу ли я произвести рокировку и т. д. Сравнив все возможные ходы, я выбираю лучший.

— Но при таком подходе вы просчитываете позицию только на один ход вперед. Так играют не очень сильные шахматисты.

МАНИАК, слегка озадаченный, на секунду умолк, а потом ответил.

— Вы не совсем правы. В принципе я могу просчитывать позицию и на несколько шагов вперед. Если вы составите для меня правильную программу, то я смогу исследовать не только все возможные ходы моих собственных фигур, но и все возможные ответные ходы моих партнеров, все мои возможные ходы в ответ на их ходы и т. д. Чтобы просчитать позицию на два хода вперед, мне потребуется 8 минут. Трудность заключается в том, что при расчете позиции более чем на два хода вперед приходится рассматривать так много возможных вариантов, что на вычисления хода уходят часы и даже дни<sup>4)</sup>. Именно поэтому я и называю игру в шахматы утомительной.

На мистера Томпкинса, который и сам неплохо играл в шахматы (разумеется, на любительском уровне), сообщение МАНИАКа не произвело особого впечатления. Он отлично помнил, как Капабланка и Алехин проводили сеансы одновременной игры в шахматы с 50 партнерами и делали ход, поразмыслив над ним не более нескольких секунд. И при этом они обычно выигрывали!

— А сколько времени вам понадобилось бы, чтобы рассмотреть все возможные ходы? — поинтересовался он. МАНИАК не смог удержаться от улыбки.

— Почти вечность. Общее число различных шахматных партий превышает  $10^{120}$ . Даже если бы я мог играть миллион партий в секунду, чего я, конечно же, не могу, то и тогда на то, чтобы переиграть все партии, мне понадобилось бы  $10^{108}$  лет. Это столь большое число, что оно делает игру в шахматы непредсказуемой и тем самым интересной для людей.

— А насколько результативна ваша стратегия? Вы всегда выигрываете?

— Я всегда выигрываю у новичков и беспечных игроков, допускающих ошибки в игре, так как я сам не делаю дурацких ошибок, например, не хожу ферзем на поле, где его может взять фигура партнера. Если же партнер играет достаточно хорошо, то иногда я выигрываю, иногда проигрываю. Специалисты утверждают, что

<sup>4)</sup> Напомним читателям, что книга Гамова и Ичаса была написана в 1967 г. С тех пор и быстродействие компьютера сильно возросло, и искусство шахматных программистов достигло таких высот, что партии компьютеров даже с чемпионом мира по шахматам не всегда заканчиваются в пользу последнего. — *Прим. перев.*

я играю очень хорошо, но слабее мастера спорта по шахматам. Уф! Как жарко! — пожаловался МАНИАК, стирая со лба капли пота. — Чертовски жарко!

— А мне показалось, что у вас здесь хорошая вентиляция, — заметил мистер Томпкинс.

— О да! Вентиляция действительно неплоха, если подходить с позиций большинства стандартов, но я существо очень теплокровное, поскольку раскаленные докрасна проволочки в моих электронных лампах заставляют электроны вылетать из металла в вакуум и выделяют огромное количество тепла. Мы принадлежим к старому поколению, а теперь власть перешла к новому поколению. В 1948 году трое американских физиков из лаборатории фирмы «Белл Телефон компани» сделали удивительное открытие, за которое восемь лет спустя были удостоены Нобелевской премии. Я сейчас слишком устал, чтобы входить в детали. Скажу лишь кратко, что им удалось создать так называемые транзисторы, в которых электронам не нужно вылетать из металла. Свои функции «регуляторов движения» электронов транзисторы выполняют внутри крохотных кристаллов кремния или германия. При этом не происходит выделения тепла, и компьютер, построенный на транзисторах, остается холодным, как лед. Кроме того, транзисторные цепи выполняют операцию переключения за одну наносекунду, т. е. за одну тысячную одной миллионной доли секунды, что в 1000 раз быстрее, чем электронные лампы. Кристаллы можно вырастить очень маленькими — гораздо меньше, чем мои электронные лампы, а это означает, что в заданном объеме их можно поместить гораздо больше, чем электронных ламп. Компьютер на транзисторах, получивший название «Марк 7090», содержит 44 000 транзисторов, а его механизм памяти, внешне напоминающий стопку из миниатюрных теннисных ракеток, вмещает 1 179 648 ответов типа «да» или «нет». Чтобы найти ответ на заданный вопрос, «Марк 7090» успевает сканировать (просматривать) содержимое своей памяти примерно за одну миллионную долю секунды.

— Я вижу, что вы устали, — сказал мистер Томпкинс, — но мне трудно удержаться от вопроса. Правда ли, что вы можете переводить с одного языка на другой?

— Могу, конечно, — ответил МАНИАК, — правда, не всегда очень успешно. Мне довелось слышать, что одна американская промышленная компания, поддерживавшая деловые отношения с Россией, приобрела сравнительно небольшой электронный англо-русский транслятор. Чтобы испытать свое приобретение, в него ввели тривиальную английскую фразу «Out of sight, out of mind» и нажали на кнопку. Транслятор напечатал что-то русскими буквами, но поскольку никто из сотрудников не знал русского языка, понять

напечатанное никто не мог. Наконец, один хитроумный сотрудник фирмы догадался ввести русский текст в транслятор, запрограммировав его на обратный перевод с русского на английский, и транслятор выдал на печать: «Invisible maniak»<sup>5)</sup>.

И МАНИАК затрясся от смеха всеми своими 3 000 электронными лампами.

Мистер Томпкинс пришел в сильное возбуждение при мысли, что теперь он до некоторой степени понял, как работает столь сложная электронная машина, как МАНИАК, но тем не менее продолжал неотступно размышлять о том, как функционирует человеческий мозг. Особенно мистера Томпкинса интересовало, может ли компьютер имитировать столь характерное и важное для человека явление, как обучение. И только он собрался спросить об этом МАНИАКА, как вдруг почувствовал, что в комнате есть кто-то еще. Оглянувшись, мистер Томпкинс увидел какое-то небольшое сооружение высотой сантиметров в тридцать на трех колесиках, которое перемещалось по полу. Там, где должна была бы быть голова, возвышалась башенка с подобием глаза, которая непрестанно вращалась, словно озираясь вокруг в поисках чего-то. В передней части сооружения, наподобие фары, горела сигнальная лампочка. И мистер Томпкинс, и МАНИАК с восхищением смотрели. Странное сооружение двигалось как-то по-крабьи, вперед и одновременно вбок, то в одну, то в другую сторону без какой-либо системы. Время от времени оно наталкивалось на стоявшую на полу большую коробку, останавливалось на миг, отъезжало немного назад и, слегка изменив направление, снова двигалось вперед. Так продолжалось до тех пор, пока сооружение не объезжало коробку. Мистеру Томпкинсу таинственное устройство напоминало какое-то очень глупое живое существо — нечто вроде жука.

Дверь в помещение, где находился МАНИАК, отворилась, и на пороге появился какой-то человек. Это был не математик, так и не вернувшийся со склада, заметил мистер Томпкинс и принялся гадать, кто бы это мог быть.

Несколько мгновений незнакомец внимательно наблюдал за самодвижущимся сооружением, которое, обогнув несколько различных препятствий, вот-вот должно было уткнуться в стенку. Увидев это, незнакомец свистнул в свисток, и сооружение замерло на месте. Когда конструкция была готова снова пустить в путь, незнакомец направил на нее луч карманного фонарика, и сооружение сначала с колебаниями, а затем все более твердо двинулось на свет. Мистер Томпкинс в изумлении наблюдал за происходящим.

---

<sup>5)</sup> Первая фраза в буквальном переводе гласит: «Долой с глаз, долой из мыслей» (английский эквивалент русской поговорки «С глаз долой — из сердца вон»). Фраза в обратном переводе означает «Невидимый идиот». — *Прим. перев.*

— Это одна из моих любимых черепах, — произнес незнакомец, обращаясь к мистеру Томпкинсу. — Ей удалось каким-то образом совершить побег из моей лаборатории.

— Машина и в самом деле похожа на черепаху, — признал мистер Томпкинс. — Не могли бы вы объяснить мне, что все это значит?

— Видите ли, случилось так, что меня заинтересовала работа человеческого мозга, и мне пришло в голову, что хотя мозг очень сложен, даже очень простые системы, если их соединить определенным образом, могут порождать очень сложное поведение. Поэтому я построил несколько электронных «домашних животных». Черепаха, которую вы видите, — член семейства электронных черепах. Она прямой потомок первой электронной черепахи, которую я назвал Элси. Ученые названия живых существ всегда состоят из двух латинских слов, поэтому я назвал эту черепаху *Machina speculatrix* (Машина мыслящая).

Такое название я выбрал не потому, что машина много думает, но она очень любопытна и, тыкаясь во все стороны, пытается обследовать окружающую среду. В этом и заключается огромная разница между этой черепахой и МАНИАКом. МАНИАК действует очень быстро, но никогда не пытается осматриваться вокруг проблемы в поисках решения. Он готов сколько угодно ждать, пока кто-нибудь скажет ему, что делать. Черепаха ведет себя совершенно иначе; она любопытна, как реальное живое существо.

— Она действительно напоминает мне живое существо, — согласился мистер Томпкинс. — Как вы ее построили?

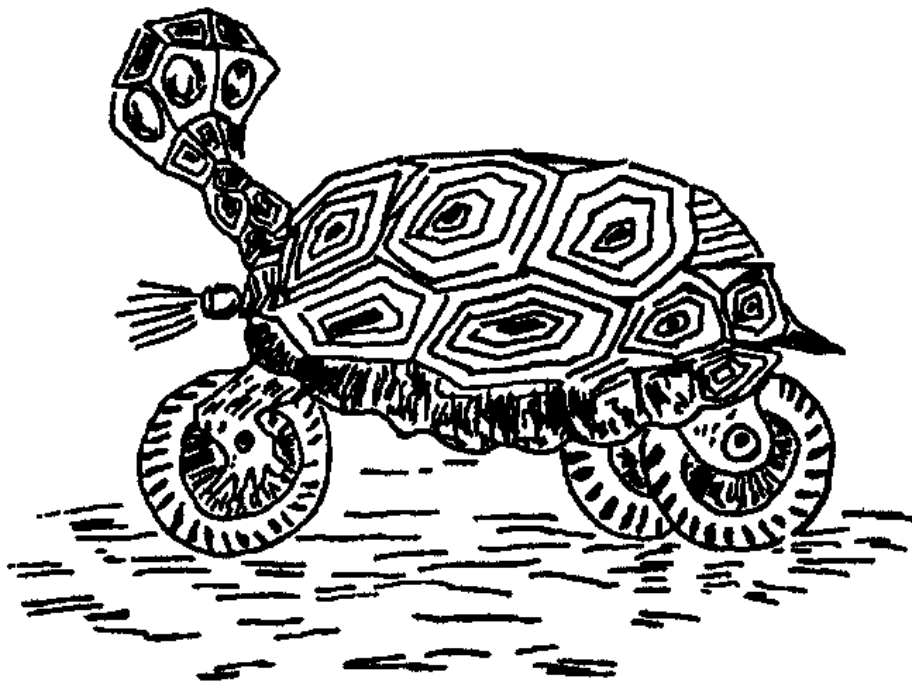
— Ее конструкция очень проста, — ответил незнакомец. — Но прежде чем описывать ее, позвольте мне выманить черепаху в ту часть комнаты, где бы она нам не мешала.

Посвечивая своим карманным фонариком, незнакомец вывел черепаху перед одной из панелей МАНИАКа, отражавшей свет словно зеркало.

Увидев отражение своей сигнальной лампочки, черепаха начала исполнять какой-то странный танец. Она двинулась было к своему отражению, но по дороге луч света от сигнальной лампы ушел в сторону, и черепаха, потеряв интерес к своему отражению, начала удаляться от него. Но при этом луч света в какой-то момент оказался направленным прямо в зеркальную панель МАНИАКа, и весь цикл начался сначала.

— Фрейдист бы сказал, что у моей черепахи комплекс нарциссизма, — заметил незнакомец. — Она настолько поглощена самолюбованием, что я успею рассказать вам о ее устройстве.

Черепаха работает от батарейки. Когда батарейка заряжена, черепаха движется медленно, но когда напряжение начинает падать, черепаха «чувствует голод» и как бы пробуждается — становится активной. Движет черепахой главным образом моторчик с приводом



Этот вид называется «Машина мыслящая»  
(*Machina speculatrix*)

на задние колесики. Другой моторчик непрерывно вращает переднее колесико вокруг вертикальной оси, он же вращает башенку. Когда на фотоэлемент, спрятанный в башенке, падает яркий свет, переднее колесико и башенка перестают вращаться, и сигнальная лампочка гаснет. Так как переднее колесико направлено при этом на свет, черепаха устремляется к свету. Если свет становится слишком ярким или если черепаха наталкивается на препятствие, передний моторчик снова начинает работать, и черепаха устремляется в новом направлении.

— Но что она стремится сделать? — спросил мистер Томпкинс.

— Черепаха стремится подзарядить свою батарейку. В стене есть выемка, в которой обычно горит свет. Если черепахе удастся вползти в выемку, она подсоединяется к источнику питания и заряжает свою батарейку. Электрический ток, можно сказать, служит пищей для черепахи. После дозаправки черепаха на какое-то время «впадает в спячку», а затем снова пускается на поиски пищи.

Разумеется, вы можете сказать, что моя черепаха — не более чем забавная игрушка, и будете правы, но я построил ее, чтобы показать, что очень сложного поведения можно достичь, исходя из очень простых компонент. В моей черепахе всего две электронные лампы, два реле, два конденсатора, два моторчика и две батарейки.

— Должно быть, в ней есть еще что-то, о чем вы забыли упомянуть, — прервал объяснения мистер Томпкинс. — Когда вы свистнули, черепаха замерла на месте, как хорошо обученная собака.

— Вы совершенно правы, — кивнул незнакомец, — только перед вами не хорошо обученная собака, а хорошо обученная черепаха.

— Вы хотите сказать, что черепаха не умела останавливаться по свистку, а научилась этому? — в изумлении переспросил мистер Томпкинс.

— Совершенно верно. Знаменитый русский физиолог Павлов много лет назад показал, что собаку можно обучить так, что слюноотделение у нее будет начинаться по звонку. Обычно слюноотделение начинается у собаки при виде пищи, и этот рефлекс не нуждается в обучении. Но если вы несколько раз позвоните перед тем, как кормить собаку, то слюноотделение будет начинаться у собаки и в отсутствие пищи при звонке: собака обучилась тому, что звонок предшествует пище. Мы называем такую разновидность обучения условным рефлексом<sup>6)</sup>. Я решил обучить мою черепаху точно таким же образом, и после нескольких попыток мне удалось построить обучающее устройство. Принцип устройства заключается в том, что черепаха вычисляет статистическое отношение между двумя событиями, например, между столкновением со стенкой и звуком моего свистка. Если между событиями оказывается тесная связь, то черепаха начинает реагировать на свисток так же, как она реагировала бы на столкновение со стенкой. Разумеется, сначала я тренировал черепаху, — вырабатывал у нее условный рефлекс, а поскольку черепаха забывает то, чему ее обучили, я время от времени обучаю ее снова — подкрепляю условный рефлекс. Не стану утомлять детальным описанием электрических цепей черепахи, можете поверить мне на слово, что все схемы очень простые.

— Имеет ли ваша черепаха какое-нибудь отношение к обучению настоящих живых существ?

— Вполне возможно, что имеет. Я намеревался установить минимальное число компонент обучающейся цепи, поскольку это позволило бы составить некоторое представление о минимальной сложности нейронной сети. Однако в настоящее время существуют обучающиеся машины других типов, и решить проблемы, связанные с деятельностью мозга, отнюдь не легко. Значительную часть своего времени я трачу не на конструирование обучающихся устройств, вроде черепахи, а на волны, возникающие в мозге. Как вам, несомненно, известно, по нейронам головного мозга распространяются различные электрические импульсы.

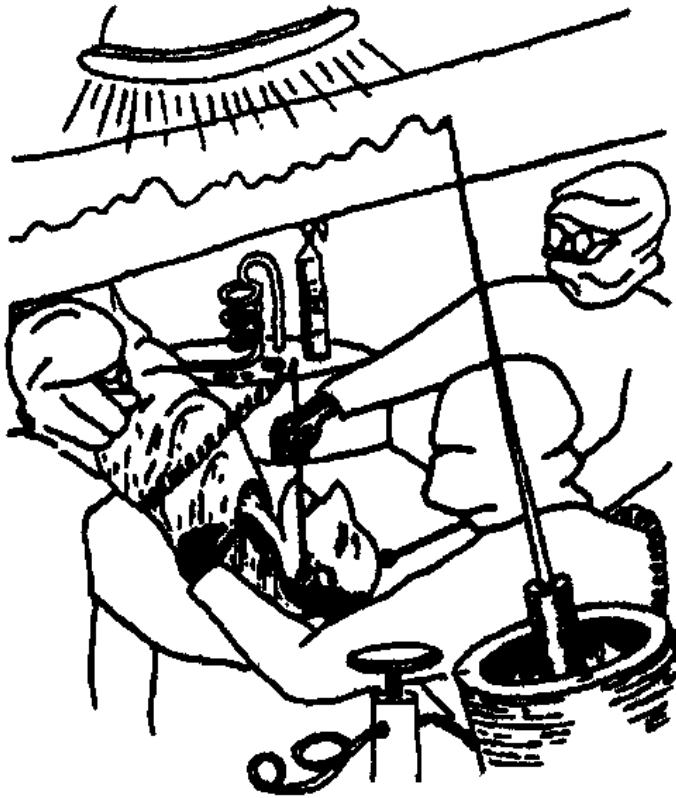
— Но если наш мозг представляет собой, как вы утверждаете, электрическую цепь, — недоверчиво проговорил мистер Томпкинс, — то он, наверное, испускает радиоволны, распространяющиеся во внешнем мире, за пределами черепа. Разве испускаемые мозгом радиоволны не были бы превосходным объяснением таких явлений, как, например, чтение мыслей на расстоянии?

<sup>6)</sup> Термин «условный рефлекс» был введен знаменитым русским физиологом Иваном Петровичем Павловым. В англоязычной научной литературе со временем выработался термин *conditioned reflex* (обусловленный рефлекс). — *Прим. ред.*



— Не знаю, — осторожно возразил незнакомец. — По поводу телепатии неоднократно поднимались довольно бурные дискуссии, но мне не доводилось видеть ни одного эксперимента, который бы подтверждал существование телепатии, я бы сказал, с научной строгостью. С другой стороны, было бы совершенно ненаучно отрицать существование явления телепатии априори. Ясно одно. Электрические токи в головном мозге настолько слабы, что их невозможно обнаружить даже самыми чувствительными приборами на расстоянии нескольких миллиметров от черепа. Поэтому даже если существование телепатии будет доказано, «ответственными» за нее будут не испускаемые мозгом радиоволны, а нечто другое.

Не подлежит сомнению, однако, хотя это и не так будоражит воображение, что электрические процессы в коре больших полушарий проявляются и вне черепа. Действительно, если при-



Волны активности головного мозга регистрируются на бумажной ленте

жать электрические контакты к нескольким точкам черепа, то можно зафиксировать колебания электрического потенциала с периодом около 0,1 секунды и амплитудой около 20 микровольт. Используя известные специалистам по электронике схемы, напряжение можно усилить и записать его колебания на бумажной ленте.

Волны электрической активности головного мозга особенно заметны, когда человек спит или хотя бы находится в состоянии полного покоя. Когда же человек начинает интенсивно мыслить, волны электрической активности его мозга становятся почти незаметными.

— А ведь казалось бы, должно быть наоборот, — с удивлением воскликнул мистер Томпкинс, — ведь мышление, по вашим словам, — явление электрическое.

— Электрическое, — подтвердил незнакомец, — но из этого отнюдь не следует, что при интенсивном мышлении волны электрической активности головного мозга должны усиливаться. Представьте себе, например, что в состоянии покоя все электрические контуры в мозге действуют в унисон, тем самым создавая определенные электрические напряжения на поверхности мозга, а стоит лишь на-

чатся мыслительному процессу, как нейроны рассогласовываются, и создаваемые ими эффекты взаимно погашаются.

— А что вам удалось установить, пока вы занимались исследованием волн активности головного мозга? — спросил мистер Томпкинс.

— Ряд вещей. Прежде всего изучение волн активности мозга оказалось очень полезным для локализации повреждений мозга из-за опухолей или каких-нибудь других причин, многие клиники теперь оснащены оборудованием, позволяющим записывать волны активности мозга для диагностических целей. Более важное значение имеет открытие взаимосвязи между волнами активности и важными функциями головного мозга.

Взять, например, наиболее распространенный тип ритмических волн с частотой от 10 до 20 циклов в секунду. Это так называемый альфа-ритм. По тому, как людям свойственно мыслить, альфа-ритмы позволяют разделить их на три группы.

У двух третей всех людей альфа-ритм обнаруживается, когда они пребывают в состоянии покоя с закрытыми глазами и ни о чем не думают или спят. Стоит таким людям открыть глаза или начать думать, как альфа-ритм исчезает и заменяется беспорядочными флуктуациями. Такие люди называются легко реагирующими. Их принято относить к R-типу (R — от англ. responsive — быстро реагирующий, чуткий). Люди R-типа занимают промежуточное положение между людьми, которых принято относить к типам P и M.

К P-типу (от англ. persistent — устойчивый) относят людей, у которых альфа-ритм сохраняется, даже когда их глаза открыты или когда эти люди мыслят. По-видимому, дело в том, что альфа-ритм прерывается зрительными образами, а люди P-типа в очень малой степени используют зрительные образы, даже когда они смотрят на какой-нибудь предмет. Поэтому их альфа-ритм не подавляется, а продолжает действовать. С другой стороны, люди M-типа (M — от англ. minus — минус) мыслят «картинками», т. е. их зрительные образы настолько живы и красочны, что полностью подавляют альфа-ритм! Большинство людей, как я уже говорил, занимают промежуточное положение между двумя крайними типами P и M: они мыслят достаточно яркими зрительными образами, чтобы их альфа-ритм прерывался, когда они открывают глаза, но все же не настолько яркими, чтобы полностью подавить альфа-ритм. Как вы, вероятно, догадались, люди M-типа очень легко решают проблемы, в которых требуется зрительное воображение, но затрудняются при решении абстрактных проблем. Люди P-типа легко справляются с абстракциями или в тех случаях, когда требуется мышление в терминах звуков или движений. Что же касается людей R-типа, то они особенно сильны в решении тех проблем, которые требуют комбинации образного и абстрактного мышления. Ваши сны, столь напоминающие реальность, мистер Томпкинс, позволяют мне предположить, что вы относитесь к M-типу.

Мистер Томпкинс почувствовал, что узнал и продолжает узнавать нечто по-настоящему интересное.

— Волны электрической активности мозга, если я вас правильно понял, связаны в основном со зрением? — спросил он.

— Не совсем, примитивная часть вашего мозга, таламус, порождает более медленный тета-ритм, связанный с чувством страха или с внезапным прекращением какого-нибудь приятного ощущения. Но зрение, несомненно, очень важно. Например, можно подсоединить к голове испытуемого прибор, при помощи которого волны активности мозга будут управлять яркостью мерцающего света так, чтобы подопытный субъект видел вспышки света, происходящие в такт с волнами активности собственного мозга. У многих подопытных возникают интенсивные зрительные галлюцинации, например, нечто вроде разноцветного праздничного салюта, охватывающего все небо, и вращающихся огненных колес. У других подопытных ощущения могут быть не столь приятными. При созерцании света, мерцающего с определенной частотой, у них может возникать обморочное состояние, головокружение, беспамятство, а иногда даже конвульсии. Такой мерцающий свет в сочетании с записью волн активности мозга используется при диагностике эпилепсии.

Нужно признать, однако, что мы еще только начинаем понимать механизмы мозга. Не следует забывать о том, что в вашем мозге нервных клеток столько же, сколько звезд в Галактике. Поэтому в мозге распространяется так много сигналов, что выделить какой-нибудь из них достаточно трудно. Здесь еще много неясного.

