www.NetBook.perm.ru
Научно-образовательный мультимедиа портал

АРТУР УИГГИНС, ЧАРЛЬЗ УИНН

ПЯТЬ НЕРЕШЕННЫХ ПРОБЛЕМ НАУКИ

Рисунки Сидни Харриса

Уиггинс А., Уинн Ч.
THE FIVE BIGGEST UNSOLVED PROBLEMS IN SCIENCE
ARTHUR W. WIGGINS CHARLES M. WYNN
With Cartoon Commentary by Sidney Harris
John Wiley & Sons, Inc.

Книга рассказывает о крупнейших проблемах астрономии, физики, химии, биологии и геологии, над которыми сейчас работают ученые. Авторы рассматривают открытия, приведшие к этим проблемам, знакомят с работой по их решению, обсуждают новые теории, в том числе теории струн, хаоса, генома человека и укладки белков.

Предисловие

Мы, люди, ютимся на обломке скалы под названием «планета», обращающейся вокруг ядерного реактора под названием «звезда», которая входит в огромное собрание звезд под названием «Галактика», а та в свою очередь — часть скоплений галактик, составляющих Вселенную. Наше состояние, именуемое нами жизнью, присуще множеству иных организмов на этой планете, но, похоже, мы одни обладаем орудием ума для постижения Вселенной и всего, чем она располагает. Свои усилия по выяснению природы Вселенной мы подводим под понятие науки. Такое понимание дается нелегко, и путь к нему долог. Однако успехи налицо.

Данная книга поведает читателю о крупнейших нерешенных проблемах науки, над которыми работают сегодня ученые. При всем изобилии экспериментальных данных их оказывается недостаточно, чтобы подтвердить ту или иную гипотезу. Мы рассмотрим события и открытия, приведшие к этим проблемам, а затем ознакомим вас с тем, как сегодня их пытаются решить ученые, находящиеся на переднем крае науки. Сидни Харрис, лучший американский иллюстратор научных изданий, оживит наши рассуждения присущим его рисункам юмором, не только поясняя затрагиваемые идеи, но и высвечивая их совершенно по-новому.

Мы обсуждаем здесь также нерешенные проблемы в основных отраслях естествознания, руководствуясь в своем выборе степенью их значимости, трудности, широты охвата и масштабом последствий. Наряду с ними мы включили в книгу краткий обзор и некоторых других проблем в каждой из затронутых отраслей знания, а также «Список идей», где читатель найдет дополнительные сведения о подоплеке некоторых нерешенных проблем. Наконец, мы привели «Источники для углубленного изучения», где перечислены информационные ресурсы, призванные помочь больше узнать о заинтересовавших вас предметах.

Особой благодарности заслуживают Кейт Бредфорд, старший редактор издательства *Wiley,* первый подавший мысль о такой книге, и наш литературный агент Луиза Кетц за ее неизменные слова поддержки.

Глава первая

Видение науки

> Ведь человеку образованному свойственно добиваться точности для каждого рода [предметов][*]
>
> в той степени, в какой это допускает природа предмета. Одинаково [нелепым] кажется и довольствоваться пространными рассуждениями математика, и требовать от ритора строгих доказательств.
>
> *Аристотель*

Наука ≠ техника

Разве наука и техника не одно и то же? *Нет,* они различны.

Хотя техника, определяющая современную культуру, развивается благодаря постижению наукой Вселенной, техника и наука руководствуются разными побуждениями. Рассмотрим основные различия между наукой и техникой. Если занятия наукой вызваны желанием человека познать и понять Вселенную, то технические новшества — стремлением людей изменить условия своего существования, чтобы добыть себе пропитание, помочь другим, а нередко и совершить насилие ради личной выгоды.

Люди зачастую одновременно занимаются «чистой» и прикладной наукой, но в науке можно вести фундаментальные исследования без оглядки на конечный результат. Британский премьер-министр Уильям Гладстон заметил как-то Майклу Фарадею по поводу его основополагающих открытий, связавших воедино электричество и магнетизм: «Все это весьма занятно, но каков в этом прок?» Фарадей ответил: «Сэр, я не знаю, но однажды вы от этого выгадаете». Почти половину нынешнего богатства развитым странам принесла связь электричества с магнетизмом.

Прежде чем научные достижения станут достоянием техники, требуется принять во внимание дополнительные соображения: разработка какого устройства *возможна,* что *допустимо* построить (вопрос, по сути, относящийся к области этики). Этика же принадлежит к совершенно иной области умственной деятельности человека: гуманитарным наукам.

---

[*] Здесь и далее в квадратных скобках приводятся разъяснения переводчика.

Я нашел способ, как снизить скорость звука.
Я нашел способ, как снизить скорость звука.
Я нашел способ, как снизить скорость звука.
Я нашел способ, как снизить скорость звука.

Основное различие между естествознанием и гуманитарными науками состоит в объективности. Естествознание стремится изучать поведение Вселенной по возможности объективно, тогда как перед гуманитарными науками такой цели или требования нет. Перефразируя слова ирландской писательницы XIX века Маргарет Волф Хангерфорд, можно сказать: «Красота [и истина, и справедливость, и благородство, и...] видится всеми по-разному».

Наука далеко не монолитна. Естественные науки заняты изучением как окружающей среды, так и самих людей, поскольку они функционально подобны иным формам жизни. А гуманитарные науки исследуют рациональное (эмоциональное) поведение людей и их установки, которые необходимы им для социального, политического и экономического взаимодействия. На рис. 1.1 графически представлены эти взаимосвязи.

Как бы ни способствовало такое стройное изложение пониманию существующих связей, действительность всегда оказывается значительно сложнее. Этика помогает определить, что исследовать, какие исследовательские методы, приемы использовать и какие эксперименты недопустимы ввиду таящейся в них угрозы благополучию людей. Политэкономия и политология также играют огромную роль, поскольку наука может изучать лишь то, что культура склонна поощрять как орудия производства, рабочую силу или что-то, политически приемлемое.

Рис. 1.1. Сферы умственной деятельности

Механизм работы науки

Успех науки в изучении Вселенной складывается из наблюдений и выдвижения идей. Такого рода взаимообмен именуют *научным методом* (рис. 1.2).

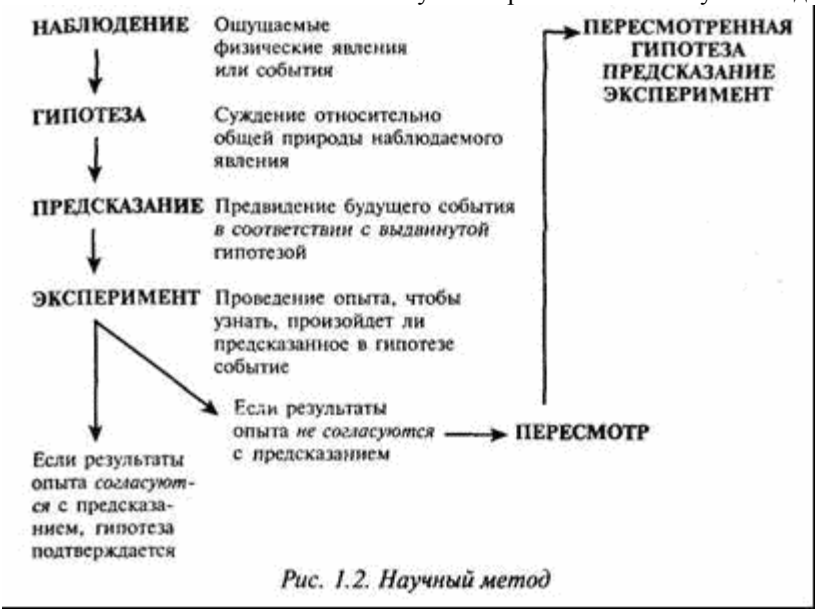


Рис. 1.2. Научный метод

В ходе *наблюдения* то или иное явление воспринимается органами чувств при помощи приборов или без них. Если в естествознании наблюдения ведутся за множеством подобных предметов (например, атомов углерода), то науки о человеке имеют дело с меньшим числом различных субъектов (например, людей, пусть даже однояйцевых близнецов).

После сбора данных наш ум, стремясь их упорядочить, начинает строить образы или объяснения. В этом и заключается работа человеческой мысли. Данный этап именуют этапом *выдвижения гипотезы*. Построение общей гипотезы на основе полученных наблюдений ведется посредством индуктивного умозаключения, которое содержит обобщение и поэтому считается самым ненадежным видом умозаключения. И как бы ни пытались искусственно строить выводы, в рамках научного метода подобного рода деятельность ограничена, поскольку на последующих этапах гипотеза сталкивается с действительностью.

Зачастую гипотеза целиком или отчасти формулируется на языке, отличающемся от обиходной речи, языке математики. Для приобретения математических навыков требуется приложить большие усилия, иначе несведущим в математике людям при объяснении научных гипотез понадобится перевод математических понятий на повседневный язык. К сожалению, при этом смысл гипотезы может существенно пострадать.

После построения гипотезу можно использовать для предсказания

некоторых событий, которые должны произойти, если гипотеза верна. Такое *предсказание* выводится из гипотезы посредством дедуктивного умозаключения. Например, второй закон Ньютона гласит, что $F = ma$. Если m равно 3 единицам массы, а a — 5 единицам ускорения, то F должна равняться 15 единицам силы. Выполнение математических расчетов на данном этапе могут взять на себя вычислительные машины, работающие на основе дедуктивного метода.

Следующий этап — проведение *опыта,* чтобы выяснить, подтверждается ли предсказание, сделанное на предыдущем этапе. Некоторые опыты провести довольно просто, но чаще — крайне затруднительно. Даже изготовив сложное и дорогостоящее научное оборудование для получения весьма ценных данных, нередко бывает нелегко найти деньги, а затем запастись терпением, необходимым для обработки и осмысления огромного массива этих данных. Естествознание обладает преимуществом: здесь можно обособить изучаемый предмет, тогда как наукам о человеке и обществе приходится иметь дело с многочисленными переменными, зависящими от различных взглядов (пристрастий) многих людей.

После завершения опытов их результаты сверяются с предсказанием. Поскольку гипотеза носит общий, а экспериментальные данные — частный характер, то результат, когда опыт согласуется с предсказанием, не доказывает гипотезу, а лишь подтверждает ее. Однако если исход опыта не согласуется с предсказанием, определенная сторона гипотезы оказывается ложной. Эта черта научного метода, именуемая фальсифицируемостью (опровергаемостью), накладывает на гипотезы определенное жесткое требование. Как выразился Альберт Эйнштейн, «никаким количеством экспериментов нельзя доказать теорию; но достаточно одного эксперимента, чтобы ее опровергнуть».

Оказавшуюся ложной гипотезу необходимо каким-то образом пересмотреть, т. е. слегка изменить, основательно переработать или же вовсе отбросить. Крайне трудно бывает решить, какие изменения здесь уместны. Пересмотренным гипотезам предстоит снова проделать тот же путь, и либо они устоят, либо от них откажутся в ходе дальнейших сопоставлений предсказания с опытом.

Другая сторона научного метода, не позволяющая сбиться с пути, — *воспроизведение.* Любой наблюдатель с соответствующей выучкой и подобающим оснащением должен суметь повторить опыты или предсказания и получить сравнимые результаты. Иначе говоря, науке свойственны постоянные перепроверки. Например, коллектив ученых из

Национальной лаборатории им. Лоуренса Калифорнийского университета в Беркли* пытался получить новый химический элемент, обстреливая свинцовую мишень мощным лучом ионов криптона и затем изучая полученные вещества. В 1999 году ученые объявили о синтезе элемента с порядковым номером 118.

Синтез нового элемента — это всегда важное событие. В данном случае его синтез мог подтвердить бытовавшие представления о стабильности тяжелых элементов. Однако ученые других лабораторий Общества по изучению тяжелых ионов (Дармштадт, Германия), Большого государственного ускорителя тяжелых ионов Кайенского университета (Франция) и Лаборатория атомной физики Физико-химического института Рикэн (Япония) — не смогли повторить синтез элемента 118. Расширенный коллектив лаборатории в Беркли повторил опыт, но ему также не удалось воспроизвести полученные ранее результаты. В Беркли перепроверили исходные экспериментальные данные посредством программы с видоизмененным кодом и не сумели подтвердить наличия элемента 118. Пришлось отзывать свою заявку. Данный случай свидетельствует, что научный поиск бесконечен.

Порой наряду с опытами перепроверяются и гипотезы. В феврале 2001 года Брукхэйвенская национальная лаборатория в Нью-Йорке сообщила об опыте, в котором магнитный момент мюона (подобно электрону отрицательно заряженной частицы, но значительно более тяжелой) слегка превышает величину, предопределенную стандартной моделью физики элементарных частиц (подробнее об этой модели см. гл. 2). А поскольку предположения стандартной модели о многих иных свойствах частиц очень хорошо согласовывались с опытными данными, такое расхождение по поводу величины магнитного момента мюона разрушало основу стандартной модели.

Предсказание магнитного момента у мюона стало следствием сложных и долгих расчетов, независимо проведенных учеными в Японии и Нью-Йорке в 1995 году. В ноябре 2001 года эти расчеты повторили французские физики, которые обнаружили ошибочный отрицательный знак у одного из членов уравнения и разместили свои результаты в Интернете. В итоге Брукхэйвенская группа перепроверила собственные вычисления, признала ошибку и опубликовала исправленные результаты. В итоге удалось сократить расхождение между предсказанием и опытными данными.

* Старейшая национальная лаборатория им. Лоуренса в Беркли, основанная изобретателем циклотрона Эрнстом Орландо Лоуренсом в 1931 году. Находится в ведении Министерства энергетики США. — *Здесь и далее примечания переводчика.*

Стандартной модели вновь предстоит выдержать испытания, которые ей готовит непрекращающийся научный поиск.

Научный метод в действии

Рассмотрим шаг за шагом классический пример работы научного метода.

Наблюдение. Дж. Дж. Томсон, руководитель Кавендишской лаборатории (1884—1919) в Англии, изучал поведение светового луча в электронно-лучевой трубке (прообразе современной приемной телевизионной ЭЛТ). Поскольку луч: 1) отклонялся в сторону положительно заряженных электрических пластин и 2) при ударе о них вызывал вспышки света, выходило, что он состоял из отрицательно заряженных частиц — *электронов,* как назвал их ирландский физик XIX века Джордж Фицджеральд в своих замечаниях по поводу опыта Томсона. (Название *электрон* в качестве единицы электрического заряда предложил другой ирландский физик, Джордж Стони.)

Гипотеза. Поскольку атомы не обладают зарядом (нейтральны), а Томсон открыл внутри них отрицательно заряженные частицы, он заключил, что атом должен иметь и положительный заряд. В 1903 году Томсон создал теорию, согласно которой положительный заряд «размазан» по всему атому, а отрицательно заряженные электроны в виде вкраплений находятся посреди положительно заряженного вещества. Такая картина напоминала традиционное британское блюдо, поэтому получила название «томсоновская модель атома в виде пудинга с изюмом».

Предсказание. Эрнст Резерфорд был специалистом по положительно заряженным частицам, именуемым α- частицами. В начале XX века он предсказал, что обстрел этими частицами атомов, состоящих из редкого и «размазанного» положительного заряда, согласно томсоновской модели «пудинга с изюмом» будет напоминать броски бильярдными шарами в туман. Большая часть шаров пройдет напрямую, и лишь их толика отклонится на крайне малую величину.

Опыт. В 1909 году Ганс Гейгер и Эрнест Марсден стали обстреливать α-частицами тонкую золотую фольгу. Результаты оказались совершенно отличными от ожидаемых. Некоторые ос-частицы отклонялись на большие величины, а отдельные даже отскакивали обратно. Резерфорд заметил, что это «столь же неправдоподобно, как если бы вы выстрелили пятнадцатифунтовым снарядом в папиросную бумагу, а снаряд отскочил бы обратно и убил вас самих».

Повтор. На смену томсоновской модели атома пришла резерфордовская

модель по образцу Солнечной системы, где положительный заряд был сосредоточен в сравнительно крошечном ядре посредине атома, а электроны (подобно планетам) обращались по круговым орбитам вокруг ядра (подобного Солнцу). В XX веке, после очередных предсказаний и опытов резерфордовскую модель атома в виде Солнечной системы сменили иные модели. Когда опытные данные не согласовывались с предсказаниями существовавшей гипотезы, приходилось пересматривать гипотезу.

Так толкование открытых Исааком Ньютоном законов механики и классических гипотез Джеймса Клерка Максвелла о природе электричества и магнетизма привело к заманчивому предположению об абсолютном характере пространства и времени. Теория относительности Эйнштейна заменила эти удобные абсолютные величины противоречащими интуиции и философски неблагонадежными относительными величинами. Основная причина, вынудившая признать существование относительности, заключалась в соответствии предсказаний данной теории опытным данным.

Несмотря на распространенность того или иного представления, известность сторонников какой-либо теории, непривлекательность новой теории, политические взгляды авторов идей или трудность их понимания, незыблемым остается одно: *верховенство данных опыта.*

Сложности

Представленный здесь научный метод — рациональная реконструкция функционирования науки в действительности. Подобная идеализация, естественно, отличается от происходящего на самом деле, например, при большом числе участников, когда этапы разделяются длительными промежутками времени. И все же у нас есть возможность многое увидеть.

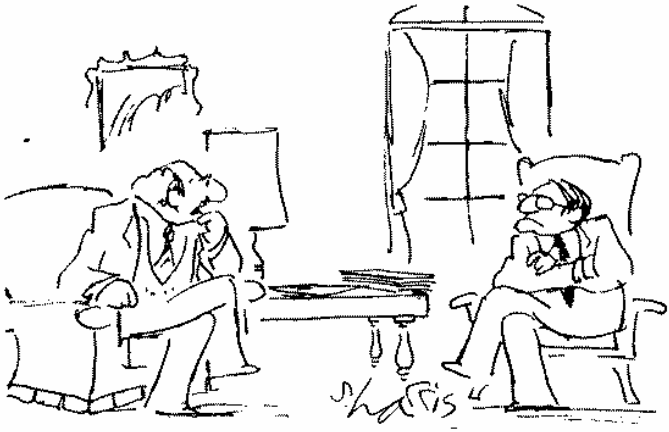
Здесь необходимо учитывать ряд сложностей. Прежде всего, наука выдвигает несколько философских предположений, с которыми не согласны некоторые философы. Наука допускает существование объективной реальности, не зависящей от наблюдателя. Иначе без такой объективности одни и те же наблюдения и опыты, повторенные в различных лабораториях, могли бы разниться, и тогда исследователям невозможно было бы прийти к согласию. Далее, наука полагает, что Вселенной управляют некие незыблемые законы, и человек в состоянии постичь эти законы. Если управляющие Вселенной законы лишены определенности или мы не в состоянии постичь их, все усилия науки по выдвижению любых гипотез окажутся тщетными. Но поскольку наше понимание этих законов, похоже, углубляется, а основанные на них предсказания находят подтверждения в опытах, такие предположения выглядят вполне разумными.

Научные гипотезы строятся в связи с событиями, происходящими на

протяжении длительного промежутка времени, в том числе с минувшими, которые нельзя проверить опытом. Обычно такую трудность обходят, выдвигая перекрестные гипотезы из различных отраслей знаний в поисках взаимного согласия. Например, оцениваемый в более чем 4 млрд. лет возраст Земли подтверждается астрономическими вычислениями содержания гелия в недрах Солнца, геологическими измерениями тектоники плит и биологическими наблюдениями за ростом коралловых отложений.

При объяснении определенного события — особенно при отсутствии опытных данных для некоторых явлений (например, о далеком прошлом, у которого не было летописцев, или о недоступных уголках Вселенной) — может выдвигаться сразу несколько гипотез. Щекотливое положение, когда много гипотез невозможно экспериментально подтвердить, разрешается на основе принципа научной бережливости [лат. *Principium parsimoniae],* именуемого бритвой Оккама. Английский философ Уильям из Оккама [местечка в английском графстве Сэррей] (1285—1349) был францисканским монахом и часто в своих философских сочинениях пользовался средневековым правилом: «Сущностей не следует умножать без необходимости»[*].

[*] *Оккама бритва* — принцип, согласно которому всему следует искать наиболее простое истолкование; чаще всего этот принцип формулируется так: «Без необходимости не следует утверждать многое» (pluralitas non est ponenda sine necessitate) или: «То, что можно объяснить посредством меньшего, не следует выражать посредством большего» (frustra fit per plura quod potest fieri per pauciora). Обычно приводимая историками формулировка «Сущностей не следует умножать без необходимости» (entia non sunt multi plicandasine necessitate) — в сочинениях Оккама не встречается (это слова Дюрана из Сен-Пурсена, ок. 1270-1334 — французского богослова и доминиканского монаха; очень схожее выражение впервые встречается у французского монаха-францисканца Одо Риго, ок. 1205—1275).



Военные дали этому правилу более простое и непосредственное выражение — KISS: Keep It Simple, Stupid («Не усложняй, болван»), или Keep It Short and Sweet («Будь краток и мил»). В любом случае оно служит руководством при отсутствии опытных данных. Если есть несколько гипотез и невозможно провести опыты, которые бы позволили выбрать между ними, останавливаются на самой простой.

Опыт доказывает правильность такого подхода. Например, в 1971 году космический зонд *Uhuru* по измерению рентгеновского излучения неожиданно выявил мощный поток рентгеновских лучей со стороны созвездия Лебедя, обозначенный Лебедь X-1. Видимого источника этого излучения, которое исходило как бы из пустоты близ звезды-сверхгиганта HDE 226868, удаленной от Земли на 8 тыс. световых лет, не наблюдалось. (Разъяснение обозначения HDE см.: Список идей, 14. Составление звездных каталогов.) Согласно одной гипотезе, всему виной был невидимый спутник звезды HDE 226868. Этот призрак притягивал массу, которую исторгала из себя HDE 226868. При втягивании этого вещества невидимым спутником его температура повышалась до такой степени, что спутник начинал излучать радиоволны. Другая гипотеза требовала по меньшей мере двух невидимых тел, взаимодействующих с HDE 226868, — невидимую из-за своей блеклости обычную звезду и вращающуюся нейтронную звезду (ядро звезды, которая после завершения отпущенного ей срока сжимается в состоящий из нейтронов шар), именуемую пульсаром. Эти три тела, расположенные определенным образом, и могли быть источниками наблюдавшегося радиоизлучения.

Удаленность Лебедя X-1 не позволяет проводить непосредственную проверку, тем более что само это излучение происходило 8 тыс. лет назад. Тогда какая же из соперничающих гипотез справедлива? Согласно экспериментальным данным — обе. Но, пользуясь бритвой Оккама, мы видим, что лучше всего здесь подходит более простое объяснение, ограничивающееся одним небесным телом. Таким образом, Лебедь X-1 стал первым зарегистрированным примером невидимого спутника, известного как *черная дыра.* Впоследствии при схожих обстоятельствах удалось обнаружить более 30 таких объектов.

Принцип «Бритва Оккама» вступает в действие лишь при отсутствии опытного подтверждения. Его задача — помочь выбрать простейшую гипотезу, согласующуюся с наблюдениями. Однако она не может исключить прочие гипотезы, подтверждаемые даже более сложными данными. Ведь она не способна заменить получаемое в опыте подтверждение. Естественно, бритва Оккама уступает обстоятельным опытным данным, но порой это единственное, что у нас есть.

Нерешенные проблемы

Теперь, уяснив, как наука вписывается в умственную деятельность человека и как она функционирует, можно видеть, что ее открытость позволяет различными путями идти к более полному постижению Вселенной. Возникают новые явления, по поводу которых гипотезы хранят молчание, и, чтобы нарушить его, выдвигаются новые гипотезы, полные свежих идей. На их основе уточняются предсказания. Создается новое экспериментальное оборудование. Вся эта деятельность приводит к появлению гипотез, более точно отражающих поведение Вселенной. И все

это ради одной цели — понять Вселенную во всем ее многообразии.

Научные гипотезы можно рассматривать как ответы на вопросы об устройстве Вселенной. Наша же задача состоит в исследовании *пяти крупнейших проблем,* не решенных до настоящего времени. Под словом «крупнейшие» подразумеваются проблемы, имеющие далеко идущие последствия, самые важные для нашего дальнейшего понимания, или обладающие наиболее весомым прикладным значением. Мы ограничимся одной крупнейшей нерешенной проблемой, взятой из каждой пяти отраслей естествознания, и попытаемся описать, каким образом можно ускорить их решение. Конечно, науки о человеке и обществе, гуманитарные и прикладные, имеют свои нерешенные проблемы (например, природа сознания), но данный вопрос выходит за рамки этой книги.

Вот отобранные нами в каждой из пяти отраслей естествознания *крупнейшие нерешенные проблемы* и то, чем мы руководствовались в своем выборе.

Физика. Связанные с движением свойства массы тела (скорость, ускорение и момент наряду с кинетической и потенциальной энергией) нам хорошо известны. А природа самой массы, присущей многим, но не всем элементарным частицам Вселенной, нам *не* понятна. Крупнейшая нерешенная задача физики такова: почему одни частицы обладают массой [покоя], а другие — нет?

Химия. Изучение химических реакций живых и неживых тел ведется широко и весьма успешно. Крупнейшая нерешенная задача химии такова: какого рода химические реакции подтолкнули атомы к образованию первых живых существ?

Биология. Недавно удалось получить геном, или молекулярный чертеж, многих живых организмов. Геномы несут информацию об общих белках, или протеоме, живых организмов. Крупнейшая нерешенная задача биологии такова: каково строение и предназначение протеома?

Геология. Модель тектоники плит удовлетворительно описывает последствия взаимодействия верхних оболочек Земли. Но атмосферные явления, особенно тип погоды, похоже, не поддаются попыткам создать модели, ведущие к получению надежных прогнозов. Крупнейшая нерешенная задача геологии такова: возможен ли точный долговременный прогноз погоды?

Астрономия. Хотя многие стороны общего устройства Вселенной хорошо известны, в ее развитии еще много неясного. Недавнее открытие, что скорость расширения Вселенной возрастает, приводит к мысли, что она будет расширяться бесконечно. Крупнейшая нерешенная задача астрономии

такова: почему Вселенная расширяется со все большей скоростью?

Многие иные занимательные вопросы, связанные с этими задачами, будут возникать попутно, и некоторые из них сами могут в будущем стать крупнейшими. Об этом идет речь в заключительном разделе книги: «Список идей».

Уильям Гарвей, английский врач XVII века, определивший природу кровообращения, сказал: «Все, что мы знаем, бесконечно мало по сравнению с тем, что нам пока неведомо» [«Анатомическое исследование о движении сердца и крови у животных», 1628]. И это верно, поскольку вопросы множатся быстрее, чем на них успевают ответить. По мере расширения освещаемого наукой пространства увеличивается и обступающий его мрак.

Глава вторая

Физика

Почему одни частицы обладают массой, а другие нет?