— Судя по тому, что вы мне рассказали, ситуация с изучением механизмов мозга почти такая же тяжелая, как и с психоанализом, — заметил мистер Томпкинс, начавший ощущать, что полученной им информации более чем достаточно для одного дня.

— Раз уж вы упомянули о психоанализе, — живо откликнулся незнакомец, — то должен сказать, что в нем немало блефа, хотя некоторые положения психоанализа опираются на твердо установленные факты из реальной физиологии нашего мозга. Например, введенное Зигмундом Фрейдом понятие подавленных воспоминаний наиболее вероятно связано с коротким замыканием нейронных цепей в коре больших полушарий. Сигналы памяти ходят по кругу, вызывая постоянное возмущение в вашем мозге, пока, наконец, не вырываются из замкнутого круга и не подвергаются рациональной обработке.

— А как по-вашему, у меня могут быть подавленные воспоминания? — быстро спросил мистер Томпкинс. — Было бы неплохо выпустить их наружу.

— Скажите мне, — произнес незнакомец, глядя прямо в глаза мистеру Томпкинсу, — нет ли чего-нибудь такого, что беспокоит ваше подсознание? Что-нибудь, чего вы боитесь без всякой видимой причины?

— Как не быть! — с готовностью признал мистер Томпкинс. — Я терпеть не могу сидеть на жестких креслах, а стоит мне сесть на мягкое кресло, как я тотчас же засыпаю. Как вы думаете, может ли боязнь перед жесткими креслами иметь какое-то отношение к подавленным воспоминаниям о моем детстве?

— Вполне возможно, — кивнул незнакомец. — Прислушайтесь внимательно к тому шуму, который нейроны создают у вас в голове.

Прислушавшись внимательно, мистер Томпкинс узнал сердитый голос своей матушки, отчетливо пробивавшийся сквозь неумолчный шум.

— Скверный мальчишка, — выговаривала матушка, — сколько раз я говорила тебе, чтобы ты не трогал банку с клубничным вареньем на кухне! Подай-ка мне ремень да опусти-ка штанишки!

— Но мамочка, я больше не буду! — взмолился мистер Томпкинс. — Честное слово, не буду!

Но было поздно, и ремень уже неумолимо приближался, как ангел мщения...

— Ой! — возопил мистер Томпкинс, чувствуя, как тысячи острых игл вонзились в его нежную кожу. — Ой!

— Что случилось? — Встревоженный криками мистера Томпкинса, молодой математик примчался со склада. — Вы обо что-то ударились?

— Больше не буду, честное слово, — заверил его мистер Томпкинс, поднимаясь с пола: картонная коробка, на которую он присел, не выдержала его тяжести и расплющилась.

— Так вот где они были, а я искал их на складе! — горестно воскликнул математик, глядя на грудку осколков, все, что осталось от электронных ламп. — Не повезет, так не повезет! А бюде 5 ло! Теперь придется ждать до следующей среды, когда поступит следующая партия электронных ламп! Мы остались без памяти!

— Не знаю, как вы, а я сохраню память надолго, — возразил мистер Томпкинс, отряхивая у себя сзади острые осколки стекла, впившиеся в брюки. — Должно быть, несколько ближайших ночей мне придется спать на животе.

— Всякое бывает, — философски заметил математик.

— Что, собственно, означает «А бюде 5 ло!» — поинтересовался мистер Томпкинс, пытаясь сохранить остатки невозмутимости.

— О, это просто шутливое ругательство из лексикона МАНИАКА, — пояснил математик. — Понимаете, когда электронный компьютер работает, из него выползает широкая лента, на которой напечатано множество цифр. Кроме цифр выходное устройство печатает на ленте и некоторые буквы. Каждая такая буква означает некоторую команду, но их немного, и такие буквы нельзя использовать для иных целей. Когда компьютер работает, он все время проверяет себя, например, умножение делением, и если обнаруживает где-нибудь ошибку, то на выходящей из компьютера ленте

появляется строка, состоящая из монотонно повторяющихся групп букв и цифр, например, 000000...000 или абаба...а5, чтобы вычислитель знал о допущенной ошибке. Мудрецы, конструировавшие ЭНИАК в Национальном бюро стандартов в Вашингтоне, федеральный округ Колумбия, устроили так, что о появлении ошибки сигнализировала повторяющаяся фраза: «Call sab, call sab, call sab»<sup>7)</sup>. Конкурировавшая с ними группа, создававшая аналогичный компьютер в Лос-Аламосе, жаждала превзойти соперников, и две юные леди, работавшие в лаборатории, придумали фразу «А бюде ло», которая по звучанию более всего напоминала венгерское ругательство «А büdos lo», означающее «Лошадь вонючая».

— Но почему им понадобился венгерский язык? — удивился мистер Томпкинс.

— Видите ли, — пояснил математик, — одной из этих дам была Клари, жена Джона фон Неймана, одного из создателей электронного компьютера, а другой Миси, жена Эдварда Теллера, которого часто называют отцом водородной бомбы. Обе юные леди родились и выросли в Будапеште.

— Всегда приятно слышать, что ученые обладают чувством юмора, — заметил мистер Томпкинс. — Но мне хотелось бы задать вам последний вопрос. Как, по-вашему, сложится будущее электронных компьютеров, ведь они становятся все больше и все сложнее?

— Позвольте мне рассказать вам небольшую фантастическую историю, — ответил математик, криво улыбнувшись. — Человечество праздновало начало XXI века. К тому времени техника достигла грандиозных успехов. Был построен гигантский электронный мозг на транзисторах, занявший весь внутренний двор в здании Пентагона. Этот суперсовременный компьютер насчитывал  $10^{10}$  транзисторов и  $10^8$  центров памяти. Ежедневно в память компьютера поступала экономическая, социологическая и военная информация, собираемая  $10^5$  тайными агентами по всему миру. По замыслу заказчиков и создателей гигантского суперкомпьютера, этой информации должно было хватить для предсказания хода событий во всем мире на  $10^2$  лет вперед. На открытие сверхмашины прибыли президент Соединенных Штатов и множество политических деятелей и военных самого высокого ранга. И подобно тому, как в начале бейсбольного сезона президент вбрасывает первый мяч, на открытии компьютера президента попросили задать электронному мозгу первый вопрос.

— Скажите, пожалуйста, — спросил президент у компьютера, — будет ли в ближайшие пять лет война или мир?

Вопрос был весьма непростым, и компьютер почти десять минут работал, прежде чем ответить. Ответ был очень кратким:

— Да.

<sup>7)</sup> «Вызовите кэб, вызовите кэб, вызовите кэб!» (англ.) — *Прим. перев.*

Смущенный создатель компьютера быстро ввел в свое детище дополнительный вопрос:

— Что да?

На этот раз компьютер выдал ответ через одну микросекунду:

— Да, сэр.

Мистер Томпкинс понял смысл иносказания.

— Прошу извинить, — сказал он, — но вы, должно быть, очень заняты и мне не хотелось бы докучать вам моими вопросами. Благодарю за все, о чем вы мне рассказали.

И с этими словами, пожав математику на прощанье руку, мистер Томпкинс покинул лабораторию.

---

## Как устроен человеческий мозг?

---

Воспоминания о металлическом голосе МАНИАКа не давали покоя мистеру Томпкинсу. В отличие от своих коллег в банке он не очень боялся потерять свое рабочее место из-за компьютера. Вице-президент, в ведении которого находились служащие банка, провел с персоналом разъяснительную беседу, в которой особо отметил, что в связи с появлением компьютеров некоторые банковские операции претерпят изменения, но в целом потребность в персонале не уменьшится. Компьютеры позволят лишь производить на более высоком уровне большой объем операций при том же числе служащих.

Мистера Томпкинса беспокоило совсем другое: весьма смутное сходство МАНИАКа с человеком (вряд ли нужно говорить о том, что если какой-нибудь человек походил на маньяка, то это вызывало у мистера Томпкинса еще большее беспокойство), подумать только! МАНИАК по существу представлял собой грудку соединенных в определенной последовательности реле, а умел, судя по всему, делать многое из того, что делал мистер Томпкинс — считать, запоминать и т. д. И хотя математик предостерег мистера Томпкинса, заметив, что головной мозг человека скорее всего функционирует не так, как компьютер, после беседы с создателем «мыслящей черепахи» у мистера Томпкинса осталось впечатление, что создать мозг из электронных ламп и реле все же было бы можно, если бы было известно, как устроены нейронные сети человеческого мозга.

Мистер Томпкинс непрестанно размышлял над тем, можно ли считать его самого своего рода грудкой определенным образом соединенных реле и электронных ламп, но, как ни бился, не смог продвинуться в решении этой проблемы ни на шаг. Поэтому когда тесть однажды пригласил его вместе с Мод к себе на обед, мистер Томпкинс очень обрадовался. Среди гостей должно было быть несколько университетских профессоров, и мистер Томпкинс надеялся побеседовать с новым профессором нейрофизиологии.

«Может быть, от кого-нибудь из профессоров мне удастся узнать что-нибудь новое на интересующую меня тему», — думал мистер Томпкинс.

После обеда разговор, как и следовало ожидать, пошел о различных ученых материях, и все с интересом слушали рассказ мистера

Томпкинса о его визите к МАНИАКу. История показалась всем забавной.

— Я совершенно согласен с тем, что наш мозг не может действовать точно так, как МАНИАК, — заметил нейрофизиолог. — Взять хотя бы точность. Компоненты МАНИАКа должны срабатывать почти безошибочно, так как даже небольшая ошибка может полностью обесценить окончательный результат. Но в человеческом мозге все происходит иначе. Во-первых, в нашем мозге ежеминутно отмирает около десятка нейронов, но мозг, даже в преклонном возрасте, продолжает великолепно функционировать. Во-вторых, мы знаем, что компоненты мозга, нейроны, работают на статистической основе. Например, если импульс доходит до синапса, то он может заставить возбудиться следующий нейрон лишь в 60 или 80 случаях из 100. Ясно, что в таком компьютере, как МАНИАК, это не привело бы ни к чему хорошему.

— Вполне возможно, — вмешался в разговор другой гость, специалист по электронике, — что человеческий мозг работает по принципу избыточности. Предположим, что компоненты МАНИАКа очень ненадежны. Вы можете тем не менее производить на МАНИАКе надежные вычисления, если предусмотрите множество копий каждой цепи и будете всякий раз принимать результат, так сказать, большинством голосов. Но я склонен думать, что наш мозг — не цифровой, а аналоговый компьютер.

— А в чем различие между цифровыми и аналоговыми компьютерами? — спросил мистер Томпкинс.

— В цифровом компьютере, — пояснил специалист по электронике, — дискретные импульсы, которые могут либо быть, либо не быть, представляют числа или логические операции. Так действует, например, МАНИАК. В аналоговом компьютере числа представлены какой-нибудь физической величиной, скажем, напряжением. Если число 20 представлено напряжением в 20 вольт, а число 40 — напряжением в 40 вольт, то для того, чтобы сложить числа 20 и 40, вам необходимо сложить эти два напряжения. Если вы правильно спроектировали и построили свою электрическую схему, то получите 60 вольт. С помощью различных приемов можно также производить вычитание, умножение, деление и проделывать более сложные операции. В общем и целом при решении многих конкретных задач, в особенности задач очень сложных, аналоговые компьютеры уступают цифровым в точности, но превосходят их в быстродействии. С одним простым аналоговым компьютером вы, несомненно, знакомы, хотя и не догадываетесь об этом. Я имею в виду логарифмическую линейку, в которой числа представлены не напряжениями, а длинами отрезков.

— Но из того, что я успел узнать, — перебил собеседника мистер Томпкинс, — вроде следует, что нейрон может находиться либо



в возбужденном, либо в невозбужденном состоянии. Никакого промежуточного состояния не существует, между тем как напряжение на проводнике может принимать любые значения из некоторого диапазона. В человеческом мозге каждый импульс неотличим от другого. Если мы слышим более громкий звук или захотим сильнее напрячь мышцу, то напряжение в нерве не повысится, а увеличится число импульсов, проходящих по нервному волокну за одну секунду. Именно поэтому я и считаю наш мозг цифровым устройством.

— Не обязательно, — возразил специалист по электронике. — Представьте себе, что у вас есть труба, по которой течет вода. Вы могли бы сказать, что расход воды — величина, изменяющаяся непрерывно. Но на самом деле вода состоит из отдельных молекул, и поэтому поток воды дискретен! Даже на грубом уровне поток песчинок в песочных часах может показаться непрерывным. Ощущение непрерывности у нас возникает из-за большого числа частиц.

Поэтому если в головном мозге возбуждается очень большое число частиц (а именно так и происходит), то средняя плотность импульсов может казаться непрерывно изменяющейся величиной. Вполне возможно также, что в каких-то своих областях головной мозг действует как цифровой компьютер, а в каких-то других — как аналоговый компьютер. Но в чем нет никаких сомнений, так это в том, что мозг представляет собой природное устройство для переработки сигналов.

— Полагаю, все согласятся, — продолжал нейрофизиолог, — что наш мозг занимается обработкой сигналов, поступающих извне. Мозг упорядочивает эти сигналы и использует, когда решает, что необходимо делать организму. Наша большая проблема состоит в том, чтобы выяснить, как именно это делается. Проектируя и изучая компьютеры, мы можем кое-что понять и почувствовать на интуитивном уровне, но, разумеется, в конечном счете окончательное решение проблемы может быть получено только на основе изучения мозга. Недавно нам удалось узнать кое-что интересное, исследуя весьма необычный мозг — мозг осьминога.

— А чем он так необычен? — спросил мистер Томпкинс. — Тем, что меньше человеческого мозга?

— Нет, дело вовсе не в размерах. Разумеется, мозг осьминога меньше человеческого мозга. В нем лишь несколько сотен миллионов нейронов, тогда как у нас их более десяти тысяч миллионов. Истинная причина успеха проведенного нами исследования заключается в другом.

В ходе эволюции мозг осьминога развивался так, что ныне состоит из отдельных долей, разумеется, соединенных между собой. Такая структура позволяет нам иссекать хирургическим путем любую из долей и затем наблюдать за тем, что происходит в мозге осьминога после операции.



Как разговаривать с осьминогом, чтобы узнать, о чем он думает?

— Уж не хотите ли вы сказать, что умеете разговаривать с осьминогом и тот сообщает вам о том, что у него на уме? — удивился мистер Томпкинс.

— Разумеется, нет. Но зато мы умеем задавать осьминогу правильные вопросы, а на правильно поставленный вопрос осьминог не преминет дать ответ. Своими вопросами мы пытаемся выяснить, чему осьминог учится и что он забывает.

Как и многие люди, осьминог любит лакомиться крабами. Стоит осьминогу завидеть краба, как он тут же пытается схватить желанную добычу. Один экспериментатор решил воспользоваться этой реакцией осьминога. Он подсоединил к крабу проводок от батареи, поэтому осьминог всякий раз, когда пытался схватить краба, получал легкий удар электрическим током, что осьминогу, разумеется, не нравилось. Когда краб был подключен к батарее, экспериментатор показывал осьминогу белый кружок, а когда краб не был подключен, кружок убирали. После нескольких попыток осьминог схватил краба. Вы, конечно же, догадались, каким образом можно было бы продолжить эксперимент. Например, можно было бы использовать кружок, чтобы предупреждать осьминога об опасности, а треугольник — о том, что опасности нет. Такой эксперимент позволил бы выяснить, какие формы может различать осьминог, как скоро он

забывает то, чему учится и т. д. Эксперименты такого рода можно сочетать с хирургическими операциями на мозге осьминога. После удаления той или иной доли можно протестировать способность осьминога к обучению, его память, способность распознавать изображения и многое другое. При виде маленьких осьминогов многие люди передергивают от отвращения плечами, но в действительности осьминожки и забавны, и очень милы.

— А что стало известно в результате опытов с осьминогами? — любопытствовал мистер Томпкинс.

— Нам удалось узнать кое-что новое о нашем собственном невежестве. Даже у осьминога мозг устроен очень сложно и совсем не на принципах, как мы их называем, прямого действия. Не существует отдельной группы нейронов, которая порождает бы сигнал «Ага, это круг!» или команду «Хватай краба!». Различные группы клеток, занятые выработкой команды о нападении на краба или связанные с любым другим видом деятельности, образуют систему взаимосвязанных центров, которые стимулируют и тормозят друг друга. Система в целом, так сказать, балансирует на острие ножа. Некоторые центры, обработав всю имеющуюся информацию, весьма сложным образом смещают равновесие. Например, одна из долей мозга осьминога ведает различием между «последовательным» и «одновременным». Нормальный осьминог, научившийся распознавать различие между двумя фигурами, предъявляемыми ему одновременно, сумеет распознать их, если показывать их ему последовательно, одну за другой. Но стоит лишь удалить эту долю мозга, как он утрачивает такую способность. Другие доли мозга ведают принятием решения относительно того, стоит ли вводить некую информацию в память или обрабатывать, приятен некоторый раздражитель или вызывает болевые ощущения и т. д.

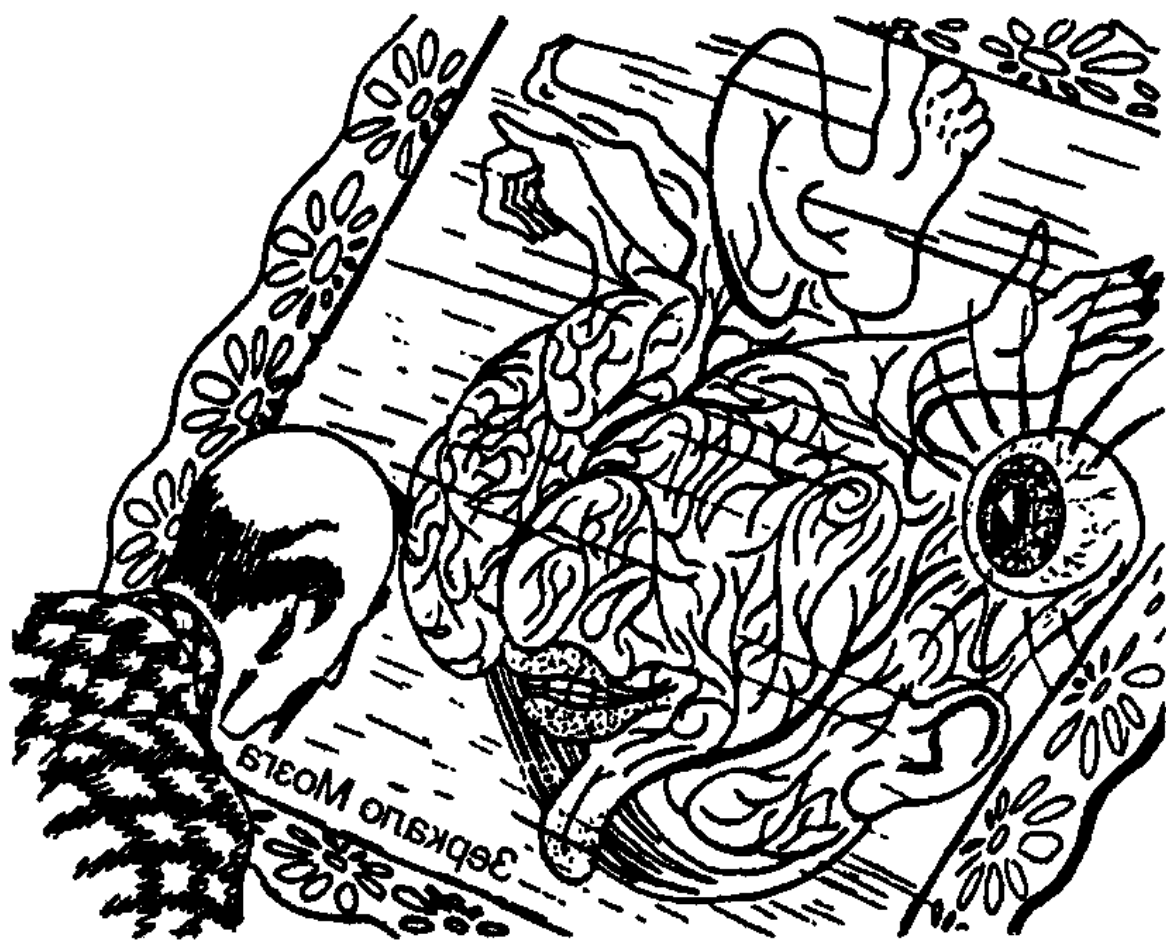
Какое-то время гости беседовали, а когда настала пора прощаться, Мод предложила развезти гостей по домам, а ее отец вызвался проводить их. Мистер Томпкинс решил остаться главным образом для того, чтобы выпить еще стаканчик-другой превосходного бренди из запасов тестя.

Налив себе очередную порцию, он закрыл глаза, чтобы в полной мере насладиться чудесным напитком...

Открыв глаза, мистер Томпкинс к своему удивлению обнаружил, что находится в комнате не один: у большого зеркала, висевшего на стене, стоял нейрофизиолог.

— Раз вы так интересуетесь функционированием головного мозга, — сказал он, — почему бы вам не взглянуть на себя в это зеркало? Оно увеличивает все характерные детали вашего мозга, но уменьшает все остальные части тела, превращая их в крохотные придатки к тем местам поверхности мозга, где расположены соответствующие нервные центры.

Мистер Томпкинс подошел к зеркалу и, взглянув в него, в ужасе отшатнулся: из зеркала на него глядело чудовище, неопишимо безобразное и ужасное. Оно напоминало огромный ком какого-то серого вещества, поверхность которого была испещрена многочисленными складками. К этому бесформенному туловищу были прикреплены две короткие уродливые ноги и две короткие уродливые руки, две большие губы, из которых высовывался язык, и два глаза, торчавшие над двумя ушами. В целом чудовище напоминало хорошо известные изображения марсиан из иллюстраций к фантастическому роману Герберта Уэллса «Война миров».



«Неужели это я?» — с отвращением воскликнул мистер Томпкинс

— Неужели это я? — с отвращением воскликнул мистер Томпкинс.

— Вне всяких сомнений, — гласил ответ нейрофизиолога, — Кстати, сказать, в этом зеркале, увеличивающем детали вашего мозга, вы выглядите не намного хуже, чем в некоторых кривых зеркалах в так называемых комнатах смеха. По крайней мере здесь вы больше похожи на себя.

Мистер Томпкинс, пересилив отвращение, снова взглянул в зеркало. На этот раз он различил основные детали мозга, которые ему доводилось видеть раньше в учебниках анатомии. Глубокая центральная борозда разделяла мозг на правое и левое полушария,

а другая борозда, проходившая в поперечном направлении, делила мозг на лобную и затылочную доли.

— Обратите внимание на то, что ваши ноги, руки, рот и язык прикреплены к лобной доли вашего мозга, так как именно в лобной доле расположено большинство двигательных центров. Что же касается сенсорных центров, например, глаз и ушей, они расположены в затылочной части вашей головы.

— А разве мой язык не сенсорный орган? — негодуя спросил мистер Томпкинс.

— Видите ли, никто не знает, где именно расположены вкусовые центры. Не исключено, что они находятся в затылочной доле. Но основная двигательная функция языка — перемещение пищи во рту и речь. Ее центр, несомненно, расположен в лобной доле. По-видимому, вы заметили также, что ваши губы и язык, по существу, расположены в левом полушарии. Это говорит о том, что вы «правша».

— Когда вы говорите о центрах, — не преминул уточнить мистер Томпкинс, — имеете ли вы в виду, что мозг разделен на отсеки и что каждый такой отсек ведает какой-нибудь частью тела или каким-нибудь ощущением, например, слухом?

— Нет, я имею в виду нечто другое. Возьмем, например, движение вашей ноги. В принятии решения о том, чтобы нога совершила движение, могут принимать участие многие области мозга. Но все порождаемые ими сигналы сходятся в одном месте, которое мы называем двигательным центром. Этот центр управляет движением вашей ноги. Аналогичным образом сигналы от органов чувств сначала поступают в определенные участки мозга, где информация подвергается первичной обработке, а уже оттуда сигналы направляются ко многим другим частям тела. Где именно расположены такие более специфические центры, мы устанавливаем, пользуясь тем, что их повреждение лишает движения определенные части тела или определенных ощущений несчастные жертвы. Повреждение других участков мозга приводит к менее специфическим эффектам. Установить расположение центров в головном мозге можно и другим способом — подводя к различным небольшим участкам мозга слабый электрический ток. Такие эксперименты производились над людьми, которые подвергались хирургическим операциям головного мозга. Реакцией на раздражение отдельных участков мозга слабым электрическим током были движения той или иной части тела, а также ощущение звука или света. Замечу кстати, что такой способ поиска мозговых центров возможен из-за нечувствительности мозга к боли при прикосновении или порезе.