...очертанья грозные событий, Нам предстоящих...

У. Шекспир. Троил и Крессида

Пер. Т. Гнедич

Физика занимается изучением свойств покоящейся и движущейся материи и различных видов энергии. Связанные с движением свойства (скорость, ускорение и момент наряду с кинетической и потенциальной энергией) нам хорошо известны. А природа самой массы, присущей большинству форм материи, непонятна. И действительно, происхождение массы — крупнейшая нерешенная задача физики.

Масса

Всем нам знакома масса. Это нечто само собой разумеющееся. Мы все обладаем той или иной массой. Масса — виновница того, что легче вытащить застрявший автомобиль, нежели детскую коляску. Благодаря массе сила тяготения удерживает нас на Земле.

Только неясно *происхождение* массы. Многим, но не всем элементарным частицам Вселенной присуща масса [покоя]. Почему одни обладают ею, а другие — нет? Что «придает» массу тем или иным частицам? Почему масса частиц различается? Отсутствует ли что-то у безмассовых частиц помимо массы? Ответы на эти вопросы, возможно, находятся в так называемых хиггсовых полях, но прежде чем уяснить смысл неуловимых хиггсовых полей, необходимы кое-какие предварительные сведения.

Начнем с того, что масса тела связана с количеством содержащегося в нем вещества, а всем хорошо известно, что составляет вещество: это набор и сочетание атомов. Но что образует атомы? Атомы состоят из электронов, протонов и нейтронов. Электроны — элементарные частицы (не составные), чего нельзя сказать о протонах и нейтронах. Они образованы из кварков, и, похоже, именно кварки и электроны и есть истинно элементарные частицы.

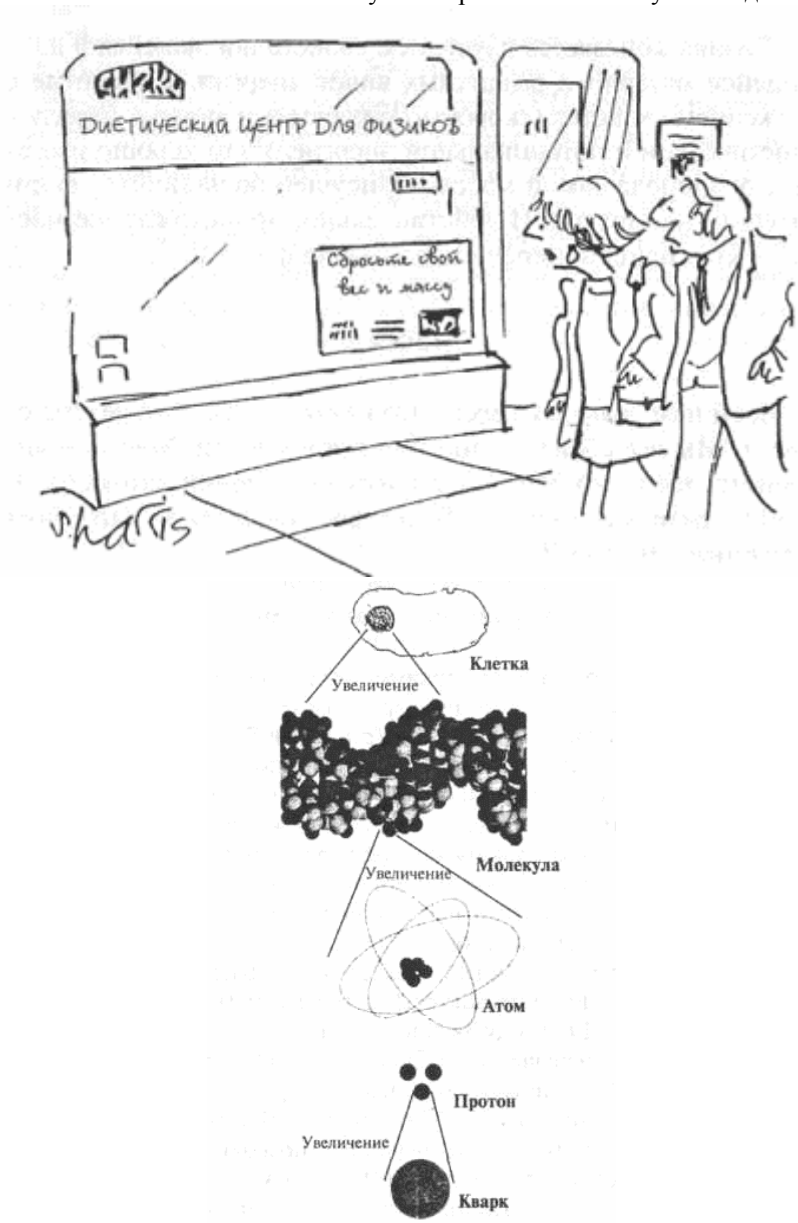


Рис. 2.1. Кирпичики, составляющие материю

Прежде чем обратиться к непонятной природе массы, посмотрим, откуда появляются кварки (рис. 2.1). По мере ознакомления с другими

элементарными частицами мы увидим, что более элементарными по сравнению с частицами оказываются поля, и изучим самую признанную в физике теорию поля, именуемую стандартной моделью. Затем рассмотрим недочеты стандартной модели: она не определяет источник массы и обходит стороной вопрос тяготения. Наконец, мы исследуем теории, выходящие за рамки стандартной модели, где мог бы быть решен вопрос о происхождении массы.

Более элементарные по сравнению с атоллами

Чтобы разобраться с кварками, следует обратиться к атомам. Изучение Эрнстом Резерфордом α-частиц привело в начале XX века к открытию ядра (см. гл. 1). Экспериментальные и теоретические изыскания физиков позволили продвинуться вглубь тех кирпичиков, что лежат в основе Вселенной. К 1920 году определились со строением атома, он оказался состоящим из ядра с положительно заряженными протонами и нейтральными нейтронами (хотя в опытах еще не было подтверждено существование нейтронов в то время), вокруг которого обращались электроны.

Целостность этой картины вскоре нарушилась. Для объяснения излучения света нагретыми телами немецкий физик Макс Планк в 1900 году выдвинул предположение, что световая энергия передается в виде порций, названных квантами, а не любым количеством, как думали ранее (вроде звеньев, а не сплошной ленты). По мнению Планка, это было всего лишь математической операцией, позволившей решить возникшие трудности. Однако в 1905 году Альберт Эйнштейн отнесся к идее Планка иначе. Он показал, что если свет действительно имеет квантовую природу, то этим объясняется загадка фотоэлектрического эффекта.

Фотоэлектрический эффект проявляется при падении света на металл, что вызывает выход электронов из металла. Однако испускание электронов прекращается при свете со слишком малой частотой независимо от мощности источника света. Эйнштейн заключил, что свет действует подобно частице, передавая свою энергию электрону и тем самым высвобождая его. Кроме того, отношение Планка, связывавшее энергию с частотой, объясняло отсутствие электронов при низкой частоте падающего света. Световым фотонам просто не хватало энергии для образования свободных электронов. Действия света больше напоминали поведение частицы, нежели волны.

Распространение представления о квантах на атомы в 1920-х годах привело к созданию квантово-механической модели атома. В данной теории электронам как частицам приписывались волновые свойства. Квантово-

механические предсказания относительно цвета света, испускаемого возбужденными атомами, согласовывались с данными спектроскопии, так что теория выдержала опытную проверку. Теперь симметрия была полной. Свет мог проявляться в виде волны или частицы, а электрон (протон или нейтрон) — в виде частицы или волны, в зависимости от проводимых опытов.

Одним из следствий квантовой механики стал принцип неопределенности Гейзенберга, согласно которому существует предел произведения неопределенности положения частицы и неопределенности ее импульса и соответствующий предел произведения неопределенности энергии и неопределенности времени.

Принцип этот означает: чем точнее установлено местоположение электрона, тем менее точно можно узнать его импульс, и наоборот. Предел крайне мал, и его действие почти не отражается на измерениях объектов обычных размеров. Однако философские последствия велики: *существует предел нашим знаниям.* Многие ученые, включая Альберта Эйнштейна, не могли примириться с таким предположением. И все же оно следует из удостоверяемой гипотезы, которую приходится принять.

Далее, квантовую механику потребовалось объединить с другой революционной идеей начала XX века — специальной теорией относительности Эйнштейна. В 1928 году это сделал британский физик Поль Дирак. Его новая теория оказалась не только исчерпывающей, она приводила к любопытному следствию: предсказывала существование новой частицы, подобной электрону, но положительно заряженной, которая получила название антиэлектрона, или позитрона (положительного электрона).

Спасительные космические лучи

Мало предсказать существование новых частиц, нужно подтвердить это в опытах. А поскольку ни у кого не было свидетельств существования позитрона, оно представлялось сомнительным. В начале 1930-х годов американский физик Карл Андерсон привлек для изучения материи новое средство — космические лучи. Они состоят в основном из протонов, ос-частиц (связанные два протона и два нейтрона; одним словом, ядра гелия), или света различной частоты. Эти частицы обладают широким спектром энергии и бомбардируют Землю повсюду, падая на нее с частотой одна частица в секунду. Основной источник космических лучей — Солнце, однако наблюдаемые в космических лучах частицы с наиболее высокой энергией порождены более мощными процессами по сравнению с теми, что происходят на Солнце.

Космические лучи невидимы, и их воздействие на материю слишком мало, чтобы его заметить. Для обнаружения частиц Андерсон использовал два устройства: создающее сильное магнитное поле и конденсационную камеру Вильсона. Магнитное поле искривляло траекторию заряженных частиц внутри конденсационной камеры, содержащей насыщенный водяными парами чистый воздух. Частицы, пролетая через камеру, ионизировали молекулы воздуха, и те становились точками оседания паров, образуя в итоге капли воды. Эти капли позволяли наблюдать траектории частиц, подобно тому как земная атмосфера дает возможность увидеть след от высоко летящего самолета, хотя его самого и не видно.

Андерсон проводил опыты в Колорадо, где большая высота существенно уменьшала затеняющее действие земной атмосферы на падающие космические лучи. Один из его снимков запечатлел траекторию, отклонившуюся в противоположном от траектории электрона направлении. Это было свидетельством существования позитрона. Оказывается, почти всем частицам соответствуют античастицы, отличающиеся электрическим зарядом и иными, более тонкими свойствами (см.: Список идей, 1. Антивещество).

Так как в гипотезе Дирака предсказывалось существование позитрона, его обнаружение подтверждало истинность релятивистской квантовой механики (квантовая механика, видоизмененная с учетом специальной теории относительности). Однако другое открытие Андерсона оказалось более обескураживающим. Он обнаружил траектории двух новых частиц — мюонов, масса которых в 200 с лишним раз превышала массу электрона. Одна имела положительный заряд, а другая — отрицательный. Их существование и свойства приводили в замешательство, поскольку мюонам не находилось места в строении вещества. Недоумение физиков выразилось в ответе Нобелевского лауреата И. А. Раби, который, услышав об открытии мюона, спросил: «Кто их заказывал?»

Четыре силы

Словно мало было хлопот с новыми частицами, в те же 1930-е годы были открыты еще и новые поля. К уже известному тяготению и электромагнетизму добавились *силы ядерного взаимодействия,* удерживающие протоны и нейтроны в ядре, и *силы слабого взаимодействия,* вызывающие некоторые процессы радиоактивного распада. Любопытно, что слабое и сильное взаимодействия достигали своей максимальной силы на очень малом расстоянии, причем их сила падала до нуля, стоило частицам удалиться на расстояние, превышающее размеры ядра. Вот почему мы их не видим: они действуют на расстоянии, недоступном нашим органам чувств.

В 1930-е годы Энрико Ферми выдвинул теорию слабого взаимодействия, предсказавшую существование еще одной новой частицы. Эта электрически нейтральная частица нужна была для учета недостающей энергии в наблюдаемом [бета-]распаде. Ферми назвал ее *нейтрино.* Нейтрино оказалось чуть ли не частицей-призраком, столь редко взаимодействующей с обыкновенным веществом, что для остановки половины падающих нейтрино понадобилась бы свинцовая пластина толщиной в восемь световых лет (превышающей более чем в 2 раза расстояние от Солнца до ближайшей звезды). И все же нейтрино [точнее, антинейтрино] были обнаружены опытным путем американскими физиками Фредериком Рейнесом и Клайдом Коуэном, но лишь в **1**953— **1956** годах.

Это и требовалось физике — другая частица.

Осколки частиц, или Трудное разделение

Ученые отчаянно нуждались в аппаратуре для изучения этих новых частиц, но космические лучи оказались слишком уж ненадежными из-за столь широких перепадов их энергии, да и неизвестно было, откуда их ждать. В начале 1930-х годов появились новые устройства для систематических опытов — с использованием пучков частиц с заданной энергией. Устройства, названные *ускорителями частиц,* стали основным орудием физики высоких энергий, играя ту же роль, что микроскоп в биологии и телескоп в астрономии.

Были созданы два различных вида ускорителей: линейный и круговой, или циклотрон. В линейном ускорителе электроны ускоряются электрическим полем вдоль длинного вакуумного канала (модель Стэнфордского университета имеет протяженность 2 мили) и отклоняются магнитами для столкновения с мишенью. Датчики регистрировали продукты распада и синтеза при столкновении.

В циклотроне заряженные частицы ускоряются в зазоре между двумя половинами циклотрона (именуемыми дуантами — D-образными из-за своего вида), и их траектория искривляется магнитным полем внутри дуант. С увеличением энергии частицы двигаются по все большей дуге, и когда наконец достигают максимальной энергии, выводятся из циклотрона и направляются на мишень, где происходит столкновение, а разлетающиеся осколки регистрируются датчиками. (См.: Список идей, 2. Ускорители.) Изобретатель циклотрона Эрнест Лоренс трудился над созданием все больших циклотронов, которые называл протонными каруселями, но натолкнулся на препятствия, приведшие к остановке его карусели.

Вмешательство политики

1930-е годы принесли другое несчастье: Вторую мировую войну.

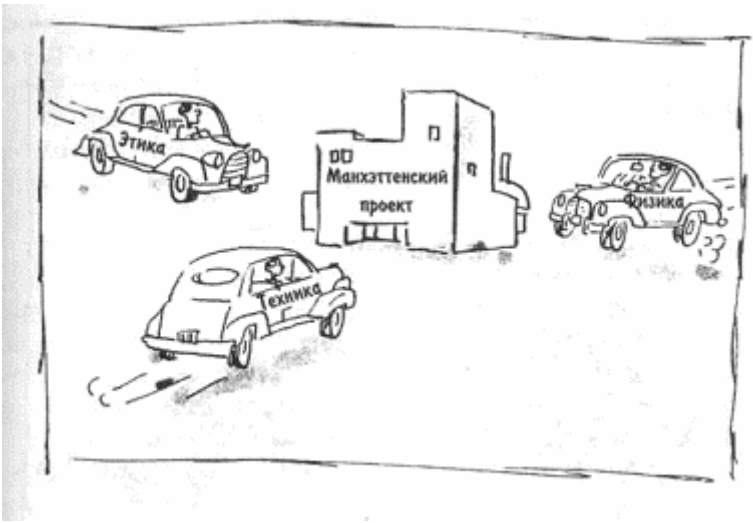
Помимо сокращения отпускаемых на исследования средств военные нужды отвлекли огромное множество физиков, вынудив их с **1941** года заниматься Манхэттенским проектом. Изначально целью этого проекта было изучение энергии, высвобождаемой при расщеплении ядер тяжелых металлов вроде урана, чтобы определить, можно ли использовать эту энергию для создания оружия и в случае утвердительного ответа сделать это раньше немецких физиков, которые, как считалось, работали над схожим замыслом. (Пьеса «Копенгаген» Майкла Фрайна повествует о планах немцев и союзников по созданию атомной бомбы на примере взаимоотношений физиков Нильса Бора и Вернера Гейзенберга.)

Задача физики состояла в постижении устройства ядра, техники — в претворении этого знания во взрывное устройство. Об этической стороне дела задумались после победы над немцами, хотя те не занимались созданием атомной бомбы. После капитуляции Германии в мае 1945 года некоторые физики в Соединенных Штатах Америки вышли из Манхэттенского проекта. Оставшиеся создали атомную и водородную бомбы, последствия чего мы ощущаем до сих пор.

Физика возвращается к повседневным заботам

После окончания войны погоня за новыми частицами возобновилась, и ведущая роль здесь отводилась ускорителю. Частицы сталкивали с мишенью, после чего тщательно изучали получавшиеся осколки. При относительно малых энергиях, доступных в ту пору, протоны застревали в больших ядрах, образовывая короткоживущие более крупные ядра. Некоторые из этих ядер были радиоактивными и распадались на ядра поменьше и другие частицы. Получавшиеся более крупные ядра пополняли Периодическую таблицу, к радости химиков, а физики оставались без новых частиц.

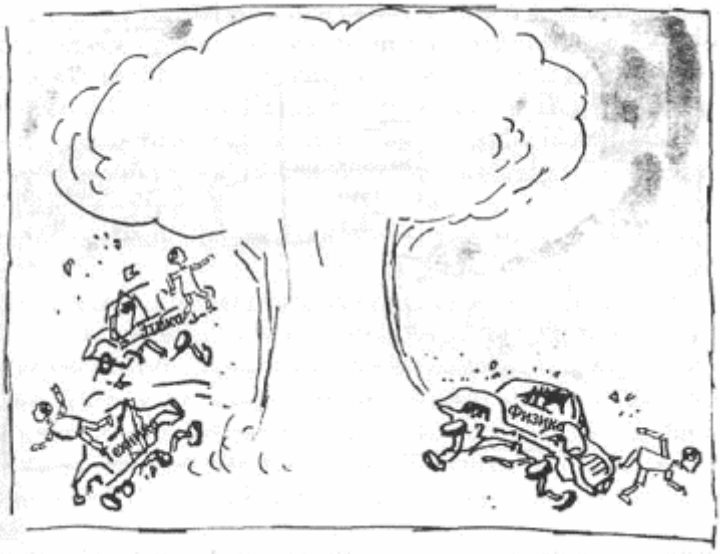
Тем временем строились все более крупные циклотроны, получавшие частицы со все большей энергией. Ввиду эквивалентности массы и энергии (согласно знаменитой формуле Эйнштейна $E = mc^2$) столкновения при больших энергиях позволяли получать более тяжелые частицы. И вскоре физиков, работавших на ускорителе, ждал успех.



Снимки из камеры Вильсона указали на следы, или треки, невиданных

прежде частиц: заряженных пионов *(π^+, π^-),* или пи-мезонов, и каонов (K^+, K^-), или К-мезонов, нейтральных пиона и каонов, лямбда-частицы, сигма-частицы и пр. И хотя частицы были нестабильны, распадались вскоре на более привычные частицы, все это свидетельствовало о том, что материя таит в себе еще много неожиданного.

Гонка за частицами ширилась. Число циклотронов росло, а их устройство совершенствовалось. В приборе, именуемом синхротроном, ускоряющее поле синхронизировалось для обеспечения постоянного радиуса траектории у пучка частиц. На смену камере Вильсона пришла пузырьковая камера, где образование пузырьков в перегретом жидком водороде позволяло видеть следы частиц. Все это походило на исследование разметанного взрывом стога сена в поисках короткоживущих иголок. Так, одному аспиранту для диссертации пришлось изучить 240 тыс. снимков из пузырьковой камеры.



Итогом всех этих усилий стал настоящий бум частиц: их было найдено свыше ста. Нобелевский лауреат Энрико Ферми заметил своему студенту Леону Ледерману (впоследствии тоже Нобелевскому лауреату): «Молодой человек, если бы я мог упомнить названия всех элементарных частиц, я бы стал ботаником».

Появление кварков

Разросшееся скопище частиц создало в физике положение, сходное с

тем, что переживала химия до появления Периодической таблицы Менделеева в 1869 году. В их основе должно лежать нечто общее, только вот что? Физики, исходя из теоретических соображений, пытались по-разному группировать частицы в поисках некоего порядка. Тяжелые и средние по массе частицы были названы адронами, а в дальнейшем их разбили на барионы и мезоны. Все адроны участвовали в сильном взаимодействии. Менее тяжелые частицы, названные лептонами, участвовали в электромагнитном и слабом взаимодействии. Но подобно тому как электроны, протоны и нейтроны нужны были для объяснения природы объявившегося скопища частиц, чтобы объяснить природу всех этих частиц, требовалось нечто более основательное.

В 1964 году американские физики Марри Гелл-Ман и Джордж Цвейг независимо друг от друга предложили новый подход. Все адроны, оказывается, состоят из трех более мелких частиц и соответствующих им античастиц. Гелл-Ман назвал эти новые элементарные частицы *кварками,* заимствовав название из романа Джеймса Джойса «Поминки по Финнегану», где герою в снах часто слышались слова о таинственных трех кварках. Эти (первые) три кварка, получившие названия верхний *(u* — от англ. up), нижний *(d* — down) и странный *(s* — strange), обладают дробным электрическим зарядом $+^{2}/_{3}$, $—^{1}/_{3}$ и $—^{1}/_{3}$ соответственно, а у их антикварков эти заряды противоположны.

Согласно данной модели протоны и нейтроны составлены из трех кварков: uud и udd соответственно, тогда как обширная группа вновь открытых мезонов состоит из пары кварк—антикварк. Например, отрицательный пион представляет собой сочетание нижнего кварка и верхнего антикварка. Кварки предлагались в качестве рабочей гипотезы, и, хотя они позволяли решить вопрос с упорядочиванием обширного собрания частиц с математической точки зрения, их существование не внушало доверия из-за отсутствия опытных данных.

В опытах протоны с нейтронами представляли собой размытые кусочки вещества, подобные атому согласно томсоновой модели «пудинга с изюмом». Однако эти частицы были значительно меньше атома, так что их нельзя было прощупать, обстреливая альфа-частицами, как проделал Резерфорд с атомами. Альфа-частицы были слишком крупными, и выведать что-либо с их помощью оказывалось невозможным.

Коллектив ученых Стэнфордского отделения Массачусетского технологического института на линейном ускорителе занимался изучением ядра, обстреливая электронами водород и дейтерий (тяжелый изотоп водорода, ядро которого содержит один протон и один нейтрон). Они

измеряли угол и энергию рассеяния электронов после столкновения. При малых энергиях электронов рассеянные протоны с нейтронами вели себя как «однородные» частицы, слегка отклоняя электроны. Но в случае с электронными пучками большой энергии отдельные электроны теряли значительную часть своей начальной энергии, рассеиваясь на большие углы. Американские физики Ричард Фейнман и Джеймс Бьёркен, как и Резерфорд в работе по выявлению строения ядра с помощью альфа-частиц, истолковали данные по рассеянию электронов как свидетельство составного устройства протонов и нейтронов, а именно: в виде предсказанных ранее кварков. Теперь приходилось считаться с гипотезой существования кварков.

Теория наносит ответный удар: объединение

Физики всегда стремились упрощать возникающие вопросы сочетанием различных теорий. На исходе XIX века Джеймс Клерк Максвелл осознал, что электричество и магнетизм выражают собой две стороны одного и того же явления, и это позволило объединить их, а само явление получило название электромагнетизма. В 1950-е годы американские физики Ричард Фейнман, Джулиус Швингер и японский физик Томонага Синъитиро соединили теорию электромагнетизма с квантовой механикой, создав *квантовую электродинамику* (КЭД). Согласно этой теории электроны взаимодействуют посредством обмена световыми фотонами. Сами фотоны наблюдать невозможно, поскольку электроны испускают и поглощают их в пределах, подпадающих под действие принципа неопределенности Гейзенберга. Из-за своей ненаблюдаемости они получили название виртуальных фотонов.

Когда в конце 1960-х опытным путем удалось выявить кварки, была выдвинута другая модель объединения, включающая два из четырех взаимодействий. Стив Вайнберг и Шелдон Глэшоу в Америке и пакистанский физик Абдус Салам в Триесте (Италия) независимо друг от друга выдвинули теорию, объединяющую электромагнитное и слабое взаимодействия в одно, электрослабое взаимодействие. Помимо объяснения уже наблюдавшихся явлений в более общей связи эта новая теория добавляла к списку имеющихся частиц предсказываемые новые: нейтральную, слабо взаимодействующую (ныне именуемую Z^0), W^+, W^- и тяжелую частицу, названную хиггсовой (подробнее см. далее).

В 1973 году была предложена еще одна теория: квантовая теория сильного взаимодействия, которую выдвинули Марри Гелл-Ман и немецкий физик Харальд Фритцш. Получившая название *квантовой хромодинамики,* эта теория походила на КЭД: и в той и в другой теории основные частицы, кварки, взаимодействовали в процессе обмена виртуальными (в пределах

действия принципа неопределенности) частицами, именуемыми глюонами. А поскольку никто не видел глюона, требовалось подтверждение существования еще одной частицы.

Стандартная модель

К середине 1970-х все теоретические и опытные наработки СЛИЛИСЬ в единую теорию, названную стандартной моделью. В ее основе лежат математические выкладки, не являющиеся предметом настоящей книги, так что не следует забывать, что модель опирается на мощный математический аппарат.

Основой стандартной модели стало представление, что кирпичиками Вселенной выступают поля, а не частицы. Первоначально поля понадобились для решения проблемы дальнодействия. Каким образом одно тело способно воздействовать на другое, если оба они находятся на некотором расстоянии друг от друга и между ними нет ничего материального? Ньютон ответил, что они воздействуют друг на друга посредством некой силы.

Для уяснения понятия поля нам следует пойти еще дальше в своих отвлеченных рассуждениях. Удалим одно тело. Теперь представим оставшееся, способное воздействовать на любое проходящее рядом тело. Это воздействие и составляет поле, проявляемое данным телом. При таком подходе *поле есть возможность проявления силы*. Например, поле тяготения часто изображается в виде стрелок, обращенных в сторону массы, как на рис. 2.2. Это вовсе не физические линии или стрелки в пространстве, а лишь указание на то, что любое, помещенное в любую точку тело будет ощущать действие некой силы в направлении, указанном стрелками.

Сходным образом линии электрического поля окружают заряд, а линии магнитного поля — магниты. Поскольку железные опилки обладают ярко выраженными магнитными свойствами, на помещаемых в учебниках картинках видно, как эти опилки распределяются вокруг полюсов магнита и делают как бы зримым само магнитное поле.

Вначале полю отводилось место сугубо понятийного средства, но ныне оно играет ключевую роль в физике. Согласно стандартной модели:

— исходными кирпичиками Вселенной являются поля,

— крошечные сгустки энергии (кварки или лептоны) проявляются при перенесении квантовых законов на поля,

— частицы взаимодействуют между собой посредством обмена другими сгустками энергии (бозонами), которые невозможно наблюдать ввиду ограничений, накладываемых принципом неопределенности.

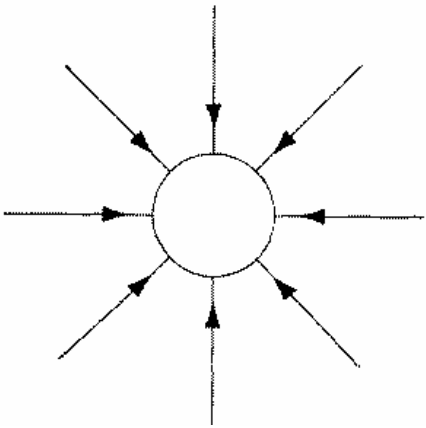


Рис 2.2. Изображение силы тяготения

Итак, классическая картина дальнодействующих сил между частицами сменилась взаимодействием, обменом виртуальными сгустками энергии (прежде волнами) между квантованными жгутами энергии поля (прежде частицами). *Здесь* наблюдается полный разрыв с прежними представлениями.

Стандартная модель включает два вида взаимодействия: сильное и электрослабое.

1. *Сильное взаимодействие:* частицы, появляющиеся в соответствии с законами квантования ряда полей, называются кварками. Сегодня известно шесть кварков, (и связанных с ними антикварков), входящих в три семейства [или поколения], как показано на рис. 2.3. Вот их названия:

семейство 1: верхний и нижний;

семейство 2: очарованный и странный;

семейство 3: верхний и нижний.

Кварки взаимодействуют друг с другом через сильное взаимодействие, обмениваясь виртуальными частицами, именуемыми глюонами.

2. *Электрослабое взаимодействие:* частицы, появляющиеся в соответствии с законами квантования ряда полей, называются лептонами. Существует шесть лептонов (и связанных с ними антилептонов), входящих в три семейства, как показано на рис. 2.4.

Рис. 2.3. Кварки

Рис. 2.4. Лептоны

Вот их названия:

семейство 1: электрон и электронное нейтрино;

семейство 2: мюон и мюонное нейтрино;

семейство 3: тау и тау-нейтрино.

Лептоны взаимодействуют, обмениваясь виртуальными частицами: фотоном, двумя W-бозонами и одним Z-бозоном.

На обобщенном рис. 2.5 представлены основные элементарные частицы и переносчики их взаимодействий.

В табл. 1 перечислены частицы с их спином, зарядом и массой. Поражает огромный разброс масс — но об этом речь пойдет далее.

Согласно стандартной модели здесь прослеживается механизм функционирования атома. Протоны и нейтроны удерживает в ядре обмен виртуальными глюонами между составляющими эти частицы кварками.

Рис. 2.5. Основные частицы

Связь электронов с протонами в ядре обеспечивается обменом виртуальными фотонами. Заметим, что три семейства кварков в точности соотносятся с тремя семействами лептонов. Вот только неизвестно, почему их ровно три. Первое семейство кварков и лептонов стабильно и составляет всю материю вокруг нас. Другие два семейства нестабильны, распадаясь через короткое время на более устойчивых собратьев. Если же говорить о возможности существования большего числа семейств кварков и лептонов, имеется два экспериментальных подтверждения, что таких семейств три. Одно подтверждение получено в 1998 году на усилителе при распаде нейтрального лямбда-гиперона [лямбда-ноль-гиперона] с образованием нейтрино, а другое — из астрономических наблюдений (подробнее см. след. параграф).

Все перечисленные частицы, за исключением глюона и фотона, обладают массой. Нулевая масса фотона обусловливает большую дальность электромагнитного взаимодействия, поскольку его переносчик может перемещаться со скоростью света. Слабое взаимодействие имеет значительно более короткий радиус действия ввиду большой массы его переносчиков, что не позволяет им двигаться столь же быстро, как фотоны. Все кварки и лептоны подчиняются ряду статистических правил, установленных Ферми и Дираком, и обобщенно именуются фермионами. Переносчики взаимодействия подчиняются другому ряду правил, выдвинутых индийским физиком Шатьендранатом Бозе и Эйнштейном, и

называются бозонами. (См.: Список идей, 3. Фермионы и бозоны.)

Таблица 1 Основные частицы и их массы

Частицы	Приблизительная масса, ГэВ*
Фермионы	
Верхний кварк	5×10^{-3}
Нижний кварк	9×10^{-3}
Электрон	$0{,}51 \times 10^{-3}$
Электронное нейтрино	$< 7{,}2 \times 10^{-9}$
Очарованный кварк	1,35
Странный кварк	0,175
Мюон	0,106
Мюонное нейтрино	$< 2{,}7 \times 10^{-4}$
Истинный кварк	174
Красивый кварк	4,5
Тау	1,78
Тау-нейтрино	$< 3 \times 10^{-2}$
Бозоны	
Фотон	0
W^+w W-	80,2
Z	91,2
Глюон	0
Хиггса частица (нет пока опытного подтверждения)	63-800

* Масса дается в единицах энергии, ГВт, равных миллиардам электрон-вольт согласно эйнштейновской формуле эквивалентности массы и энергии, $E = mc^2$.

Проверка стандартной модели

Стандартная модель впервые предложена в 1974 году. В ту пору еще не было открыто семь предсказанных ею частиц. В последующие 20 лет благодаря проведению опытов на более мощных ускорителях все они были открыты, за исключением бозона Хиггса.

Помимо наблюдений самих частиц опытным путем проверялись многие свойства частиц, предсказанные стандартной моделью. В результате выяснилось, что предсказанные и экспериментально полученные данные прекрасно согласовывались друг с другом. Примером может служить лэмбовский сдвиг. В 1947 году американский физик Уиллис Лэмб измерил частотный сдвиг в излучении, поглощаемом или испускаемом при переходе

атома водорода из одного энергетического состояния в другое с вырожденными энергетическими уровнями. Значительно позже стандартная модель дала для частоты излучаемого при этом переходе света величину 1057,860+/-0,009 МГц, тогда как измеренное Лэмбом значение равнялось 1057,65 +/--0,009 МГц. Обе величины различаются всего на $^{1}/_{100\ 000}$. С учетом погрешности оказалось, что предсказанное и полученное значения фактически совпали. Такое удивительное соответствие теории эксперимента наблюдалось во многих случаях, что служило еще большим подтверждением верности данной модели.

Поиск более тяжелых частиц требовал и более мощных ускорителей, а по экономическим соображениям физика нуждалась не в столь затратном средстве изысканий. Подобно Карлу Андерсону, воспользовавшемуся природными космическими лучами в качестве источника частиц высокой энергии, физики принялись за поиски природных явлений с участием частиц, предсказанных стандартной моделью. Единственный период, когда могли существовать такие частицы, приходился на первые мгновения «большого взрыва», когда вещество и энергия заполняли Вселенную. В первые моменты вспышки после «большого взрыва» ощущались невиданный жар и плотность. Наличествовали все семейства элементарных частиц, так что первые мгновения «большого взрыва» были как бы огромной лабораторией для проверки стандартной модели. И несмотря на недоступность того события, можно делать предсказания о существующих ныне условиях и сравнивать их с опытными данными.

Астрофизик Дэвид Шрамм часто повторял слова советского физика Якова Зельдовича: «Вселенная — ускоритель для бедных. Эксперименты не нуждаются в финансировании, от нас требуется лишь сбор опытных данных и верное их толкование». Например, если существует *четыре* семейства элементарных частиц, количество гелия, образованного в первые минуты после «большого взрыва», должно составлять свыше 26% [вещества] нынешней Вселенной. *Три* же семейства элементарных частиц привели бы к созданию лишь 25% гелия. А поскольку выявлено именно такое количество гелия, ограничение стандартной модели тремя семействами кварков и лептонов находит тем самым убедительное опытное подтверждение.

Совместная работа физиков высоких энергий и астрофизиков в изучении первых мгновений после «большого взрыва» приводит к многим полезным результатам. Например, сочетая по-разному три фундаментальных физических постоянных (постоянную Планка, скорость света и постоянную тяготения), мы получаем минимальные значения таких основополагающих величин, как время, масса и энергия. Они называются

планковскими масштабами (или размерностями):

время: 10^{-43} с, длина: 10^{-35} м, энергия: 10^{9} Дж.

Если энергию Планка сосредоточить в объеме куба со стороной, равной длине Планка, то эквивалентная масса *($E = mc^2$)* в этом крохотном пространстве была бы столь плотной, что свет не мог бы его покинуть, оказавшись отрезанным от остальной Вселенной, — черная дыра. Таким образом, расстояния меньше планковской длины теряют смысл, так что ниже этого уровня пространство и время предстают «квантовой пеной», где уже не действуют никакие физические законы.

Исходя из планковских масштабов, можно представить возможную картину начала Вселенной. Субмикроскопическая квантовая флуктуация проходит стадию раздувания с очень быстрым расширением, когда по мере падения температуры происходит «вымораживание» четырех основных взаимодействий, подобно тому, как жидкая вода превращается в лед. Если взаимодействие с полями Хиггса определяет массу частиц, эта величина может принимать совершенно случайное значение, в зависимости от того, как идет остывание. При таком повороте событий возможно возникновение различных вселенных со слегка различающимися значениями масс элементарных частиц.

Теневая сторона стандартной модели

По поводу стандартной модели существует ряд возражений. Первое — математическое. При решении уравнений стандартной модели, касающихся свойств частиц, часто используется математический прием, основанный на теории возмущений. Значение некой величины определяется исходя из требуемой точности включением все большего числа членов рядов разложения по степеням некой величины, именуемой параметром. При малом параметре последовательные члены ряда уменьшаются по величине, так что для получения нужной точности можно ограничиться небольшим их числом. Но поскольку не все параметры оказываются малыми, некоторые вычисления требуют многих членов ряда. К тому же при расчетах в рамках стандартной модели зачастую появляются бесконечные величины. Для борьбы с этими расходимостями привлекают математический прием, именуемый перенормировкой. Перенормировка включает вычитание одного бесконечного ряда разложения из другого, чтобы оставить те члены, которые согласуются с известным значением.

Многие ученые критикуют стандартную модель за подобные математические изъяны, называя ее неизящной. Возможно, недовольство физиков связано с философским допущением, согласно которому Вселенная познаваема, и наше знание о ней должно быть математически простым,

изящным и завершенным. Разумеется, эта критика не влияет на удивительно полную согласованость предсказания и опытных данных, как и не мешает стандартной модели объяснять многие явления во Вселенной. Однако чувство неудовлетворенности заставляет ученых создавать более совершенную теорию.

На более высоком научном уровне у стандартной модели в самой ее основе проявляется изъян, связанный с нарушением симметрии электрослабого взаимодействия. Фотон, безмассовый бозон, служит переносчиком электромагнитной части электрослабого взаимодействия. Для сохранения симметрии переносчиком слабого взаимодействия здесь должен выступать также безмассовый бозон, чего на самом деле нет. Переносчиками слабого взаимодействия выступают два *W*-и один Z-бозон, обладающие значительной массой, превышающей массу большинства кварков. Симметрия оказывается нарушенной, и стандартная модель не в состоянии это объяснить.

Самая серьезная критика стандартной модели касается тяготения и происхождения массы. Стандартная модель не учитывает тяготения и требует, чтобы масса, заряд и некоторые другие свойства частиц измерялись опытным путем для последующей постановки в уравнения. Любой теории, готовящейся сменить стандартную модель, придется считаться с этой критикой, к тому же ни в чем не уступить стандартной модели там, где ее предсказания столь прекрасно согласуются с действительностью.

Проблема происхождения массы, известная как проблема полей Хиггса

В 1964 году шотландский физик Питер Хиггс и другие, исходя из чисто математических соображений, допустили существование вездесущего поля, позже названного полем Хиггса. Все взаимодействующие с полем Хиггса частицы приобретают вследствие этого массу. Иначе говоря, всякая масса порождена взаимодействием.

Механизм обретения массы схож с прохождением строя солдат через разлитую на земле патоку. Они становятся тяжелее вследствие прилипания патоки при ходьбе. Другим примером может служить вечеринка, где гости разбрелись по комнате. При появлении важного лица ближайшие соседи обступают его, увеличивая тем самым его эффективную [т. е. большую, чем реальная] массу. Чем значительнее лицо, тем больше народу обступает его, а значит, растет и его масса.

Согласно данной теории частицы по-разному сцепляются с полем Хиггса, что приводит к большим массам у *W*- и Z-бозонов и к отсутствию массы у фотона и глюона. Если механизм Хиггса действительно

ответственен за массу у элементарных частиц, он хотя бы отчасти дает ответ на вопрос, откуда появляется масса.

Но как определить, действительно ли существует поле Хиггса или это просто математический прием? Надо поступить следующим образом. Достаточно крепкий удар вроде удара частиц с очень высокой энергией по космической патоке, именуемой полем Хиггса, вызовет дрожание этой патоки. Колебания же самого поля можно зарегистрировать, поскольку должна появиться частица Хиггса, переносчик хиггсова поля, подобно тому как фотон служит переносчиком электромагнитного поля.

В самой простой теории лишь одна частица Хиггса является носителем хиггсова взаимодействия. Более сложные теории содержат многочисленные частицы Хиггса, в числе которых самая легкая. И, возможно, эта частица доступна современным ускорителям.

В течение нескольких лет Европейская организация по ядерным исследованиям в Женеве — ЦЕРН (Швейцария) занималась поисками хиггсовой частицы на ускорителе со встречными электрон-позитронными пучками (LEP). При 115 ГэВ (см. табл. 2 для масс частиц) было зарегистрировано интересующее явление [т. е. хиггсова частица], но для подтверждения необходимы также дополнительные данные, чтобы исключить влияние фона. В 2001 году ЦЕРН закрыл ускоритель для создания более мощного устройства с тем же тоннелем [27-километровым накопительным кольцом]. Новый ускоритель — Большой ускоритель со встречными протон-протонными пучками (LHC) по плану вступит в строй в 2005 году и благодаря своей мощи (8000 ГэВ в пучке) станет более эффективным средством исследования. С марта 2001 года Национальная лаборатория высокоэнергетических исследований имени Энрико Ферми (FNAL) в Батавии (штат Иллинойс) ведет поиски частицы Хиггса на своем ускорителе *Tevatron* (1000 ГэВ в пучке), но события, связанные с существованием такой частицы, были столь нечасты, что, похоже, уйдет много времени для сбора статистически значимых данных. [Сеанс набора данных продлится пять лет.] Сверхпроводящий сверхускоритель на встречных пучках (SSC), проект которого одобрен президентом Бушем в 1987 году, своей главной целью ставил поиск частицы Хиггса, и обладал бы достаточной мощью (20 000 ГэВ в пучке) для решения подобной задачи, но его строительство было прекращено по решению сената США в 1993 году [несмотря на уже израсходованные 2 млн долларов].

В случае если найдется частица Хиггса и ее масса окажется в пределах досягаемости нынешних ускорителей, можно расширить стандартную модель, чтобы она включила вытекающие из этого следствия. Данный шаг,

конечно же, не решит вопроса о происхождении массы или всех трудностей стандартной модели, но послужит все же неким началом.

Если частица Хиггса отыщется и ее масса выйдет за предсказанные пределы, стандартная модель рухнет, поскольку ее прогнозы прежде были безупречными. В таком случае потребуется существенный пересмотр или даже замена стандартной модели.

Если будет найдено множество частиц Хиггса, помимо стандартной модели потребуются новые теории.

Если не отыщется *ни одной* частицы Хиггса, это тоже повлечет за собой необходимость замены стандартной модели. Подобные теории обсуждаются в следующем разделе.

Итак, обнаружение частицы Хиггса или хотя бы установление нижней границы ее массы оказывается ключевым для понимания причины разнобоя в определении массы частиц. Однако некоторые ученые полагают, что поля Хиггса — лишь временная мера, не решающая вопроса о происхождении массы. Частица Хиггса для них — своего рода долгий ящик неведения, куда откладываются основополагающие трудности стандартной модели.

Стандартная модель недоучитывает тяготения — и это другая сторона нерешенного вопроса с массой. Прямым ответом здесь послужило бы создание квантовой теории тяготения (гравитации). Лучшей теорией тяготения считается общая теория относительности Эйнштейна, и почему бы в таком случае просто не приложить квантовые законы к общей теории относительности? Потому что сделать это нелегко. Обобщенная теория относительности является классической в отношении связи геометрии Вселенной как гладкого на больших масштабах четырехмерного многообразия с массой. Она хорошо работает при больших расстояниях, но на расстояниях между частицами меньше 1 мм никаких опытов не проводилось. Это означает, что сила тяготения попросту экстраполируется в микромир. Вместе с тем стандартная модель проводит квантование полей в виде дискретных частиц и имеет дело с крайне малыми масштабами. Поэтому, когда ученые пытаются провести квантование для общей теории относительности, теория дает бесконечные значения для явно конечных величин.

Другая трудность вызвана крайней слабостью тяготения по сравнению с другими силами. Чтобы быть на равных с сильным и электрослабым взаимодействием, тяготение должно иметь сравнимую силу. Это так называемая проблема иерархии взаимодействий. Огромный энергетический

разрыв существует между энергиями, для которых применима стандартная модель, и энергией, при которой наиболее слабо выраженное тяготение становится сравнимым по величине с сильным и электрослабым взаимодействиями. Неизвестно, чем вызван такой огромный разрыв.

Нужна новая физика

Как видим, опытное подтверждение существует лишь для стандартной модели. Однако своей проверки ждут многие теории. Вот некоторые из них.

Теории великого объединения (ТВО) и теории всего сущего (ТВС). Названия лишь вводят в заблуждение, поскольку предлагают больше, чем могут дать. В действительности они лишь указывают на объединение известных взаимодействий в рамках одной, всеобъемлющей теории. ТВО объединяют электрослабое и сильное взаимодействие. Более амбициозные ТВО «замахиваются» не только на сильное и электрослабое взаимодействия, но и на гравитационное. Даже если такая теория будет создана, это вряд ли ознаменует конец науки, которая полна иных, требующих ответа вопросов.

М-теория. Физик из Принстона Эдуард Виттен говорит, что «М означает "магический" или "мембрана", как кому нравится». Некоторые прежние теории оказываются частным случаем этой общей теории — так называемые теории струн, суперструн и бран. Вместо того чтобы рассматривать кварки и лептоны в виде точечных (одномерных) частиц, данная теория предлагает считать их двухмерными (струнами) или даже многомерными (мембранами, сокращенно бранами). Эти родственные теории объединяют все силы, включая тяготение, и не содержат никаких бесконечностей, требующих перенормировки, как в случае со стандартной моделью. Но раз они требуют числа размерностей больше четырех (сейчас в ходу 10, 11 и 26 размерностей), дополнительные размерности могут представать полностью свернутыми или по своей малости недоступными современным измерительным приборам либо огромными, чуть ли не бесконечными. Согласно одной из таких теорий все размерности Вселенной вначале были одинаковой величины, но затем разделились и изменяли свою величину по мере расширения и охлаждения Вселенной. Трудность в выборе какой-либо теории данного рода обусловлена тем, что наш опыт или интуиция неприменимы к размерностям, выходящим за рамки четырехмерного мира, в котором мы живем.

Суперсимметрия (СУСИ). В случае замены фермионов на бозоны и наоборот описывающие основные взаимодействия уравнения должны оставаться истинными. Данная теория предсказывает существование

гораздо более тяжелых суперпартнеров для всех частиц. Если такие суперпартнеры существуют, у одного или нескольких из них масса может оказаться довольно малой для обнаружения при поисках бозона Хиггса. Суперсимметричные партнеры могли бы также объяснить существование темной материи (см. гл. 6). (Суперпартнеров обозначают прибавлением приставки «с» к названиям фермионов, т. е. суперпартнер электрона именовался бы сэлектроном, протона — спротоном и т. д. Суффикс «ино» присоединяется к названиям суперпартнеров у бозонов, т. е. суперпартнер фотона именовался бы фотино, *W* - бозона — вино и т. д.)

Техницвет. Данная теория [сильного взаимодействия] рассматривает кварки и лептоны состоящими из более мелких частиц. Поскольку она предсказывает существование новых частиц, допускается опытная проверка.

Твисторов теория. Посредством [трехмерного] комплексного представления [вещественного] четырехмерного пространства — времени [Минковского] переформулируются положения стандартной модели и общей теории относительности. (Комплексное число задается выражением

a + *ib,* где *i*— квадратный корень из — 1, а *a* и *b* — действительные числа. [Твисторы же — прямые во вспомогательном комплексном трехмерном проективном пространстве, соответствующие точкам четырехмерного вещественного пространства—времени Минковского. Понятие твистора введено Роджером Пенроузом в конце 1960-х годов.]) Значение комплексных чисел в реальном мире неясно: их нельзя использовать для счета или измерения любых реальных величин.

Чтобы не оказаться на свалке отвергнутых теорий, любая научная гипотеза должна делать предсказания, подкрепляемые опытными данными. Одни новые теории слишком умозрительны для получения предсказаний, доступных проверке; другие очень сложны для расчетов; третьи включают величины, слишком далекие от нашей повседневной действительности, чтобы можно было накладывать на них ограничения на основе наших опыта и интуиции. Для получения экспериментального подтверждения существования некоторых предсказанных очень тяжелых частиц требуется ускоритель величиной с Солнечную систему.

Принцип соответствия Нильса Бора, выдвинутый в 1920-е годы, гласит, что квантовая механика должна согласовываться с классической физикой в случаях, когда классическая теория доказала свою истинность. Если следовать этому правилу в данном случае, всякая новая теория должна сводиться к стандартной модели в условиях, когда опытные данные подтвердили ее верность. Нужно время, чтобы появилась такая теория.

Необходим новый язык?

Умозрительность положений стандартной модели и возможных ее преемниц не должна вводить в заблуждение. Язык, на котором описывается стандартная модель, является математическим, а такой язык сам может оказаться неполным. Не исключено, что потребуются новые математические понятия. Для объяснения движения Ньютон создал дифференциальное исчисление, имеющее дело с плавно изменяющимися функциями и малыми числами. Нам известно, что Вселенной присущи разрывные функции и большие числа, однако многие уравнения по-прежнему выражаются понятиями дифференциального исчисления. (В гл. 5, о прогнозе погоды, мы столкнемся с теми же трудностями.) Многие теории, ставящие целью смену стандартной модели, включают математические понятия на более глубоком по сравнению с дифференциальным исчислением уровне, привлекая такие понятия, как группы, кольца, идеалы и топологические структуры. Составление описывающих поведение Вселенной уравнений — не то же, что решение этих уравнений в физически точных и осмысленных выражениях.

Решение головоломки: как, кто, где и когда?

Как. По сути, мы до сих пор не знаем, как исходные кирпичики Вселенной обрели свою массу, и у нас даже нет уверенности, что мы установили все эти кирпичики. И все же мы располагаем теоретическими и опытными возможностями для углубления своего понимания.

Кто. На теоретическом фронте плодотворно трудятся многие ученые, совершая постоянные прорывы. Можно назвать лишь некоторых: Эдуард Виттен, Фрэнк Вилчек, Митио Каку, Майкл Джеймс Дафф, Роджер Пенроуз, Гордон Кейн и Ли Смолин.

Где **и когда.** Экспериментальный поиск частицы Хиггса идет в Лаборатории им. Ферми и продолжится в ЦЕРНе в 2005 году. Возможно, затем появятся новые сооружения.

Чтобы быть в курсе происходящего, отправляйтесь к ссылкам раздела «Источники для углубленного изучения». Будущие открытия обещают быть интересными, познавательными и, вполне возможно, неожиданными.

Глава третья

Химия

Какого рода химические реакции подтолкнули атомы к образованию первых живых существ?

> Сущий вздор — рассуждать сейчас о происхождении жизни; с тем же успехом можно было бы рассуждать о происхождении материи.
>
> *Из письма Ч. Дарвина Дж. Д. Хукеру*
> *29 марта 1863 г.*

Химия занята изучением строения веществ и происходящих с ними превращений. Химия живых и неживых существ изучалась довольно широко, а вот химический переход от безжизненных веществ к той сложной системе взаимодействующих молекул, где отражаются все отправления, именуемые нами жизнью, остается крупнейшей нерешенной проблемой химии.

Первичный бульон

Требуемый состав. В требуемом количестве. Перемешанный при требуемой температуре. За требуемое время. В зависимости от состава, количества, температуры и времени можно получить рецепт приготовления овсянки или праздничного пирога. Либо описание первичного бульона, заправленного теми или иными органическими молекулами. Сочетаясь, эти первичные молекулы образуют более крупные самовоспроизводящиеся (реплицирующие) молекулы из белков и нуклеиновых кислот. Появление этих более крупных самовоспроизводящихся молекул в итоге приводит к образованию генетического кода, что равносильно созданию самой жизни.

В данной главе рассказывается о стыке химической, или добиологической, эволюции с биологической; о составе, количестве, температуре, времени и последовательности реакций, происходивших в переходный период — между 4,5 и 3,8 млрд. лет, и затрагивается вопрос, как безжизненная планета породила первую форму жизни.

Становление химических систем

Как бы то ни было, кварки и лептоны обрели массу, и «большой взрыв» свершился. По мере расширения и охлаждения Вселенной кварки, объединяясь, породили протоны и нейтроны, а ядерный синтез — ядра

гелия, составившие 25% вещества Вселенной. Остальное вещество находилось в виде протонов. С течением времени под действием силы тяготения стали скапливаться огромные газовые облака, образуя галактики и звезды. В сердцевине этих звезд образовывались атомные ядра тяжелее ядер гелия. По завершении отпущенного им срока эти звезды взрывались, извергая множество ядер в межзвездное вещество, где большая их часть притягивала к себе электроны, образуя ту форму материи, которая известна нам ныне — атомы. Прошло еще время, и некоторые атомы оказались в составе огромных облаков, именуемых туманностями, которые срастались под действием тяготения, образуя как звезды, так и менее крупные тела, включая нашу планету.

У атомов появились общие электроны, что привело к образованию *молекул.* Вопросы, касающиеся объединения атомов, их количества, скорости объединения (реакции), величины поглощаемой или выделяемой при этом энергии, находятся в ведении отрасли знания, именуемой *химией.* Химические изменения изображаются в виде уравнений.

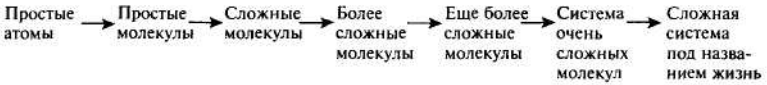
Реагирующие атомы или молекулы, сочетаясь, образуют → производные атомы и молекулы.

Хотя химии и удалось разрешить много тайн вокруг атомных и молекулярных соединений, главная головоломка ей так и не поддалась: какого рода химические реакции подтолкнули атомы на раннем этапе развития Земли к образованию сложной системы взаимодействующих молекул, где отражаются все отправления, именуемые нами жизнью?