— Хорошо было бы забраться в мозг и своими глазами увидеть, что в нем происходит, — мечтательно проговорил мистер Томпкинс (со времени своего путешествия по кровеносной системе он сожалел, что из-за голода не смог добраться до своего мозга).

— Действительно, почему бы вам не побывать в собственном мозге? — предложил нейрофизиолог.

— Как? — удивился мистер Томпкинс. — Пройти сквозь зеркало?

— А почему бы и нет? Разве вы не слышали об Алисе? Она побывала в Зазеркалье и увидела там много интересного.

Захваченный этой неожиданной идеей, мистер Томпкинс прижался лбом к холодной гладкой поверхности зеркала и слегка надавил на нее.

— А что, если представить себе, будто зеркало стало мягким и податливым, как тюлевая занавеска? — пронеслось у него в голове. — Ведь тогда я действительно смогу пройти сквозь него! Но что это? Зеркало действительно становится податливым. Я бы сказал, оно превращается в дымку, в мягкую пелену. Я без труда прохожу сквозь него...

И действительно, зеркало начало как бы растекаться, превращаясь в яркий серебристый туман. Миг — и мистер Томпкинс прошел сквозь зеркало и пустился в путь по очень узкому каньону с крутыми серыми стенами, испещренными множеством темноватых теней, которые мистер Томпкинс принял было за какие-то пустынные растения.

Внезапно его окружили десять или пятнадцать собак, крупных и маленьких. Собаки были различных пород и громко лаяли.

«Пусть себе лают, — подумал мистер Томпкинс. — По крайней мере они не столь агрессивны, как мои пищеварительные ферменты! Но откуда в моем мозге взялись все эти собаки, и что они здесь делают?»

— Назад, оголтелые! — крикнул кто-то сзади, и собаки послушно отступили, так и не тронув мистера Томпкинса. Обернувшись, мистер Томпкинс увидел перед собой человека весьма преклонных лет с кустистой белой бородой. Незнакомец приближался, поднимаясь со дна каньона.

— Ничего, они не кусаются. Рад вас видеть! — сказал он, протягивая руку и, заметив на лице мистера Томпкинса недоумение, пояснил:

— Я сказал по-русски, что собаки не кусаются. Это прекрасные собаки. Я использую их в своих опытах. Добро пожаловать в Страну Церебрум.

— Церебрум, — повторил мистер Томпкинс. — Мне кажется, что это — ученое название головного мозга. Вы хотите сказать, что я действительно нахожусь внутри собственного черепа, а эти пустынные растения, покрывающие стены каньона, — нервные клетки, которые управляют моей памятью, моими мыслями и желаниями?

— Совершенно верно, — подтвердил незнакомец. — Вы находитесь на дне так называемой сильвиевой щели, глубокой расщелины в коре головного мозга, начинающейся в нижней части каждого



*«Ничего», — сказал пожилой джентльмен, протягивая руку. (С разрешения д-ра Дж. З. Янга из Университетского колледжа в Лондоне.)*

полушария и изгибающейся затем вверх и назад вдоль боковой поверхности полушария. Очень много ваших сенсорных и моторных, или двигательных, центров расположены в сильвиевой щели. Как вы видите, от каждого нейрона отходят несколько ветвящихся щупалец, или волокон, расходящихся во все стороны. Нейроны действительно напоминают какие-то фантастические пустынные растения, как вы и подумали. Некоторые из волокон относительно короткие. Они служат интеркоммуникационными связями между несколькими ты-

сячами миллионов нейронов, образующих ваш мозг. Другие волокна длинные и, проходя внутри вашего позвоночника, достигают самых удаленных частей вашего тела, связывая головной мозг с различными органами чувств и мышцами, каждый бит информации, воспринимаемый вашими органами чувств, посылается в мозг по входным волокнам, известным под названием дендритов. Как только информация поступает в кору больших полушарий, центральный нейронный совет принимается деятельно обсуждать, что с ней делать, и, приняв решение, посылает команды мышцам по длинным выходным моторным волокнам, получившим название аксонов.

— Очень похоже на электронные компьютеры с их входными и выходными каналами, ведущими к центральному вычислительному блоку, — заметил мистер Томпкинс. — Мне бы хотелось увидеть, как в действительности работает мозг.

— Нет ничего проще! Смотрите! — с энтузиазмом воскликнул незнакомец, наступая своим тяжелым правым ботинком на любимую мозоль мистера Томпкинса. — Сейчас вы увидите, как выглядит ваше ощущение боли.

И мистер Томпкинс увидел, как возбуждение охватило весь склон сильвиевой щели. Его сенсорные центры получили тревожный сигнал от пальцев ноги и теперь запрашивали моторные центры, какие ответные действия им следует предпринять. Несколько тревожных сигналов направились к нейрону по его ветвящимся дендритам. Едва поступающие сигналы достигли основного тела нейрона, как по отходящему от него аксону отправился в дальнюю дорогу новый импульс.

— Сигналы распространяются со скоростью около трехсот километров в час, — сообщил незнакомец, — но сейчас вы наблюдаете их в другом масштабе времени. Эти сигналы, по-видимому, только теперь достигли конечной цели, так сказать, пункта назначения.

— Ой! — вскрикнул мистер Томпкинс, выдергивая ногу из-под ботинка незнакомца.

— Я не хотел сделать вам больно, — улыбнулся незнакомец, — но вы сами сказали, что хотели бы увидеть, как действует ваша нервная система. Вот этот нейрон связан с вашими органами речи, а сигнал, который на ваших глазах вышел из него, был послан вашим голосовым связкам и содержал команду, повинуясь которой, они издали громкий звук, предположительно с целью испугать того, кто причиняет вам боль.

— И заодно команду моей ноге, чтобы она отдернулась, — добавил мистер Томпкинс.

— Вот в этом вы заблуждаетесь, — возразил незнакомец. — Столь элементарное действие может быть совершено при участии одних лишь низших отделов вашего нейронного совета. Они составляют спинной мозг, который занимает всю полость внутри вашего позвоночника сверху донизу. Даже если отсечь вам голову, то и тогда



вы все равно могли бы отдернуть ногу. По крайней мере, лишённые головы, лягушки отдергивают лапки. Но, разумеется, без головы вы вряд ли смогли бы вскрикнуть «Ой!».

Вы совершенно правильно сравнили нейронную систему человеческого мозга с системой реле электронных компьютеров. В биологии контакты между нейронами называются синапсами. Многие такие контакты возникли в результате спонтанных мутаций на ранних этапах истории эволюции. Обретенные организмом контакты передавались из поколения в поколение с помощью вполне регулярных наследственных процессов и естественного отбора. Учиться тому, что, почувствовав боль, ногу следует отдернуть, вам не нужно. Такое поведение принято называть инстинктом, или врожденным рефлексом. Но другие, более сложные действия (например, наступив кому-нибудь на ногу, вы произносите фразу «Прошу прощения!») не принадлежат к числу наследственных. Им необходимо специально учиться в каждом отдельном случае. Такое поведение я называю условным рефлексом.

— Возьмем, к примеру, хотя бы этого Барбосика, — продолжал незнакомец, с нежностью опуская руку на голову красивого ирландского сеттера, присевшего рядом с ним. — Его приучили, что когда он слышит некоторую музыкальную ноту, то одновременно получает пищу. В течение нескольких дней мой ассистент тянул эту ноту на скрипке, когда Барбосику давали пищу. При этом сигналы, посылаемые вкусовыми сосочками языка, поступали одновременно с сигналами от слуховых нейронов, и между вкусовыми и слуховыми нейронами установилась связь. Так как сигналы представляют собой импульсы электрического тока, установление связи можно мыслить как создание каналов проводимости между нервными волокнами, которые до того были изолированы друг от друга. Но как только изоляция пробита, связь между нервными волокнами становится устойчивой, и звуковой сигнал ошибочно принимается за вкусовой. Поскольку каждая собака обладает врожденным рефлексом, заставляющим ее слюнные железы выделять слюну, как только язык почувствует вкус пищи, рот Барбосика наполняется слюной всякий раз, стоит ему слышать заветную ноту, извлекаемую ассистентом из скрипки.

Разумеется, это всего лишь простейший пример. Но я глубоко убежден, что все наши действия, в том числе и самые сложные, основаны на такого рода рефлексах, приобретенных либо в ходе эволюции животного как вида, либо на протяжении жизни данного индивида. Значительная часть обучения состоит в установлении связи между двумя и более объектами — в нажатии на тормоза при виде красного света или в замене суммы  $2 + 3$  на число 5. Такие ассоциации изучались многими различными способами, но я горжусь тем, что мои собачки заложили основу для понимания многого из того, что происходит в головном мозге.

— Но в случае электронных компьютеров, — задумчиво проговорил мистер Томпкинс, — схема связей между реле возникает в головах ее создателей. А кто придумывает схему связей между нейронами человеческого мозга? Может быть, эту сложнейшую схему придумывает какое-нибудь сверхсущество?

— Вопрос, что и говорить, интересный, — с готовностью призывал незнакомец. — Я могу ответить на него, хотя и в общих чертах. Не следует забывать о том, что на создание самого сложного электронного компьютера уходит всего лишь несколько лет, тогда как на создание столь сложной системы, как наш мозг, эволюции живого мира потребовался по крайней мере миллиард лет. И, как и в любом эволюционном процессе, развитие происходило методом проб и ошибок.

— Не могли бы вы описать, как это происходило, более подробно? — попросил мистер Томпкинс.

— Охотно, — согласился незнакомец, — но для этого мне придется прочитать вам небольшую лекцию. Человеческий мозг состоит примерно из  $10^{10}$  компонентов, числа, фантастического для любого инженера-компьютерщика. На первый взгляд может показаться, что понять, как функционирует человеческий мозг, — дело безнадежное. Однако у многих существ мозг устроен гораздо проще. Мы можем исследовать более простой мозг и, изучая его эволюцию, понять очень и очень многое.

Первоначально нервная система не имела никакого отношения к мышлению: ее основная функция заключалась и в значительной мере продолжает заключаться в активации и координации сокращения мышц. Первые мышцы появились у губок. Они открывали и закрывали поры, впуская воду, отфильтровывая которую, извлекали пищу. У губок нет нервов; мышечные клетки сами обладают чувствительностью, например, к химическому составу воды, и реагируют, заставляя мышцы сокращаться или расслабляться.

Некоторые клетки позднее специализировались на проведении импульсов от сенсорных клеток к мышцам. Если на сенсорную клетку подействовать светом, запахом или каким-нибудь другим раздражителем, то она через такие специализированные клетки пошлет сообщение группе мышц, приказывая им сократиться или расслабиться. Это то, что мы называем рефлекторной дугой, и в своей простейшей форме такая дуга срабатывает совершенно автоматически. Запах пищи, вызывающий выделение слюны во рту Барбосика, действует через рефлекторную дугу.

По мере усложнения организма группы нервов оказываются связанными с координационной активностью. Превосходным примером может служить угорь. Он плывет, совершая волнообразные сокращения мышц своего тела. В любой момент времени сегменты мышц его тела с одной стороны сокращены, а с другой расслаблены, кажется,

что достичь этого очень просто, но в действительности получить волнообразное движение можно только с помощью достаточно «хитрой» и обширной нейронной сети, в чем вы легко можете убедиться, если попытаетесь организовать волнообразное движение сами. Мышцы обладают нервами двух типов. Нервы одного типа, так называемые моторные, или двигательные, передают сигналы на сокращение; сенсорные нервы передают сигналы независимо от того, сокращены мышцы или расслаблены. И те, и другие нервы подходят к специальному центру, который называется ганглием, где происходит обработка сигналов и команд. Если в ганглий поступает сигнал о том, что одна сторона должна сократиться, то другой стороне отправляется команда расслабиться, и одновременно исходят другие команды, чтобы другая сторона после расслабления начала сокращаться.

Каждый сегмент тела имеет в спинном мозге свой собственный центр, и этот центр, или ганглий, действует, как миниатюрный головной мозг. А поскольку сегменты тела должны действовать согласованно, ганглии связаны между собой и обмениваются сигналами, в результате чего возникают не просто хаотические движения, а по телу угря пробегает волна сокращений.

Такие волновые движения образуют своего рода модули, из которых строится движение. При виде рачка (пища) или тени врага (опасность) в центры поступает сигнал, означающий «ускорить волнообразное движение», другие сигналы прекращают или замедляют волнообразное движение. Примерно то же происходит с автомобильным двигателем: он только реагирует на нажатие педали газа, но «не интересуется», почему педаль нажата.

Что же касается «модульной системы» формирования движения, то она вам хорошо известна: вы идете или бежите совершенно автоматически, коль скоро соответствующий сигнал вами отдан. И только в том случае, если вы страдаете каким-нибудь неврологическим нарушением, вы начинаете сознавать, как сложна в действительности ходьба.

Несколько простых модульных действий координируются в один модуль действия более высокого ранга, например, в действие по сигналу: «Принять пищу». Оно включает в себя несколько модульных действий более низкого ранга, например, действий по сигналам: «Плыть», «Укусить», «Проглотить». Центр более высокого ранга управляет центрами более низкого ранга «Плыть», «Укусить» и «Проглотить» и координирует их, так что один-единственный сигнал «Принять пищу» вызывает подчиненные сигналы в надлежащем порядке.

Здесь действует принцип иерархической упорядоченности, хорошо знакомый нам по многим структурам в человеческом обществе. Команда «Боевая тревога!», отданная на авианосце, немедленно вызывает серию из нескольких рутинных вспомогательных операций:

корабль изменяет курс так, чтобы ветер был встречным, самолеты получают боезапас, с пилотами проводится предполетный инструктаж. Каждая из крупных вспомогательных операций в свою очередь подразделяется на более мелкие. Цепочка завершается простейшими модульными действиями, такими, как нажатие кнопок, приводящих в действие подъемники или вызывающих срабатывание катапульта. Все вспомогательные операции связаны сигналами с соответствующим центром, человеком или каким-нибудь устройством, обеспечивающим одновременное или последовательное выполнение вспомогательных операций.

Разумеется, как я только что сообщил вам, действие рефлекторной дуги может быть изменено за счет выработки условного рефлекса, поэтому организм пластичен и адаптируем. В общем случае чем больше мозг, тем легче адаптируется организм.

— Из сказанного вами, — прервал объяснения мистер Томпкинс, — я делаю вывод, что в конечном счете контроль осуществляется сигналами, поступающими от органов чувств.

— Я бы сказал «на основе таких сигналов», — поправил незнакомец, — мозг реагирует только на обработанные сигналы. Глаз, например, не только передает в мозг то, что видит. Он «размышляет» над тем, что видит, и сообщает мозгу свои «размышления».

— Глаз размышляет? — недоверчиво переспросил мистер Томпкинс.

— Это не покажется вам столь странным, если вы вспомните, что эмбриологически глаз возникает как отросток головного мозга и по сути дела остается частью мозга. Когда я сказал, что глаз мыслит, я имел в виду, что глаз обрабатывает визуальные, или зрительные, данные.

Должно быть, вам приходилось читать, что глаз действует так же, как фотоаппарат или кинокамера: хрусталик глаза отбрасывает изображение на светочувствительные клетки, образующие так называемую сетчатую оболочку. Оттуда изображение передается в мозг в виде серии точек переменной яркости, как от телевизионной камеры. Такое сравнение не вполне правильно, клетки сетчатой оболочки действительно образуют светочувствительную оболочку, но поле светлых и темных пятен не сообщает мозгу никакой информации до тех пор, пока та не будет обработана. Анализ означает две вещи: во-первых, интерпретация темных и светлых пятен, во-вторых, выбор из визуального поля того, что наиболее значимо.

Сетчатая оболочка обладает сетью нервных клеток, соединенных со светочувствительными палочками и колбочками, а также между собой. Небольшие участки сетчатой оболочки соединены таким образом, что откликаются на следующие аспекты изображения:

- а) четкую границу между светлым и темным;
- б) движение выпуклой границы, более темной с выпуклой стороны;

- в) изменение контраста между точками на участке;
- г) уменьшение света на участке;
- д) реакция пропорциональна средней освещенности глаза.

Участки сетчатой оболочки, о которых идет речь, перекрываются так, что мозг получает информацию обо всех перечисленных мной аспектах на любом участке сетчатой оболочки.

Как вы видите, мозг получает от глаза информацию, которая в значительной мере уже обработана, а дальнейшая обработка происходит уже в самом мозге. Кое-какие намеки относительно того, как информация обрабатывается нашим головным мозгом, мы можем извлечь из так называемых оптических иллюзий, о которых вам, несомненно, приходилось слышать. Например, несколько линий, начерченных на плоском листке бумаги, мозг обрабатывает так, что они начинают означать «куб в трехмерном пространстве». А поскольку два куба — тот, у которого видна верхняя грань, и тот, у которого видна нижняя грань, — изображаются одинаково, при продолжительном разглядывании куба вы начинаете попеременно видеть то один куб, то другой.

Еще более информативна «иллюзия водопада». Если вы в течение некоторого времени будете пристально разглядывать какое-нибудь непрерывное движение, например, водопад или пятнышки на движущемся приводном ремне, а затем переведете взгляд на какой-нибудь неподвижный предмет, то вы увидите его движущимся. Самое любопытное заключается в том, что хотя вы будете видеть предмет движущимся, вы совершенно ясно будете видеть, что он не изменяет своего положения в пространстве.

Урок, который можем извлечь из сказанного, заключается в утверждении, что на определенном уровне функционирования нашего мозга «движение» не имеет ничего общего с «изменением положения в пространстве». Мы ассоциируем эти два понятия потому, что обычно обработка наших визуальных данных определяет «движение» и «изменение положения» из одного и того же набора данных. Но в действительности они не всегда тождественны, и в тех случаях, когда эти понятия расходятся, мы говорим об иллюзии. В действительности мы имеем дело всего лишь с обычной обработкой несколько необычных данных. То, как мы видим вещи и анализируем их по категориям восприятия, таким, как «движение», «трехмерное пространство», «дискретный объект», определяется тем, каким методом пользуется наш мозг при обработке данных.

— Если я не ошибаюсь, — робко заметил мистер Томпкинс, — то столь сложная обработка необходима только для информации, поступающей от глаза. Звуки не требуют анализа.

— Боюсь, что вы все же заблуждаетесь, — возразил незнакомец. — Возьмем, например, музыку. Если вы можете слышать только отдельные звуки, то музыка для вас не существует. Собаки никогда

не слушают радиоприемник ради удовольствия, хотя могут различать некоторые простые мелодии. Чтобы наслаждаться музыкой, вы должны обладать способностью выделять из отдельных звуков определенный временной узор, или, как принято говорить, паттерн, а это требует тренировки. Некоторые люди с недостаточной тренировкой не могут выделить из звуков ничего, кроме простого ритма, создаваемого ударником на барабанах. Поклонники симфонической музыки выделяют из слышимых звуков более сложные паттерны, включающие звуки, издаваемые группой ударных инструментов, и многое другое.

Вы легко можете понять, в чем здесь дело, рассматривая немзыкальный пример. Если вы выпишете последовательность чисел 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9..., то почти всякий распознает паттерн — закономерность, или правило, по которому построена последовательность: каждое следующее число на единицу больше предыдущего. Запишем теперь другую последовательность: 1, 4, 9, 16, 25, 36, 49, .... Правило ее построения по-прежнему просто. Это предыдущая последовательность, каждый член которой возведен в квадрат. Но запишем теперь последовательность 1, 2,  $4\frac{1}{2}$ ,  $10\frac{2}{3}$ ,  $26\frac{1}{24}$ , ....

Большинству людей разгадать правило, по которому образована эта последовательность, будет очень и очень нелегко, хотя оно не очень сложное:  $n$ -й член последовательности равен  $\frac{n^n}{n!}$ . Иначе говоря, любое натуральное число нужно возвести в равную ему степень, например,  $3^3 = 27$ , а результат разделить на  $n!$ , т. е. на произведение этого числа на все предшествующие натуральные числа. Например,  $3!$  означает  $3 \cdot 2 \cdot 1 = 6$ . Нетрудно придумать столь сложное правило, что даже самый искусный математик встанет в тупик и не сможет его установить.

Это напоминает мне одну историю. Некий физик, работавший в Вашингтоне, любил решать такого рода задачи. Его сын, студент Колумбийского университета, послал ему последовательность чисел 14, 23, 28, 34, 42, 49, 57, ... и вопрос: «Какое число следующее?» Поломав над задачей голову целую неделю, отец послал сыну телеграмму: «Сдаюсь. Какое же число следующее?» Ответ гласил: «Центральный Парк», так как последовательность чисел была, как оказалось, составлена из номеров станций метро, расположенных на линии, ведущей к станции «Центральный Парк». Возможно, что сын обошелся с отцом не вполне уважительно.

Но вернемся к музыке. Ясно, что временные паттерны не должны быть настолько простыми, чтобы они могли наскучить, но вместе с тем не должны быть настолько сложными, чтобы их нельзя было распознать. Возможности человеческого мозга ограничены. Можно создавать симфонии, которые намного превзойдут симфонии Бетковена по красоте мелодий и тонкости оркестровки, но если человеческий мозг не сможет распознать таящийся в них временной паттерн, мы будем воспринимать эти шедевры лишь как шум. Более того, да-

же симфонии Бетховена звучат как шум не только для шимпанзе, но и для многих людей, не имеющих музыкальной подготовки, поскольку и те, и другие неспособны распознавать достаточно сложные паттерны. В конечном счете все сводится к способности обрабатывать данные.

— А почему мозг использует абстрактные паттерны? — поинтересовался мистер Томкинс. — Почему бы ему не использовать ощущения напрямую?

— Дело в том, что ощущений слишком много, и, кроме того, большинство из них не имеет отношения к тому, что нас интересует в тот или иной момент, или, как говорят, большинство сигналов иррелевантно. Со многими ситуациями такого рода вы знакомы по собственному опыту. Например, если вы играете в теннис, то ваши глаза получают изображения бесчисленного множества вещей, но обработка данных обеспечивает вашу реакцию (субъективно вы «сосредоточиваете внимание») только на самом главном, или, «поученому», релевантном, т. е. на мяче и партнере. Еще лучше пример с вождением автомашины. Если вы сосредоточите внимание на иррелевантных деталях обстановки, вместо того, чтобы сосредоточить его на дорожном движении, то вряд ли вам удастся уехать далеко.

Для нас многие вещи существенны в одно время и несущественны в другое время, но для более простых животных перечень данных, релевантных для действия, не слишком обширен. Например, лягушка не обращает никакого внимания на любой объект, который не движется. «Малый движущийся объект» очень важен, так как он означает пищу; «большой движущийся объект» важен, так как он означает врага. Такое упрощение ситуации подчас приводит к роковым последствиям, так как неподвижная цапля в мгновение ока может превратиться из объекта, не имеющего никакого значения, в объект, имеющий жизненно важное значение. Однако в общем случае простое разделение объектов на движущиеся и неподвижные, а движущихся — на малые и большие вполне достаточно для потребностей лягушки.

У некоторых очень простых животных обработка данных настолько ограничена, что они могут одновременно «держать в голове» только что-нибудь одно и реагировать на сигналы только в определенном фиксированном порядке. Например, существует оса, которая охотится на пчел. Запах пчелы сперва не вызывает у нее интереса, так как оса первоначально реагирует только на движущийся объект размером с пчелу. Завидев такой объект, оса летит к нему с наветренной стороны. На этом этапе основную информацию несет запах. Оса атакует жертву, если та пахнет, как пчела. После того, как оса атакует, запах становится несущественным, и оса жалит свою жертву только в том случае, если ее тактильные ощущения говорят ей, что она держит пчелу. Как вы видите, зрение, обоняние и тактильные ощущения взаимно исключают друг друга.