Один атом, *углерод,* дает возможность понять сложность живых существ. От распределения электронов в углероде зависит образование четырех ковалентных связей в виде общих пар электронов [с другими атомами]. Это могут быть одиночные, двойные или даже тройные связи. К тому же атомы углерода легко соединяются между собой. Такая гибкость в выборе связей позволяет молекулам принимать различные формы — от самых простых до крайне сложных.

Занимающаяся изучением углеродных соединений отрасль получила название *органической* химии из-за господствовавшего прежде мнения, что лишь живые (органические) системы способны порождать подобные молекулы. Но теперь мы знаем, что такие соединения могут создаваться и искусственно. Молекулы на основе углерода изначально могли быть относительно простыми, но способность углерода к связыванию позволяла им становиться все более сложными, что в итоге привело к сложной системе, именуемой нами жизнью. Данный процесс можно изобразить в виде химического уравнения, где стрелки показывают последовательность

химических реакций:



Предположения о происхождении жизни

Мы определили вопрос происхождения жизни как химическую головоломку, но вполне возможно, это не единственный подход. Выдвигалось много иных идей, отвечавших на вопрос, как появилась жизнь на Земле. Многие из них не были связаны с химией. Мы начнем с изучения некоторых представлений о возникновении жизни на Земле. Затем посмотрим, насколько химикам удалось продвинуться в этом вопросе. И напоследок уясним, почему же химия все еще считает вопрос о происхождении жизни нерешенным.

Гипотеза 1. Сверхъестественное происхождение жизни. До того как начались планомерные химические изыскания или выработался требующий экспериментальных подтверждений научный метод, на Западе это было широко распространенное мнение. Жизнь принесли на Землю сверхъестественные, или божественные, силы. Данное представление известно как креационизм.

Перед представлениями, объясняющими возникновение жизни действием сверхъестественных, или божественных, сил, стоит неодолимое препятствие: смешивание религии с наукой. Религиозные представления основаны на вере, то есть субъективны, тогда как наука зиждется на объективных свидетельствах. Формально эти два подхода столь различны, что их идеи не поддаются сравнению. Но ведь мы все — люди и обязаны сравнивать.

Вопрос о возникновении жизни особенно труден. Именно из-за давности ее появления, что исключает изучение каких-либо прямых свидетельств. Эта ситуация подобна игре в гольф. Игрок выполняет удар, не видя лунки, а когда подходит, оказывается, что мяч лежит в ямке. Попадание мячом в лунку одним ударом? Возможно. Игрок не в силах обратить время вспять и выяснить, угодил ли мяч туда сам— или же ему посодействовал некий шутник.

Если придерживаться научного подхода, вспомним пример из гл. 1 относительно источника сильного радиоизлучения, обнаруженного спутником *Uhuru* в 1971 году близ звезды HDE 226868. Ввиду удаленности HDE 226868 от нас на 8 тыс. световых лет невозможны прямые измерения.

Но тогда откуда нам известно, что рентгеновские лучи указывают на присутствие черной дыры, а не сигналов от внеземной цивилизации? Если эти два объяснения рассматривать как соперничающие гипотезы, в отсутствие опытных данных следует прибегнуть к бритве Оккама. Гипотеза о черной дыре проще, она привлекает лишь известные физические законы и поэтому более предпочтительна. Дальнейшее обнаружение иных сходных источников радиоизлучения подкрепляет сделанный выбор.

Итак, наука принципиально исключает вмешательство Бога в возникновение жизни не только из-за отсутствия свидетельств, но и потому, что Бог Своей внеприродной сущностью нарушает принцип бритвы Оккама. Многие ученые веруют в Бога, но, вступая в чертоги науки, они должны жить по ее законам. Впрочем, если удастся обнаружить жизнь еще где-то во Вселенной, это, несомненно, самым причудливым образом отразится и на религиозных верованиях, и на науке. (См.: Список идей, 4: Внеземная жизнь.)

Гипотеза 2. Самопроизвольное (спонтанное) зарождение сложных форм жизни. Издавна люди наблюдали лягушат среди гниющих бревен, крыс в сточных водах и отбросах, личинок на залежалом мясе. В 1620 году Ян Баптист ван Гельмонт, нидерландский естествоиспытатель (и алхимик), предложил такой рецепт изготовления мышей:

Положи в горшок зерна, заткни его грязной рубашкой и жди. Что случится? Через двадцать один день появятся мыши: они зародятся из испарений слежавшегося зерна и грязной рубашки. Поразительно, что появляются мыши обоего пола, кои совершенно схожи с рожденными естественным путем особями... Еще более поразительно, что получаются не детеныши, а взрослые мыши [«Imago fermenti impragnat massam semine» («Образ закваски оплодотворяет глыбу семенем»): 20-й трактат в изданном посмертно в 1648 г. сыном Франциском Меркурием ван Гельмонтом собрании сочинений под названием *Onus medicines, id est initia Physicce inaudita, progressus medicince novus, in morborum ultionem ad vitam longam]*.

Гипотезу о возникновении сложных многоклеточных живых существ непосредственно из неживого вещества часто именуют гипотезой самозарождения, хотя некоторые остряки величают ее «лягушки из чушки». Но повременим с осмеянием представлений четырехсотлетней давности, представив, сколь наивными окажутся наши взгляды спустя четыре века.

После научной революции, когда опыт стал окончательной проверкой истинности гипотез, соотечественник Галилея и его преемник при дворе Медичи во Флоренции решил испытать теорию самозарождения. В 1668

году Франческо Реди провел опыт, помещая мясо в различные сосуды. Одни сосуды были открыты, сообщаясь с воздухом, другие — полностью запечатаны, а третьи покрыты кисеей со столь мелкой сеткой, что внутрь проходил один воздух. Мухи, жужжа, кружились над каждым сосудом, но поскольку личинки появились лишь в открытых сосудах (куда могли залетать и откладывать яйца мухи), это доказывало, что личинки появляются от мух, а не из воздуха. К тому же яйца были найдены на самой кисее. Можно было бы ожидать, что опыты Реди полностью изобличили теорию самозарождения. Но тем не менее многие продолжали верить в нее. От старых представлений отказываются с превеликим трудом. Даже Реди продолжал верить, что самозарождение может происходить при иных обстоятельствах.

Вскоре после опытов Реди был изобретено новое мощное исследовательское орудие, микроскоп, вызывавший смешанные чувства. Он не только оказался крайне полезным для биологических наблюдений, но и укрепил веру в самозарождение, поскольку явленные им взору «животинки», казалось, возникали сами по себе.

В начале 1860-х годов Луи Пастер принял участие в споре по поводу самопроизвольного зарождения. Мнения высказывались диаметрально противоположные. Член Французской академии наук Ф. А. Пуше опубликовал материалы с результатами опытов, где заявлял, что может продемонстрировать самозарождение. Пастер указал на некоторые изъяны в избранных Пуше способах, и тогда тот обратился к Французской академии с предложением назначить премию тому, кто сможет доказать или опровергнуть самозарождение. Друзья Пастера отговаривали его от участия в конкурсе, полагая, что он устраивался с целью посрамления ученого. Но благодаря своим прежним опытам с брожением Пастер чувствовал себя вполне подготовленным.

Он провел ряд опытов, завершившихся помещением обеспложенного мясного навара в колбы, у которых горлышко было вытянуто в длинную трубочку, изогнутую на манер шеи лебедя. Благодаря такому изгибу воздух проходил в колбу, а микроорганизмы застревали в горлышке. Навар оставался стерильным, что указывало на отсутствие самозарождения микроорганизмов. Пастер сказал:

«Господа, я мог бы указать на эту жидкость [в колбе со стерильной питательной средой на столе перед ним] и сказать вам, что взял сию каплю воды из необозримого мироздания, и взял ее, полную плодоносного студня. И вот я жду, наблюдаю и прошу, умоляю ее приступить к началу творения! Но она глуха, глуха уже несколько лет с начала опытов. А все потому, что я

удалил от нее то единственное, что не в состоянии сотворить человек, я удалил от нее зародыши, кои витают в воздухе, я удалил от нее жизнь, ибо жизнь и есть зародыш, а зародыш — жизнь. Никогда прежде учение о самозарождении не получало смертельного удара, подобного тому, что нанес ей сей простой опыт.

Итак, нет более никаких известных обстоятельств, кои могли бы подтвердить, что микроскопические существа появляются на свет без зародышей, без подобных оным родителей. Те, кто утверждает это, введены в заблуждение ложными представлениями, неверно поставленными опытами, ошибками, коих они либо не замечали, либо не *могли* избежать» *[Des generations spontanees.* Conference faite aux «soirees scientifiques de la Sorbonne», le 7 avril 1864: *Revue des cours scientifiques de la France et de Vetranger,* I, 23 avril 1864, p. 257-265 *(О самопроизвольном зарождении: Доклад,* прочитанный на «научных вечерах» Сорбонны, 7 апр. 1864.)].

Пастер завоевал премию, но его блестящий опыт так и не похоронил теории самозарождения, которая то и дело давала о себе знать. Подобно нынешним городским мифам она обрела собственную жизнь. С научной точки зрения в опытах Пастера смущало только одно. Ведь если каждый живой организм происходит от предшествующих живых организмов, то каким образом появился *первый живой* организм?

Гипотеза 3. Возникновение жизни извне. Анаксагор, живший в 500—428 годах до н. э. греческий мыслитель, рассуждал о «семенах вещей», которые наличествуют во всех организмах. Его философия истолковывается как исток представления о панспермии, в соответствии с которой жизнь на планеты пришла извне. В 1871 году шотландский физик Вильям Томсон, впоследствии лорд Кельвин, обнаруживший углерод в метеоритах [выступая в Эдинбурге перед Британским обществом содействия науке], сказал:

— При столкновении двух *огромных* масс в пространстве значительная их часть расплавится. Однако вполне верно и то, что во многих случаях большая часть обломков разлетится во все стороны, множество из них испытают разрушительное воздействие не больше того, что придется вынести отдельным частям скалы при оползне или пороховом взрыве. Если время столкновения нашей Земли с другим, соизмеримым с ней телом придется на пору, когда она подобно нынешней будет покрыта растительностью, то множество больших и малых осколков с семенами и живыми растениями и животными рассеется во Вселенной. Посему и согласно нашему убеждению, что с незапамятных времен существует множество обитаемых миров помимо нашего, нам следует считать крайне вероятным наличие бесчисленного множества движущихся во Вселенной

метеоритных камней с семенами. Если бы в данный миг наша Земля была безжизненной, один такой камень мог бы по названным нами по недомыслию естественным причинам дать начало обильной растительности.

Немецкий физик Герман фон Гельмгольц согласился с подобными соображениями, заявив [в лекциях, прочитанных весной того же года в Гейдельберге и Кельне]:

«Мне кажется, что если все наши попытки создать организмы из безжизненного вещества терпят неудачу, то является вполне научным способом рассуждения задать себе вопрос: да возникла ли вообще когда-нибудь жизнь, не так ли она стара, как и материя, и не переносятся ли все зародыши с одного небесного тела на другое, развиваясь всюду, где они находят для себя благоприятную почву» [Предисловие к книге «Handbuch der theoretischen Physik von W. Thomson und P. G. Tait»* (Руководство по теоретической физике В. Томсона и П. Г. Тэта / Авториз. пер. с нем. Брауншвейг, 1874. Т. 1. Ч. 2. С. XI)].

Сколь бы любопытными ни были эти соображения и какими бы маститыми учеными они ни выдвигались, это не гипотезы, которые позволяли бы делать предсказания и допускали бы опытную проверку, поэтому они и остались невостребованными по меньшей мере в смысле научного подхода.

В 1907 году шведский химик Сванте Аррениус, удостоенный Нобелевской премии за теорию электрической диссоциации, написал популярную книгу *Varldarnas utveckling* [Образование миров. Одесса: Mathesis, 1908]. Аррениус полагал, что жизнь где-то зарождается, пробивается сквозь атмосферу других планет и странствует по Вселенной в виде спор, подталкиваемая давлением света от находящейся в центре этой планетарной системы звезды. Как гипотеза данная идея предсказывает, что споры при движении к Земле в состоянии перенести ультрафиолетовое излучение Солнца. В ряде опытов споры помещали в условия, близкие к космическим, которые они не смогли вынести. Тем самым теория Аррениуса умерла [для науки], но [продолжала] служить источником научно-фантастических рассказов.

Одно из главных возражений против панспермии таково: она не отвечает на вопрос, как впервые возникла жизнь, просто отодвигая его в иное, менее доступное место. Современные вариации на тему панспермии будут рассмотрены в данной главе.

---

* *Тэ(й)т (Те(й)т) (Tait) Питер Гатри* (1831-1901) — шотландский математик, механик и физик; основные труды посвящены теории кватернионов и математической физике.

Гипотеза 4. Самопроизвольное зарождение жизни на самой Земле. В 1920-е годы в атмосфере Юпитера и других газообразных планет-гигантов обнаружили метан (CH_4). Русский биохимик Александр Опарин предположил, что на ранней стадии развития Земли наряду с аммиаком (NH_3), водородом (H_2) и водой (H_2O) присутствовал метан. Вероятно, это было сырье, необходимое для начала жизни, поскольку там содержались основополагающие элементы живых организмов: углерод, кислород, водород и азот. В 1924 году Опарин выпускает брошюру о происхождении жизни, где говорится:

«Поначалу наблюдались простые растворы органических веществ, чье поведение определялось свойствами входящих в их состав атомов и расположением самих атомов внутри молекул. Но постепенно вследствие роста и усложнения молекул появились новые свойства, и среди более простых органических химических связей утвердился новый коллоидно-химический порядок. Эти обновленные свойства определялись пространственным расположением и взаимными связями между молекулами. Но даже такое состояние органической материи еще не могло породить первых живых существ. Для этого коллоидальные системы в ходе своего развития должны были приобрести свойства более высокого порядка, который позволил бы перейти к следующей, более сложной ступени в устройстве материи. Здесь уже заявляет о себе биологическая упорядоченность. Опережение в росте, борьба за выживание и, наконец, естественный отбор установили такой вид устроения материи, который присущ всему живому теперь».

Опарин обнаружил, что белки, находящиеся в растворенном состоянии, могут слипаться, образуя сгустки. Такие сгустки он назвал *коацерватами* и заявил, что они способны на метаболизм. Из-за революции в России работы Опарина были неизвестны на Западе до конца 1930-х годов.

В статье 1929 года «Происхождение жизни» [«The Origin of Life», *Rationalist Annual.* Vol. P. 148; Происхождение жизни // Планета Земля. М., 1961. С. 315-334] Дж. Б. С. Холдейн, британский биохимик, строит догадки о происхождении жизни на Земле. Приводя недавние опыты о влиянии ультрафиолетового излучения на химические реакции, Холдейн предположил, что ультрафиолетовое излучение своим воздействием на первичную атмосферу Земли в виде двуокиси углерода (CO_2), паров воды (H_2O) и аммиака (NH_3) могло вызвать к жизни органические соединения, которые собирались в океане, достигнув в итоге «состояния горячего разбавленного бульона». Последующий химический синтез породил первичные организмы, питавшиеся окружающими их органическими

веществами. Холдейн особо сосредоточил внимание на воспроизведении, полагая, что первичные организмы походили на простые вирусы, или вироиды. Круг интересов Холдейна был весьма широк, а его рационалистические взгляды — хорошо известны. В конце жизни кто-то спросил Холдейна, что он в своем длительном изучении природы подразумевал под ее творцом.

Холдейн задумался: возможно, около 350 тыс. видов жуков, составляющих более половины всех насекомых, а затем ответил: «Создатель, если он есть, питает необыкновенную слабость к жукам» [приводится в сообщении о прочитанном Холдейном 7 апреля 1951 года Докладе: *Journal of 'the British Interplanetary Society.* 1951. Vol. 10].

Так как Опарин и Ходдейн независимо друг от друга пришли к сходным выводам, их гипотезы часто представляют вместе в виде теории Опарина—Холдейна. При всем сходстве выводов Опарин прежде всего подчеркивает метаболизм, тогда как Ходдейн — воспроизведение. Это расхождение разбивает сторонников теории происхождения жизни на два лагеря.

После выдвижения гипотезы остается ждать появления доступного проверке предсказания и проведения соответствующих опытов. В 1952 году Стэнли Миллер (аспирант Нобелевского лауреата Гарольда Клейтона Ури в Чикагском университете) проделал новаторский опыт по проверке теории Опарина—Холдейна. Предполагаемые составляющие первичной атмосферы Земли — вода, водород, аммиак и метан — после обеспложивания вводились в соответствующий прибор, где подвергались электрическим разрядам, имитирующим молнии (рис. 3.1).

Через несколько дней после эксперимента Миллер обнаружил в воде простые органические молекулы (табл. 2), среди которых были аминокислоты, кирпичики живых организмов (см.: Список идей, 5. Аминокислоты). Из всего многообразия аминокислот в природе встречается лишь около 100 таких кислот, 20 из которых обнаружены в живых организмах. *Четыре кислоты получены в миллеровском приборе.* Большое количество этих простых, но примечательных органических молекул возникло всего за несколько дней.

Данные результаты подтвердили теорию Опарина—Холдейна. Конечно, полностью сформировавшиеся живые организмы получены не были. Хотя произведенные прибором Миллера молекулы представляли собой лишь простые составные части необходимых для обеспечения жизни молекул, само их образование в течение нескольких дней существенно укрепляло позиции данной теории.

Опытное подтверждение теории Опарина—Холдейна о происхождении жизни носило все же отрывочный характер, поскольку подробности биохимии жизни еще не были раскрыты.

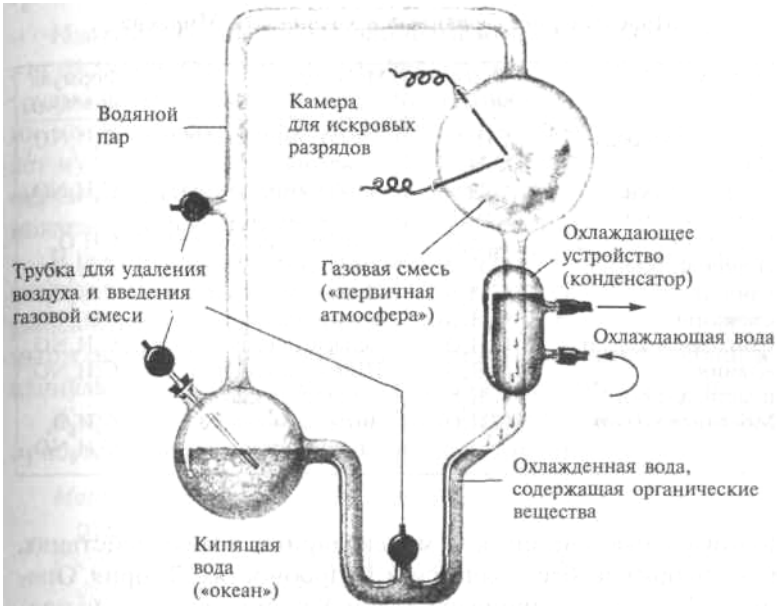


Рис. 3.1. Прибор, использованный Миллером для воспроизведения условий, существовавших на первобытной Земле (из кн.: *Raven P. H., Johnson G. B.* Biology. 6th edition. N.Y., 2002 *[Кемп П., Арме К.* Введение в биологию / Пер. с англ. Л. Александрова и др. / Под ред. Ю. Полянского. М.: Мир, 1988. С. 339]

В последующий год все круто изменилось: в Кембридже Джеймс Уотсон и Фрэнсис Крик установили исходное строение молекулы, отвечающей за наследственность, дезоксирибонуклеиновой кислоты — ДНК. После того как молекулярные биологи приступили к упорядочиванию запутанных отношений между ДНК, РНК (рибонуклеиновой кислотой), белками и прочими молекулами, обеспечивающими деятельность живых организмов, стали известны дополнительные сведения о молекулярных взаимодействиях. Как говорится, бес прячется в подробностях.

Таблица 2 **Молекулы, образованные в ходе опыта Миллера**

Молекула	Формула молекулы	Молекула	Формула молекулы
Цианид водорода	CHN	Альфа-аминомасляная кислота	$C_4H_9NO_2$
Циан	C_2N_2		

Цианацетилен	C_3HN	Альфа-аминоизомас-	C_4H,NO_2
Формальдегин	CH_2O	ляная кислота	
Уксусный альдегид	C_2H_4O	Муравьиная кислота	CH_2O_2
Пропиональдегид	C_3H_6O	Уксусная кислота	$C_2H_4O_2$
Глицин	$C_2H_5NO_2$	Пропионовая кислота	$C_3H_6O_2$
Саркозин	$C_3H_7NO_2$	Мочевина	CH_4N_2O
Гликолевая кислота	$C_2H_4O_3$	Аспарагиновая кислота	$C_4H_7NO_4$
Алании	$C_3H_7NO_2$	Иминоуксуснопро-	$C_5H_9NO_4$
п-метилаланин	$C_4H_9NO_2$	пионовая кислота	
Молочная кислота	$C_3H_5O_3$	Янтарная кислота	$C_4H_6O_4$
		Глутаминовая кислота	$C_4H_9NO_4$

Теория Опарина—Холдейна о происхождении жизни не содержала подробного списка химических реакций по зарождению жизни, поскольку на ту пору эти молекулы не были известны. Далее дается описание нынешнего понимания молекулярной основы жизнедеятельности организмов. Постараемся выяснить, что же могло послужить первой, простейшей формой жизни. Затем рассмотрим условия на Земле во время ее формирования и проследим, как химические реакции могли превратить простые молекулы в виде смеси в тот молекулярный механизм, что управляет ходом жизни. Потом мы рассмотрим некоторые иные трудности, делающие вопрос происхождения жизни одной из основных нерешенных проблем. Наконец, мы исследуем немногие пути, способные привести к ее разгадке.

Нынешняя жизнь: клеточные структуры

Ныне жизнь предстает крайне сложным явлением. Учитывая миллионы видов (где 350 тыс. приходится лишь на жуков) трудно рассчитывать на сохранение простейшей формы жизни, которую можно было бы исследовать. Ее нет. После 4 млрд. лет мутаций, воспроизведения, борьбы за пищу и изменений окружающей среды вряд ли стоит удивляться, что первой предполагаемой формы жизни давно не существует.

В сущности, что же такое жизнь? В 1947 году неугомонный британский генетик Дж. Б. С. Ходдейн сказал: «Я не собираюсь отвечать на этот вопрос». После борьбы с промежуточными формами вроде вирусов, вироидов и вирионов биология двинулась дальше в поисках четкого определения жизни.

Живые организмы порой описывались в соответствии с присущими им отправлениями (функциями):

Метаболизм: поглощение энергии, ее усвоение и вывод отходов.

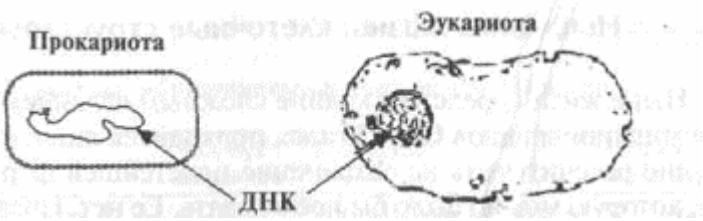
Рост и восстановление: достижение нужных размеров и устранение неполадок.

Ответ на раздражители: выполнение действий в соответствии с внешними событиями.

Воспроизводство: создание себе подобного организма.

Современная биология избрала более простой путь: *любое живое существо — клеточное.* Отдельный организм может быть одноклеточным или состоять из множества взаимодействующих специализированных клеток, но в основе всех организмов лежит клетка. Далее, каждая клетка обладает мембранной оболочкой для обособления ее от остального мира. Внутри этой мембраны содержится полный набор команд по работе и воспроизведению клетки. Эти команды записаны в виде кода в дезоксирибонуклеиновой кислоте — ДНК.

Долгое время считалось, что существует лишь два вида клеток — *эукариоты* и *прокариоты* (рис. 3.2). Они разнятся размещением команд (эукариоты имеют ядро, а у прокариот оно отсутствует) и воспроизведением (эукариоты размножаются путем деления клеток, именуемого митозом; прокариоты — простым разрывом клеток). Недавно выяснилось, что существует еще одна разновидность клеток, названных *археями.* Анатомически археи сходны с прокариотами — у них нет ядра, но археи обладают, помимо таких же, как у эукариот, лишь им присущими генами.



ДНК содержится в одной хромосоме; отсутствует ядро

ДНК содержится во многих хромосомах внутри ядра

Рис. 3.2. Прокариотная и эукариотная клетки

ДНК архей содержится в простой кольцевой молекуле, а не в нескольких скрученных молекулах, где хранится ДНК эукариот. Большинству архей присущ метаболизм без участия кислорода (анаэробные

археи), а некоторые (именуемые экстремофилами) обитают в условиях, при которых не выжили бы иные организмы. Гипертермофилы, обитающие в воде с температурой выше точки кипения (100°C), были обнаружены в горячих источниках Йеллоустонского национального парка, а также близ глубоководных термальных отдушин, именуемых «черными курильщиками» (о них рассказ впереди). Другие живут в холодной, соленой или кислотной среде вроде пресноводных озер под антарктическим льдом, соленых озер и отработанной угольной породы. С конца 1970-х это крайне захватывающая область исследования.

Археи считаются самыми древними клетками, предшествующими и прокариотам, и эукариотам. Поэтому археи по своему виду находятся ближе к самой ранней форме жизни по сравнению с другими клетками. Отсутствие ядра и более простая ДНК делают архею возможным соискателем на близкое родство с первичным простым организмом.

Отправления клетки

Теперь рассмотрим отправления клетки на молекулярном уровне. Ее генетическая информация содержится в молекуле ДНК (рис. 3.3). ДНК представляет собой сравнительно попарно нуклеотидов. Звено между этими нуклеотидами соединяет пары азотистых оснований, которые связываются заданным образом: аденин (А) — лишь с тимином (Т), а гуанин (Г) — с цитозином (Ц). Это так называемые пары оснований Уотсона—Крика. Остальные нуклеотиды приходятся на долю Сахаров (дезоксирибозы), связанных с фосфорной кислотой, образуя остов спирали (рис. 3.4). (На изображениях молекул при отсутствии на углах кольца наименований атомов подразумевается атом углерода.)