— Я, кажется, понял, — произнес мистер Томпкинс. — Коль скоро мозг обработал сигналы и принято решение о том, что они существенны, он сообщает телу, что нужно делать!

— Именно так! — подтвердил незнакомец. — Хотя иногда единственное действие может заключаться в том, чтобы записать сигнал в памяти. Замечу между прочим, что довольно часто чем интенсивнее сигнал, поступающий в мозг, тем сильнее действие. Например, неожиданно раздавшийся громкий звук хлопка или выстрела заставит нас зажмуриться или подпрыгнуть с большей вероятностью, чем какой-нибудь тихий звук. Иногда это приводит к забавным последствиям. В английском языке имеется специальный термин «release» для обозначения сигнала, вызывающего осуществление сложного инстинктивного действия. Например, круглый предмет, напоминающий по форме яйцо, при подходящих условиях может вызвать у птиц поведение, присущее им при высиживании птенцов.

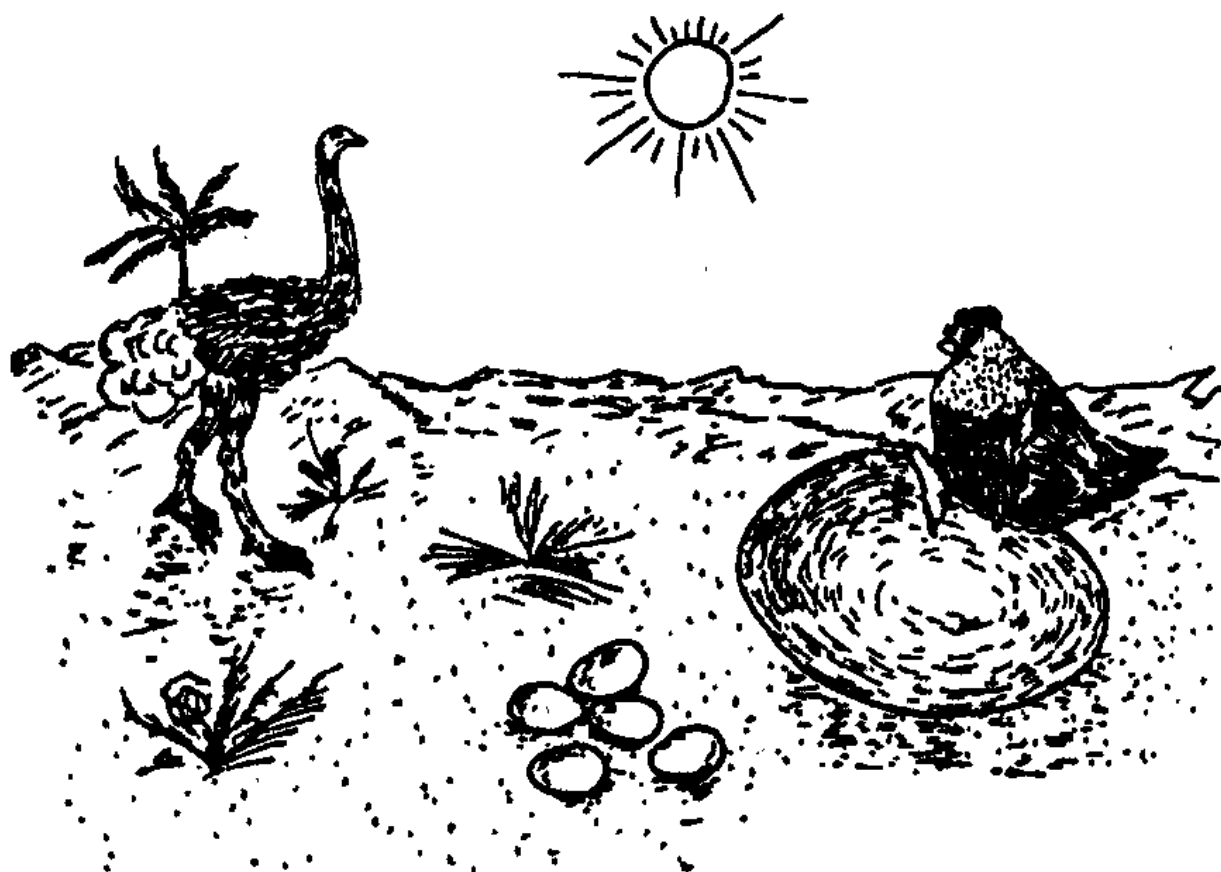
При виде гигантского яйца птица может даже оставить свою собственную кладку, прельстившись гигантом. Это пример поведения по принципу «чем больше, тем лучше», который хорошо известен мужчинам и является одним из основ процветания Голливуда, мужчины находят восхитительными некоторые изгибы женской фигуры, а Голливуд эксплуатирует тот факт, что более крутые изгибы еще более привлекательны.

— Теперь я понимаю, что между МАНИАКом и человеческим мозгом имеются некоторые существенные различия, — произнес мистер Томпкинс.

— Разумеется, различия имеются, — подтвердил незнакомец. — Одно из важных различий между мозгом и компьютером заключается в том, что мозг в отличие от компьютеров приводится в действие внутренними стимулами. Как я уже имел честь сообщить вам, мозг среди прочего обладает координированной системой центров, управляющих «модульными» действиями. Достаточно сложные системы модульных действий называются инстинктами. Примерами инстинктов могут служить утоление голода, спаривание, постройка пауками сетей или миграция птиц на юг. Мозг устроен так, что каждая из названных мной систем (или каждый из инстинктов) со временем спонтанно становится активной, причем тенденция к активности со временем нарастает. Коль скоро соответствующая активность началась, вызвавший ее стимул постепенно исчезает, а затем возникает снова.

Например, способность курицы клевать активизируется при виде зерна. Насытившись, курица как бы вообще утрачивает способность клевать. Если курица испытывает обычный голод, то она начинает снова клевать зерно. Если же курица испытывает очень сильный голод, то она начинает клевать землю, даже если на ней нет ни единого зернышка. «Пустой» мы называем такую активность, которая вызвана настолько сильным внутренним побудительным импульсом, что она начинается даже в отсутствие запускающего ее стимула.





Птица может оставить свою собственную кладку, прельстившись гигантским яйцом

Важно, что если внутренний импульс не может постепенно исчезнуть обычным способом, то он может сойти на нет через другую систему действий. Например, рыбка, известная под названием трехглая колюшка, охраняет свою территорию от проникновения других самцов того же вида. Как правило, хозяин территории сражается с непрошеным гостем тем яростнее, чем ближе он находится к центру своей территории. Наоборот, чем глубже он сам вторгается на чужую территорию, тем менее охотно он проявляет готовность вступить в схватку с хозяином и обычно пускается в бегство, как бы признавая свою вину. В результате между территориями двух самцов колюшки устанавливается четкая граница.

Но если самцы колюшки вынуждены ютиться на перенаселенной территории, то каждый из них занимает индивидуальную территорию, которая значительно меньше, чем должна была бы быть. У границ своих владений самцы трехглай колюшки раздраемы двумя системами действий, ни одной из которых они не могут отдать предпочтение, — вступить в бой с соперником или пуститься наутек? Не найдя естественного выхода, внутренние побудительные мотивы изливаются в новое русло, и в дело вступает третья система активности — выкапывание норки в песке. Такого рода активность менее всего можно назвать адекватной; она лишь позволяет самцам

колюшки избавиться от внутреннего импульса, лишенного обычного выхода.

Такое поведение называется смещенной активностью. Ее проявления хорошо известны у человека. Например, в отчаянии человек заламывает руки, а будучи чем-нибудь озадачен, чешет в затылке. Менее тривиальные случаи смещенной активности называются в психиатрии «сублимациями». Когда Данте узнал, что его возлюбленная Беатриче отошла в мир иной, его активность приобрела смещенный характер: он начал в поэтической форме описывать свои странствия в чистилище, раю и аду.

— Мне кажется, что в ваших объяснениях кроется какая-то ошибка, — заметил мистер Томпкинс. — Ведь вы утверждали, что внутренние импульсы активируют инстинкты. Но людьми движут не инстинкты, люди — существа рациональные.

— Никто и не ставит под сомнение, что активность людей отличается от активности животных, стоящих на более низких ступенях развития, — возразил незнакомец. — Я лишь хочу сказать, что различие между человеком и низшими формами жизни в какой-то мере напоминает различие между настольным калькулятором и электронным компьютером. Настольный калькулятор может производить операции сложения, вычитания, умножения и деления. Компьютер помимо этих операций может хранить промежуточные результаты и обращаться к ним по мере надобности весьма нетривиальным способом, что позволяет решать с помощью компьютера более сложные задачи. Но и их решение сводится к повторению элементарных операций, таких, как сложение и умножение. Если же система становится более сложной, то возникают всевозможные новые аспекты, которые невозможно предугадать, изучая более простую систему.

Наши инстинктивные импульсы побуждают нас к действиям точно так же, как они побуждают животных, и наша активность в конечном счете направлена к удовлетворению этих импульсов. Различие заключается в том, как мы, люди, делаем это. Так как число контролирующих центров и связей между ними у человека гораздо больше, чем у какой-нибудь рыбы, человек может удовлетворять свои инстинкты гораздо более тонко. Прежде всего, мы можем снабжать центры нашего мозга, которые занимаются вычислениями, гораздо более обильными данными, как вновь поступающими, так и хранимыми в памяти, и выполнять то, что работающий на компьютере оператор назвал бы численным моделированием. Иначе говоря, мы можем мысленно представить себе детали выбранного нами курса действий, а это позволяет определить препятствия, мешающие его осуществлению, не прибегая к воплощению намеченного курса в жизнь. Если моделирование позволяет обнаружить препятствие, то мы можем испытать другие курсы, моделируя каждый из них, — до тех пор, пока не найдем приемлемое решение. Разумеется, животные до какой-то степени умеют делать то же самое. Если на пути

собаки поставить стену, то собака довольно быстро сумеет обойти ее. Но цыпленок не так умен: он будет упорно стремиться пробиться сквозь стену, тщетно пытаясь преодолеть препятствие.

Способность моделировать ситуации позволяет человеческому мозгу в весьма высокой степени удовлетворять инстинктивные импульсы косвенно, заменяя достижение одной первичной цели достижением нескольких вторичных целей. Например, и у людей, и у цыплят существует инстинкт утоления голода. Но все цыплята удовлетворяют этот инстинкт, клюя пищу, если таковая имеется. Люди же добывают пищу, даже если ее нет в готовом виде. Они могут сначала построить лодку, затем отправиться на лодке ловить рыбу и только потом съесть добычу. Строительство лодки — вторичная цель, которая ставится и достигается только для достижения главной, или первичной, цели, — утоления голода.

Но, вводя вторичные цели для достижения главной цели — удовлетворения инстинктивного импульса, человек часто придает вторичной цели столь большое значение, что первичный импульс переходит на нее как своего рода смещенная активность. Хорошим примером может служить наука. Для многих ученых исследование само по себе является конечной целью их деятельности безотносительно к практическому результату или личной выгоде. Существует сколько угодно других примеров из области искусства, бизнеса и политики.

— И, как мне думается, банковского дела, — задумчиво добавил мистер Томпкинс. — У компьютера есть память, так как ему приходится запоминать промежуточные результаты вычислений. Мне кажется, что в человеческом мозге также имеется нечто вроде картотеки или чего-нибудь в том же духе. Может быть, это хранилище памяти расположено вблизи сильвиевой щели?

— К сожалению, я могу сообщить вам лишь весьма скудные сведения, — ответил незнакомец. — Хранилище воспоминаний действительно существует, но оно совсем не похоже на картотеку или на память компьютера. Любое отдельное воспоминание не локализовано; оно хранится во всем мозге. Если часть мозга удаляется в результате хирургической операции, то память о чем-либо ослабевает примерно пропорционально количеству удаленной мозговой ткани, но ничего специфического при этом не утрачивается. Ослабление памяти не похоже на то, что одни карточки изымаются из картотеки, а другие остаются.

Хотя мы почти ничего не знаем об изменениях, которые происходят в мозге, когда он что-то вспоминает, нам хорошо известно, что существует кратковременная, или оперативная, и долговременная память. Если что-нибудь вспоминается, то сначала оно переводится в кратковременную память и остается там в течение примерно двадцати минут. Если вы впадаете в кому, а затем приходите в себя, то вам не удастся вспомнить ничего из того, что происходило

в течение последних двадцати минут перед тем, как вы потеряли сознание. Главным образом по этой причине принято считать, что кратковременная память представляет собой нервный импульс, распространяющийся туда и обратно по цепи, подобно эху, отражающемуся между двумя скалами. После двадцати минут память «восстанавливается» и может хранить воспоминания хоть сто лет, если вы проживете так долго. Долговременная память, по-видимому, представляет собой некоторую разновидность структурного изменения, возможно, образование новых проводящих путей в результате возникновения новых синапсов между нейронами. Но истинные механизмы кратковременной и долговременной памяти неизвестны.

— Мне хотелось бы задать вам личный вопрос, не возражаете? — осведомился мистер Томпкинс. — Вы сказали, что если в память попали какие-то числа, имена, стихи или что-нибудь еще в том же роде, то она их «фиксирует» и может хранить сто лет, разумеется, при условии, что обладатель памяти проживет столько. Не помните ли вы молодого человека (недавно ему исполнилось шестьдесят лет) по имени Антонович?<sup>1)</sup> Он рассказывал мне, что в бытность свою студентом прослушал курс общей физики, который читал ваш сын — профессор университета. Антонович часто бывал у вас дома, и вы научили его играть в городки.

— Как же, как же! — оживился незнакомец. — Великолепно помню того тощего длинного юношу со светлыми волосами, которого сын приводил к нам на ужин. Хотя прошло почти полвека, я отлично помню, что в городки он играл прескверно. Кроме физики и астрономии Антонович увлекался парусным спортом и был заядлым любителем поэзии. Он знал наизусть бесчисленное множество стихотворений, которые запомнил в детском саду, школе и университете, и они все накрепко врезались ему в память, как бороздки — в граммофонную пластинку.

— Антонович рассказывал мне, — прервал незнакомца мистер Томпкинс, — что несколько лет назад он заключил пари, что сможет два часа подряд без передышки читать наизусть стихи, и выиграл, но получил сильнейший ларингит и был вынужден отказаться на несколько дней от чтения лекций. Тогда же Антонович поведал мне, что в молодые годы мог запомнить длинную поэму, прочитав ее всего лишь несколько раз, а теперь память стала уже не та. И хотя ему очень нравится поэма современного русского поэта (если я не ошибаюсь, К. Симонова), но может прочитать наизусть лишь несколько строф, хотя перечитывал ее неоднократно. Хотя Антонович прекрасно помнит имена своих школьных соучеников и учителей, он с большим трудом запоминает имена своих университетских коллег

<sup>1)</sup> Для мистера Томпкинса, не знавшего русского обычая называть хорошего знакомого по отчеству, «Антонович» звучало как экзотическое имя. Молодым человеком, о котором идет речь, был автор — Георгий Антонович Гамов. — *Прим. перев.*

и студентов. Разве это не означает, что воспоминания юности остаются навсегда и не стираются с годами, как старые граммофонные пластинки, а способность запоминать новое с возрастом ослабевает? Не означает ли это, что мозг настолько переполнен старыми воспоминаниями, что для новых просто не остается места?

— Это очень интересный и вместе с тем очень трудный вопрос, — признал незнакомец. — Труден же он потому, что, как я вам уже говорил, мы не понимаем, как действует наша память. Однако установлено, что в общем случае клетки, если они не делятся, с возрастом стареют, причем старение проявляется по-разному, и в конце концов клетки умирают. Клетки мозга после того, как он полностью сформирован, не претерпевают делений. Поэтому если запоминание требует установления новых связей, возникающих в результате разрастания ответвлений нервных клеток, то вполне разумно предположить, что у тех, кто постарше, такие связи образуются не столь легко, как у более молодых людей. Кроме того, возможно, что существуют и другие факторы. У человека постарше под влиянием предыдущего опыта сложились определенные интересы и способности сформулировались в определенных направлениях, или, если говорить в менее лестных терминах, человек постарше многое делает по-своему, например, некоторые вещи он может не запоминать потому, что сознательно или неосознанно он считает их менее важными. Но с ответом на ваш вопрос следовало бы подождать до тех пор, пока мы не станем лучше понимать, что такое наша память.

Мистер Томпкинс был в полном восторге. Еще бы! Впервые за время своих странствий по собственному организму он явственно ощутил, что живая материя, неизмеримо более сложная, чем обычное «неживое» вещество, подчиняется тем же фундаментальным физическим законам, которые управляют всеми другими процессами во Вселенной. Все же мистеру Томпкинсу очень хотелось знать, как вписываются в наблюдаемую им собственными глазами картину такие используемые философами понятия, как «сознание», «душа» и «я».

— Знаете, — обратился мистер Томпкинс к незнакомцу, — мне не дает покоя один вопрос. Я очень хорошо понимаю теперь, как функционируют мое тело, мое сердце, мои легкие, желудок, мышцы, нервы и даже головной мозг. Но кто я? Сдается мне, что за все время странствий внутри собственного организма я так и не встретил самого себя!

— О! — воскликнул незнакомец и улыбнулся в усы. — Позвольте мне ответить вопросом на вопрос. Представьте себе, что в вашем городе объявился некий модный доктор Икс, утверждающий, будто ему удалось открыть секрет омоложения. Он создает свою клинику и обещает за считанные недели вернуть молодость каждому пациенту за умеренную плату. Сначала люди относятся к утверждениям доктора Икс с изрядной долей скептицизма, но вскоре обнаруживают, что тот, по-видимому, действительно владеет секретом омоложения.

Заслуженный профессор местного университета, хорошо известный доктор М. после трехнедельного лечения в клинике доктора Икс помолодел настолько, что снова стал играть, как в юные годы, за университетскую футбольную команду. Известную общественную деятельницу миссис Р. доктор Икс по ее просьбе омолодил настолько, что узнать ее после выхода из клиники смогли только родители, но не муж. Во множестве других случаев пациенты омолодились не столь сильно, но все же почувствовали после курса лечения необычайный прилив сил и присущую молодым бодрость. Что же касается самого курса омоложения, то его окутывала непроницаемая завеса тайны. После поступления в клинику пациентов немедленно погружали в сон, и первое, что они видели после пробуждения, был счет за пребывание в клинике и зеркало, после чего их немедленно выписывали. Предположим, что вы хотите сбросить лет двадцать или тридцать и ложитесь в клинику доктора Икс. Но тут происходит нечто неожиданное, а именно вам перед усыплением случайно удается подслушать разговор двух медсестер, из которого вы узнаете, в чем состоит метод омоложения, используемый доктором Икс. Суть метода сводится к следующему. При клинике где-то в сельской местности существует секретная ферма, на которой из полученных различными полудегальными путями младенцев выращиваются более зрелые особи. Все они находятся в отличном физическом состоянии, соответствующем их возрасту, но их мозг абсолютно пуст. Когда в клинику поступает новый пациент и указывает возраст, к которому он или она хотели бы вернуться, на ферме подбирают существо подходящего возраста и внешности. В случае необходимости «безмозглому» телу с помощью пластической операции придается точное сходство со старыми фотографиями пациента. Затем наступает самая важная часть омоложения, которую по праву можно считать научным достижением доктора Икс. Ваше новое тело и вас самих помещают рядом на госпитальной койке и с помощью чувствительнейшей электронной системы все синапсы, существующие между нейронами в вашем мозгу, тщательно копируются в мозгу более молодой персоны. Как вы знаете, в принципе это возможно. В результате вы обретаете «рождественского близнеца», который моложе вас, но обладает всей вашей памятью, всеми вашими знаниями и другими особенностями, присущими вашему интеллекту. Затем ваше старое тело тем или иным способом умертвляют, от останков избавляются, а новое тело, которое выглядит и ведет себя точно так же, как сбросившее с себя бремя прожитых лет старое тело, выписывают из клиники и передают вашей семье и друзьям.

— Но это же обман! — возмутился мистер Томпкинс. — Такого, с позволения сказать, «доктора» нужно отправить в тюрьму!

— Не волнуйтесь, — успокоил его незнакомец. — Эту историю я выдумал от начала и до конца лишь для примера. По существующим ныне законам такое «омоложение» заведомо считалось бы пре-

ступным. Но задумаемся на минуту над рассказанной мной историей, предположим, что открытие доктора Икс позволяет одну за другой заменять все клетки вашего тела на новые. Такой метод не слишком сильно отличался бы от обычного переливания крови, не так ли? Я не говорю сейчас о правовом аспекте проблемы и привожу ее лишь для того, чтобы задать вам вопрос. Если бы вам стало известно, что именно намеревается проделать с вами доктор Икс, то как бы вы себя повели? Бросились прочь из его клиники с тем, чтобы никогда не возвращаться в ее стены?

— Вне всяких сомнений! — последовал твердый ответ мистера Томпкинса.

— Ваш ответ нелогичен, — заметил с улыбкой незнакомец. — Если вы рассматриваете себя не как собрание материальных клеток вашего тела, а как комплекс ваших абстрактных воспоминаний, мыслей и желаний, то почему вы столь решительно возражаете против переноса всего содержания вашего внутреннего «я» на новую материальную основу? Ведь никто же не возражает против переноса содержания старой записной книжки в новую более красивую записную книжку, если переписывание производится без изменений.

— Полагаю, что вы правы, — признал мистер Томпкинс. — Мне, конечно же, следовало бы подвергнуться операции омоложения, но все же не думаю, что я решился бы на такую операцию.

— Что ж, — рассудительно заметил незнакомец, — когда вы составите свое окончательное мнение по этому вопросу, вам, вероятно, станет ясно ваше отношение к тем философским проблемам, которые вас волнуют.

— Я понимаю, куда вы клоните, — ответил мистер Томпкинс, — но мне не дает покоя мысль о том, будто я представляю собой всего лишь комплекс абстрактных воспоминаний, идей и желаний, как вы изволили выразиться. Воспоминание, мысль, даже желание можно записать на пленке и ввести в компьютер. Но я почему-то убежден, что желание, записанное на пленке, — не совсем то же самое, что желания в моем разуме. По крайней мере, я не думаю, что это одно и то же. Что же позволяет мне ощущать себя самим собой?

— Наука мало чем может быть полезна при поиске ответа на такие вопросы, — возразил незнакомец. — Стандартный ответ обычно сводится к их полному игнорированию. Но такая позиция ученых не вполне честна. Нам необходимо по крайней мере разобраться, почему на подобные вопросы так трудно ответить.

Исследуя что-либо как ученые, мы делим Вселенную на две четко выраженные части: на познающего субъекта, или наблюдателя, и исследуемый объект, или всю Вселенную минус наблюдатель. Затем мы забываем о субъекте, т. е. о нас самих, и приступаем к изучению Вселенной, действуя так, как если бы мы не были ее составной частью.

Сама по себе процедура четкого различения субъекта и объекта исследования превосходна. Она позволила нам во многом постичь природу окружающего нас мира и с помощью технологии, созданной на ее основе, установить контроль над значительной частью среды, в которой мы живем. Тем не менее границы различения субъекта и объекта весьма тонкие, о чем свидетельствуют задаваемые вами вопросы.

Когда вы начинаете вопрошать о природе вашего «я» и тому подобных материях, эти вопросы по своей форме могут казаться научными, но в действительности они таковыми не являются. Наука занимается изучением только того, что допускает объективное описание, иначе говоря, того, о чем любой из нас может сообщить любому другому. Например, вес, размеры или скорость произвольно выбранного объекта допускают чисто объективное описание, и в принципе любой из нас, получив такое описание, может его проверить своими средствами. Что же касается природы вашего «я», то она известна только вам и поэтому не может быть объектом научного исследования в таком же смысле, как это принято понимать в физике. Предположим, например, что вы считаете скульптуру Родена «Мыслитель» прекрасной, а некто утверждает, что она безобразна. Строго говоря, узнав о расхождении во мнениях, я сочту, что вы имели возможность созерцать творение Родена на протяжении большего периода времени, чем ваш неведомый оппонент, но я не имею ни малейшего представления о том, какого рода субъективные ощущения вы испытываете, любясь «Мыслителем» Родена. В этом вы легко можете убедиться, если вместо людей рассмотрите более простые живые организмы. Муравьи очень любят мед, и этот факт допускает объективное описание. Но совершенно бессмысленно спрашивать, имеет ли мед для муравьев такой же вкус, как для нас, или их вкусовые ощущения ближе к тем, которые мы испытываем, когда едим пармезанский сыр. Ни одна научная процедура не могла бы даже в принципе ответить на подобный вопрос. Когда речь заходит о других людях, мы полагаем, будто знаем, что они ощущают, поскольку они реагируют на раздражители так же, как мы, но нашу уверенность невозможно подкрепить никаким методом, приемлемым с точки зрения науки. Разумеется, было бы совершенно неверно делать из этого вывод о том, будто бы субъективное ощущение не реально или не имеет значения. Наоборот, наши ощущения первичны, и это единственное, что мы реально знаем. То, что вокруг нас существует внешний мир, — не более, чем гипотетическое заключение, которое мы выводим из наших объективных ощущений.