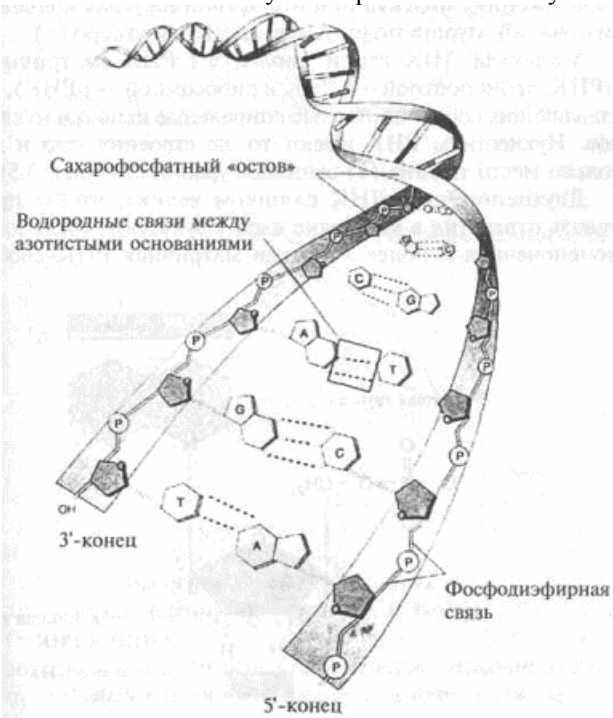


Рис. 3.3. Структура молекулы ДНК (по кн.: *Raven P.* //., *Johnson G. B.* Biology)

длинную двойную спиральную молекулу, состоящую из соединенных

Молекула ДНК строит молекулы РНК (матричной — мРНК, транспортной — тРНК и рибосомной — рРНК), представляющих собой одинарные спиральные цепочки нуклеотидов. Нуклеотиды РНК имеют то же строение, что и ДНК, только место тимина (Т) занимает урацил (У) (рис. 3.5).

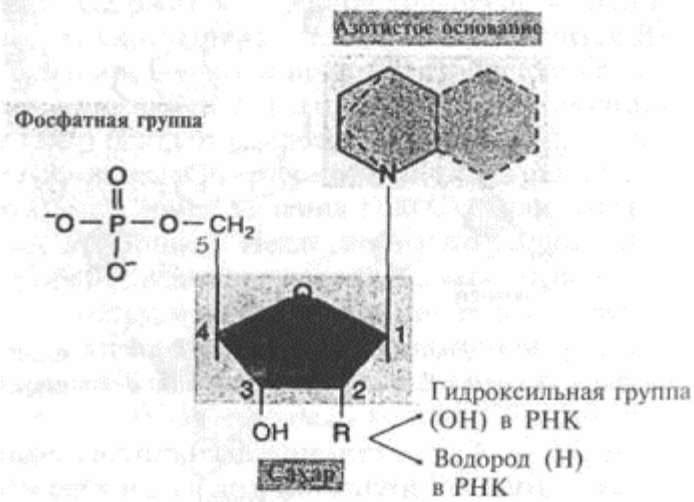


Рис. 3.4. Строение нуклеотидов (из кн.: *Raven P. H., Johnson G. B.* Biology)

Двухцепочечная ДНК слишком велика, чтобы пройти сквозь отверстия в мембране ядра у эукариот, тогда как одноцепочечная и более короткая матричная РНК свободно туда проходит.

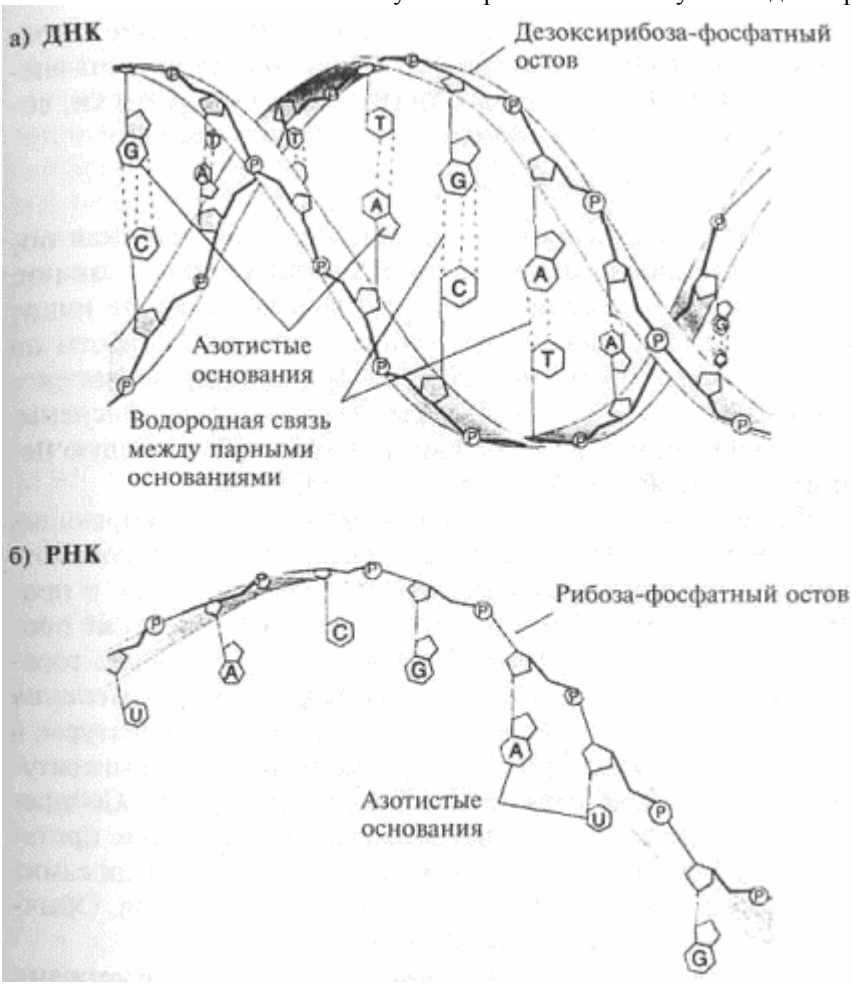


Рис. 3.5. Молекулы ДНК и РНК (из кн.: *Raven P. H., Johnson G. B.* Biology)

Прокариоты не сталкиваются с подобной трудностью, так как их ДНК не заключена в ядре. ДНК реплицируется (удваивается) расщеплением связей посередине с последующим восстановлением комплиментарных половин самой молекулы посредством спаривания соответствующих азотистых оснований Уотсона—Крика. Расщепление и восстановление требуют участия ферментов (о которых речь впереди). РНК, переписанная с ДНК, затем строит белки, состоящие из длинной цепочки аминокислот (рис. 3.6):

ДНК ⟶ РНК ⟶ белки.

Белки обеспечивают отправления клетки, запуская определенные химические реакции внутри клетки: реакции, строящие требуемые части клетки, переваривающие пищу, запасающие энергию и обеспечивающие иные «работы по хозяйству» (впрочем, подробности функционирования системы «ДНК > РНК > белки» еще не полностью выяснены, особенно белков и их упаковки, составляя крупнейшую нерешенную проблему биологии; см. гл. 4).

Для уяснения работы белковых ферментов, ускоряющих течение лишь определенных химических реакций, рассмотрим, как человеческий организм получает энергию: в процессе окисления Сахаров и жиров. Такое же окисление происходит во внешнем мире. Доводилось ли вам видеть горение сахара-сырца или быть свидетелями воспламенения жира? Оба процесса требуют очень высокой температуры, а ведь внутри человеческого тела поддерживается температура всего 37°C, при которой происходит окисление. Собираемые РНК белки позволяют химическим реакциям протекать при значительно меньшей температуре, хотя их самих реакция не затрагивает, так что они не расходуются. Обычно подобные молекулы именуют катализаторами.

В случае с биологическими молекулами катализаторами выступают ферменты (энзимы). Часто ферменты временно связывают сложные молекулы. Замедляя движение этих молекул, ферменты дают им возможность соединяться с другими сложными молекулами. Такое соединение схоже с действием ключа в замочной скважине. Каждый, возвращаясь поздно ночью домой, может удостовериться, что значительно проще попасть ключом в замочную скважину, если замок неподвижен. Катализатор тоже механически скрепляет или распускает связи между молекулами, затем их отпускает. Каталитический дожигатель выхлопных газов в автомобиле служит примером небиологического катализатора. Разделенные частицы платины, палладия или родия расщепляют окиси азота, высвобождая кислород и азот, соединяют угарный газ с кислородом для получения углекислого газа либо расщепляют несгоревшие углеводороды до двуокиси углерода и воды. Катализаторы в некотором смысле схожи с организаторами боев боксеров, хотя сами в поединках не участвуют (вспомним знаменитого агента, организовавшего бои Мухаммеда Али с Джорджем Форманом и Джо Фрэзером, матчи Лео Спинкса, Майка Тайсона и Дона Кинга).

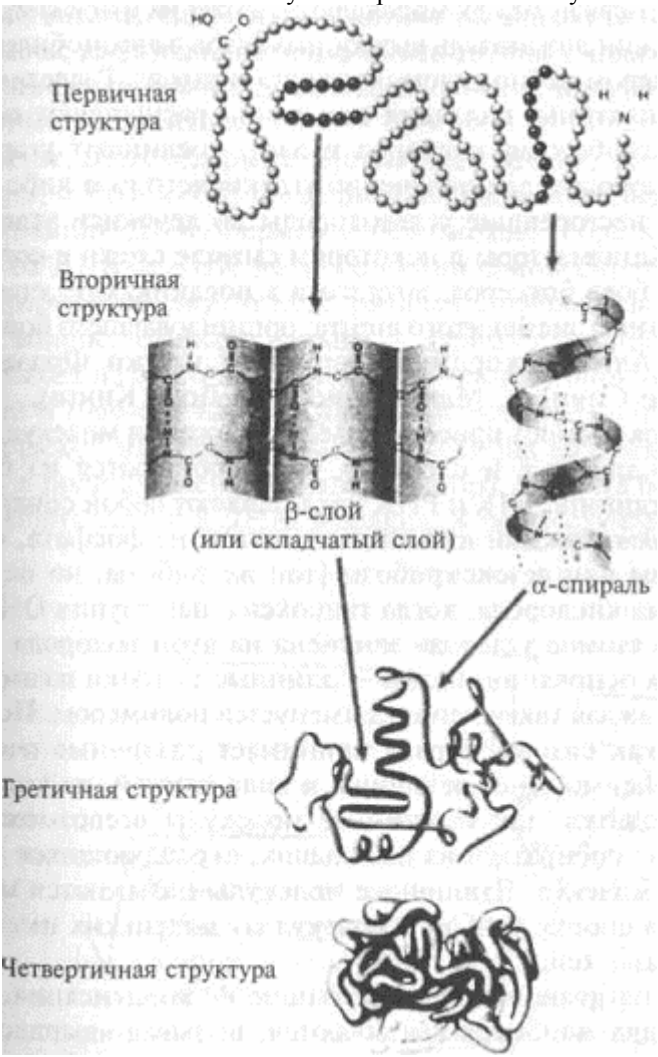


Рис. 3.6. Белковые молекулы и их строение (из кн.: *Raven P. H., Johnson G. B.* Biology)

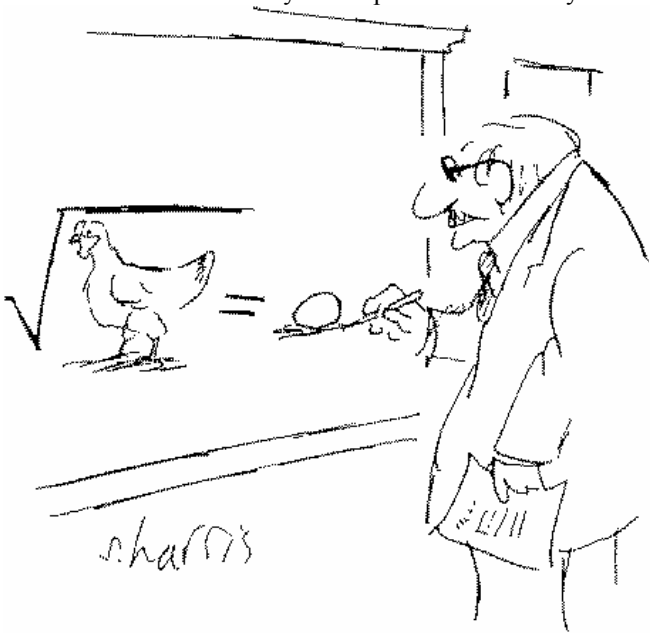
Как показывают приведенные изображения молекул, они довольно длинные и сложные, хотя собираются из более простых единиц. ДНК и РНК представляют собой сочетание *нуклеотидов,* каждый из которых состоит из фосфата, сахара (рибозы или дезоксирибозы [той же рибозы, но без одного атома кислорода, когда гидроксильная группа ОН при одном из атомов углерода заменена на атом водорода Н] и азотистых оснований. Белки —

длинные цепочки из аминокислот. Каждая такая цепочка именуется полимером. Подобно тому как садовая ограда принимает различные очертания в зависимости от величины и вида камней, из которых она возводится, так и длинные молекулы всевозможного вида могут собираться из небольших, скрепляющихся между собой молекул. Единичные молекулы называются мономерами, а сборку больших молекул из маленьких именуют полимеризацией.

Одна из реакций полимеризации — конденсация, при которой два мономера связываются, вызывая «выпадение» молекулы воды, образуя так называемый димер (двухчастный). Три связанных мономера именуют тримером, четыре — тетрамером и т. д. Обычно при соединении двух мономеров образовавшуюся молекулу называют полимером (многочастной). Примером небиологической реакции полимеризации, сопровождающейся конденсацией, может служить схватывание бетона. Силикатные мономеры образуют полимеры, избыток воды испаряется, а смесь гравия с песком заключается внутрь полимерной массы. В итоге получается очень прочное соединение.

Итак, ДНК содержит чертежи всех белков, включая ферменты, а РНК собирает ферменты, часть которых ускоряет репликацию ДНК. Ферменты невозможно собрать без чертежей от ДНК, а ДНК не в состоянии самовоспроизводиться без ферментов. Звучит подозрительно, напоминая пресловутый вопрос: что было раньше — курица или яйцо?

Выход из этого затруднения предложил биохимик Лесли Оргел в 1960-е годы. РНК несла достаточное количество генетической информации, но если бы она еще могла выступать в роли ферментного катализатора, то была бы способна решать задачи и ДНК, и белков. В таком случае исходной молекулой были бы не ДНК или белки, а РНК. Кроме того, молекулы РНК легче синтезировать по сравнению с ДНК, и ДНК вполне могла бы развиться из РНК.



На протяжении 1970-х годов в роли ферментов учеными отмечались одни белки. Но в начале 1980-х молекулярные биологи Томас Чек и Сидни Олтмен независимо друг от друга обнаружили, что и РНК может выступать в качестве катализатора. Теперь известно около ста ферментативных РНК, именуемых *рибозимами.*

Это открытие пролило свет на вопрос о происхождении жизни. В статье 1986 года молекулярный биолог из Гарварда Уолтер Гилберт ввел в оборот понятие *РНК-мир.* Он писал:

«Первую стадию эволюции затем продолжают молекулы РНК своей каталитической деятельностью, необходимой для собственной сборки из нуклеотидного бульона. Молекулы РНК развиваются в способные к самоудвоению формы, используя рекомбинацию и мутацию для освоения новых ниш... Потом они обретают всю совокупность ферментативной деятельности. На следующей стадии молекулы РНК начинают синтезировать белки, сначала создавая адаптирующие молекулы РНК, способные связывать активированные аминокислоты, а затем выстраивая их согласно матрице РНК с использованием других молекул РНК вроде ядра РНК рибосомы. Этот процесс привел бы к созданию первых белков, которые оказываются лучшими ферментами, нежели их собратья из РНК... Эти белковые ферменты... складываются из минимальных составляющих структуры».

У гипотезы РНК-мира есть альтернативы, самая известная из них — выдвинутая биохимиком Сидни Фоксом о первичности белка и гипотеза «глиняного мира» химика А. Г. Кэрнса-Смита.

Эти теории привлекли меньше внимания исследователей, и их обсуждение отложим до той поры, пока не изучим лучше мир РНК.

Предсолнце

Начнем свое путешествие к истокам жизни, отправившись в то время, когда стали образовываться основные кирпичики жизни — атомы. Итак, чтобы увидеть, каким образом Земля получила атомы, особенно атомы углерода, *обратим время вспять.*

Очень давно, где-то в нашей галактике Млечный Путь была некая звезда, назовем ее Предсолнцем. Предсолнце образовалось при уплотнении под действием тяготения большого водородно-гелиевого облака межзвездного пространства. Подобно большинству звезд, Предсолнце состояло из сердцевины [ядра], где тяготение сближало протоны до такой степени, что происходил ядерный синтез, и газовой атмосферы, которая нагревалась под действием испускаемой сердцевиной энергии. На первой ступени жизни Предсолнца в его сердцевине происходило слияние водородных ядер (протонов) с образованием ядер гелия (именуемых альфа-частицами). Атмосфера ярко светилась под действием выделяемой из недр Предсолнца энергии.

Со временем водород в сердцевине частично выгорел. Отсутствие топлива привело к сжатию сердцевины и повышению ее температуры, что вызвало расширение атмосферы и ее красное свечение. Между тем сжавшаяся сердцевина нагрелась до такой степени, что началось слияние трех ядер гелия с образованием ядра углерода, и эта переработка гелия в углерод получила название тройного альфа-процесса, или тройной гелиевой реакции. Ввиду большой массы Предсолнце обладает большой силой тяготения, так что гелий быстро выгорает. Сердцевина опять сжимается, температура ее повышается, и в итоге новые реакции синтеза порождают элементы тяжелее углерода. Слияние ядер происходит послойно, так что сердцевина крупной звезды напоминает луковицу, где каждому слою соответствует своя реакция синтеза. Атмосфера расширяется и сжимается слегка, не поспевая, однако, за изменениями в сердцевине. Сердцевина старается предотвратить вызванное тяготением сокращение, и таким образом синтезируются все более тяжелые ядра. Когда начинается образование ядер железа, синтез подходит к концу. Образование ядер

железа оказывается не столь энергетически выгодным, и синтез более тяжелых ядер идет на спад. Неотвратимо приближающийся коллапс сердцевины Предсолнца представляет собой удивительное зрелище. Предсолнце взрывается, выбрасывая некоторую часть своей сердцевины и всю атмосферу в межзвездное пространство (о том, что происходит с оставшейся сердцевиной, см. в гл. 6).

Вещество, состоящее из 70% водорода, 28% гелия и 2% более тяжелых элементов, разлетается с огромной скоростью. Замедляя свое движение под действием сил тяготения, исторгнутое Предсолнцем вещество наполняет межзвездное пространство более тяжелыми ядрами.

История жизни Предсолнца позволяет объяснить происхождение тяжелых ядер в нашей Солнечной системе и на Земле, но остается прояснить еще один вопрос. Крупные звезды по астрономическим меркам имеют непродолжительный срок жизни — от миллионов до сотен миллионов лет. Так *что* до образования нашей Солнечной системы могли существовать тысячи Предсолнц. Получается, что в газово-пылевом облаке, уплотнившемся под действием притяжения и давшем нам начало, возможно, присутствовали ядра, образованные предшествующими звездами.

Наше Солнце

Начало жизненного цикла нашего Солнца такое же, как и у Предсолнца, за исключением того, что Солнце не столь массивно. Малые звезды живут дольше, поскольку их меньшая масса препятствует столь быстрому процессу слияния ядер. Поэтому нашему Солнцу отпущен больший срок и уготована не столь ужасная кончина. Но нас прежде всего интересует Земля. Образование Земли протекало сходным со звездами образом, но на Земле вследствие значительно меньшей массы у слипшихся частиц слияния ядер не происходило. Слипшиеся частицы сталкивались и скучивались, так что более плотное вещество оседало в сердцевине (ядре), а менее плотное поднималось на поверхность планеты.

Частицы газа и пыли сталкивались друг с другом, объединялись в ходе так называемого сращения и в итоге образовали горячую первобытную землю. Сросшиеся массы, именуемые планетезималями, продолжали падать на поверхность молодой Земли. Возможно, одна крупная планетезималь по касательной столкнулась с Землей, выбив из нее вещество, давшее начало Луне, а также заставив ее вращаться. Наконец, новоиспеченное Солнце «вымело» большую часть осколков за пределы Солнечной системы. Пространство, занимаемое внутренними планетами, оказалось на редкость

чистым, за исключением случайных столкновений с грязными осколками льда, появляющимися при сближении с тяжелыми внешними планетами. Эти осколки льда мы сегодня называем кометами. Их хвост состоит большей частью из паров воды и углекислого газа, поскольку под действием солнечных лучей лед напрямую переходит в газообразное состояние.

Появление РНК

Поверхность вновь образовавшейся планеты Земля была каменистой и горячей. На нее продолжали обрушиваться планетезимали и хвосты комет, оставляя смешанные с углеродом пары воды и углекислый газ. По мере охлаждения Земли происходила конденсация воды, вместе с водой от кометных хвостов образовавшей океаны. Газовая атмосфера, похоже, состояла из газов, выделяемых при извержении вулканов: водяных паров (H_2O), углекислого газа (CO_2), аммиака (NH_3), метана (CH_4) и небольшого количества оставшегося водорода (H_2), не утраченного Землей ввиду присущей ей слабой силы тяготения. Свободного кислорода (O_2), по сути, не было, так как даже имевшиеся крохи вследствие химических реакций оказались в связанном состоянии.

При таком развитии событий на Земле могли начаться химические реакции. Чтобы заложить основы жизни, эти реакции должны были проходить беспрепятственно в тогдашних условиях, с достаточной силой и устойчивостью. Начиная с простых молекул и доходя до РНК, мы изучим каждую реакцию, наблюдая, где и как они могли произойти и какое положительное или отрицательное воздействие оказывала на них окружающая среда. Что касается времени, все реакции должны были начаться в конце периода падения потоков планетезималей, а завершиться до того, как были образованы древнейшие окаменелости. Мы получаем промежуток в 100-500 млн лет, или около 10^{16} с.

На рис. 3.7 приведены химические реакции, которые должны были породить **РНК.**

1. *Простые молекулы при химическом взаимодействии образуют аминокислоты— предшественниц азотистых оснований.* Опыт 1953 года Стэнли Миллера благодаря случайным реакциям дал множество органических молекул, некоторые Из них представляли аминокислоты — предшественницы азотистых оснований. Проводились сходные опыты с использованием различных веществ и ультрафиолетового излучения вместо электрических разрядов.

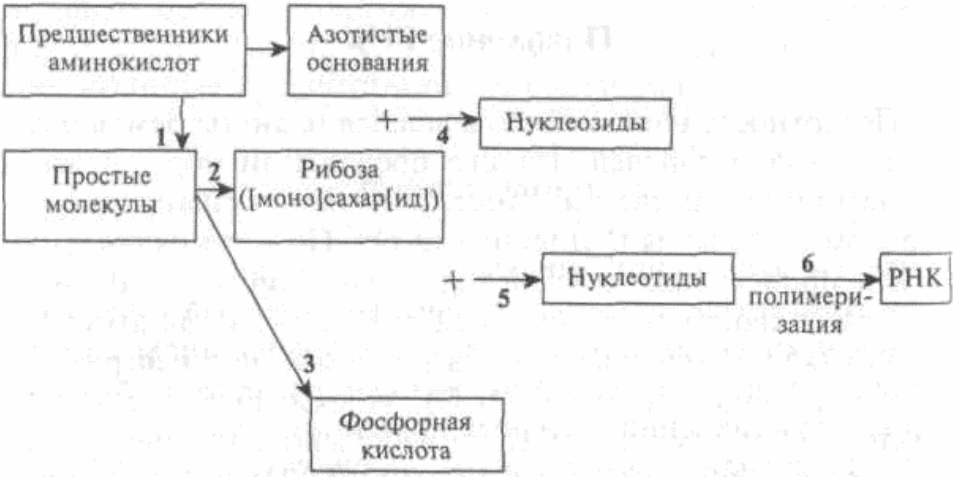


Рис. 3.7. Химические реакции, ведущие к образованию РНК

Но результаты выходили одинаковые: в различных количествах получались все 20 аминокислот, присутствующих в живых организмах (см.: Список идей, 5. Аминокислоты). Такой процесс мог начаться в атмосфере, а затем перейти в толщу океана. Или же он начался глубоко под водой в океане близ гидротермальных отдушин («черных курильщиков»), где высокая температура давала энергию и ускоряла химические реакции. Но поскольку жизни еще не было, молекулы могли собираться в толще океана без поглощения их организмами-санитарами, как происходило бы сегодня.

2. *Простые молекулы при химическом взаимодействии образуют рибозу.* Хотя реакция возникла, полная цепочка реакций, приводящая к образованию рибозы в качестве основного продукта, еще не наблюдалась. В реакциях, где рибоза являлась побочным продуктом, выход большей частью был слишком мал, чтобы иметь устойчивые реакции для получения достаточного для начала жизни количества молекул. Возможно, ученые не выявили требуемых реакций для образования нужной рибозы, или же тогда присутствовали уникальные неорганические либо органические катализаторы. Вместо того чтобы следовать подходу Миллера и продолжать «варить» простые молекулы все дольше и дольше, ученые перескочили через этот этап и приступили к соединению промежуточных молекул, чтобы увидеть, как мог протекать дальнейший процесс.

3. *Простые молекулы при химическом взаимодействии образуют фосфорную кислоту.* Это простая неорганическая реакция, совершаемая атомами фосфора, которые получаются при выветривании скальных пород.

4. *Азотистые основания и рибоза при химическом взаимодействии образуют нуклеозиды.* Ученые достигли некоторых успехов в проведении данных реакций, но сам синтез оказался неэффективным без использования ферментов, чтобы катализировать данный процесс.

5. *Нуклеозиды и фосфаты при химическом взаимодействии образуют нуклеотиды.* Одни нуклеотиды получаются достаточно легко, другие — крайне трудно. Камнем преткновения к тому же служит образование большого количества нуклеотидов. Одни наличествуют в организмах, другие отсутствуют и, что может помешать репликации РНК, поскольку они не будут соединяться с встречающимися в природе нуклеотидами. Опять же тогда могли присутствовать неорганические или органические катализаторы, содействующие протеканию такой реакции. Катализаторы могли возникнуть на Земле или быть занесены хвостами комет либо метеоритами. Природа самих катализаторов пока неизвестна (более подробно см. далее). Не исключается протекание в ту пору неферментативных реакций, но ученые их еще не выявили.

6. *Нуклеотидные мономеры, полимеризуясь, образуют нуклеотидные полимеры— РНК.* Полимеризация может оказаться затруднительной в изобилующей водой среде. Бульон мог оказаться слишком разбавленным; вероятно, он должен быть более густым — наподобие каши или даже теста для пиццы. Полимеризация посредством конденсации могла происходить в мелком пруду, на песчаном берегу или на глинистом взморье. Длинные органические молекулы могли не вынести сильного ультрафиолетового излучения, что предполагает наличие некоторого укрытия, чтобы состоялась полимеризация. Вполне вероятно, что молекулы паров воды в верхних слоях атмосферы разлагались под действием солнечных лучей в ходе так называемой фотодиссоциации, порождая водород и кислород. Водород, преодолев силу притяжения, покидал Землю, а кислород превращался в первый озоновый (O_3) слой Земли, укрыв ее поверхность от ультрафиолетовых лучей. Находясь слишком высоко в атмосфере, кислород не мог мешать течению ведущих к зарождению жизни химических реакций на земной поверхности, а задержка ультрафиолетовых лучей обезопасила органические молекулы от распада (продолжалось становление атмосферы, процессы внутри которой породили проблему погоды, которая обсуждается в гл. 5).