Некоторые философы и логики указали еще одну причину, по которой проблемы, связанные с природой внутреннего «я», так трудно обсуждать на научном уровне. Я имею в виду трудность, которую иногда называют «проблемой самореференций». Она возникает из-за того, что часть не всегда может полностью описать то целое,



которому она принадлежит. Первыми эту проблему открыли древние греки. По преданию, критянин Эпименид высказал утверждение о том, что все критяне лжецы. Так как сам Эпименид критянин, он должен изрекать истину, когда лжет, что внутренне противоречиво. Логический тупик возникает в данном случае из-за того, что Эпименид описывает систему, частью которой он является. Существует несколько парадоксов такого же рода. Некоторые из них играют важную роль в математике и логике. Вам хорошо знакома одна из таких ситуаций: для вас логически невозможно быть впрыснутым в ваш собственный кровоток, так как тогда часть вашего организма, а именно ваш кровоток, содержала бы целое, то есть вас. Но коль скоро это так, справедливо следующее соображение: поскольку понимание или описание чего бы то ни было — часть нашего внутреннего «я», понимание самого «я» внутренне логически противоречиво. Действительно, в данном случае имеет место соотнесение с субъективным «я», известным только самому субъекту. В принципе не существует каких-либо трудностей в изучении головного мозга объективно, физическими методами, поскольку в данном случае изучающий находится вне изучаемой системы. Однако это трудная проблема, и в действительности она не интересует меня как ученого, занимающегося изучением объективной реальности. Трудности возникают только в том случае, если вы включаете свое субъективное «я» и его эквиваленты, например, знание, в качестве составной части изучаемого вами мира. Если же вы как бы со стороны изучаете мир, включающий в себя и ваш мозг, то никаких трудностей не возникает.

— Итак, я констатирую, — подвел итоги беседы мистер Томпкинс, — что наука не может ответить на мой вопрос.

— Думаю, что вы правы, — подтвердил незнакомец. — Наука занимается изучением только таких ситуаций, в которых возможно четкое разделение субъекта и объекта исследования. Руководствуясь здравым инстинктом, наука отказывается даже рассматривать ваш вопрос «Что такое я?». Из того, что вопрос не имеет смысла в рамках науки, отнюдь не следует, что он вообще лишен смысла. Но от науки вы не получите ответа на ваш вопрос.

И тут мистер Томпкинс услышал в прихожей голоса Мод и ее отца и понял, что он задремал в кресле. Пора было возвращаться домой.

---

# Озеро мечтаний

---

Сын мистера Томпкинса Уилфред преподавал топологию в соседнем университете и приобретал все большую известность в научных кругах. Нужно ли говорить, что всякий раз, когда сын выбирался навестить родителей, мистер Томпкинс испытывал прилив гордости. Вот и сейчас, когда наступило лето, мистер Томпкинс с нетерпением ожидал очередного визита любимого сына. Уилфред приехал в точно назначенный срок таким усталым, что было решено посвятить конец недели отдыху.

В воскресенье отец и сын отправились на рыбалку. Взяв напрокат небольшую лодку и рыболовные снасти, мистер Томпкинс и Уилфред отчалили от берега и поплыли по зеркальной глади озера. Заходящее солнце отбрасывало причудливые тени от плакучих ив на берега, ветерок мягко шелестел в камышах, и облака начали принимать самые фантастические очертания. Рыбалка способствует созерцательному настроению, и пока Уилфред, неприменный участник команды по гребле своего колледжа, не спеша греб к середине озера, мистер Томпкинс, зафиксировав румпель, забросил удочку и замер в ожидании поклевки. Мысли его, как обычно, обратились к науке.

— Я нередко размышлял над тем, — нарушил тишину мистер Томпкинс, обращаясь к сыну, — почему твой дед так загорается, когда толкует о влиянии солнечных лучей на рост растений. Однажды я побывал на лекции, которую он читал на эту тему, и помню, что среди прочего на лекции упоминалась какая-то энтропия. Должен признаться, что хотя мне доводилось слышать это слово и раньше, я никогда не мог толком понять, что оно значит. Не мог бы ты объяснить мне, что имел в виду твой дед?

— С удовольствием, — согласился Уилфред. — Когда я был за границей, дедушка прислал мне отпечатанный текст своей лекции, и я хорошо помню ее основные положения. Речь шла о принципиальном различии во взглядах людей на жизнь. Как ты знаешь, папа, проблема жизни всегда интересовала и по-прежнему продолжает интересоваться любого мыслящего человека. Долгое время существовали две противоположные школы — виталистическая и механистическая. Виталистическая школа, еще недавно насчитывавшая

наибольшее число сторонников (ныне их число быстро уменьшается), рассматривает феномен жизни как нечто совершенно отличное от явлений, наблюдаемых в неорганическом мире. Предполагается, что это различие обусловлено таинственной жизненной силой, по-латыни *vis vitalis*, присутствующей во всех живых организмах и ответственной за все различия между живой и неживой материей. Сторонники виталистической школы считают, что объяснить все особенности и свойства живых организмов, исходя из чисто физических и химических взаимодействий, принципиально невозможно.



Облака начали принимать фантастические очертания

Механистическая школа считает, что все явления, наблюдаемые в живом организме, могут быть в конце концов сведены к обычным физическим законам, которым подчиняются атомы, образующие организм, и что различие между живой и неживой материей состоит только в относительной сложности. Представители механистической школы считают, что основные проявления жизни, такие, как рост, движение, воспроизведение и даже мышление, целиком и полностью зависят от сложности молекулярных структур, образующих живые

организмы, и могут быть, по крайней мере в принципе, объяснены теми же фундаментальными законами физики, которые определяют обычные процессы в неживой природе.

Мистеру Томпкинсу показалось забавным, что его сын приобрел привычку говорить так, будто читает лекцию перед аудиторией.

— Различие в подходах виталистической и механистической школ мне понятно, — улыбнулся он, — но какое отношение все это имеет к солнечным лучам и росту растений?

— Самое непосредственное. Дело в том, что на первый взгляд кажется, будто все живые организмы нарушают один из наиболее фундаментальных законов физики — закон возрастания энтропии, — ответил Уилфред.

— Но что такое энтропия? — поинтересовался мистер Томпкинс. — И почему она только возрастает?

— Видишь ли, понятие энтропии связано с понятием беспорядка. Все материальные тела, изучением которых занимается физика, состоят из огромного числа молекул, совершающих интенсивное тепловое движение. Воздух представляет собой не что иное, как рой молекул кислорода, азота и двуокиси углерода, которые с бешеной скоростью носятся по всем направлениям, сталкиваясь друг с другом и со стенами комнаты, молекулы воды в озере движутся не столь свободно: они не жестко склеены между собой межмолекулярными силами, поэтому их тепловое движение напоминает беспечное копошение множества червей в жестянке рыболова. Молекулы, образующие весла, которые я держу в руках, занимают фиксированные положения, так как это молекулы твердых тел, но и они участвуют в нескончаемой тепловой пляске, совершая колебания относительно положения равновесия и передвигаясь скачками. Самая характерная отличительная особенность теплового движения состоит в отсутствии порядка, в состоянии элементарного хаоса, как говорят физики.

— А всегда ли тепловое движение должно быть столь беспорядочно? — спросил мистер Томпкинс.

— Нет. Нетрудно представить себе случаи, когда одна треть молекул воздуха в комнате движется вверх и вниз по вертикали между полом и потолком, другая треть движется горизонтально между передней и задней стеной, а оставшая треть движется также горизонтально, но между правой и левой стеной. Но если бы в какой-то момент времени молекулы двигались именно таким образом, то вскоре из-за столкновений их скорости оказались бы распределены по всевозможным направлениям. Упорядоченное движение молекул полностью не исключено, и всегда имеется шанс, что в какой-то момент и на очень короткое время, если наблюдение продолжается достаточно долго, тепловое движение может стать упорядоченным. Но такое событие весьма маловероятно. Ставить на то, что оно произойдет, — все равно, что ставить на то, что при бросании

монеты она несколько сотен раз подряд выпадет вверх орлом: такое тоже встречается, хотя и очень-очень редко.

Степень беспорядка, случайности молекулярного движения в физике измеряется энтропией, которая по причинам, входившим в которые здесь было бы неуместно, определяется как логарифм вероятности, приписываемой конкретному типу движения. Поэтому наибольшее значение энтропии соответствует наиболее вероятному совершенно беспорядочному движению, в то время как типам молекулярного движения, которые обладают определенной степенью порядка, физики приписывают меньшие значения энтропии.

— А что такое закон возрастания энтропии? — поинтересовался мистер Томпкинс.

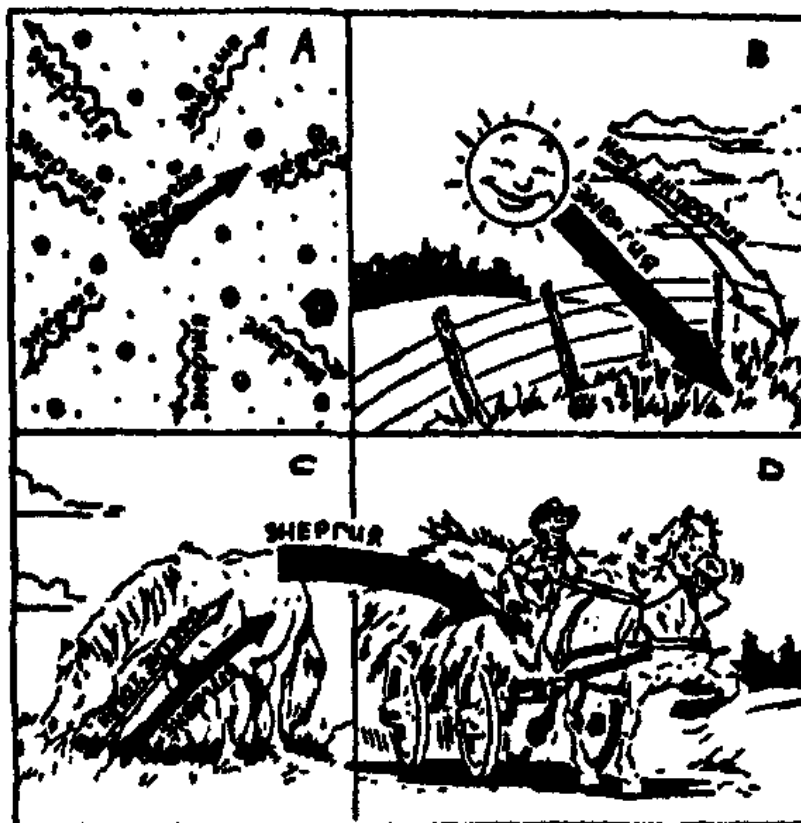
— Закон неубывания энтропии утверждает, что естественная тенденция событий заключается в переходе от менее вероятных, или упорядоченных, распределений к более вероятным распределениям, обладающих большей степенью беспорядка. Моя жена Вера, как любая домохозяйка, хорошо знакома с законом возрастания энтропии. Чтобы поддерживать порядок в доме, требуется все время прилагать усилия, и сколько бы вы ни трудились, все будет мало. А вот для того, чтобы в доме воцарился беспорядок, никаких усилий не требуется; достаточно посидеть сложа руки денек-другой. Тому, кто по долгу службы отвечает за состояние дорожных покрытий, нет необходимости заботиться о специальном оборудовании, чтобы сделать вверенные его попечению дороги совершенно непроезжими. А всякому армейскому офицеру известно, каких усилий стоит научить солдат ходить в ногу и как легко нарушается строй, если лишь немного ослабить дисциплину.

— А разве нельзя как-нибудь обойти столь печальное положение вещей в природе? — улыбнулся мистер Томпкинс.

— Как ни прискорбно, нельзя. Если бы закон возрастания беспорядка не выполнялся для теплового движения, то стали бы возможны некоторые весьма необычные технические проекты. Если бы молекулы воздуха можно было «заставить» достаточно часто двигаться с описанным выше распределением скоростей (когда одна треть молекул движется вверх-вниз, другая треть — вперед-назад и еще одна треть — вправо-влево), то можно было бы строить реактивные самолеты, способные летать без топлива. Действительно, треть всех молекул, движущаяся в одном и том же направлении, образовала бы идеальный «естественный» реактивный двигатель. Мы могли бы построить автомашину, способную двигаться без заправки топливом: такая машина черпала бы энергию беспорядочного теплового движения от поверхности дороги, поскольку любое дорожное покрытие очень горячо по сравнению с абсолютным нулем, и превращала бы его в упорядоченное движение колес. Помимо прочего такие автомашины делали бы намного терпимее температуру на городских улицах летом, так как, отсасывая тепло от дорожного покрытия, они охлаждали бы

проезжую часть улиц. Однако построить такого рода машины, хотя они и ни в чем не погрешат против закона сохранения энергии, не представляется возможным, так как они нарушают закон возрастания энтропии. Их часто называют вечными двигателями второго рода, сохраняя название «вечный двигатель первого рода» за фантастическими машинами, нарушающими закон сохранения энергии.

— Вернемся к растениям, — предложил мистер Томпкинс.



Энергия и отрицательная энтропия приводят телегу в движение

— Охотно. Предположим, что ты посадил в землю желудь и из него вырос огромный дуб. Сложные органические молекулы, образующие ствол, ветви и листву дуба, состоят из атомов, некогда входивших в состав молекул поглощенной листьями дуба двуокиси углерода, воды и некоторых простых неорганических солей, всосанных корнями дуба из почвы. Мы имеем в данном случае превращение простых молекулярных структур из воздуха и водных растворов солей в почве в высокоорганизованные структуры молекул белков и растительных клеток. Нет никаких сомнений, что вторые структуры сами по себе гораздо более упорядочены, чем первые, и что в процессе роста энтропия уменьшилась.

— Что я вам говорил? — воскликнул Уилфред. — Отмеченное вами различие в сложности между органическими и неорганическими молекулярными структурами со всей определенностью доказывает, что мы должны ввести понятие «vis vitalis», организующей

силы жизни, которая противостоит тенденции неорганических материалов к неупорядочению. И покуда в растении или в животном присутствует *vis vitalis*, развитие организма происходит в нарушение законов обычной физики. Но как только наступает смерть, *vis vitalis* отлетает от организма, как белый голубь, законы физики снова вступают в силу, и органическая материя истлевает и распадается на составляющие ее первичные элементы.

Приведенный аргумент на первый взгляд кажется очень убедительным, но задумаемся на минуту. Разве развивающееся растение не поглощает из окружающей среды ничего, кроме двуокиси углерода, воды и солей? А солнечный свет, без которого растение не может развиваться? Никто не станет отрицать, что солнечные лучи приносят энергию, необходимую для образования сложных органических молекул из гораздо более простых молекул двуокиси углерода и воды. По мере того, как развивается растение, солнечная энергия поглощается и запасается в его тканях. Она высвобождается, когда мы используем растения в качестве топлива или когда растения, поедаемые животными, служат источником механической энергии. Замечу кстати, что с этой точки зрения лошадь следует считать двигателем, работающим на атомной энергии, так как лошадь черпает энергию, поедая траву. Трава в свою очередь получает энергию от солнечных лучей, а солнечная радиация поддерживается термоядерными реакциями, протекающими в недрах Солнца. Более того, лошадь даже превосходит наши ядерные реакторы, так как не производит опасных радиоактивных побочных продуктов. С той же по существу, но несколько более сложной ситуацией мы сталкиваемся в случае фермера, диета которого включает и овощи, и мясо.

— А разве солнечные лучи не могут быть причастны к увеличению молекулярного порядка или уменьшению энтропии при развитии растений? — поинтересовался мистер Томкинс.

— Любой физик, которому ты задашь этот вопрос, ответит на него утвердительно. Он скажет, что солнечная радиация, достигнув Земли, обнаруживает очень большой дефицит энтропии и что растениям предоставляется великолепная возможность воспользоваться нехваткой энтропии солнечного излучения, чтобы уменьшить свою собственную энтропию. Чтобы суть дела стала яснее, мне придется в общих чертах познакомить тебя со свойствами излучения.

Любое сколь угодно холодное тело (разумеется, если оно не находится при температуре абсолютного нуля) испускает тепловое излучение с определенной характерной длиной волны. При увеличении температуры тела излучение становится более интенсивным, а характерная длина волны — более короткой. Кусок льда отдает очень мало тепла; встав рядом с глыбой льда, ты почувствуешь холод, так как твоя кожа испускает больше теплового излучения, чем лед. С другой стороны, печь имеет более высокую температуру, чем твое тело, и испускает больше теплового излучения, чем твоя кожа,



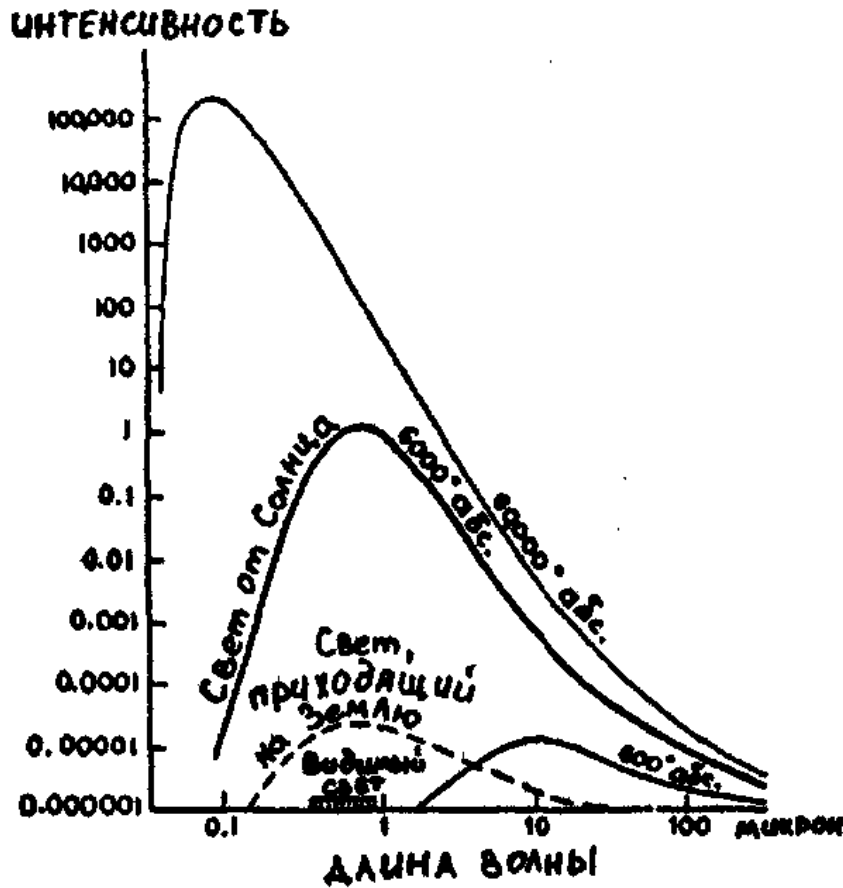
Энергия и отрицательная энтропия дают пищу фермеру

и поэтому, стоя у печки, ты ощущаешь исходящее от нее приятное тепло. При температуре ниже  $800^{\circ}\text{C}$  длина волны теплового излучения слишком велика, чтобы воздействовать на сетчатку твоих глаз, и ты не видишь теплового излучения, а только ощущаешь его. Такое невидимое излучения часто называют «тепловыми лучами». При увеличении температуры характерная длина волны убывает, и тепловое излучение становится «видимым». Сначала нагретое тело мы видим раскаленным докрасна, затем оно светится желтым и, наконец, нестерпимо ярким белым светом.

С этими словами Уилфред извлек из кармана пачку сигарет и начертил на ее оборотной стороне график.

— Вот посмотри, папа, — сказал он. — Я начертил здесь распределения энергии в спектре теплового излучения при различных температурах излучающего тела. Пояснения излишни, так как график говорит сам за себя. Я хочу только обратить внимание на то, что при любой заданной температуре существует вполне определенное распределение энергии по спектру и, следовательно, вполне определенная суммарная интенсивность, или количество энергии излучения, приходящееся на единичный объем. Наблюдаемые свойства теплового излучения могут быть выведены теоретически из предположения о том, что световые колебания происходят совершенно случайным образом как по направлениям, так и амплитудам. Такая гипотеза полностью эквивалентна гипотезе о случайном характере молекулярного движения в газе. Например, как и в случае газа, нормальным состоянием теплового излучения служит состояние беспорядочности.





Спектр энергии при различных температурах

рядка на молекулярном уровне, и его энтропия имеет максимальное значение.

Однако такое утверждение справедливо лишь постольку, поскольку тепловое излучение находится в непосредственном контакте с поверхностью излучающего горячего тела. Когда же излучение от поверхности Солнца распространяется в окружающее пространство, его интенсивность падает. Плотность энергии солнечного излучения убывает обратно пропорционально квадрату расстояния от Солнца. Так как расстояние от Солнца до Земли в 214 раз превышает радиус Солнца, плотность энергии (количество энергии, приходящееся на единицу объема) солнечного излучения оказывается в 46 000 (или, что то же,  $214^2$ ) раз меньше, чем в фотосфере Солнца. Однако уменьшение плотности энергии не сопровождается соответствующими изменениями в распределении энергии по спектру, так как когда тепловое излучение распространяется в космическом пространстве между Солнцем и Землей, никакого обмена энергией между различными длинами волн не происходит.

В результате солнечное излучение достигает поверхности Земли, находясь в некотором гибридном состоянии: распределение энергии по спектру соответствует очень высокой температуре солнечной поверхности ( $6\,000^\circ\text{C}$ ), а плотность энергии соответствует гораздо более низкой температуре жаркого солнечного дня на Земле. Нетрудно видеть, что подобное состояние для излучения отнюдь не является

«наиболее вероятным», или, иначе говоря, энтропия достигающего поверхности Земли солнечного излучения далеко не максимальна. Это, однако, не означает, что энтропия солнечного света убывает по пути на Землю, так как убывание энтропии нарушало бы закон возрастания энтропии. В действительности происходит нечто другое: вопреки ожиданиям, что солнечное излучение увеличит свою энтропию по пути от Солнца к Земле, достаточно большого увеличения энтропии не происходит. Ситуация здесь аналогична той, в которой оказывается налогоплательщик, обнаруживающий в конце года, что его доходы меньше ожидавшихся в начале года, которые налогоплательщик внес в свою декларацию о доходах. Но так или иначе солнечные лучи, падающие на поверхность зеленых листьев, могут, так сказать, отсосать избыток энтропии, тем самым способствуя уменьшению общей энтропии растения. Разумеется, этот процесс не обязательно должен идти сам по себе, растение может воспользоваться «по своему усмотрению» возможностью извлечь отрицательную энтропию из солнечного излучения. Точно так же в деловом мире «благоприятная финансовая обстановка» не обязательно обогащает бизнесмена — он должен проявить смекалку, чтобы воспользоваться ею. Когда солнечное излучение, несущее в себе возможность уменьшить энтропию, падает на железную крышу дома, эта возможность попросту утрачивается, так как железо «не обладает должной смекалкой» и не знает, как использовать предоставившуюся возможность. Крыша нагревается, испускает солнечное излучение назад в форме теплового излучения с высокой энтропией. Но растения достаточно «разумны», чтобы не упустить предоставляющуюся возможность, и с помощью особого процесса, известного под названием фотосинтеза, используют энергию и дефицит энтропии солнечных лучей для образования сложных органических структур из гораздо более простых неорганических молекул.