Другое возможное развитие событий связано с самовоспроизводящейся молекулой, которая предшествовала РНК. Предполагаемая молекула-предтеча синтезировалась легче РНК, имея при этом сходное с ней строение. На ее роль претендуют два «соискателя».

1. *ТНК* (треозонуклеиновая кислота), состоящая из содержащих четыре атома углерода [с двумя центральными гидроксильными группами с трансизомерией*) моносахаридов (треоза), а не пять (рибоза), которые образуют остов РНК. Синтез ТНК [не встречается в природе] в добиологическом мире происходил бы легче по сравнению с РНК, поскольку ТНК требует идентичных остатков с двумя атомами углерода, а не с двумя и тремя, как у [содержащей пять атомов углерода] рибозы. Полимеры ТНК образуют двойную спираль подобно ДНК и совместимы с ДНК и РНК (рис. 3.8).

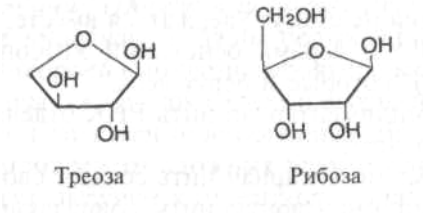


Рис. 3.8. Моносахариды с углеродной цепью из четырех (треоза) и из пяти (рибоза) атомов

2. *ПНК* (пептиднуклеиновая кислота), остов которой образован не сахарами, а полимерами аминокислоты Г^(2-аминоэтил)-глицин. Эта молекула образует двойную спираль, ее составляющие легко синтезируются устойчивыми реакциями простых молекул, и она легко полимеризуется.

Был ли у РНК самовоспроизводящийся предшественник, неясно. Ну а мы тем временем продолжим.

РНК-мир

С появлением РНК механизм образования первой клетки проясняется. РНК-миру для его становления остается пройти пять этапов.

1. *Этап репликации (самовоспроизведения).*

А. Нить РНК создает свою комплиментарную нить (Ц-Г, А-У) притягиванием друг к другу спариваемых оснований аминокислот. Возможно образование любых сочетаний, однако неустойчивые сочетания не смогут удержаться вместе, как это происходит с парами оснований

---

* *Цистрансизомерия* (геометрическая изомерия, от лат. *cis* — по одну сторону, и *trans* — напротив) — один из видов пространственной изомерии химических соединений, заключается в возможности расположения заместителей по одну (цис-изомер, например формула I) или по разные стороны (транс-изомер, формула II) плоскости двойной связи (C = C, C = N).

Уотсона—Крика (АУ, ГЦ), которые и берут верх.

Б. Комплиментарная нить РНК отделяется от исходной нити.

В. Комплиментарная нить создает свою собственную комплиментарную нить, совпадающую с исходной РНК.

Г. Молекулярные комплиментарные нити разделяются, образуя копию исходной молекулы РНК и комплиментарную молекулу РНК, которые в свою очередь могут теперь строить очередные копии по тому же образцу.

Воспроизведение всех этих этапов в лабораторных условиях пока не увенчалось успехом. Возможно, протеканию этих реакций способствовали катализаторы. Здесь могли участвовать неорганические катализаторы в виде заряженных [кристаллов] глины, притягивая молекулы и удерживая их в нужном для реакции положении. Другой вариант связан с возможностью проведения необходимых репликаций обладающими ферментной активностью молекулами РНК — рибозимами. Здесь могли присутствовать и органические катализаторы, которые пока не выявлены. Другая трудность связана с право- и левовращающимися спиральными молекулами РНК и ДНК, о чем речь пойдет в следующей главке. Возможность дарвиновской эволюции на молекулярном уровне наличествует на всех этапах развития РНК-го мира. Изменение происходит при репликации, как следствие случайной природы самого процесса. Полученные молекулы начинают бороться за аминокислоты, и преуспевшие в этом завладеют большинством аминокислот, став преобладающими. Заметим, сколь схоже такое развитие событий с ходом классической дарвиновской эволюции с ее изменением, конкуренцией, подкреплением и распространением на уровне организмов.

2. Направляемый РНК белковый синтез. РНК, синтезирующие белковые молекулы, должны пользоваться даруемыми дарвиновской теорией выгодами, вероятно, через некую косвенную обратную связь, пока еще не выявленную.

3. *Разделение на клеточные скопления.* Должно начаться образование мембран из сложных белков или жирных липидных молекул, ведущее к отделению множеств РНК друг от друга. Это вызовет усиление конкуренции между ними и белковыми молекулами, прежде чем они подойдут к этапу становления клетки. Эти клеточные скопления именуют протоклетками.

4. Сцепление белков и РНК. Предположив разделение этих первых РНК на гены, каждый из которых синтезирует один белок, получим, что они должны состоять из 70-90 нуклеотидов. Для сравнения: ген современного человека включает несколько тысяч нуклеотидов. Первичный белок (в действительности остаток аминокислоты, именуемый пептидом), вероятно, состоял из 20—30 нуклеотидов. Согласно теоретическим выкладкам

минимальное число генов должно равняться 256, и тогда первая клеточная РНК состояла примерно из 20 тыс. нуклеотидов.

5. *Сохранение информации в ДНК и образование белковых ферментов-катализаторов.* РНК вполне способна хранить генетическую информацию, но двойная спираль ДНК лучше приспособлена к более надежному ее хранению по сравнению с одной спиралью РНК. Развивая мысль о сборке рибонуклеиновой кислотой множества молекул в качестве хранителей информации и ферментов, получаем, что с эволюционной точки зрения обеспечивающая более надежное хранение генетической информации ДНК сменит в этой роли РНК. Далее, белковые ферменты оказываются более действенными как катализаторы по сравнению с РНК и поэтому белки приходят на их место. Таким образом, молекулы РНК ограничиваются транскрипцией [мРНК], транспортировкой [тРНК] и катализом [рРНК], так как остальные их обязанности взяли на себя молекулы, справляющиеся с ними гораздо лучше. Дарвин был бы доволен. Как только протоклетке удается обрести способность к метаболизму и воспроизведению, она становится полноценной клеткой. Начало жизни положено.

Альтернативы РНК-миру

Есть иные варианты с участием РНК, включая «первичность белков» и «глиняный мир».

Первичность белков. Сидни Фокс в 1977 году показал, что отдельные смеси аминокислот при нагревании без воды полимеризуются, образуя протеиноиды (короткие полипептидные цепи с некоторыми каталитическими свойствами). Если затем опустить протеиноиды в воду, они образуют мембрану и начинают походить на клетки. Такие клеткообразные структуры Фокс назвал микросферами. Внутри микросфер белки предположительно катализировали образование РНК и ДНК.

Глиняный мир. Согласно этой гипотезе радиоактивность обеспечивала аминокислоты энергией для полимеризации на глиняной подложке, содержащей железо и цинк, которые служили неорганическими катализаторами для образования и белков и РНК. Такой подход в 1982 году предложил Кэрнс-Смит.

Научное сообщество пока не балует эти гипотезы вниманием, но все может измениться, если обнаружится какое-нибудь веское доказательство в

пользу одной из них.

Сложности

Оказывается, происхождение жизни — весьма сложный процесс. Многие вопросы пока остаются без ответа. Это касается состава и соотношения исходного сырья, роли температуры, количества наличествующей воды, отсутствия или присутствия катализаторов, органической или неорганической их природы, их источника, течения химических реакций и т.

Непреодолимая трудность состоит в невозможности обратить время вспять, чтобы проверить те или иные детали.

Возможно, от отчаяния некоторые идут напролом в поисках более простых ответов, рассматривая, например, процесс статистически и оценивая общую вероятность событий. Предлагались многие такие оценки, о них весьма ярко выразился астроном Фред Хойл, сказав, что вероятность зарождения жизни из простых молекул сродни «сборке "Бо-инга-747" ураганом, пронесшимся над мусорной свалкой». Сборка сложного технического изделия из простого сырья больше смахивает на «лягушек из чушек», чем на описанный выше многоступенчатый процесс. Кроме того, сам процесс *далеко не случаен.* Катализаторы ускоряют реакции, а дарвиновская система изменения, конкуренции, подкрепления и распространения «удачливых» молекул делает химические процессы значительно более действенными, нежели случайный ход событий. Скорее нужна многократная подгонка частей и сохранение того, что станет походить на «Боинг-747». Посредством такого рода обратной связи можно в итоге собрать самолет.

Другая трудность — наличие право- и левовращающих молекул. Способность углерода образовывать четыре связи позволяет ему создавать трехмерные тетраэдрические структуры. Так, один атом углерода, даже связанный с одинаковыми атомами, может образовывать две совершенно разные молекулы, именуемые стереоизомерами (рис. 3.9). Эти молекулы являются зеркальными отображениями друг друга, однако из-за своего трехмерного строения они не взаимозаменяемы. Это известно любому, кто пытался надеть левую перчатку на правую руку.

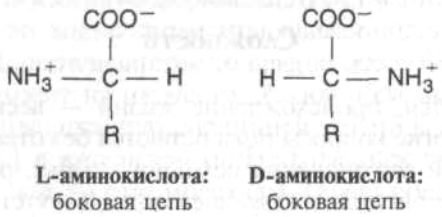


Рис. 3.9. Хиральные стереоизомеры

Подобная «закрученность» молекул именуется хиральностью. Поскольку молекулы из-за их малости невозможно увидеть, для определения хиральности сквозь раствор с молекулами пропускают поляризованный свет, отмечая вращение плоскости поляризации света. Молекулы, вращающие свет влево, обозначают буквой L, вправо — буквой D. Для более сложных молекул используется и более сложная система обозначений. Смесь L- и D-форм одного и того же стереоизомера называется рацемической. То, что стереоизомеры существуют в виде рацемических соединений (рацематов), представляло бы сугубо научный интерес, если бы не крайняя чувствительность биологических систем к хиральности. Например, L-форма молекулы кетона, именуемая карвоном, пахнет тмином, тогда как D-форма той же молекулы — мятой.

Еще важнее, что молекулы в живых системах сохраняют свою хиральность. Белки содержат лишь D-, а не L-сахара. Данное обстоятельство, возможно, указывает на то, что все добиологические химические процессы имеют один источник. Недавние опыты, однако, показывают, что пептиды одинаковой закрученности (гомохиральные) реплицируются охотней, нежели рацематы (гетерохиральные) и даже подавляют находящуюся в меньшинстве у таких соединений хиральность. Возможно, из-за этого преобладают L-аминокислоты и D-сахара, которым удалось подавить своих собратьев в ходе последующих репликаций.

Другая сложность: возвращение панспермии. В 1960-е годы американский астроном Карл Саган переосмыслил представления Аррениуса, установив те условия, при которых маленькие частицы вроде спор могли преодолевать космическое пространство. Оказывается, что не Земля, а спутники внешних планет (например, обладающий атмосферой Тритон у Нептуна или имеющая скрытую в недрах воду Европа у Юпитера) — наилучшее место в Солнечной системе для выживания подобных спор. Это не приближает к разгадке тайны происхождения жизни на Земле, но побуждает исследовать космос.

Следующее предложение внес в те же 1960-е годы британо-американский астроном Томас Голд. Если некая развитая цивилизация исследовала нашу планету в далеком прошлом и оставила следы своего пребывания, там могла быть жизнь, что повлияло на развитие жизни на Земле. Эта теория пикника чужеземцев не имеет никакой предсказательной силы, но она повлияла на представления о наших путешествиях к другим планетам.

Британские астрономы сэр Фред Хойл и Н. Чандра Викрамасингх приступили к изучению спектра космической пыли в 1978 году. Они пришли к убеждению, что полученные ими крайне сложные спектры совпадают со спектрами высушенных бактерий. По их мнению, бактерии живут на частицах пыли в огромных газово-пылевых облаках среди космического пространства. При сжатии подобного облака, приводящем к созданию Солнечной системы, крупицы пыли становятся ядрами комет и выпадают вместе с бактериями на образовывающиеся планеты. Местонахождение и развитие первых бактерий не проясняется, однако эта теория отводит больше времени для появления первой клетки, чем отпускаемые на добиологические химические процессы гипотезой Опарина—Холдейна несколько сотен миллионов лет.

Другие ученые нашли подтверждение некоторым сторонам теории Хойла—Викрамасингха. Свыше 130 различных молекул удалось выявить по линиям поглощения в спектре звезд при прохождении их лучей сквозь пылевые облака. В пылевых облаках присутствовали молекулы сахара, винилового спирта и других биологически значимых веществ. Механизм образования таких сложных молекул в облаках крайне малой плотности совершенно не ясен. Если крупица пыли внутри облака выступает в качестве катализатора, удерживая более простые молекулы, пока они не образуют более длинных молекул, то каким образом последние избегают их хватки? Столкновения с другими частицами, достаточные для распускания больших молекул, смогли бы разорвать и связь катализатора с молекулой. Над этой загадкой придется поломать голову.

Метеориты тоже содержат значительное количество органических молекул. Например, в них было найдено свыше 70 различных аминокислот, восемь из которых относятся к 20 аминокислотам, входящим в состав белков. Найденный в Мерчисоне (Австралия) в 1969 году метеорит содержал много сложных органических молекул. Его аминокислоты относились преимущественно к L-типу, присутствующему в биологических системах Земли.

Ширится изучение комет и межпланетной пыли. В 1999 году НАСА

запустила космический корабль *Stardust,* который возьмет пробы содержимого хвоста кометы Wild-2 и межпланетной пыли и доставит их на Землю в 2006 году. Любопытны предварительные результаты, согласно которым *Stardust* уже наблюдал частицы с молекулярной массой 2000 единиц. И хотя с определением их состава придется ждать до 2006 года, несомненна их углеродная основа и то, что они в 10 раз крупнее известных молекул.

Мог ли некий внеземной фермент катализировать отдельные ключевые реакции в добиологическом бульоне? Подождем, что за космическую пыль преподнесет нам *Stardust.*

Решение головоломки: как, кто и почему?

Как. Рассмотрим с позиции научного метода две основные, допускающие проверку гипотезы о происхождении жизни на Земле.

Гипотеза 1

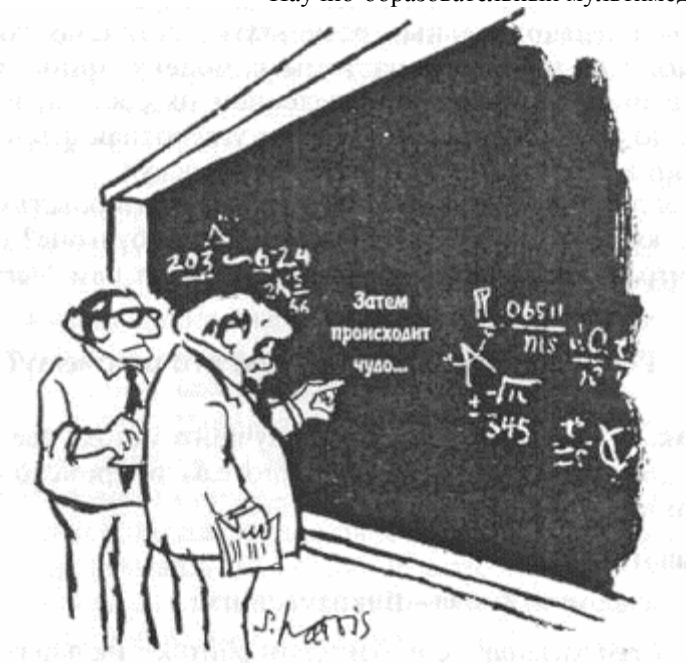
Панспермия Хойла—Викрамасингха

Предсказание: если бактерии обитают на ядрах комет, то жизнь или по меньшей мере сложные органические молекулы могут существовать и в других местах.

Опыт: экспедиции на Марс и спутники внешних планет или, возможно, космический корабль *Stardust* прояснят положение дел. Если не отыщется следов жизни, гипотезу придется дополнить или отвергнуть. В противном случае... Если калифорнийский проект по поиску внеземного разума получит сигнал от разумных форм жизни, то вопрос происхождения этих форм жизни приобретет большое значение (см.: Список идей, 4. Внеземная жизнь).

Гипотеза 2

Молекулярное самопроизвольное зарождение жизни, по Опарину—Холдейну. Как видно из нашего обсуждения, данная гипотеза страдает незавершенностью. Требуется уточнить многие частные вопросы.



Полагаю, вам следует выражаться яснее в этом месте своего доказательства

Предсказание: при уточнении частных вопросов необходимо определиться с рядом устойчивых реакций, которые можно было бы воспроизвести в лабораторных условиях.

Опыт: ученые ждут предсказаний от теории, чтобы проверить их опытным путем.

Кто. Кто, в частности, мог бы помочь в завершении гипотезы и проведении трудных лабораторных опытов? Вот неполный список соискателей: Сидни Олтмен, Дэвид Бар-тел, Рональд Брикер, Андре Брок, А. Грэм Кэрнс-Смит, Томас Чек, Кристиан де Дюв, Манфред Эйген, Эндрю Эллингтон, Альберт Эшенмозер, Джеймс Феррис, Айрис Фрай из Израиля, Уолтер Гилберт, Норман Гарольд Горовиц, Уэнди Джонсон, Стюарт Кауффман, Ноам Лахав из Израиля, Барри Эдуард Хауорт Маден из Великобритании, Петер Эйгил Нильсен из Дании, Харри Ноллер, Лесли Оргел, Норман Пейс, Курош Салехи-Аштиани, Эёрш Сатмари из Венгрии, Питер Унрау, Чарльз Уилсон и Арт Цауг. Или же это будет кто-то из малоизвестного учреждения вроде Швейцарского патентного бюро, обладающий острым зрением, чтобы охватить взором не только общую

картину, но и необходимые для ее понимания подробности.

Почему. Почему ученые берутся за такие большие и запретные темы, как происхождение жизни? Многими движет любопытство, но в этом деле есть и одно притягательное для всех обстоятельство. Фонд *Origin-of-Life Foundation* выплатит вознаграждение тому, кто предложит «наиболее приемлемый механизм самопроизвольного возникновения в природе генетических команд, достаточных для зарождения жизни». Награда — 1,35 млн. долларов — лакомый кусочек. За подробностями обращайтесь на узел Всемирной Паутины *www.us.net/life* .

В 1862 году Луи Пастер принял вызов вопреки советам друзей. Он решил головоломку и за свои труды удостоился премии Французской академии наук. Чего нам недостает, так это Пастера XXI века.

Глава четвертая

Биология

Каково строение и предназначение протеома?

Что такое жизнь? Вспышка светляка в ночи. Дыхание бизона в зимнюю пору. Короткая тень, пробежавшая по траве И потерявшаяся среди заката.

Предсмертные слова Вороньей Лапы, вождя племени сиксика [*]

Но каким бы ни был переход Земли от безжизненной к обитаемой планете, он проложил путь к становлению планеты, полной разнообразных форм жизни. Биология занимается изучением этих самых форм жизни и процессов, обеспечивающих их жизнедеятельность. До недавнего времени крупнейшей нерешенной задачей биологии оставалось прочтение молекулярного чертежа, генома, отдельных форм жизни.

Теперь, после расшифровки генома человека и иных форм жизни, задача такова: выяснить, как белковые молекулы, собранные в соответствии с содержащимися в геномах указаниями, участвуют в устроении и жизнедеятельности организмов? Как эти белковые молекулы обеспечивают невероятно сложное молекулярное взаимодействие, именуемое жизнью?

E. coli

Быстро ешь, быстро расти, быстро размножайся, быстро реагируй... Для клеток спешка — образ жизни.

Каким-то образом молекулы осуществляют все эти жизненно важные отправления клетки. Согласно основам молекулярной биологии сообщение от ДНК переписывается (транскрибируется) в виде РНК, которая затем передает (транслирует) сообщение белкам, длинным цепочкам полимеров с различными боковыми группами, протянувшимися вереницей вдоль повторяющегося остова. Эти белки в свою очередь обеспечивают налаженную работу клетки.

---

[*] *Сиксика* (самоназвание — «черноногие», от окраски мокасин), англ. *блэкфут* — индейский народ группы алгонкинов в США (резервация Блэкфут на Среднем Западе, штат Монтана) и Канаде (три резервации в провинции Альберта). Относятся к американской расе большой монголоидной расы. Язык — блэкфут, вытесняется английским языком. Католики. (Народы мира: Историко-этнографический справочник. М.: Сов. энциклопедия, 1988. С. 505.)

Операционная система жизни превосходит любую версию Windows. Крошечная молекулярная установка жизни решает свои задачи надежно в различных условиях работы и с малыми сбоями. Хотя биология достигла многого в понимании функционирования форм жизни, детали операционной системы жизни столь сложны, что составляют крупнейшую нерешенную проблему биологии.

Чтобы получить представление о природе данной проблемы, рассмотрим некоторые сложности в действиях молекул при отправлении сравнительно простым организмом одной жизненно важной надобности — метаболического разложения молекулы сахара. Данный процесс впервые изучили в 1960-е годы французские ученые Жак Моно, Франсуа Жакоб и Андре Львов. Начнем изыскания с крошечной бактерии, обитающей (обычно вполне мирно) в толстой (ободочной) кишке многих животных и человека. Ее имя *Escherichia coli* (кишечная палочка) — *E. coli.* Это один из излюбленных объектов исследования у биологов, и поэтому он хорошо изучен.

Одна разновидность К-12 вполне безобидна и часто используется в лабораторной работе. Ее полная ДНК (геном) описана и содержит 4 639 221

пару оснований. Из ДНК палочки К-12 транскрибируются 89 РНК, которые в свою очередь строят 4288 различных белков. Обходясь простым (единичным) сахаром, глюкозой и несколькими неорганическими ионами, молекулярный механизм этого выносливого организма способен синтезировать любую органическую молекулу, необходимую для метаболизма, роста, восприятия и воспроизводства. Благодаря своей приспособляемости это крошечное существо выращивается в богатой глюкозой среде в биологических лабораториях по всему миру.

Опероны *E. coli*

Молекулярная подвижность *E. coli* зависит от *оперонов* — генетических единиц, расположенных на молекуле ДНК, хромосоме, и состоящих из кластера генов с соответствующими функциями. Один из оперонов называется *lac-опероном* ввиду ключевой роли в метаболизме молочного сахара (лактозы). *Lac*-оперон содержит три гена, отвечающих за выработку трех белков, импортирующих лактозу в клетку и расщепляющих ее на глюкозу и другой сахар, галактозу.

Рассмотрим, как lac-оперон участвует в метаболическом процессе при добавлении лактозы в обычно богатую глюкозой питательную среду. Лактоза, молочный сахар, сложнее глюкозы и состоит из глюкозы с галактозой, образующих одну молекулу, дисахарид (рис. 4.1). После добавления лактозы к среде с присутствием *E. coli* происходит то, что описывалось выше. *E. coli* переваривает глюкозу, оставляя в неприкосновенности лактозу. Но при нехватке глюкозы в ход идет и она.

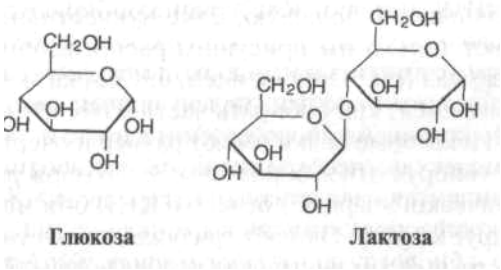


Рис. 4.1. Молекулы глюкозы и лактозы

Крайне любопытно поведение при этом *E. coli.* На время все замирает. *E. coli* не влияет на лактозу, другие метаболические реакции идут на убыль, и клетка перестает делиться. Настают трудные времена для *E. coli.* Но

вскоре начинает действовать лактоза, затем *E. coli.* Изучение химических процессов клетки выявляет три новых белка, которых не было,

пока хватало глюкозы. Эти белки состоят из [галакзид-]пермеазы, препровождающей молекулы лактозы через мембрану клетки, где они перевариваются; бета-галактозидазы, расщепляющей лактозу на глюкозу и галактозу; и [тиога-лактизид-]трансацетилазы, чья роль еще полностью не выяснена.

Оперон ДНК — РНК — белки

Представляется, что присутствие лактозы в клетке служит пусковым механизмом, приводящим в действие транскрипцию РНК, которая производит эти три белковых фермента. На самом же деле все обстоит значительно сложнее. Сигнал к производству различных белковых ферментов задается одновременно наличием лактозы и отсутствием глюкозы. Рассмотрим этот процесс на молекулярном уровне, чтобы выяснить его механизм.

ДНК порой представляют в виде обособленной молекулы, надежно защищенной благодаря своему крепкому сложению, хранящей жизненно важную для клетки информацию. Но это далеко не так. В действительности ДНК постоянно прощупывают, крутят, тормошат, раскрывают различные белковые ферменты. Такая деятельность заставляет эту информационную магистраль изрядно выкладываться.

Все эти действия обусловлены обликом ДНК и распределением электрического заряда. Двойная спираль имеет бороздки, маленькую и большую, а все нуклеотидные основания обладают только им присущим распределением электрического заряда (см.: Список идей, 6. Сборка модели ДНК, где рассказывается, как собирать часть ДНК из набора конструктора). Некоторые белки имеют размер и очертание, приходящиеся «впору» этим бороздкам. Благодаря распределению электрического заряда у белков и ДНК они могут плотно прилегать друг к другу. Однако притяжение не столь сильно, как ковалентные связи внутри каждой молекулы. Такое вкладывание одной молекулы в другую называют связыванием.

В зависимости от формы и распределения заряда белки присоединяются в соответствующих местах вдоль ДНК. Ввиду теплового движения молекул белки постоянно связываются и отделяются.

Соответствие сложных молекулярных очертаний часто представляется аналогичным ключу и замку. Лишь немногие очертания в достаточной

степени соответствуют друг другу для соединения молекул. Белки тоже могут связываться с другими белками, образуя новую единицу под названием комплекс. Обычно комплекс приобретает иные по сравнению с исходной молекулой очертание и распределение заряда. Такую перемену, играющую главную роль в сборке белка, поскольку меняются «ключи» и «замки», именуют конформационным изменением.

РНК собирается с помощью белкового фермента (полимеразы), который прикрепляется к связывающей стороне ДНК, распускает двойную спираль посередине подобно «змейке» и переписывает (транскрибирует) порядок парных оснований ДНК на молекулу РНК. Затем РНК покидает ДНК и переносит (транслирует) порядок парных нуклеотидных оснований, собирая белок на молекулярном устройстве под названием рибосома. Каждая группа из трех нуклеотидных оснований, именуемая кодоном (см.: Список идей, 7. Кодоны), определяет, какую аминокислоту добавить к белку. Полимераза РНК связывается с ДНК лишь в тех местах, где приходится впору. Это прилаживание определяется не только очертанием молекулы полимеразы, но и наличием места связывания у ДНК, которое в свою очередь зависит от изгибов ДНК.