— Но каким образом, — возразил мистер Томпкинс, — нехватка энтропии, или негативная, т. е. отрицательная, энтропия, может быть использована развивающимися растениями? Трудно представить себе, что нехватка чего-то может оказаться полезной. Разве можно использовать негативное для получения чего-нибудь позитивного?

— Не торопись с выводами, — последовал ответ Уилфреда. — Стоит немного задуматься, и ты поймешь, что трудность, о которой ты говоришь, в действительности связана исключительно с терминологией, с тем, что мы первоначально определили энтропию как величину, характеризующую степень беспорядка, а не степень порядка. Действительно, когда мы говорим, что дефицит энтропии в поглощаемом излучении необходим для жизни растений, наше утверждение надлежит понимать примерно так же, как утверждение о том, что дефицит мышьяка в продуктах питания человека необходим для его жизни.

Подавляющая часть энтропии (и энергии), получаемой растениями от солнечных лучей, теряется напрасно, когда растение умирает и его останки уничтожаются под действием гниения, но когда лошадь или корова поедает траву или когда кто-нибудь из нас ест салат, дефицит энтропии растений служит уменьшению энтропии тканей людей и животных. А когда мы съедаем бифштекс, необходимый дефицит энтропии достается нам, так сказать, из вторых или даже из третьих рук в несколько более легко усвояемом или, по крайней мере, более вкусном виде. Один мой австрийский друг говаривал, что в современном ресторане, организованном на основе научных принципов, в меню следовало бы указывать не только цены и калории (энергетическое содержание), но и от какого количества энтропии посетитель избавится, съев то или иное блюдо.

Резюмируя, можно сказать, что старой идее о *vis vitalis* можно придать следующую простую физическую интерпретацию:

$$(\text{visit talis}) = \frac{\text{дефицит энтропии}}{\text{энтропии}} = -(\text{энтропия}) = -k \log \text{ (вероятность материальной структуры и движения)}$$

То, что живые организмы подчиняются законам физики, можно назвать первым, основополагающим принципом биологии.

— Насколько я понимаю, — заметил мистер Томпкинс, — этот принцип по праву надлежит считать выдающимся достижением биологии. Он означает, что природа более не разделена на две принципиально различные части — на живое и неживое. Интеллектуально этот принцип более удовлетворительный, чем старые идеи. Мне кажется, что этот принцип свидетельствует о том реальном прогрессе, которого достигло наше мышление.

— Некоторый прогресс действительно достигнут, — кивнул в знак согласия Уилфред, — но с определенной точки зрения принятие принципа, о котором мы сейчас толкуем, можно рассматривать и как возврат к идеям, высказанным давным-давно. Идея о том, что наш мир состоит из двух составляющих, материи и духа, не столь давняя. Если я не ошибаюсь, она была высказана в конце классической эпохи. До того никто не ставил под сомнение единство мира. Например, древние египтяне считали, что люди и боги, тела и души, животные и растения, земля и небо были сотворены из одной субстанции, или попросту говоря, из одного и того же вещества. Как ты предпочитаешь называть эту субстанцию — материей или духом, не имеет значения. Как видишь, наши современные представления о единстве мира имеют очень глубокие корни, а идея о двойственности в действительности представляет собой лишь краткий эпизод в истории мысли.

Замечание сына о представлениях древних напомнило мистеру Томпкинсу кое-что из недавно прочитанного.

— Твое описание развития растений. — произнес он. — очень напоминает представление древних греков о том, что растения развиваются, складывая корни, стебли и листья из каменных атомов почвы, водяных атомов дождя и огненных атомов солнечных лучей.

— Ты прав, папа, — согласился Уилфред. — Древнегреческие философы были очень умными людьми и высказывали весьма разумные идеи, хотя они, так сказать, занимались философствованием в чистом виде без каких-либо подкрепляющих эмпирических данных. Греки считали, что существуют атомы четырех различных сортов — атомы воздуха, воды, земли и огня. По их представлениям почва была смесью земли и воды, т. е. грязью. Теперь мы знаем, что хотя греческие мыслители были правы в основном, они ошибались в деталях. Согласно современным представлениям воздух представляет собой смесь азота и кислорода с небольшой примесью двуокиси углерода — химического соединения углерода и кислорода. Вода представляет собой химическое соединение кислорода и водорода, а камни, или земля, — сложную смесь химических соединений кислорода, кремния, алюминия, железа, щелочных металлов и много чего еще. С другой стороны, представление древних греков об атомах огня, которые происходят от солнечных лучей и высвобождаются при горении дерева, в каком-то смысле было более правильным, чем то, которое господствовало в науке до 1900 года, когда Макс Планк ввел понятие квантов света. Ныне кванты света, обычно называемые фотонами, считаются одной из разновидностей элементарных частиц, известных в ядерной физике наряду с нейтрино, электронами, нуклонами и другими частицами. Здесь древние греки были не так уж далеки от истины. Однако они заблуждались, полагая, будто воздух не играет никакой роли в развитии растений. Теперь мы знаем, что развивающееся растение получает углерод из содержащейся в воздухе двуокиси углерода, а водород и кислород — из почвенной воды. На самом деле, почва представляет собой не просто влажную землю. Она содержит также небольшие количества различных солей и органических веществ, образовавшихся в результате разложения некогда существовавших растений.

— Ты имеешь в виду окаменевшие деревья? — попробовал уточнить мистер Томпкинс.

— Нет, нет! Окаменевшее дерево — это самый настоящий минерал. Исходные органические соединения, некогда содержащиеся в древесине, были замещены в особых условиях неорганическими кремниевыми соединениями. Окаменевшее дерево сохраняет форму ствола дерева, упавшего миллионы лет назад, но от первоначального химического состава древесины в нем ничего не осталось. Если растолочь кусок окаменевшего дерева и смешать получившийся порошок с водой, то хорошей почвы не получится. Для развития растений жизненно важную роль играет небольшое количество органических веществ от существовавших ранее растений и солей, которое остается

в золе после того, как сгорят дрова. Но основная масса развивающегося растения образуется из содержащейся в воздухе двуокиси углерода и воды в почве.

— Трудно поверить, — признался мистер Томпкинс сыну, — что основная масса тела растения берется из воздуха, а не из почвы.

— Попробуй взглянуть на это с иной точки зрения, — предложил Уилфред. — Представь себе, что у тебя в саду растет могучий дуб. Если его толстый ствол и ветви образовались из атомов почвы, на которой растет дуб, то в земле вокруг дуба должна была бы образоваться яма, тогда как никаких ям вокруг дубов не образуется.

Мистер Томпкинс вынужден был признать аргумент сына весьма убедительным.

— А откуда берется двуокись углерода в воздухе? — поинтересовался он.

— Отчасти она образуется при лесных пожарах, гниении отмерших растений и дыхании животных, но главным образом при вулканических извержениях, которые также выбрасывают в атмосферу из недр Земли различные соединения фосфора и серы, необходимые для жизни. Разумеется, поглощаемая растениями двуокись углерода непрерывно разлагается с выделением свободного кислорода. Но если бы в какой-нибудь катастрофе, например, в результате ядерной войны, вся растительность на нашей планете оказалась уничтоженной, то содержащийся в воздухе кислород постепенно был бы израсходован на всевозможные процессы окисления, и поскольку запас кислорода не пополнялся бы за счет фотосинтеза в листьях растений, наша атмосфера превратилась бы в смесь азота и двуокиси углерода. Как показали последние исследования, атмосфера Марса отличается высокой концентрацией двуокиси углерода при полном отсутствии свободного кислорода, что свидетельствует об отсутствии растений и, следовательно, животных на этой планете.

— Мне приходилось слышать, что в растениях происходит процесс, который называется фотосинтезом и приводит к выделению свободного кислорода, — заметил мистер Томпкинс, — но должен признаться, что до сих пор я не знаю, как именно происходит фотосинтез.

— Весь фокус с превращением воды и двуокиси углерода в присутствии света в сложные органические вещества растения пределывают с помощью особого зеленого вещества хлорофилла, которое придает растениям их характерную окраску, — пояснил Уилфред. — Если взглянуть на листья растений под микроскопом, то можно увидеть, что каждая клетка содержит зеленые частицы, называемые хлоропластами, а те в свою очередь состоят из еще меньших структурных единиц, которые называются гранами. Эти граны, или фабрики по переработке солнечной энергии, содержат хлорофилл и, так сказать, оперативную группу ферментов, помогающих хлорофиллу справляться с возложенной на него миссией.

С химической точки зрения фотосинтез представляет собой процесс, обратный дыханию или обычному горению. В процессе горения сложные органические молекулы (состоящие главным образом из углерода и водорода) вступают в реакцию с атмосферным кислородом, в результате которой выделяется энергия и образуются простые молекулы двуокиси углерода и воды. В процессе фотосинтеза, наоборот, молекулы двуокиси углерода и почвенной воды, соединяясь, образуют сложные органические молекулы, а избыток кислорода уходит в атмосферу. Но в то время как процесс горения легко происходит сам по себе, поскольку соответствует естественному направлению химических реакций, фотосинтезу приходится, так сказать, взбираться в гору. Чтобы построить молекулы органических соединений, необходимо отщепить атомы водорода от атомов кислорода в молекулах воды и присоединить в определенных пропорциях к молекулам двуокиси углерода. Поскольку на разрыв химической связи между водородом и кислородом в воде уходит больше энергии, чем высвобождается при присоединении атома водорода к атому углерода, процесс требует затрат внутренней энергии. Образующиеся в результате фотосинтеза молекулы органических веществ обладают более сложной структурой, чем молекулы воздуха и воды, поэтому фотосинтез требует также подвода негативной энтропии. Поставщиком энергии и негативной энтропии служат солнечные лучи.

Образуемые в результате фотосинтеза органические молекулы известны под общим названием углеводов, так как они содержат кислород и водород в той же пропорции, что и молекулы воды. В принятых у химиков обозначениях состав углеводов записывается в виде  $C_mH_{2n}O_n$ . Первым в процессе фотосинтеза образуется простой сахар или моносахарид, называемый глюкозой (глюкоза в большом количестве содержится в фруктах). Ее формула имеет вид  $C_6H_{12}O_6$ . Две молекулы глюкозы, объединившись, образуют молекулу сахарозы  $C_{12}H_{22}O_{11}$ . Это тот самый сахар, который вы кладете в чашку кофе. Объединяя моносахариды в длинные цепочки, или полимеризуя их, если воспользоваться техническим термином, можно получить крахмал и целлюлозу, которая служит основным компонентом структур растительного происхождения, например, древесины и хлопка. Различие между полимерами определяется небольшими различиями в порядке, в котором моносахариды соединены в цепочку. Дальнейшие реакции между образующимися в ходе фотосинтеза химическими соединениями с высоким содержанием энергии и малым содержанием энтропии приводят к формированию всех остальных сложных органических молекул, в частности, молекул белков, из которых состоят тела всех растений и животных.

Разумеется, помимо способности осуществлять фотосинтез все растения обладают также дыхательным механизмом, аналогичным дыхательному механизму животных. Действительно, происходящий

в растениях фотосинтез правильнее было бы сравнивать с питанием животных.

Фотосинтез происходит только в том случае, когда имеется пища — в данном случае солнечный свет. Что же касается дыхания растений, то оно происходит все время, как и у животных. В частности, ночью, когда фотосинтез прекращается, дыхание составляет основную часть биохимической активности растений.

— Из того, что ты мне успел рассказать, — прокомментировал мистер Томпкинс, — у меня складывается впечатление, что в наше время биология становится гораздо более точной наукой, чем прежде, и ее можно в какой-то мере сравнить с физикой и химией.

— Согласен, — кивнул Уилфред, — биология, бывшая до недавнего времени чисто описательной наукой, ныне быстро превращается в точную науку. Этот этап, которого рано или поздно (в зависимости от сложности предмета изучения) достигает любой раздел науки, характеризуется открытием основных элементарных процессов, лежащих в основе наблюдаемой сложности макроскопических явлений. Если обратиться к состоянию физической науки сто лет назад, то обнаружится, что в ту пору она, по существу, представляла собой коллекцию огромного количества внешне не связанных между собой данных о механических, химических, тепловых, оптических, электрических, магнитных и других свойствах материальных тел, т. е. была своего рода каталогом с более или менее удачной рубрикой. Ситуация резко изменилась с появлением молекулярной и атомной теорий и позднее, когда мы начали устанавливать внутреннюю структуру отдельных атомов и их ядер, получили возможность свести все разнообразие сложных крупномасштабных явлений к движениям и взаимодействиям частиц, из которых состоят все материальные тела. Мы обнаружили, что законы, управляющие этими элементарными явлениями, сравнительно немногочисленны и весьма просты, поэтому вся структура физической науки может быть основана на ограниченном числе фундаментальных понятий и законов подобно тому, как евклидова геометрия основана на не очень большом числе основополагающих определений и аксиом. Тем самым мы докопались в физике до самого основания тех сложных структур, с которыми сталкивались исследователи в прошлом.

Неудивительно, что биологии потребовалось несколько больше времени, чем физике, для того, чтобы открыть свои элементарные законы и принципы, поскольку биология изучает несравненно более сложные явления. Но сейчас нам, кажется, удалось добраться до твердого грунта, и прогресс двинулся семимильными шагами. Вскоре, как я полагаю, нам удастся разгадать древнюю загадку жизни, по крайней мере в том виде, в котором мы ее сейчас понимаем.

— А существуют ли еще какие-нибудь фундаментальные принципы биологии, которые нам уже известны, — спросил мистер

Томпкинс, — кроме того, что живая материя подчиняется законам физики?

— Хотя старое понятие «жизненной силы» (*vis vitalis*) удалось переопределить в физических терминах как способность всего живого утилизировать негативную энтропию, — сообщил Уилфред, — применимость начал термодинамики к живым организмам, которая была установлена нами, не решает всех проблем биологии. Человек сжигал дрова и уголь на протяжении огромного периода времени, но покуда не был изобретен паровой двигатель, топливо не стало движущей силой. Когда материя организовалась в виде теплового двигателя, произошло нечто новое. Точно так же нечто новое происходит, когда материя организуется в нечто живое. И то, что нам удалось узнать, относится именно к уровню организации материи.

Уже давно мы установили, причем совершенно правильно, что любой организм необычайно сложен. Но теперь мы явственно сознаем, что за этой сложностью скрывается простота фундаментальных основ жизни. Никто не оспаривает, что организм сложен, но он сложен только в том смысле, в котором сложен компьютер. Как известно, любой компьютер собран из простых стандартных деталей; по существу, компьютер есть не что иное, как множество реле, и та сложность, о которой идет речь, обусловлена способом, которым эти детали соединены между собой. Аналогичным образом обстоит дело и с живым организмом. По существу, организм состоит из двадцати однотипных деталей, — химических соединений, которые называются аминокислотами. Цепочка соединенных между собой аминокислот образует молекулу белка.

Разумеется, в любом организме существует много тысяч различных белков, но отличаются они друг от друга только порядком, в котором сцеплены между собой аминокислоты. Даже цепочка, состоящая всего лишь из 100 аминокислот, может быть реализована  $20^{100}$  различными способами, и это разнообразие делает возможным множество различных функций, выполняемых белками.

— Мне приходилось недавно читать об этом, — кивнул мистер Томпкинс.

— Тогда тебе, должно быть, известно, что, взаимодействуя между собой множеством различных способов, аминокислоты образуют более сложные структуры, а это определяет, какую форму обретает организм. Кем быть — скунсом или розой, капустой или человеком — в конечном счете зависит от того, в какой последовательности сцеплены между собой аминокислоты в белках.

Еще более важную роль играет другая функция белков. Многие белки катализируют, или, попросту говоря, ускоряют, химические реакции. В отсутствие белков такие реакции протекают чрезвычайно медленно, можно сказать, почти совсем приостанавливаются. Таким образом, белки определяют, какие химические реакции должны протекать в организме. Например, от наличия или отсутствия тех или



иных белков зависит, какая пища переваривается организмом, какие типы сахаров усваиваются и какого рода витамины синтезируются (потребность в веществе, которое не синтезируется организмом, удовлетворяется введением недостающего вещества в пищу). Как тебе хорошо известно, белки-катализаторы принято называть ферментами.

Разнообразие белков приводит к тому, что они порождают эффекты на первый взгляд странные и неожиданные. Растения, как я уже говорил, поглощают свет, который используют как пищу. Как хорошо известно океанографам, существуют другие организмы, которые поглощают пищу, вырабатывая свет. Как показывают несложные расчеты, на глубине нескольких десятков метров в морской воде весь солнечный свет поглощается, и теоретически при погружении на еще большую глубину в толще вод должна царить кромешная тьма. Тем не менее когда фотопластинки были впервые опущены на значительные глубины и экспонированы там, они неожиданно оказались засвеченными. Теперь нам известно, почему так произошло: дело в том, что в океанских глубинах существуют всевозможные необычные организмы, от одноклеточных простейших до рыб и кальмаров, и у некоторых из них имеются ферменты, катализирующие реакции, которые сопровождаются излучением света. У некоторых видов даже имеются белковые линзы, позволяющие фокусировать испускаемый свет в определенном направлении, как автомобильные фары. Мы не всегда понимаем, для чего глубоководным организмам нужно свечение. Возможно, свет позволяет находить брачных партнеров и тем самым способствует продолжению рода. Некоторые светящиеся организмы существуют и на суше. Они нам более знакомы. Это светлячки, их личинки и грибы, которые заставляют светиться гнилушки. В белках всех организмов имеется некоторая последовательность аминокислот, от которой зависит, быть свечению или не быть.

Резюмируя, я бы сказал, что второй фундаментальный биологический принцип заключается в следующем: специфику организма определяет последовательность аминокислот.

— Кажется, я понял, — прервал сына мистер Томпкинс. — Специфичность организма определяется тем, в каком порядке аминокислоты расположены в белках. Но, если я правильно припоминаю один из моих снов, организму доподлинно известно, как расположить аминокислоты в надлежащем порядке.

— Совершенно верно, — подтвердил Уилфред, — и в этом заключается третий фундаментальный принцип, лишь недавно установленный биологами. Информация о последовательности аминокислот записана в молекуле ДНК, или дезоксирибонуклеиновой кислоты, т. е. того самого вещества, из которого построены гены. Несмотря на весьма сложное название, ДНК в действительности представляет собой упорядоченный набор из четырех различных групп, называемых основаниями, подобно тому, как белки представляют собой

упорядоченные наборы из двадцати различных аминокислот. Упорядоченный набор оснований определяет порядок следования аминокислот в белках. Набор оснований «кодирует» последовательности аминокислот в белках, и мы можем рассматривать его как число, записанное с помощью многих миллионов цифр, которое, задавая специфические белки, тем самым определяет и весь организм. Разумеется, это число, или, если угодно, цифровой код, содержит инструкции, позволяющие построить фермент, который копирует код, или, на молекулярном языке, строит новую молекулу ДНК, точную копию оригинала. Так «план» построения всего организма передается из поколения в поколение. Более того, в план по мере его использования вносятся усовершенствования. Дело в том, что при копировании плана время от времени возникают небольшие ошибки, и некоторые из них порождают планы, которые распространяются лучше, чем оригинал.

— Все это удалось выяснить за несколько последних лет. Ныне мы твердо уверены, что проблема биологической организации на уровне атомов и молекул вскоре будет полностью решена.

— Не сомневаюсь, — кивнул в знак согласия мистер Томпкинс. — Припоминаю, что все это мне доводилось видеть во сне, когда я странствовал среди генов и ДНК, хотя, должен признать, ты изложил суть дела гораздо более сжато, чем это мог бы сделать я. А что, биологическая организация на уровне молекул и атомов — это и есть жизнь?

— На этот вопрос существуют два ответа, утвердительный и отрицательный, причем оба ответа можно считать правильными, — сказал Уилфред. — Любой живой организм состоит из атомов и молекул, и в этом смысле жизнь есть не что иное, как биологическая организация на атомно-молекулярном уровне и ничего больше. Но существует важный аспект жизни, который не следует непосредственно из молекулярной организации. Живая лошадь и лошадь дохлая имеют весьма схожую молекулярную структуру. Отличаются они своим поведением. Самое характерное в поведении живых организмов — его целеустремленность, или целенаправленность. Лосось, преодолевающий прыжком водопад во время нереста, птица, выющая гнездо, или человек, играющий в шахматы, могут служить примерами того, как живые организмы направляют свою активность на достижение определенной цели. Молекулярная биология не может объяснить это наиболее фундаментальное свойство живых организмов.

Вплоть до недавнего времени даже упоминать о существовании проблемы целенаправленной активности не было модным среди биологов. Стоило лишь кому-нибудь заняться этой проблемой, как его называли «телеологом», что можно считать ругательным словом.

— А что такое «телеолог»? — спросил мистер Томпкинс.

— Телеологом, — пояснил Уилфред, — называется тот, кто считает, что причиной активности является ее цель, и стремится во всех случаях объяснять события в терминах целей, а не средств.

— А что в этом плохого? — поинтересовался мистер Томпкинс.

— Ровным счетом ничего, если не считать того, что на раннем этапе истории науки телеологический подход, доведенный до крайностей, приводил к запрету на исследование механизмов, порождающих эффект. Например, телеологически мыслящий физиолог в то далекое время пренебрег бы изучением функционирования мышц и удовлетворился бы знанием цели мышечной активности — ходьбы или поднятия тяжести. Противостоять телеологической установке в высшей степени полезно и уместно, так как новый подход позволил продолжить исследования. Цель начали считать «метафизическим» понятием, а проще всего было «объяснить» цель, отказавшись от нее, т. е. отрицая существование цели. Некоторые рискуют излагать сложившуюся ситуацию в виде парадоксального утверждения, согласно которому главной целью многих ученых стало доказательство отсутствия цели у живых организмов.

К счастью, научный прогресс сделал отрицание целенаправленной деятельности заведомо лишним. Дело в том, что между представлениями о том, что живой организм или что-нибудь еще преследует определенную цель и обладает механизмами, посредством которых функционирует, в действительности нет противоречия. Существует новая наука кибернетика, которая занимается изучением целенаправленной активности машин и живых организмов. Целенаправленная активность, изучаемая строго научными методами, стала теперь вполне уважаемым предметом исследования, а ключом к пониманию ее служит простой принцип обратной связи. Обратную связь можно рассматривать как четвертый фундаментальный принцип биологии.

— Ты хочешь сказать, что машина также может функционировать целенаправленно? — удивился мистер Томпкинс.

— Разумеется. Таких машин уже сейчас достаточно много, хотя еще совсем недавно большинство машин не могли функционировать целенаправленно. Выполняемые ими операции были установлены заранее, и машины выполняли их независимо от того, приводило их срабатывание к желаемому результату или нет. Предположим, например, что у тебя имеется устройство, позволяющее отрезать нужное количество металла. Как это должно происходить, ты устанавливаешь заранее. Но едва затупится режущая кромка, как твое устройство станет отрезать меньше металла, чем требуется, и исправить положение можно, прибегнув к услугам оператора — человека, который станет следить за работой устройства и подстраивать его в случае необходимости. Так было еще совсем недавно. Ныне мы располагаем машинами, которые могут работать без оператора. Такие машины отмеряют количество отрезанного металла и вводят

полученную информацию в исполнительный механизм, который продолжает действовать до тех пор, пока разность между количеством отрезанного металла и количеством, которое требуется отрезать, не обратится в нуль. В этом и заключается основной принцип обратной связи, и ныне он используется во всевозможных устройствах. Например, ракета класса «земля-воздух» вычисляет разность между своей траекторией и траекторией полета цели, а затем использует эту информацию для того, чтобы свести разность к нулю, даже если цель выполняет противозенитные маневры. Примерно так гончая преследует зайца. Гончая не бежит по заранее проложенной траектории, а вносит поправки в свой курс в зависимости от поведения зайца так, чтобы непременно настичь его. Возможно, эти примеры покажутся тебе тривиальными, но они позволяют понять, что целенаправленная активность — это способ обработки информации и может быть исследована строго научными методами.