Для получения полной картины метаболического процесса на основе лактозы недостает трех молекул. Прежде всего это белок-активатор катаболизма (БАК-белок). В обычном состоянии строение БАК-белка не позволяет ему соединяться с ДНК. БАК-белок содержит место для связывания с другой молекулой, циклическим аденозинмонофосфатом (цАМФ). Молекула цАМФ вырабатывается в среде, где отсутствует глюкоза. Если цАМФ связан с БАК-белком, БАК-белок претерпевает конформационное изменение, позволяющее ему присоединяться к ДНК. В свою очередь, связывание комплекса БАК-белок/цАМФ с ДНК *E. coli* заставляет ДНК сгибаться, как показано на рис. 4.2.

На заключительном этапе требуется наличие другого белка, действующего в качестве репрессора. В данном случае он называется *lac*-репрессором. Эта молекула обычно входит в бороздку ДНК в том месте, где нужно помешать закрепиться полимеразе РНК, переписывающей информацию ДНК на белки, которые усваивают лактозу.

Если лактоза не соединена с *lac*-репрессором, репрессор точно входит в бороздку ДНК в нужном месте, препятствуя выполнению полимеразой РНК возложенной на нее задачи перезаписи (транскрипции). Если лактоза соединена с *lac*-репрессором, это вызовет в репрессоре конформационные изменения, так что он уже не будет подходить бороздке ДНК *E. coli* и не будет мешать полимеразе ДНК выполнять транскрипцию. Рассмотрим, как

эти молекулы сотрудничают, определяя наблюдаемую линию поведения *E. coli.*

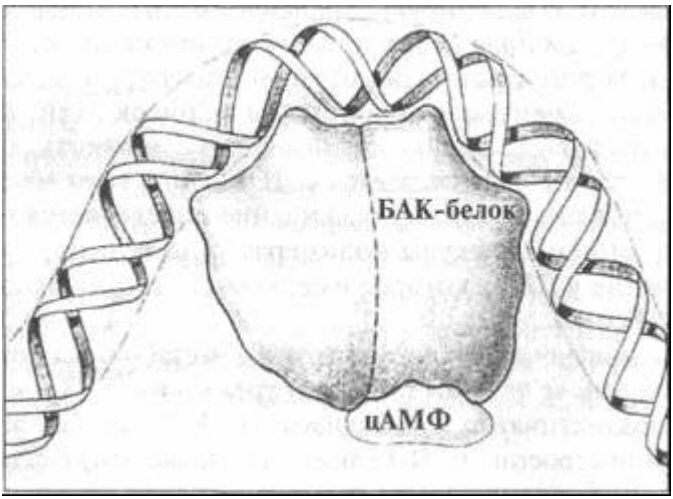


Рис. 4.2. Связь цАМФ с БАК-белком, а БАК-белка — с ДНК (из кн.: *Raven P. H., Johnson G. B.* Biology)

В исходных условиях имеется глюкоза и отсутствует лактоза. При наличии глюкозы цАМФ не вырабатывается, а значит, не образовывается комплекс БАК-белок/цАМФ, не сгибается ДНК и полимераза РНК не переписывает белки для усвоения лактозы. Помимо этого, репрессор находится на ДНК, препятствуя соединению полимеразы РНК с ДНК в этом месте. Получается двойная блокировка перезаписи (рис. 4.3а).

В смешанной среде с глюкозой и лактозой присутствие глюкозы препятствует образованию комплекса БАК-белок/ цАМФ, так что ДНК не изгибалась, а полимераза РНК не занималась перезаписью. Даже если присутствие лактозы вынудит репрессор покинуть бороздку ДНК, полного связывания полимеразы РНК не произойдет. Она покидает ДНК, так и не прикрепившись ни к одному из участков *lac*-оперона.

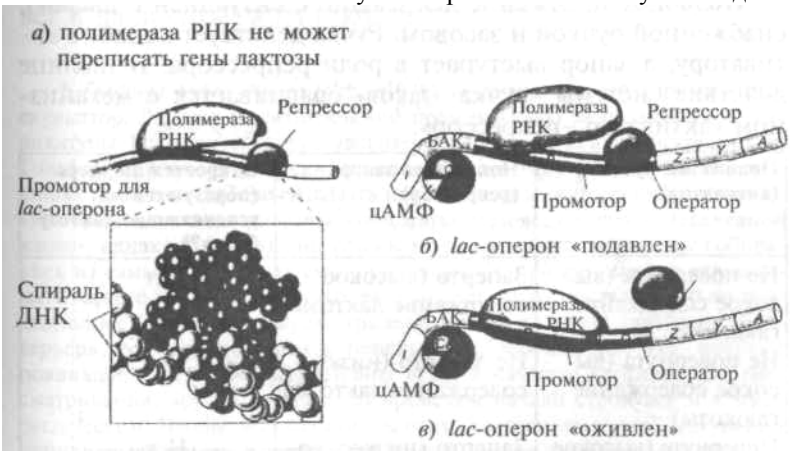


Рис. 4.3. Lac-репрессор (из кн.: *Raven P. H., Johnson G. B.* Biology)

В отсутствие глюкозы и лактозы появляется комплекс БАК-белок/цАМФ, изгибается ДНК в ожидании РНК, но при этом наличествует и репрессор. С точки зрения *E. coli* отсутствие пищи означает предстоящий голод. Но мы видим, насколько она готова к возможному повороту событий. Если появится глюкоза, она не станет расходовать энергию на выработку белковых ферментов, а сразу приступит к усваиванию глюкозы. Если же появится лактоза, изогнувшаяся ДНК уже готова к сборке нужной РНК, стоит лишь лактозе соединиться с репрессором, который тотчас покидает ДНК (рис. 4.36).

В отсутствие глюкозы и при наличии лактозы происходит следующее. Недостаток глюкозы приводит к образованию комплекса БАК-белок/цАМФ, который соединяется с ДНК, вынуждая ее изгибаться. Это дает возможность полимеразе РНК отыскать свое место прикрепления. Присутствие лактозы приводит к ее связыванию с *lac*-репрессором и отсоединению репрессора от ДНК, так что уже вся полимераза РНК может присоединиться к ДНК и собрать три белка для усвоения лактозы (рис. *4.3в)*.

Подобное положение дел сходно с ситуацией с дверью, снабженной ручкой и засовом. Ручка действует подобно активатору, а запор выступает в роли репрессора. В таблице действие системы «ручка—засов» сравнивается с механизмом «активатор—репрессор».

Положение ручки (активатор)	Положение запора (репрессор)	Откроется ли дверь (образуются ли усваивающие лактозу белки?)

Не повернута (высокое содержание глюкозы)	Заперто (высокое содержание лактозы)	Нет
Не повернута (высокое содержание глюкозы)	Не заперто (низкое содержание лактозы)	Нет
Повернута (высокое содержание глюкозы)	Заперто (низкое содержание лактозы)	Нет
Повернута (низкое содержание глюкозы)	Не заперто (низкое содержание лактозы)	Да

Эта сложная система управления схожа со старым устройством Руба Голдберга*, где целая цепь сложных событий служит для достижения некой простой цели (рис. 4.4). И все же почему при всей затратности данного механизма *E. coli* не вырабатывает постоянно все нужные ферменты, чтобы усваивать любой поступающий к ней сахар? Возможно, некогда такая бактерия и существовала.

Но появившаяся в ходе мутаций *E. coli* с ее *lac*-опероном благодаря значительно большему по сравнению со своей старшей родственницей коэффициенту полезного действия вытеснила ее. Наглядный пример классического естественного отбора.

Белковые ферменты собираются практически одновременно с перезаписью РНК, когда РНК все еще прикреплена к длинной кольцевой молекуле ДНК. Поскольку *E. coli* относится к прокариотным клеткам, у нее нет тормозящих ход метаболизма ядра или ядерной мембраны, так что усвоение лактозы начинается очень скоро. *E. coli* прекрасно живет и на лактозе, и на глюкозе.

---

* * *Голдберг Рубен Лушес* (1883-1970) — американский карикатурист, скульптор. Лауреат Пулитцеровской премии (1948) за политические карикатуры. Всемирную славу и увековечение в словарях английского языка Голдбергу принесли рисунки странных механизмов (inventions), построенных по принципу «Зачем делать просто, если можно сделать сложно?». «Изобретения» эти призваны «помогать» человеку в его повседневной жизни, однако выглядят они совсем не повседневно, поскольку собирались из самых непредсказуемых элементов. Например, прибор для автоматического мытья магазинных витрин состоит из последовательно действующих банановой кожуры, грабель, подковы, лейки, швабры, скотч-терьера, рекламного щита и пепельницы. Любопытно, что, впервые появившись на страницах «Evening Mail» в качестве картинок для рассматривания, «руб голдберги» со временем начали строиться и в мире физическом. Необычные механизмы стали достоянием музеев, антуражем авангардных фильмов и детских «мультиков» и даже предметом для спортивных состязаний. Существуют специальные мастерские, где остроумные техники изготавливают разного рода «руб голдберги» для коллекционеров и эксцентричных богачей, многие из которых используют забавные машины... по прямому назначению.

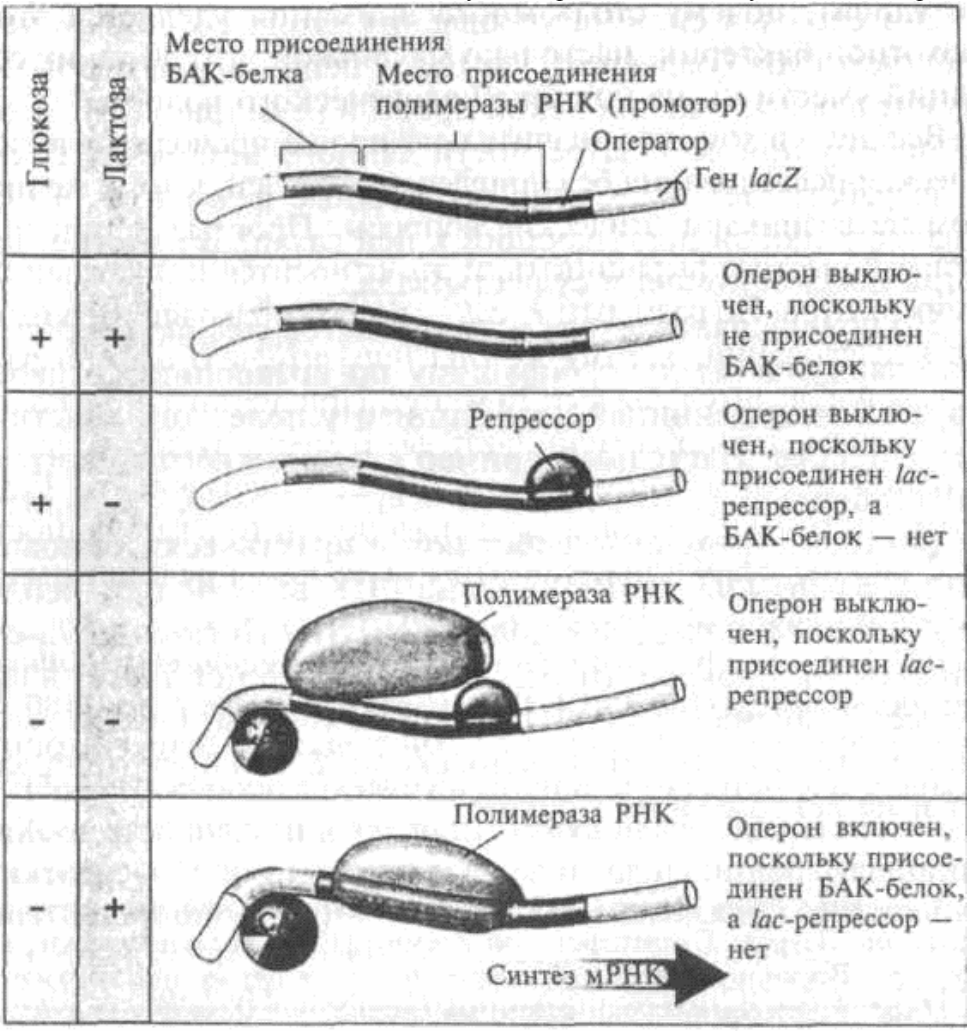


Рис. 4.4. Действие lac-оперона на молекулярном уровне (из кн.: *Raven P. H., Johnson G. B.* Biology)

E. coli и другие организмы

E. coli — одно из наиболее изученных живых существ; исследователи выявили примерно две трети функций ее генов. Механизм задействования *lac*-оперона составляет лишь малую часть молекулярных отправлений *E. coli.* Возможно, вас удивит, почему столь много внимания уделяется этой крохотной бактерии, настолько маленькой, что 50 таких созданий уместится на кончике человеческого волоса.

Все дело в том, что значительно проще проводить биологические исследования без привлечения людей, к тому же при этом не возникают этические вопросы. Простые организмы проще и быстрее выращивать, и это относится к проведению самих опытов. По размерам *E. coli* — весьма подходящий объект для исследований, к тому же она поразительно быстро размножается: делится каждые 20 минут. При достаточном количестве воды, глюкозы (или лактозы) и места за десять часов из одной *E. coli* можно получить свыше 1 млрд. клеток. Если другие штаммы *E. coli* опасны для здоровья, то разновидность К-12 вполне безобидна, так что нет нужды предпринимать серьезные меры предосторожности.

Вот уже свыше 70 лет *E. coli* выступает рабочей лошадкой биохимии, генетики и биологии развития. Сходство ее молекулярного процессинга с происходящим в других организмах даже привело к использованию ее в качестве фабрики по производству инсулина для больных диабетом. Жак Моно, выдающийся французский ученый и Нобелевский лауреат 1965 года, однажды заметил: «Что верно для *E. coli,* верно и для слона».

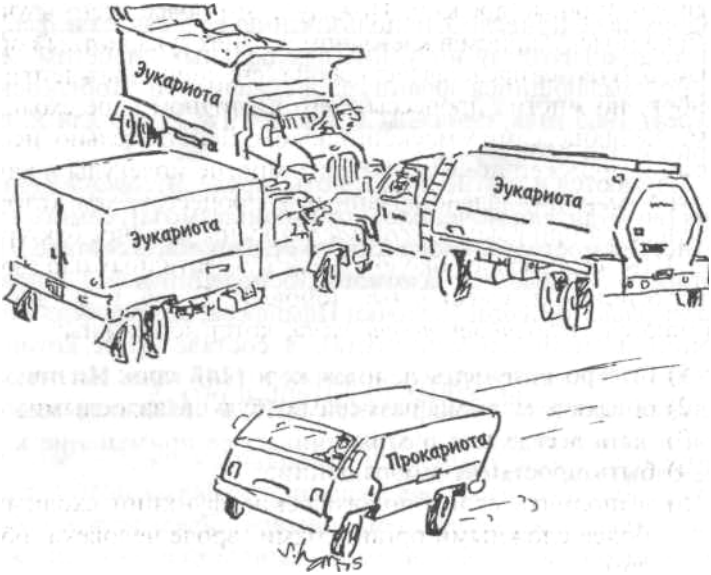
Изучаются и другие прокариоты, вроде *Mycoplasma genitalium* [возбудителя мочеполового микоплазмоза], самого крохотного самостоятельного живого организма, в составе ДНК которого 580 тыс. пар азотистых оснований и 517 генов, и *Haemophilus influenzae* [палочки Пфайфера, возбудителя пневмонии и гнойного менингита], в составе ДНК которого 1 830 137 пар азотистых оснований и 1743 гена. Но относительная простота прокариотной ДНК в связи с ее величиной и кольцевидностью ограничивает ее применение к более сложным организмам.

От прокариот к эукариоталл

Жизнь у прокариот хлопотная. Эти проворные маленькие существа должны обладать отменной реакцией. Как только появляется пища, они должны ее переварить, чтобы успеть вырасти. Система управления наподобие lac-оперона хорошо приспособлена к быстрым действиям, когда нужно установить требуемый уровень ферментов в соответствии с быстро меняющейся средой.

Положение с эукариотами совершенно иное. Большинство многоклеточных организмов развивалось таким образом, что их внутренние клетки оказались отрезанными от меняющейся внешней среды. Стабильная внутренняя обстановка — гомеостаз — необходима для надежной работы многоклеточных организмов. В итоге генные механизмы управления у эукариот оказались в большей степени рассчитаны на регуляцию организма

в целом.



Например, некоторые гены активируются лишь однажды и вызывают необратимые действия по сравнению с полностью обратимым механизмом *lac*-оперона. У многих животных неспециализированные, так называемые стволовые клетки развиваются очень рано, еще у зародыша. Они превращаются в специализированные клетки, вроде клеток мозга или ногтей, следуя определенному генетическому образцу, который может в итоге привести даже к смерти клетки. Такая специализация клеток порождает все большее число ДНК, РНК и белковых ферментов, так что эукариоты могут совмещать в своем метаболизме тонкие взаимодействия между этими молекулами.

Модельные организмы

Излюбленный объект исследования среди эукариот — *Sacchammyces accharomyces cerevisae (S. cerevisae),* больше известный как пивные дрожжи. Пожалуй, это более всего изученный на молекулярном и клеточном уровнях эукариотный организм. *S. cerevisae* представляет собой всего лишь одноклеточный грибок, но многие процессы в его клеточном ядре сходны с теми же процессами у млекопитающих. Действительно, исследование дрожжей помогло выявить многие молекулы и химические реакции, задействованные в процессах, ход которых нарушается при раке. *S. cerevisae*

устроены сложнее бактерии, чье ДНК, содержащее около 12 млн нуклеотидных пар азотистых основания, имеет 6 тыс. генов. И *E. coli,* и *S. cerevisae* считаются *модельными организмами,* которые должны:

1) быстро развиваться, имея короткий срок жизни;

2) обладать малыми размерами, будучи взрослыми;

3) быть всегда под рукой;

4) быть простыми в обращении;

5) выполнять свои биологические функции сходным с более сложными организмами, вроде человека, образом.

Усердно изучаются и другие модельные организмы. *Caenorhabditis elegans* — прозрачный круглый червь, вырастающий в длину не более 1 мм, вполовину величины вот этого знака ~. *C. elegans* достигает взрослого состояния за три дня, живет в почве по всему свету и питается микробами вроде тех, что обитают в перегное. Этот маленький червь представляет собой многоклеточную (959 клеток) эукариоту с 19 099 генами в состоящей из 97 млн пар азотистых оснований ДНК. Он развивается из одной клетки в организм с нервной системой и «мозгом». *C. elegans* способен к обучению, вырабатывает яйцеклетки и сперматозоиды, постепенно стареет и умирает. Сидни Бреннер, молекулярный биолог из Великобритании, говорит, что *C. elegans* оправдывает свое название, ибо на самом деле «фотогеничен», как видно на рис. 4.5. Бреннер, Джон Салстон и Роберт Хорвиц разделили Нобелевскую премию 2002 года по физиологии и медицине как раз за работу с червем *C. elegans.*

Другой модельный организм, *Drosophila melanogaster,* знаком многим из нас. В 1906 году гарвардский профессор эмбриологии Уильям Эрнест Касл привлек к участию в одном проекте аспиранта [Крейга Вудворта].

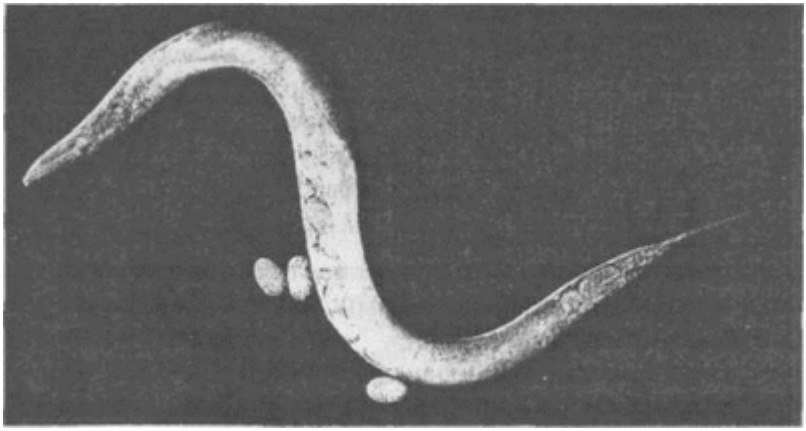


Рис. 4.5. C. elegans

Он попросил его не убирать несколько перезрелых виноградин, а затем посмотреть, что получится. Получились *D. melanogaster* — плодовые мушки — организм, изучаемый ныне в лабораториях по всему миру. Благодаря своим идеальным свойствам модельного организма плодовые мушки широко используются в исследованиях по генетике и биологии развития.

Жизненный цикл плодовой мушки составляет 16 дней, а новое поколение она дает каждые 12 часов. Эти существа плодовиты, непритязательны и, по словам генетика из Беркли Герри Рубин, имеют столь много общего с человеком, что их называют крохотными людьми с крыльями. *Дрозофила* располагает 13 600 генами на ДНК из 165 млн нуклеотидных пар азотистых оснований. Весь этот молекулярный аппарат умещается в тельце длиной 3 мм, величиной примерно с букву V в имени Venter (о самом Вентере чуть позже).

Mus mesculus (мышь), давний любимец медиков, занимающихся изучением болезней и лекарств, тоже соответствует всем требованиям, предъявляемым к модельным организмам. К тому же геном мыши весьма схож с геномом человека.

Генетические сравнительные исследования уже многое прояснили в отношении строения и функционирования человеческого тела. Дальнейшие исследования принесут дополнительные сведения.

Другие создания, вроде полосатой перцины, иглобрюха [родственного горчице сорняка из семейства крестоцветных], резушки Таля *(Arabidopsis thaliana)* и палочки Пфайфера *(Haemophilus influenzae),* выступают в роли модельных организмов и изучены в разной степени. Модельные организмы и приспособления, требуемые для их изучения, вызывают в памяти ситуации из классической описательной биологии с образами бесчисленных исследователей, склонившихся над микроскопом или щурящихся сквозь стекла очков во время поездок по экзотическим местам, где можно увидеть организмы в их естественной среде обитания (вспомним Чарльза Дарвина на Галапагосских островах).

Физика — биология — химия

Несмотря на значимость модельных организмов для биологов, поле деятельности современной биологии значительно расширилось во многом благодаря нахлынувшим туда представителям других отраслей знаний, чья

деятельность преобразила сам подход к изучению биологии.

Чтобы понять, как произошло это преображение, взглянем иначе и шире на центральное учение молекулярной биологии. Описательная биология сосредоточивалась на видимых признаках, но находила мало объяснений, связанных с этими признаками молекулярных механизмов. Затем пришел черед химии, занимавшейся химическими реакциями внутри живых существ, прояснявшими биологические процессы. Но главная трудность состояла в том, что управляющие живыми системами молекулы были слишком малы, чтобы их можно было для разглядывать в микроскоп.

Следующими нахлынули физики, посредством рентгеновской кристаллографии выявившие двойную спираль ДНК (вспомним биолога Джеймса Уотсона и физика Фрэнсиса Крика, воспользовавшихся данными рентгеновского кристаллографа Розалинды Франклин). Итак, хорошие вести заключались в создании представления об общем строении ДНК, а плохие — в невозможности разглядеть подробности ее строения из-за малых размеров. ДНК содержит такое огромное количество парных оснований нуклеотидов, что их определение и выписывание оказалось сложной задачей.

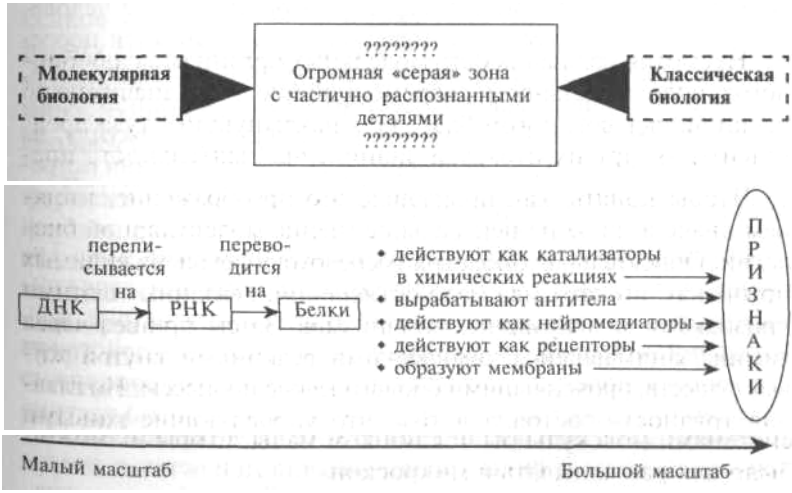


Рис. 4.6. Общая картина биологии

Итак, положение биологии в 1980-е годы было следующим: молекулярная биология сосредоточилась на работе с крайне малыми объектами; классическая описательная биология ограничилась наблюдением той части биосферы, которая была доступна зрению, пусть и сквозь окуляр микроскопа. Многие детали на стыке микро- и макроскопических областей

биологии оказались совершенно необъяснимыми (рис. 4.6).

Переход от большого масштаба к малому происходил медленно. Изучение молекул с химической точки зрения кое-что проясняло, но продвижение шло черепашьим шагом, а черепаха, увы, не модельный организм.

В середине 1980-х годов некоторых биологов осенило: почему бы не изучить весь состав ДНК живого организма, так называемый геном? Более того, посредством отдельных модельных организмов прийти к конечной цели — геному человека. Это привело к очередному наплыву в биологию приборостроителей, программистов, предпринимателей и появлению одного неуемного исследователя — Дж. Крейга Вентера.

Составление карты генома человека. Великие задачи требуют величественных орудий

Прежде чем описывать все перипетии, увенчавшиеся в итоге составлением карты генома модельных организмов и человека, вникнем в подробности того, как устанавливается последовательность оснований плотно упакованной молекулы ДНК. Оказывается, геном человека состоит из *3 млрд.* парных оснований нуклеотидов. Если считать их по одному в секунду, на это уйдет почти 100 лет. Очевидно, для их определения потребовался более быстрый способ, для чего понадобилось усовершенствовать несколько методов.

Электрофорез. В 1937 году шведский биохимик Арне Тиселиус (Тизелиус) разработал метод разделения заряженных частиц во взвеси на основе их массы и заряда (рис. 4.7). Заряженная частица в электрическом поле под действием его силы ускоренно движется в сторону противоположно заряженного электрода. Погруженная в среду (гель) частица тормозится под действием силы трения. При равенстве электрической силы и силы трения частица движется с постоянной скоростью, именуемой *конечной.*

Рис. 4.7. Установка для электрофореза

Данный подход знаком парашютистам, которые благодаря уравновешиванию их веса с силой трения опускаются на землю с постоянной, а не с возрастающей скоростью.