Что же касается механизма, то мы отчетливо видим, что целенаправленная активность живых организмов, по крайней мере в простейших случаях, управляется почти так же, как в наших действующих целенаправленных машинах. Разумеется, в более сложных случаях аналогия между целенаправленно функционирующими машинами и живыми организмами не столь очевидна, но у нас по крайней мере остается надежда, что и в этих случаях нам в конце концов также удастся найти простое объяснение.

— Но целенаправленно функционирующие машины действуют так только потому, что мы их так спроектировали, — возразил мистер Томпкинс. — А что ты можешь сказать о целенаправленно действующем организме, например, о гончей, преследующей зайца? Кто ее «запрограммировал»?

— Эволюция, кто же еще? — удивился Уилфред. — Отсеивая, так сказать, хорошее от плохого, целенаправленно действующие организмы доказали, что обладают большей способностью к выживанию, чем их собратья, не обладающие даром целенаправленного действия. Не следует забывать, что мы являемся продуктом эволюции точно в такой же мере, как любая собака, а наше превосходство именно в том и состоит, что мы можем достигать поставленной цели более эффективно, чем любое другое животное.

Не сомневаюсь, что в ближайшем будущем нам предстоит узнать много нового. Но могут быть и сюрпризы. Помнишь, что случилось с небесной механикой? После Ньютона какое-то время все было так ясно, а затем в движении планеты Меркурий начали обнаруживаться малые, но вполне определенные возмущения — отклонения от предсказываемой орбиты. И в результате на наших глазах родилась теория относительности Эйнштейна с ее новыми понятиями времени и пространства. Урок, который нам надлежит извлечь из сказанного, заключается в следующем: следует не успокаиваться на достигнутом и не отмахиваться от непонятных фактов.

— А какого сорта сюрпризы можно было бы ожидать нам теперь? — поинтересовался мистер Томпкинс.

— Если мы что-нибудь ожидаем, то это уже не сюрприз, — рассудительно заметил Уилфред. — Но если оставить в стороне такие вещи, как телепатия, то есть одна интригующая идея, которую всерьез обсуждают сейчас многие ученые. Возможно, что мы лишь одна из многих разновидностей наделенных разумом существ, обитающих во Вселенной, и не исключено, что когда-нибудь нам удастся установить контакт с другими мыслящими существами и узнать, что возможны формы жизни, отличные от привычных нам.

— Ты имеешь в виду, что разумные существа обитают где-то в солнечной системе?

— Нет. Данные космических зондов и результаты других исследований не подтвердили возможность существования любой формы жизни на любой из планет, обращающихся вокруг нашего Солнца, разумеется, за исключением Земли, и развитой цивилизации, кроме нашей. Но вполне возможно, что где-то вокруг других солнц, отстоящих от нас на огромные расстояния и называемых звездами, обращаются иные планеты, на которых существует не просто жизнь, но жизнь разумная и цивилизованная.

— Грандиозная идея, — не мог не признать мистер Томпкинс. — Разумеется, мне отлично известно, что сюжеты о разумных обитателях далеких миров давно используются в научной фантастике, но из того, что ты сейчас мне поведал, я заключил, что ученые также вполне серьезно относятся к подобным идеям. Что стало причиной изменения их отношения к проблемам поиска внеземных цивилизаций?

— Все дело в том, как мы теперь отвечаем на два вопроса, — пояснил Уилфред. — Вопрос первый: существуют ли другие обитаемые миры? Ответить на него призваны астрономы. Вопрос второй: если обитаемые миры действительно существуют, то отличаются ли они от нашего?

Это вопрос адресован биологу, на который он может ответить только в том случае, если понимает, как зародилась и в каком направлении развивается жизнь на Земле. Ответ на первый вопрос о том, существуют ли иные обитаемые планеты, обращающиеся вокруг других звезд, мы сможем дать, если будем знать, как образуются планетные системы.

Первые теории происхождения планетных систем были сформулированы во второй половине восемнадцатого века немецким философом Иммануилом Кантом и французским математиком Пьером Симоном де Лапласом. Созданные совершенно независимо друг от друга, теории были очень схожи и стали известны под общим названием гипотезы Канта—Лапласа. Согласно этой гипотезе, молодое Солнце было окружено поясом рассеянной материи, так называемой «солнечной туманностью», которая либо сохранилась от начальных

стадий сжатия рассеянной материи, из которой образовалось Солнце, либо была исторгнута из недр Солнца на более поздних стадиях из-за увеличившейся скорости вращения основного тела Солнца. Кант, будучи философом, сформулировал свою гипотезу чисто качественно. Удивительно, что Лаплас, хотя он и был блестящим математиком, опубликовал свою гипотезу только в популярной брошюре и, насколько известно, никогда не пытался облечь ее в математически строгую форму.

— Может быть, он пытался, но ему не удалось получить сколько-нибудь значимых результатов? — высказал предположение мистер Томпкинс.

— Возможно, я бы даже сказал, очень даже возможно. Но так или иначе, гипотеза Канта—Лапласа не привлекла внимание математиков вплоть до появления на сцене примерно через сто лет британского физика-теоретика Джеймса Клерка Максвелла. Свой анализ он начал со сравнительно второстепенной проблемы — с вопроса об устойчивости колец Сатурна: почему кольца не конденсируются в один сгусток материи или, может быть, в несколько сгустков материи. Иначе говоря, почему из колец Сатурна не образуются его новые спутники? Максвелл понял, что на вещество в кольцах Сатурна действуют две противоположные силы. Во-первых, между различными частями кольца действуют силы ньютоновской гравитации, стремящиеся сконденсировать вещество в кольцо в одно или несколько сферических тел, аналогичных другим спутникам Сатурна. Во-вторых, существует разрушительная сила, возникающая вследствие того, что по третьему закону Кеплера внешние части кольца движутся с меньшей угловой скоростью, т. е. с большим периодом обращения, чем внутренние части. Эта сила стремится разрушить конденсацию в самом зародыше и распределить вещество равномерно по кольцу. Окончательный результат противоборства зависит от того, какая из сил больше. Максвелл вывел математическую формулу, дающую решение задачи об устойчивости кольца Сатурна, если известна полная масса кольца, его размеры и скорость вращения. Эти величины известны из астрономических наблюдений. Максвеллу удалось показать, что разрушительная сила больше гравитационных сил. Следовательно, кольца Сатурна не могут конденсироваться в спутники. Именно так и происходит в действительности.

Затем Максвелл применил свою математическую теорию к гипотетическому кольцу, которое якобы окружало Солнце на ранних стадиях его формирования. Для этого Максвелл предположил, что все вещество, сосредоточенное ныне в планетах, некогда было равномерно распределено по всей плоскости эклиптики и образовывало первичную «солнечную туманность». Результат вычислений Максвелла был поистине шокирующим: выяснилось, что баланс между гравитационными (конденсирующими) и разрушительными силами

был таким же, как в кольце Сатурна. Иначе говоря, если бы «солнечная туманность» существовала, то она никогда не смогла бы конденсироваться в планеты! Для этого ее масса слишком мала.

Единственная очевидная альтернатива состояла в предположении, что наша планетная система возникла в результате столкновения Солнца с какой-то другой звездой. Действительно, в звездной системе Млечного Пути существует сто тысяч миллионов звезд. Но из-за больших расстояний между соседними звездами по сравнению с их диаметрами звездное «уличное движение» в Млечном Пути происходит в очень спокойной обстановке, и столкновения звезд и даже пролеты на опасно близких расстояниях происходят крайне редко. Если наши планеты возникли в результате столкновения, то наше Солнце и его партнер по столкновению, происшедшему около пяти тысяч миллионов лет назад, вполне могут оказаться двумя единственными звездами в Млечном Пути, обладающими планетными системами. Поэтому и жизнь в Млечном Пути должна встречаться чрезвычайно редко.

Гипотеза возникновения планетной системы в результате столкновения Солнца и какой-то звезды была сформулирована в начале XX века сэром Джеймсом Джинсом в Англии и Форестом Моултоном и Томасом Чемберленом в Америке, но вскоре и на ее пути возникли трудности, и положение стало отчаянным. И только в год окончания Второй мировой войны парадокс удалось разрешить немецкому физика Карлу фон Вейцзеккеру. Он показал, что заключение Максвелла было ошибочным не потому, что Максвелл недостаточно владел математикой, а потому, что во времена Максвелла астрономы придерживались совершенно неверных представлений о химическом составе Вселенной. Считалось, что Солнце, другие звезды и межзвездное вещество по своему химическому составу ничем не отличаются от нашей Земли, т. е. состоят в основном из атомов железа, кремния и кислорода. Предполагалось, что водород на Солнце практически отсутствует и что гелий, впервые открытый в солнечном спектре и названный в честь Солнца («гелиос» по-древнегречески означает Солнце), встречается на Солнце так же редко, как на Земле. И только в конце 30-х годов XX века астрономы с помощью квантовой теории атома Нильса Бора пришли к заключению, что их предыдущие представления о химическом составе Вселенной опирались на совершенно неверные предпосылки. Действительно, теперь мы знаем, что Солнце, другие звезды и межзвездное вещество состоят на 55 % из водорода, примерно на 44 % из гелия и менее чем на 1 % из всех остальных элементов. Это позволило снять возражение Максвелла против первоначальной гипотезы Канта—Лапласа, поскольку последняя означала, что во времена образования планет, или, как их принято называть теперь, протопланет, те содержали огромные количества водорода и гелия, ныне почти полностью исчезнувших.

Солнечная туманность должна была быть гораздо более массивной, чем полагал Максвелл.

По вычислениям голландско-американского астронома Геральда Кейпера протопланеты образовались до того, как Солнце сконденсировалось настолько, чтобы стать горячей и яркой звездой. Таким образом, как и во многих других случаях, протопланеты были зачаты в темноте. В частности, Протоземля была гигантским шаром из смеси водорода и гелия с крохотным твердым ядром, на долю которого приходилось около 1 % общей массы. По поверхности этого протоядра мы и разгуливаем ныне. Наконец, когда Солнце сконденсировалось настолько, что температура в его центре достигла 20 миллионов градусов по шкале Кельвина<sup>1)</sup>, в недрах Солнца началась термоядерная реакция, и оно стало испускать в космическое пространство сильнейшую радиацию. Эта радиация сдула толстые первичные водородно-гелиевые атмосферы Меркурия, Венеры, Земли и Марса, обнажив их твердые ядра. Что касается Юпитера и планет, расположенных за ним, то они находятся от Солнца на гораздо больших расстояниях и, следовательно, в меньшей степени подвержены действию давления солнечной радиации, поэтому значительная часть первичных водородно-гелиевых атмосфер у них сохранилась, и их твердые ядра скрыты от наших глаз под их толстым покровом. Например, Юпитер имеет твердое ядро, примерно лишь в 10 раз более массивное, чем Земля, а остальная масса приходится на долю толстой и разреженной водородно-гелиевой атмосферы. Если вспомнить, что общая масса Юпитера примерно в 300 раз превосходит массу Земли, то нетрудно понять, сколь несущественна масса твердого ядра Юпитера.

Работы Вейцеккера и Кейпера обнажили совершенно новый или, наоборот, очень старый аспект проблемы происхождения планет, предложив нам старое вино в новых, более привлекательных мехах. По современным оценкам вероятность того, что звезда обладает своей собственной планетной системой, больше  $1/100$ , поэтому можно предполагать, что из сотен тысяч миллионов звезд, образующих Млечный Путь, у нескольких тысяч миллионов звезд могут быть свои планетные системы. Даже если всего лишь 1 % этих планетных систем имеет планету, сравнимую с нашей Землей, в Млечном Пути должно быть по крайней мере 10 миллионов обитаемых планет.

При обсуждении происхождения жизни на других обитаемых планетах важно иметь в виду, что первичная атмосфера Земли и других обитаемых планет была, по словам химиков, скорее восстановительной, чем окислительной, т. е. содержала больше водорода, чем кислорода. Поэтому летучие вещества, образующие первичные атмосферы этих планет, должны были быть водородом и его соединениями с кислородом, азотом и углеродом, т. е. водяными парами,

<sup>1)</sup> Предложенная лордом Кельвином шкала абсолютных температур начинается с абсолютного нуля, или  $-273^\circ$  по шкале Цельсия, — самой низкой из температур.



аммиаком и метаном, известным также под названием болотного газа. Такое заключение очень важно, поскольку именно в описываемой атмосфере происходит интенсивное образование различных органических соединений. Биологи теперь убеждены в том, что если такие органические соединения образуются, то жизнь заведомо возникает и развивается. Таков ответ на наш первый вопрос о том, существуют ли обитаемые миры во множестве, и то, что полученный ответ утвердительный, позволяет нам ответить на наш второй вопрос — обитаемы ли миры, пригодные для обитания? И в этом случае ответ, по-видимому, утвердительный.

Нашему Солнцу и нашей Земле сейчас примерно 4 500 000 000 лет, и наша цивилизация — суций новорожденный младенец. Если верно, что в нашей Галактике существует много цивилизаций, то очень многие из них в своем развитии должны далеко уйти от нашей цивилизации, так как даже если некоторые звезды всего лишь на несколько миллионов лет старше нашего Солнца, жизнь на обращающихся вокруг таких звезд планетах имела для эволюции на несколько миллионов лет больше. Такие цивилизации должны обладать несравненно более глубокими и широкими знаниями, чем мы, поэтому надежды на установление контакта с ними не столь уж необоснованы.

— А как предлагают вступить в контакт с внеземными цивилизациями те, кто так убежден в их существовании? — поинтересовался мистер Томкинс.

— Единственный разумный метод, который сейчас нам известен, — с помощью радиосигналов. К сожалению, поймать радиосигнал внеземной цивилизации не так просто, как, покрутив ручки настройки радиоприемника, найти в эфире нужную программу. Основные проблемы связаны с огромными расстояниями, чудовищным количеством звезд, со временем, которое требуется сигналу, чтобы пройти путь туда и обратно, и с помехами.

Расстояния сами по себе в действительности не являются серьезной проблемой. Разумеется, с увеличением расстояния радиосигнал становится слабее, убывая обратно пропорционально квадрату расстояния. Иначе говоря, при увеличении расстояния в 2 раза сигнал ослабевает в 4 раза, а при увеличении расстояния в 3 раза сигнал ослабевает в 9 раз. Но, в целом, мы можем бороться с ослаблением радиосигнала, делая его узконаправленным, как луч прожектора. Для этого нам, разумеется, необходимо радиозеркало. Чем больше его размер, тем острее, уже наш луч, тем дальше мы можем послать радиосигнал. Даже сейчас мы в состоянии послать радиосигнал на очень большое расстояние. Самое большое из полностью управляемых ныне существующих радиозеркал находится в обсерватории Джодрел Банк в Англии. Диаметр зеркала — 75 м. Используя такое зеркало и передатчики, аналогичные нашим самым мощным радарным установкам, было бы нетрудно послать сигнал на расстояние

стадий сжатия рассеянной материи, из которой образовалось Солнце, либо была исторгнута из недр Солнца на более поздних стадиях из-за увеличившейся скорости вращения основного тела Солнца. Кант, будучи философом, сформулировал свою гипотезу чисто качественно. Удивительно, что Лаплас, хотя он и был блестящим математиком, опубликовал свою гипотезу только в популярной брошюре и, насколько известно, никогда не пытался облечь ее в математически строгую форму.

— Может быть, он пытался, но ему не удалось получить сколько-нибудь значимых результатов? — высказал предположение мистер Томпкинс.

— Возможно, я бы даже сказал, очень даже возможно. Но так или иначе, гипотеза Канта—Лапласа не привлекла внимание математиков вплоть до появления на сцене примерно через сто лет британского физика-теоретика Джеймса Клерка Максвелла. Свой анализ он начал со сравнительно второстепенной проблемы — с вопроса об устойчивости колец Сатурна: почему кольца не конденсируются в один сгусток материи или, может быть, в несколько сгустков материи. Иначе говоря, почему из колец Сатурна не образуются его новые спутники? Максвелл понял, что на вещество в кольцах Сатурна действуют две противоположные силы. Во-первых, между различными частями кольца действуют силы ньютоновской гравитации, стремящиеся сконденсировать вещество в кольцо в одно или несколько сферических тел, аналогичных другим спутникам Сатурна. Во-вторых, существует разрушительная сила, возникающая вследствие того, что по третьему закону Кеплера внешние части кольца движутся с меньшей угловой скоростью, т. е. с большим периодом обращения, чем внутренние части. Эта сила стремится разрушить конденсацию в самом зародыше и распределить вещество равномерно по кольцу. Окончательный результат противоборства зависит от того, какая из сил больше. Максвелл вывел математическую формулу, дающую решение задачи об устойчивости кольца Сатурна, если известна полная масса кольца, его размеры и скорость вращения. Эти величины известны из астрономических наблюдений. Максвеллу удалось показать, что разрушительная сила больше гравитационных сил. Следовательно, кольца Сатурна не могут конденсироваться в спутники. Именно так и происходит в действительности.

Затем Максвелл применил свою математическую теорию к гипотетическому кольцу, которое якобы окружало Солнце на ранних стадиях его формирования. Для этого Максвелл предположил, что все вещество, сосредоточенное ныне в планетах, некогда было равномерно распределено по всей плоскости эклиптики и образовывало первичную «солнечную туманность». Результат вычислений Максвелла был поистине шокирующим: выяснилось, что баланс между гравитационными (конденсирующими) и разрушительными силами

был таким же, как в кольце Сатурна. Иначе говоря, если бы «солнечная туманность» существовала, то она никогда не смогла бы конденсироваться в планеты! Для этого ее масса слишком мала.

Единственная очевидная альтернатива состояла в предположении, что наша планетная система возникла в результате столкновения Солнца с какой-то другой звездой. Действительно, в звездной системе Млечного Пути существует сто тысяч миллионов звезд. Но из-за больших расстояний между соседними звездами по сравнению с их диаметрами звездное «уличное движение» в Млечном Пути происходит в очень спокойной обстановке, и столкновения звезд и даже пролеты на опасно близких расстояниях происходят крайне редко. Если наши планеты возникли в результате столкновения, то наше Солнце и его партнер по столкновению, происшедшему около пяти тысяч миллионов лет назад, вполне могут оказаться двумя единственными звездами в Млечном Пути, обладающими планетными системами. Поэтому и жизнь в Млечном Пути должна встречаться чрезвычайно редко.

Гипотеза возникновения планетной системы в результате столкновения Солнца и какой-то звезды была сформулирована в начале XX века сэром Джеймсом Джинсом в Англии и Форестом Моултоном и Томасом Чемберленом в Америке, но вскоре и на ее пути возникли трудности, и положение стало отчаянным. И только в год окончания Второй мировой войны парадокс удалось разрешить немецкому физика Карлу фон Вейцзеккеру. Он показал, что заключение Максвелла было ошибочным не потому, что Максвелл недостаточно владел математикой, а потому, что во времена Максвелла астрономы придерживались совершенно неверных представлений о химическом составе Вселенной. Считалось, что Солнце, другие звезды и межзвездное вещество по своему химическому составу ничем не отличаются от нашей Земли, т. е. состоят в основном из атомов железа, кремния и кислорода. Предполагалось, что водород на Солнце практически отсутствует и что гелий, впервые открытый в солнечном спектре и названный в честь Солнца («гелиос» по-древнегречески означает Солнце), встречается на Солнце так же редко, как на Земле. И только в конце 30-х годов XX века астрономы с помощью квантовой теории атома Нильса Бора пришли к заключению, что их предыдущие представления о химическом составе Вселенной опирались на совершенно неверные предпосылки. Действительно, теперь мы знаем, что Солнце, другие звезды и межзвездное вещество состоят на 55 % из водорода, примерно на 44 % из гелия и менее чем на 1 % из всех остальных элементов. Это позволило снять возражение Максвелла против первоначальной гипотезы Канта—Лапласа, поскольку последняя означала, что во времена образования планет, или, как их принято называть теперь, протопланет, те содержали огромные количества водорода и гелия, ныне почти полностью исчезнувших.

Солнечная туманность должна была быть гораздо более массивной, чем полагал Максвелл.

По вычислениям голландско-американского астронома Геральда Кейпера протопланеты образовались до того, как Солнце сконденсировалось настолько, чтобы стать горячей и яркой звездой. Таким образом, как и во многих других случаях, протопланеты были зачаты в темноте. В частности, Протоземля была гигантским шаром из смеси водорода и гелия с крохотным твердым ядром, на долю которого приходилось около 1 % общей массы. По поверхности этого протоядра мы и разгуливаем ныне. Наконец, когда Солнце сконденсировалось настолько, что температура в его центре достигла 20 миллионов градусов по шкале Кельвина<sup>1)</sup>, в недрах Солнца началась термоядерная реакция, и оно стало испускать в космическое пространство сильнейшую радиацию. Эта радиация сдула толстые первичные водородно-гелиевые атмосферы Меркурия, Венеры, Земли и Марса, обнажив их твердые ядра. Что касается Юпитера и планет, расположенных за ним, то они находятся от Солнца на гораздо больших расстояниях и, следовательно, в меньшей степени подвержены действию давления солнечной радиации, поэтому значительная часть первичных водородно-гелиевых атмосфер у них сохранилась, и их твердые ядра скрыты от наших глаз под их толстым покровом. Например, Юпитер имеет твердое ядро, примерно лишь в 10 раз более массивное, чем Земля, а остальная масса приходится на долю толстой и разреженной водородно-гелиевой атмосферы. Если вспомнить, что общая масса Юпитера примерно в 300 раз превосходит массу Земли, то нетрудно понять, сколь несущественна масса твердого ядра Юпитера.

Работы Вейцеккера и Кейпера обнажили совершенно новый или, наоборот, очень старый аспект проблемы происхождения планет, предложив нам старое вино в новых, более привлекательных мехах. По современным оценкам вероятность того, что звезда обладает своей собственной планетной системой, больше  $1/100$ , поэтому можно предполагать, что из сотен тысяч миллионов звезд, образующих Млечный Путь, у нескольких тысяч миллионов звезд могут быть свои планетные системы. Даже если всего лишь 1 % этих планетных систем имеет планету, сравнимую с нашей Землей, в Млечном Пути должно быть по крайней мере 10 миллионов обитаемых планет.

При обсуждении происхождения жизни на других обитаемых планетах важно иметь в виду, что первичная атмосфера Земли и других обитаемых планет была, по словам химиков, скорее восстановительной, чем окислительной, т. е. содержала больше водорода, чем кислорода. Поэтому летучие вещества, образующие первичные атмосферы этих планет, должны были быть водородом и его соединениями с кислородом, азотом и углеродом, т. е. водяными парами,

<sup>1)</sup> Предложенная лордом Кельвином шкала абсолютных температур начинается с абсолютного нуля, или  $-273^\circ$  по шкале Цельсия, — самой низкой из температур.

аммиаком и метаном, известным также под названием болотного газа. Такое заключение очень важно, поскольку именно в описываемой атмосфере происходит интенсивное образование различных органических соединений. Биологи теперь убеждены в том, что если такие органические соединения образуются, то жизнь заведомо возникает и развивается. Таков ответ на наш первый вопрос о том, существуют ли обитаемые миры во множестве, и то, что полученный ответ утвердительный, позволяет нам ответить на наш второй вопрос — обитаемы ли миры, пригодные для обитания? И в этом случае ответ, по-видимому, утвердительный.

Нашему Солнцу и нашей Земле сейчас примерно 4 500 000 000 лет, и наша цивилизация — суций новорожденный младенец. Если верно, что в нашей Галактике существует много цивилизаций, то очень многие из них в своем развитии должны далеко уйти от нашей цивилизации, так как даже если некоторые звезды всего лишь на несколько миллионов лет старше нашего Солнца, жизнь на обращающихся вокруг таких звезд планетах имела для эволюции на несколько миллионов лет больше. Такие цивилизации должны обладать несравненно более глубокими и широкими знаниями, чем мы, поэтому надежды на установление контакта с ними не столь уж необоснованы.

— А как предлагают вступить в контакт с внеземными цивилизациями те, кто так убежден в их существовании? — поинтересовался мистер Томпкинс.

— Единственный разумный метод, который сейчас нам известен, — с помощью радиосигналов. К сожалению, поймать радиосигнал внеземной цивилизации не так просто, как, покрутив ручки настройки радиоприемника, найти в эфире нужную программу. Основные проблемы связаны с огромными расстояниями, чудовищным количеством звезд, со временем, которое требуется сигналу, чтобы пройти путь туда и обратно, и с помехами.

Расстояния сами по себе в действительности не являются серьезной проблемой. Разумеется, с увеличением расстояния радиосигнал становится слабее, убывая обратно пропорционально квадрату расстояния. Иначе говоря, при увеличении расстояния в 2 раза сигнал ослабевает в 4 раза, а при увеличении расстояния в 3 раза сигнал ослабевает в 9 раз. Но, в целом, мы можем бороться с ослаблением радиосигнала, делая его узконаправленным, как луч прожектора. Для этого нам, разумеется, необходимо радиозеркало. Чем больше его размеры, тем острее, уже наш луч, тем дальше мы можем послать радиосигнал. Даже сейчас мы в состоянии послать радиосигнал на очень большое расстояние. Самое большое из полностью управляемых ныне существующих радиозеркал находится в обсерватории Джодрел Банк в Англии. Диаметр зеркала — 75 м. Используя такое зеркало и передатчики, аналогичные нашим самым мощным радарным установкам, было бы нетрудно послать сигнал на расстояние

10–20 световых лет, а после некоторых усовершенствований даже достичь дальности примерно в 500 световых лет.

Существенным препятствием для сверхдальней радиосвязи были и остаются помехи в нашей Галактике. Они обусловлены тем, что всевозможные объекты в космическом пространстве — звезды и облака пыли и газов — испускают радиоволны. Однако помехи можно свести практически на нет, если прием радиосигналов вести с помощью большого радиозеркала, «нацеленного» на источник сигналов. Объясняется это двумя причинами. Чем больше радиозеркало, тем больше энергии оно принимает и тем меньше участок неба, с которого оно улавливает сигналы. Тем самым большое радиозеркало позволяет резко снизить уровень помех и в то же время увеличить интенсивность сигнала. Таким образом, чем больше радиозеркала передатчика и приемника, тем на большем удалении можно установить связь.

Разумеется, не следует обо всем судить по нашим нынешним меркам. Самые большие радиоантенны, которые могут быть построены на Земле, имеют в диаметре сотни метров. Технические ограничения на размеры связаны главным образом с искажениями, вызываемыми гравитацией, ветрами и колебаниями температуры, которые изменяют форму зеркала, следящего за источником радиоизлучения. Однако все эти ограничения носят временный характер. На Луне или в космическом пространстве можно построить гораздо большие радиозеркала с диаметром в несколько километров. А поскольку мы сами стоим на пороге создания таких радиозеркал, цивилизации, даже немного обогнавшие нас на пути прогресса, без особого труда могли бы также построить их.

— Но если все это столь просто, то почему нам до сих пор не удалось установить связь с внеземными цивилизациями? — любопытствовал мистер Томпкинс.

— Потому, что установить связь просто, если известно, что кто-то шлет тебе узконаправленный сигнал, и если известно направление на источник и частота, на которой работает отправитель сигнала. Пока нам неизвестно ничего. Особенно большой проблемой является первый шаг — открытие сигнала, посланного внеземной цивилизацией. Мы знаем, что для того, чтобы преодолеть помехи, полоса передачи сигнала должна быть очень узкой, а скорость передачи очень медленной. На передачу точки или тире могут потребоваться минуты или даже часы. Поэтому в поиске сигнала нам придется подробнейшим образом проанализировать множество частот, т. е. проделать весьма трудоемкую работу. Было высказано предположение, что для более легкой идентификации сообщения от внеземных цивилизаций должны передаваться на какой-нибудь «естественной» частоте, например, на удвоенной частоте испускания водорода, так как эта частота должна быть известна любому ученому во Вселенной. Но даже если такое предположение верно, нам придется в поисках внеземной цивилизации изучить самым подробным образом очень

большое число звезд — около 50 000, расположенных в радиусе 400 световых лет. Поэтому нам предстоит провести дорогостоящий и трудоемкий поиск и анализ слабых сигналов. В случае удачи мы обнаружим планету, обращающуюся вокруг далекой звезды.

Учитывая все эти трудности, весьма маловероятно, что кто-нибудь пошлет нам узконаправленный радиосигнал, не будучи уверенным, что мы располагаем радио. Но поскольку теперь мы широко используем радиосвязь, можно предположить, что какой-нибудь представитель внеземной цивилизации настроится на одну из наших обычных коммерческих и военных радиопередач, во множестве заполняющих атмосферу Земли, и тем самым обнаружит, что мы уже открыли радио. Но, как я уже упоминал, если мы не создадим узконаправленный радиосигнал, безнадежно пытаться обнаружить столь слабый сигнал на фоне космических помех.

Но для обнаружения очень слабого сигнала на фоне шумов, или помех, можно воспользоваться статистическими методами. Принцип, лежащий в основе статистических методов, прост и может быть объяснен на примере бросания игральной кости.

Предположим, что я хочу утяжелить кость так, чтобы она передавала сигнал «шесть» (т. е. выпадала шестью очками). Как показывает опыт шулеров, изготовить такую кость действительно можно. В идеальном случае игральную кость можно утяжелить так, что она всегда будет выпадать вверх шестью очками. Если изготовить такую кость, то после нескольких бросаний обнаружится, что всегда выпадает только шесть очков и становится понятно, что кость фальшивая и специально утяжелена, чтобы передавать сигнал «шесть». Подчеркну, что сигнал передается в чистом виде, без помех. Но предположим, что игральная кость утяжелена не столь совершенным образом. При бросании обычной, или «честной», игральной кости шесть очков выпадают в одном случае из шести, а при бросании утяжеленной кости — в одном случае из трех. Это означает, что сигнал «шесть» доходит с помехами. Однако никаких трудностей с приемом сигнала не возникает: просто для того, чтобы удостовериться в приеме сигнала, бросать игральную кость придется большее число раз. Чем меньше утяжеленная игральная кость отличается от образцовой игральной кости, тем дольше придется бросать ее, прежде чем удастся понять, какой сигнал она передает, т. е. какое количество очков выпадает чаще всего. Поэтому, по крайней мере теоретически, сигнал можно обнаружить при любом уровне помех, если повторять сигнал достаточно часто, или, иначе говоря, ценой более медленной передачи сигнала.

Этот принцип имеет не только чисто теоретическое значение, но и находит практическое применение в исследованиях с помощью радаров Солнца, Луны и планет. Радарные установки посылают импульсы через определенные интервалы. Когда отраженные импульсы вернуться на Землю, они могут оказаться слишком слабыми для того, чтобы их можно было распознать на фоне помех. Тем не менее

отраженные импульсы можно подвергнуть анализу, чтобы узнать, не окажется ли средняя интенсивность сигнала, соответствующая интервалу между импульсами, больше, чем при других, воображаемых, интервалах. Если анализ покажет, что при заданной величине интервала средняя интенсивность действительно больше, то можно утверждать, что действительно зафиксирован отраженный сигнал, хотя отдельные импульсы неразличимы.

Аналогичным образом кто-нибудь на планете, обращающейся вокруг далекой звезды, может направить свой радиотелескоп на нашу солнечную систему и заняться изучением отраженных сигналов, сильно искаженных помехами. Если отраженный сигнал записать дважды с некоторым интервалом между записями, то выяснится, что при определенном наборе частот, соответствующих частотам, на которых работают наши передатчики, сумма сигналов чуть больше, чем при других частотах, обусловленных помехами, так как помехи варьируются случайным образом и имеют тенденцию затухать. Нетрудно показать, что если радиоантенна с достаточно большой «чашей» может принимать сигналы, а быстродействующий компьютер способен производить обработку принятых сигналов, необходимую для их статистического анализа, то «кто-нибудь там, вдалеке» мог бы обнаружить, что на Земле происходит интенсивный радиообмен, даже в том случае, если этот таинственный некто находится от нас на расстоянии многих световых лет. Разумеется, представитель внеземной цивилизации вряд ли смог бы различить отдельные сигналы, но установить самый факт радиообмена на нашей планете он был бы в состоянии. Такое открытие само по себе имело бы первостепенное значение, поскольку свидетельствовало бы о наличии разумных форм жизни не только в месте обитания внеземного наблюдателя, но и вдали от него.

Примерно с 1930-х годов мы затрачиваем на передачу радиосигналов значительное количество энергии. Возможно, что уже сейчас наши сигналы успели дойти до кого-то, кто находится от нас за много световых лет, и этот кто-то, зная, что мы находимся здесь, направит нам свой радиосигнал, прием которого ознаменует установление радиосвязи между двумя солнечными системами. Появление такого послания от собратьев по разуму можно ожидать в ближайшие десятилетия.

— Как же мы станем общаться с инопланетянами, не зная их языка? — недоуменно спросил мистер Томпкинс.

— Понять друг друга будет не так уж трудно. Ведь один общий язык у нас для начала есть. Я имею в виду числа. Сначала мы можем передать в сообщении одну, две, три и т. д. точки, а затем выработать для них понятные инопланетянам и нам сокращенные обозначения, или, если угодно, цифры. А располагая цифрами, можно делать очень многое, например, передавать черно-белое изображение, обозначая каждую его точку тем или иным числом, указывающим, черная эта



точка или белая, как при передаче черно-белого изображения по фототелеграфу. Так или иначе, рассматриваемая проблема аналогична проблеме криптографии, взятой «наоборот». Посылая сообщение, и далекий инопланетянин, и мы заботимся о том, чтобы получатель мог легко декодировать сигнал, а не ставим перед собой задачу максимально затруднить декодирование сообщений. Вместе с тем не следует забывать об одном важном обстоятельстве: расстояния между звездами настолько велики, что на преодоление их у радиосигналов, распространяющихся со скоростью света, уходят десятилетия, если не столетия. Не исключено, что уже вскоре мы получим от инопланетян сообщение, отправленное некоторое время назад. Но в любом случае связь с инопланетной цивилизацией будет похожа не на обычный телефонный разговор, а скорее на обмен книгами.

— А о чем мы собираемся говорить с инопланетянами?

— Хороший вопрос. Действительно, что заставляет нас желать установления связи с внеземной цивилизацией? Пожалуй, больше всего надежда многому научиться у цивилизаций, обогнавших нас в своем развитии на миллионы лет. Установление связи с такой внеземной цивилизацией позволило бы нам, так сказать, с помощью радиоприемника совершить огромный скачок во времени, далеко превосходящий фантазию Уэллса с его машиной времени.

— То, о чем ты сейчас говоришь, Уилфред, настолько поразительно, — признался мистер Томпкинс, — что я не могу не спросить тебя, действительно ли ты веришь, будто мы можем установить связь с разумными обитателями других солнечных систем?

— Убежден, что это возможно, правда, с одной оговоркой. Я убежден во множественности миров — в том, что жизнь существует не только на Земле, но и на многих объектах в нашей Галактике и что, возникнув, жизнь имеет тенденцию эволюционировать к разуму. Вопрос заключается в том, что происходит, когда появляется разум? Если технологическая цивилизация обычно живет на протяжении миллионов лет, то таких цивилизаций в Галактике должно быть много, и я уверен, что связь между ними рано или поздно непременно будет установлена. Но, возможно, все обстоит иначе.

Представь себе, что сейчас по околоземной орбите обращается космический зонд, запущенный внеземной цивилизацией. Приемник на борту зонда обнаружит неумолчный шум от множества передаваемых радиосигналов, и, декодировав их, инопланетяне получат весьма интересную картину происходящего под слоем облаков, укрывающих Землю.

Из столиц мира нескончаемым потоком изливаются брань, ненависть и угрозы уничтожения. И тот же космический зонд довольно быстро установит, что это не пустые угрозы: в специальных хранилищах на Земле накоплены ядерные боеприпасы, по много тонн в тротиловом эквиваленте на каждого обитателя Земли. Не зная, что в действительности мы представляем собой тихих и мирных существ,

которые и мухи не обидят, создатели инопланетного зонда придут к заключению, что наши радиопередачи продлятся недолго, и сочтут, что в ходе эволюции на нашей планете возникла безумная и наделенная весьма дурными наклонностями и пороками раса маньяков, обреченная на самоуничтожение.

Основной вопрос сводится к тому, обязательно ли технологическая цивилизация несет с собой зародыши собственного уничтожения. Нетрудно видеть, что такое вполне возможно. Наша собственная проблема заключается в том, что мы открыли методы изменения окружающей среды столь быстрыми темпами, которые не позволяют нашему разуму адаптироваться к ним. А коль скоро мы не успеваем адаптироваться к изменениям окружающей среды, нам придется последовать судьбе динозавров. Как точно сформулировал один из моих друзей, по профессии астроном, движущими силами, ведущими к технологической цивилизации, являются конкуренция, которая в конечном счете приводит к разрушению, и стремление к легкой жизни, которое в конечном счете приводит к физическому и генетическому вырождению. Выжить мы сможем только в том случае, если сумеем отказаться от этих движущих сил, как только они выйдут за рамки, в которых их использование полезно.

Если верно, что все технологические цивилизации имеют малое время жизни, то перспектива установления связи между нами становится туманной. В любой период времени таких цивилизаций будет существовать немного. Следовательно, они будут разделены огромными расстояниями, возможно, в тысячи световых лет. Даже если таким цивилизациям удастся установить взаимное расположение, установление двусторонней связи будет невозможно. За тысячи лет, которые понадобятся распространяющемуся со скоростью света сообщению, чтобы проделать путь туда и обратно, обе цивилизации исчезнут.

Стемнело. Пора было возвращаться домой. Мистеру Томпкинсу не удалось поймать ни одной рыбки. Мысли его блуждали где-то далеко, возможно, ему вспомнились строки из стихотворений Генриха Гейне, которое он некогда прочитал<sup>2)</sup>:

О волны, откройте мне вечную тайну,  
Откройте мне тайну жизни,  
Решите загадку, что мучила столько голов —  
Голов в париках, ермолках, чалмах и беретах.  
И сотни тысяч других, что ищут ответа и сохнут.  
Скажите, что есть человек?  
Откуда пришел он? Куда он идет?  
И кто живет в вышине, на далеких сверкающих звездах?

---

<sup>2)</sup> «Вопросы» из второго цикла «Северное море» в пер. Ю. Очиченко. — Прим. перев.

# Издательство УРСС

специализируется на выпуске учебной и научной литературы, в том числе монографий, журналов, трудов ученых Российской Академии наук, научно-исследовательских институтов и учебных заведений.



## Уважаемые читатели! Уважаемые авторы!

Основываясь на широком и плодотворном сотрудничестве с Российским фондом фундаментальных исследований и Российским гуманитарным научным фондом, мы предлагаем авторам свои услуги на выгодных экономических условиях. При этом мы берем на себя всю работу по подготовке издания — от набора, редактирования и верстки до тиражирования и распространения.

Среди вышедших и готовящихся к изданию книг мы предлагаем Вам следующие:



*Леках В. А.*

### Ключ к пониманию физиологии.

Материал по физиологии человека и животных в книге изложен нетрадиционным образом. Здесь представлено более 700 задач с подробными решениями по разным темам физиологии. В первой (методической) части книги приведен ряд общих положений для выработки двух важнейших навыков — умения мыслить физиологически и умения мыслить системно. Эти навыки будут способствовать усвоению материала задачника.

Важной особенностью является то, что для успешного решения задач применяется несколько специально разработанных правил, основанных на использовании системного

подхода. Ознакомление с методикой решения и последующее ее применение в ходе самостоятельной работы призваны обеспечить глубокое понимание сущности изучаемых физиологических процессов.

Книга предназначена для студентов медицинских и биологических специальностей при изучении курса физиологии. Может использоваться учителями средней школы, абитуриентами и старшеклассниками.

- *Лотова Л. И.* Морфология и анатомия высших растений.

*Алексеев В. И., Каминский В. А.* Прикладная молекулярная биология.

*Барышников А. Ю., Шишкин Ю. В.* Иммунологические проблемы апоптоза.

*Реутов В. П. и др.* Проблема оксида азота в биологии и медицине и принцип цикличности (ретроспективный анализ идей, принципов и концепций).

Методология биологии: новые идеи. Под ред. *Баксанского О. Е.*

*Кожедуб Р. Г.* Мембранные и синаптические модификации в проявлениях основных принципов работы головного мозга.

*Малиновский А. А.* Тектология. Теория систем. Теоретическая биология.

*Новиков Г. Г.* Рост и энергетика развития костистых рыб в раннем онтогенезе.

*Гамов Г.* Мистер Томпкинс в Стране Чудес, или истории о  $c$ ,  $G$  и  $h$ .

*Гамов Г.* Мистер Томпкинс исследует атом.

*Гамов Г., Стерн М.* Занимательные задачи.

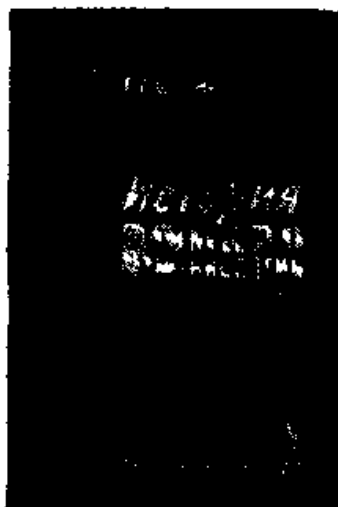
По всем вопросам Вы можете обратиться к нам:  
тел./факс (895) 135-44-23, тел. 135-42-46  
или электронной почтой [urss@urss.ru](mailto:urss@urss.ru).  
Полный каталог изданий представлен  
в Интернет-магазине: <http://urss.ru>

**Издательство УРСС**

Научная и учебная  
литература



Представляет Вам свои лучшие книги:



*Шлегель Г. Г.*

**История микробиологии.**

Книга отражает основные этапы развития микробиологии, начиная с XVI столетия и до 50–60-х годов XX века. Она написана крупным специалистом в области микробиологии и отличается глубоким профессионализмом в изложении материала. В живой и яркой форме в ней изложены сведения о том, кем и как на протяжении столетий осуществлялись фундаментальные открытия процессов и законов микробиологии, развивались идеи и концепции, многие из которых и поныне не утратили своего значения.

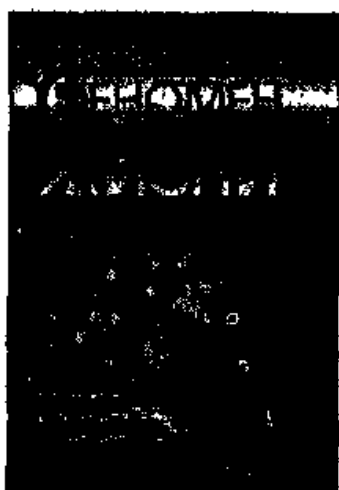
Книга предназначена для студентов, преподавателей и научных работников и может служить учебным пособием для студентов по курсу «Микробиология».

*Блюменфельд Л. А.*

**Решаемые и нерешаемые проблемы биологической физики.**

Книга посвящена анализу ряда фундаментальных проблем биофизики, объектом которой являются живые системы. Чтение этой книги не предполагает специального биологического или физического образования; в некоторые главы включены основы тех областей физики, биофизики и биохимии, которые непосредственно связаны с обсуждаемыми проблемами.

Монография адресована научным сотрудникам и преподавателям, аспирантам и студентам, а также широкому кругу читателей, всем кого интересуют проблемы биологической физики и смежных с ней областей естествознания.



*Галимов Э. М.*

**Феномен жизни.**

**Происхождение и принципы эволюции.**

Книга посвящена одной из наиболее фундаментальных проблем естествознания — проблеме происхождения жизни и законам ее эволюции. В настоящее время дарвинизм не дает исчерпывающего знания проблем эволюции, в частности, не помогает понять механизм зарождения жизни. Э. М. Галимов в своей концепции предлагает решение, основанное на нетрадиционном рассмотрении процесса производства упорядочения в рамках линейной равновесной термодинамики. Сформулированная модель позволяет конкретизировать требования к содержанию химических форм начальной эволюции. Книга включает физико-химическую, биологическую и геологическую аргументации авторской гипотезы, которые излагаются в форме, равнодоступной для специалистов каждой из этих областей.

Книга включает физико-химическую, биологическую и геологическую аргументации авторской гипотезы, которые излагаются в форме, равнодоступной для специалистов каждой из этих областей.



Представляет Вам свои лучшие книги:

*Дж. Р. Николлс, А. Р. Мартин, Б. Дж. Валлас, П. А. Фукс*

## ОТ НЕЙРОНА К МОЗГУ

Под редакцией *П. М. Балабана, Р. А. Гиниатуллина*

Цель нового издания знаменитой и ставшей классической в нейробиологии книги «От нейрона к мозгу» осталась той же, что и в первом издании, написанном 25 лет назад. В предисловии к этой книге цель декларирована как: «описать способы передачи сигналов нервными клетками, как сигналы анализируются и как на основе этой интеграции возникают высшие функции мозга. Книга предназначена читателю без специального образования, который интересуется принципами работы нервной системы». В новом издании четыре широко известных нейробиолога в том же ясном стиле описывают существующие факты, методические подходы и концепции, делая упор на экспериментальные данные, как классические, так и самые современные. Фактически более чем на три четверти это совершенно новая книга, так как бурный рост науки о мозге привел к удивительным открытиям в последние десятилетия. Книга снабжена огромным количеством иллюстраций, просто и четко излагаются не только каждая проблема, но и откуда она появилась, как связана с другими вопросами нейробиологии.



*Роджер Пенроуз.*

### НОВЫЙ УМ КОРОЛЯ.

О компьютерах, мышлении и законах физики.

Монография известного физика и математика Роджера Пенроуза посвящена изучению проблемы искусственного интеллекта на основе всестороннего анализа достижений современных наук. Возможно ли моделирование разума? Чтобы найти ответ на этот вопрос, Пенроуз обсуждает широчайший круг явлений: алгоритмизацию математического мышления, машины Тьюринга, теорию сложности, теорему Геделя, телепортацию материи, парадоксы квантовой физики, энтропию, рождение вселенной, черные дыры, строение мозга и многое другое.

Книга вызовет несомненный интерес как у специалистов, так и у широкого круга читателей.

Издательство  
УРСС

(095) 135-42-46,  
(095) 135-44-23,  
URSS@URSS.ru

### Наши книги можно приобрести в магазинах:

- «Библио-Глобус» (м. Лубянка, ул. Мясницкая, 6. Тел. (095) 925-2457)
- «Московский дом книги» (м. Арбатская, ул. Новый Арбат, 8. Тел. (095) 293-8242)
- «Москва» (м. Охотный ряд, ул. Тверская, 8. Тел. (095) 229-7855)
- «Молодая гвардия» (м. Палочка, ул. Б. Палочка, 29. Тел. (095) 230-5083, 230-1144)
- «Дом деловой книги» (м. Пролетарская, ул. Марксистская, 9. Тел. (095) 279-5421)
- «Старый Свет» (м. Пушкинская, Тверской б-р, 25. Тел. (095) 282-8608)
- «Гнозис» (м. Университет, 1 гуп. корпус МГУ, комн. 141. Тел. (095) 939-4713)
- «У Кентавра» (РГТУ) (м. Новослободская, ул. Чапаева, 15. Тел. (095) 973-4391)
- «СПб. дом книги» (Невский пр., 28. Тел. (812) 371-8954)

**В последней книге  
замечательной трилогии  
о мистере Томпкинсе,  
которую Георгий ГАМОВ  
написал в соавторстве  
с известным биологом  
Мартинасом ИЧАСОМ,  
авторы с присущим им  
блеском и остроумием  
заставляют своего героя  
пережить невероятные  
приключения внутри своего  
собственного организма,  
раскрывая перед  
читателем захватывающую  
картину достижений  
биологической науки.**

ИЗДАТЕЛЬСТВО **УРСС**  
НАУЧНОЙ И УЧЕБНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ



E-mail: [URSS@URSS.ru](mailto:URSS@URSS.ru)  
Каталог изданий  
в *Internet*: <http://URSS.ru>  
Тел./факс: 7 (095) 135-44-23  
Тел./факс: 7 (095) 135-42-46

1794 ID 11628



9 785354 003587 >