Для выделения частиц в геле Тиселиус применил красители. Данный подход он впервые опробовал при разделении белков в растворе — а в 1948 году был удостоен за свою работу Нобелевской премии по химии. С тех пор его метод использовался в опытах с множеством частиц при движении в различных средах. А для их выделения существуют несколько различных приемов.

Рестрикционные ферменты. Создание рестрикционных ферментов началось весьма необычно: в опытах с бактериофагами. Бактериофаги (или фаги) представляют собой вирусы, атакующие клетки бактерий, внедряя свои ДНК в клетку-хозяина, который затем плодит данный вирус. Фагов независимо друг от друга открыли в 1917 году бактериологи Фредерик Туорт из Великобритании и Феликс д'Эрелль из Франции. Опыты на бактериофагах получали все больший размах благодаря их возможности убивать опасные для человека бактерии. Однако интерес к ним упал после открытия пенициллина и других химических антибиотиков.

Бактериофаги столь многочисленны (по оценкам, их количество составляет 10^{30}), что их общая биомасса значительно превышает общий вес населения Земли. Они почти целиком состоят из белков и ДНК (рис. 4.8). Будучи вирусами, они не могут жить без хозяина. Ввиду простоты своего устройства они оказываются идеальными испытуемыми для получения сведений о жизнедеятельности и их самих, и их хозяев.

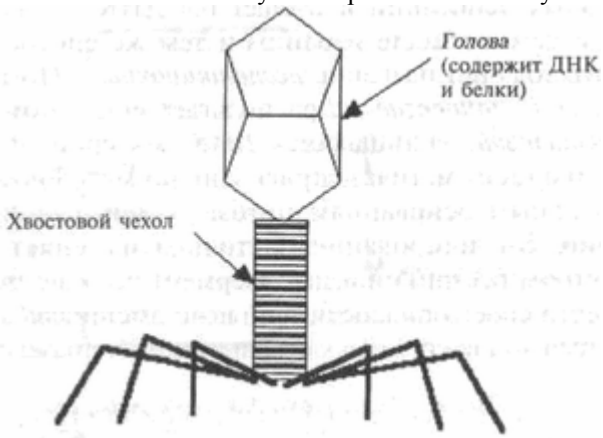


Рис. 4.8. Бактериофаг

Хамилтон Смит, микробиолог из университета Джонса Хопкинса* в конце 1960-х работал с *Haemophilus influenzae Rd* и фагом P22. Случайно бактерии и фаги стали выращивать вместе. Смит заметил, как активность ДНК у фага все время падала, что указывало на расщепление ДНК фага чем-то внутри бактерии. Смит со своими сотрудниками выделил и очистил ответственный за расщепление фермент и установил его механизм: белковый фермент внутри *H. influenzae* расщепляет ДНК фага, выявляя определенную цепь из шести парных оснований и расщепляя ДНК — неизменно в одном и том же месте и одним и тем же способом.

Такой фермент получил название *рестрикционного*. Помимо этого фермента *H. influenzae Rd* располагает еще одним ферментом, *метилазой,* защищающей ДНК бактерии от подобной участи. Фермент метилаза присоединяет метиловую группу к нуклеотидным основаниям цитозина или аденина в ДНК бактерии. Метилирование настолько изменяет молекулу ДНК, чтобы рестрикционный фермент все еще мог распознать место своего подсоединения, не вмешиваясь при этом в обычный ход воспроизводства или метаболизма самой бактерии.

С тех пор удалось открыть тысячи ферментов, расщепляющих ДНК на определенных участках. Отрыты были и ферменты, скрепляющие вместе куски ДНК. В итоге всех этих открытий молекулярные биологи располагают

---

* *Хопкинс Джонс* (1795-1873) — американский квакер, финансист, филантроп. Сделал состояние на оптовой торговле продуктами питания, банковском деле, железных дорогах. Завещал около 7 млн долларов на создание университета и медицинского центра в г. Балтиморе, штат Мэриленд, названных его именем: Johns Hopkins University, Johns Hopkins Hospital.

ныне набором белковых ферментов, позволяющих им разрезать или склеивать ДНК в заданных местах.

Сенгеровский метод обрыва цепи [замещающим нуклеотид] дидезокси[рибонуклеозидтрифосфатом] для секвенирования ДНК. В 1977 году биохимик из Великобритании Фред Сенгер разработал способ расщепления ДНК на участки, соответствующие любой длине исходной ДНК. Этот метод использовал замещающую нуклеотид молекулу. Заместитель не образует связи со следующим нуклеотидом в последовательности, необходимой для создания всей ДНК, так что цепь обрывается на нем.

Приведем пример. На рис. 4.9 верхняя молекула имеет атом кислорода, связанный с атомом водорода в положении 3' (атомы углерода в кольце нумеруются цифрами 1', 2', 3', 4' и 5'), тогда как у атома водорода в положении 4' атом кислорода отсутствует (отсюда приставка дезокси-). У нижней молекулы атом водорода отсутствует на позициях 3' и 4', поэтому ее название начинается с приставки дидезокси-. Из-за такой разницы в строении, когда при сборке молекулы ДНК в нее встраивается дидезоксидное основание, она уже не связывается с другим нуклеотидным основанием (в позиции 5'), и цепь ДНК обрывается в этом месте.

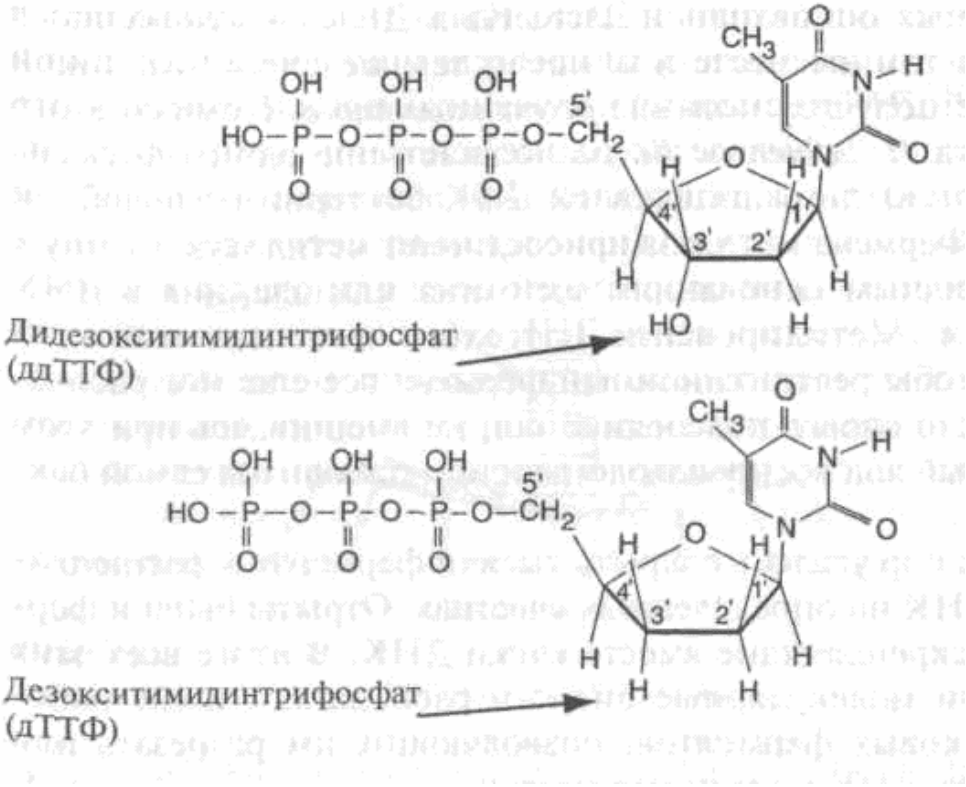


Рис. 4.9. Дезокситимидинтрифосфат (дТТФ) и дидезокситимидинтрифосфат (ддТТФ)

То же происходит с другими основаниями ДНК (аденином, гуанином и цитозином). В итоге можно получать ДНК различной длины (на изображениях молекул пустые углы на кольцах соответствуют атомам углерода).

Сенгеровский метод обрыва цепи дидезоксидными основаниями для секвенирования ДНК начинается с того, что посредством рестрикционных ферментов расщепляют подвергаемую секвенированию ДНК на меньшие участки, а ДНК нагревают до полного разделения обеих ее нитей. Затем к этим однонитевым участкам ДНК добавляют трифосфаты с дидезоксидным основанием, после чего вводится белковый фермент ДНК полимераза, который приступает к сборке копий исходной ДНК. Из-за дидезоксидных оснований собранные молекулы представляют собой не копии исходной ДНК, а смесь из полученных прежде участков ДНК. Предварительно

дидезоксидные основания помечаются (маркируются) либо радиоактивным изотопом фосфора, либо чувствительным к ультрафиолетовому свету красителем, так что конец каждой оборванной цепи становится видимым.

Затем эту смесь цепей ДНК помещают в лунки пластины геля и дают электрическое напряжение. Более короткие участки испытывают меньшее сопротивление среды (обычно желе из водоросли *агароза,* схожее с желатином «Джелло» [*] вещество, с той лишь разницей, что молекулы там образуют дополнительные связи, делая гель прочным) и поэтому движутся быстрее. Часто в качестве образца в одну из лунок помещают цепи известной длины. После достижения наиболее короткими цепями края пластины геля напряжение снимают. По радиоактивным или флуоресцентным маркерам определяют нуклеотидное основание в конце каждой молекулярной цепи. Поскольку электрофорез распределяет молекулы в соответствии с возрастанием длины цепи, при просмотре виден порядок расположения парных оснований нуклеотидов в исходной ДНК.

Данный метод широко применялся до середины 1980-х годов, и работа над диссертацией у многих аспирантов заканчивались участием в многолетнем проекте по секвенированию определенной части ДНК одного из модельных организмов. Приходилось брать пробы у организма, очищать, смешивать с химическими реактивами, выращивать, помещать в гель и проводить исследование, после чего собирать и толковать данные. Работа была тяжелой и продвигалась медленно. Обычно в ходе написания диссертации удавалось выстроить участок в 40 тыс. парных оснований ДНК.

Секвенирование генома человека

Озвучивая мнения многих влиятельных биологов, в номере *Science* за 7 марта 1986 года Ренато Дульбекко, глава Института биологических исследований им. Солка[†], призвал к претворению в жизнь грандиозной программы по расшифровке генома человека. Он доказывал, что столь

[*] *«Джелло» (Jell-O)* — полуфабрикаты желе и муссов, выпускаемые в порошке крупнейшим в США производителем пищевых продуктов *Kraft Foods Inc.,* дочерней компанией *Philip Morris Cos.*

[†] *Соли Джонас Эдварде* (1914—1995) — американский иммунолог. Первым разработал противополиомиелитную вакцину на основе инактиви-рованного формалином вируса, выращенного на клетках обезьяньей почки, так называемую инактивированную полиовакцину (ИПВ), которая с 1954 года широко применялась в США, а также противогриппозную вакцину с двухгодичным сроком действия. В 1963 году основал в пригороде Сан-Диего (штат Калифорния) Институт биологических исследований, названный его именем.

огромные усилия необходимы для понимания роли генов в развитии рака. Некоторые биологи, вроде Уолтера Гилберта (известного гипотезой РНК-мира), с радостью восприняли это предложение. Гилберт сказал: «Полный геном человека — Грааль генетики человека» (подробнее об этом сравнении далее).

Другие выразили озабоченность, что подобный гигантский проект исказит биологию до неузнаваемости. Расшифровка 3 млрд. пар азотистых оснований с помощью имеющихся на тот час средств потребует 15-летней непрерывной работы 10 тыс. аспирантов и обойдется примерно в 3 млрд. долларов. При таких затратах человеческих и денежных ресурсов ничего не останется на все остальные биологические проекты.

Луч надежды блеснул с появлением автоматизированных устройств секвенирования. Центр исследования человеческого генома [ныне Национальный институт генома человека], подразделение [сети институтов, объединенных общим названием] Национального института здоровья (НИЗ), официально приступил к работе в октябре 1990 года под руководством Джеймса Уотсона — да, *самого* Джеймса Уотсона. Данный проект задумывался как международный: большинство работ поручалось различным государственным лабораториям и университетам в США, и около трети приходилось на долю Великобритании, Франции, Германии и Японии.

Все усилия были сосредоточены на создании устройств автоматизированного секвенирования, что привело к наплыву в биологию приборостроителей. В конце 1986 года биохимик, доктор медицины Лерой Худ и биохимик-технолог Майкл Ханкапиллер создали компанию *Applied Biosystems Inc.* (ABI) и разработали устройство, способное секвенировать в день 12 тыс. парных оснований нуклеотидов. В начале 1987 года лаборатория молекулярной биологии, возглавляемая Дж. Крейгом Вентером, испытала секвенатор ABI 375A Sequencer вместе с рабочей станцией по катализу AB1 800 Catalyst для приготовления проб. Лаборатория Вентера занималась секвенированием двух участков, которые, как считалось, содержали гены, ответственные за крайне важные наследственные заболевания. Несмотря на отменную работу самих устройств, гены, поиском которых занимался Вентер, найдены не были. К тому же программное обеспечение выявило значительное число ошибочных результатов, так что многое пришлось сверять вручную.

Вентеру слишком уж не терпелось пролистать длинные последовательности из генетических букв в поисках немногих нужных

генов или участков генома, где закодированы белки. И его осенило, как нарастить усилия. Чтобы отыскать активные гены в определенной клетке, он сначала извлекал из клетки РНК. Раз РНК строится прежде всего на основе ДНК, она содержит последовательность парных оснований нуклеотидов, относящуюся к активным частям (генам) исходной ДНК. Затем исследователи преобразовывали РНК в более устойчивую ДНК (именуемую комплиментарной ДНК — кДНК) и для хранения присоединяли ее к хромосоме какой-нибудь бактерии, используя прием резания и склеивания с помощью рестрикционных ферментов. Комплиментарной ДНК пользуются в биологических лабораториях по всему миру, так что недостатка в ней нет. Следующий шаг связан с секвенированием кДНК и сравнением ее с другими секвенированными генами. Данный подход, названный экспрессируемыми ярлыками*, был не нов для Вентера. О нем впервые написал химик-биолог Пол Шиммел в 1983 году, а известный генетик Сидни Бреннер и другие ученые широко использовали в конце 1980-х. Но благодаря AB1 Sequencer и электронно-вычислительным рабочим станциям по возможностям секвенирования лаборатории Вентера не было равных.

В июне 1991 года Вентер написал, что при секвенировании посредством экспрессируемых ярлыков он определил около 330 активных генов в человеческом мозге. Одним словом, Вентер определил и расшифровал более 10% известных миру человеческих генов — и все это за несколько месяцев. Со свойственной ему прямотой Вентер заявил, что «усовершенствования в технике секвенирования ДНК теперь сделали, по существу, доступным полное обследование хромосомного набора организма по экспрессируемому гену».

Следующая статья Вентера, опубликованная в журнале *Nature,* еще больше подогрела недовольство некоторых биологов. В этой статье он сообщал об очередных 2375 человеческих генах, выявленных в мозге, что в 2 раза превышало число генов, расшифрованных к тому времени остальным научным сообществом. Ученые опасались, что секвенирование кДНК начнут финансировать вентеровским методом экспрессируемых ярлыков как более дешевой альтернативы расшифровке всего человеческого генома. Данный подход избегал бы искусных приемов экспрессии генов вроде lac-оператора, поскольку места соединения активаторов и репрессоров не будут

* В данном случае могут получаться не полные последовательности генов, а только отдельные их участки (как бы «ярлычки», маркирующие эти гены), которые заносят в банк данных и по которым в дальнейшем можно идентифицировать эту последовательность, если она будет выделена из других источников. Отсюда этот метод получил название «экспрессируемые ярлыки последовательностей» — Expressed Sequence Tags (ESTs).

секвенироваться.

Угроза патентования

Причиной дополнительных беспокойств стало патентование метода экспрессируемых ярлыков. Служба передачи технологии НИЗ подала заявку на патентование первых 330 генов еще до первой публикации Вентера в *Science* и присовокупила к патентованию еще 2421 ген до появления статьи в *Nature.* Поднялся шум, не утихающий доныне. Французский министр по науке Юбер Курьян сказал, что «нельзя предоставлять патент на то, что является нашим общим достоянием». Джеймс Уотсон, глава международного консорциума *Human Genome Project,* заявил, что метод экспрессируемых ярлыков «доступен обезьянам».

Однако глава НИЗ Бернадин Хили посчитала, что патентная заявка была законной, и отмела обвинения ученых, представив их «бурей в стакане воды». Она наказала Уотсону не нападать на Вентера публично и попросила Вентера советоваться с ней по поводу исследований генома человека. Уотсон уволился в апреле 1992 года, заявив о «непримиримости» своей позиции. Тем временем Вентер попросил 10 млн долларов для расширения своей работы по секвенированию, но ему было решительно отказано на основе данного его же коллегами в НИЗ заключения. Вентер уволился из НИЗ в июле 1992 года и основал Институт исследований генома (TIGR). Начав с 30 секвенаторов ABI 373A, 17 рабочих станций ABI Catalist и ЭВМ SPARCenter 2000 фирмы *Sun,* оснащенной соответствующими программными средствами базы данных, Вентер начал наращивать секвенирование на основе «экспрессируемых ярлыков» последовательности генов у модельных организмов. При стоимости одного устройства 100 тыс. долларов для финансирования такого предприятия нужны были толстосумы.

Финансирование обеспечил наплыв в биологию предпринимателей, Уоллис Стайнберг, глава компании *Health Care Investition Corporation,* и изобретатель зубной щетки Рич вложили в проект 70 млн долларов. Таким образом, Вентер мог спокойно претворять в жизнь свои идеи. Была создана как дочернее предприятие компания *Human Genome Sciences* (HGS) для коммерческого использования результатов исследований генома человека. Вентер был доволен и заявил: «Каждый ученый мечтает о благодетеле, согласившемся вложить средства в его идеи, чаяния и способности». Единственное условие — предоставление полученных данных в распоряжение компании на 6—12 месяцев, прежде чем их можно будет обнародовать. Его научные коллеги восторгались значительно меньше.

Некоторые даже окрестили его Дартом Вентером [намекая на Дарта Вейдера из фильма «Звездные войны», рыцаря, переметнувшегося на сторону зла].

Тем временем НИЗ назначил нового руководителя Центра по исследованию генома человека. Известный генетик из Мичиганского университета Фрэнсис Коллинз стал вторым руководителем центра. В ходе работы этот финансируемый государством консорциум обнародовал ряд выдающихся результатов. В 1996 году усилиями более чем сотни лабораторий Европы, США, Канады и Японии удалось завершить составление генома пивных дрожжей. Этот эукариотный одноклеточный организм содержит в своей ДНК 6 тыс. генов, собранных из 12 млн пар оснований нуклеотидов. К середине отпущенного на проект генома человека срока было расшифровано менее 3% генома, а затраты консорциума уже превысили оговоренные суммы. Коллинз призвал к ускорению работ и выдвижению свежих идей, но это мало помогло делу.

Секвенирование дроблением

Когда международный консорциум пытался ускорить свою работу, лаборатория Вентера **TIGR** решила прибегнуть к новой тактике: секвенированию дроблением. Сотрудник Университета Джонса Хопкинса и Нобелевский лауреат Хамилтон Смит, открывший 20 лет назад рестрикционные ферменты (рестриктазы), выдвинул поразительную идею: сначала ультразвуком посечь ДНК на тысячи кусочков произвольной величины, а затем на устройствах-роботах ABI произвести отдельно секвенирование всех кусочков. Заложить полученные данные в ЭВМ, и пусть специальные программы отыскивают перекрывающиеся участки, чтобы тем самым можно было «сшить» математически кусочки, создавая одну непрерывную ДНК. Данный прием оказался результативным при моделировании, и Вентер не побоялся рискнуть. TIGR расшифровала весь геном бактерии *Haemophilus influenzae* за 13 месяцев, затратив в два раза меньше средств по сравнению с проектом генома человека. Вскоре TIGR завершила составление последовательности нуклеотидов *Mycoplasma genitalium,* мельчайшего из известных самостоятельных живых организмов, а также генома нескольких архей. После предоставления для всеобщего пользования своих ценных сведений Вентер вырос в глазах своих ученых собратьев.

Метод секвенирования дроблением работал в ситуациях с бактериями, но оказался не слишком скор, чтобы можно было вовремя завершить проект генома человека. В конце 1997 года отношения между лабораторией

Вентера TIGR и ее дочерним предприятием HGS полностью расстроились. Несмотря на задолженность HGS его лаборатории 38 млн долларов, Вентер освободил HGS от данного обязательства и получил возможность более быстрого предоставления сведений о секвенировании, поскольку отпадала необходимость давать их на просмотр HGS.

Вентер между тем вынашивал еще более грандиозные замыслы, связанные с именем Майка Ханкапиллера. После создания вместе с Лероем Худом первого устройства по секвенированию, ABI 373A, Ханкапиллер не только внес несколько усовершенствований, но и значительно изменил сам процесс. Вместо пропускания отрезков ДНК вдоль пластины геля посредством электрофореза для их разделения Ханкапиллер разработал способ, при котором ДНК пропускалась сквозь тонкие, заполненные жидкостью капиллярные трубки. Наличие многих трубок при одном прогоне, как и другие усовершенствования в новом устройстве, ABI PRISM 3700, дало восьмикратное повышение скорости по сравнению с существующими устройствами. После показа опытного образца Ханкапиллер предложил Вентеру объединиться с ним для расшифровки всего генома человека. После некоторых раздумий Вентер согласился. Нужно было кое-что доделать, ведь методы, столь хорошо показавшие себя при работе с бактериями, нельзя использовать для изучения тысячекратно более сложного гена человека.

Вентер любил испытывать себя. После переговоров, больше напоминавших предостережение, с руководителем проекта генома человека Коллинзом Вентер объявил о создании новой компании и ее главной цели: расшифровке всего генома человека всего за три года, что существенно опережало сроки проекта генома человека. Его новое детище носило название «Силер» (от лат. *celeris*— быстрый). Девизом компании стали слова «Поспешай, открытия не ждут».

Вентеру опять все удалось. Научный мир был посрамлен, но теперь успехи Вентера вынуждали критиков проявлять осторожность: может, ему и впрямь *удастся* задуманное. Вентер понимал, что рискует. У него был лишь проверенный опытный образец устройства секвенирования, но отсутствовало программное обеспечение, поскольку старые методы не годились для нового генома. Следующим ходом Вентера было решение допустить в биологию программистов ЭВМ, которых называл учеными по алгоритмам. «Сшивание» перекрывающихся последовательностей пар оснований нуклеотидов для получения всего генома представлялось трудной вычислительной задачей, но значительные средства, вкладывавшиеся Вентером в новейшее вычислительное оборудование и

специалистов, окупились сторицей. К 1998 году его сотрудники создали казавшуюся работоспособной программу.

Для опытной проверки Вентер провел секвенирование излюбленного в биологии модельного организма — *Drosophila melanogaster,* плодовой мушки. Состоящую из 165 млн пар нуклеотидных оснований, 13 600 генов ДНК установили менее чем за четыре месяца, как раз вовремя, чтобы записать ее на диски CD-ROM, которыми снабдили все места на одном научном совещании за день до выхода статьи о геноме в журнале *Science.*

Международный консорциум «Проект генома человека» не сидел сложа руки. С получением дополнительных средств, особенно от британского благотворительного фонда Уэллкома (Wellcome Trust) [*], удалось обзавестись новыми устройствами секвенирования (от ABI и конкурентов Майкла Ханкапиллера) и нарастить свои усилия, сжав тем самым сроки. Гонка продолжалась.

Соревнующиеся стороны временами вступали в переговоры, но напряжение в отношениях нагнетали средства массовой информации, особенно если учесть резкость Вентера и непреклонную учтивость Коллинза. С приближением окончания гонки слухи о непростых отношениях между двумя коллективами достигли Белого дома. На одном из совещаний президент Билл Клинтон передал записку своему советнику по науке Нилу Лейну с лаконичным приказом: «Разберись — сделай так, чтобы эти ребята работали вместе». Улаживать все выпало [главе Службы биологических и экологических исследований] Аристиду Патриносу, руководителю проекта генома человека от Министерства энергетики США. Весной 2000 года он пригласил Коллинза и Вентера к себе домой в Роквилл, штат Мэриленд, на дружеское чаепитие. Там они пришли к соглашению, что сообщение о расшифровке генома человека будет обнародовано ими совместно 26 июня 2000 года. В разговоре по спутниковой связи с премьер-министром Великобритании Тони Блэром президент Клинтон сказал: «Современная наука подтвердила то, что мы впервые узнали из верований предков. Самое важное свидетельство жизни на этой земле — это наша человеческая общность».

---

[*] Один из крупнейших в Англии фондов, поощряющий исследования в области медицины. Создан в 1936 году на средства, завещанные выходцем из Америки, получившим британское подданство и возведенным (1932) в рыцарское звание фармакологом Генри Соломоном Уэллкомом, одним из основателей (1880) знаменитой фармацевтической компании *Burroughs Wellcome & Co* (с 1924 года *Wellcome Foundation Ltd),* в 1995 году включенной в состав *Glaxo* (с 2000 года *Glaxo Smith Kline).*

План на вторую половину игры

Несмотря на поднятую СМИ шумиху, гонка по расшифровке генома человека в действительности начиналась заново. Поясним, в чем здесь суть. ДНК содержит схему работы всего организма. Но прежде чем организм начнет справлять свои надобности, схему необходимо переписать на РНК, которая в свою очередь передается белкам, а те затем приступают к сборке каждой отдельной клетки и выполнению своих обязанностей.

Белки представляют собой молекулы, которые, по сути, и обеспечивают жизнедеятельность клеток. Геном указывает РНК, какие белки следует собирать, но прежде чем они начнут выполнять свои многочисленные обязанности, происходят изменения (белки скручиваются, взаимодействуют, присоединяют к себе группы Сахаров или метила и т. д.), в итоге проявляя некие видимые признаки. Теперь понятно, почему хромает сравнение человеческого генома с чашей Грааля. Знание последовательности нуклеотидов в геноме ничего не дает. Недостаточно знание только схемы.

Более приемлемо такое сравнение.

В отдаленном будущем один археолог находит в огромной пещере эскадрилью сверхзвуковых транспортных самолетов, заправленных горючим и готовых к вылету. Летчики-испытатели поднимают их в воздух, и оказывается, что они полностью работоспособны, однако отсутствуют руководства по их эксплуатации, устройству и сборке. Инженеры приступают к их изучению, разбирают, пытаясь восстановить, как их собирали. Достигнуты некоторые успехи, но самолеты слишком сложны, и инженеры не в состоянии понять многих их функций.

Значительно позже рядом другой археолог находит большое собрание бумаг, написанных на давно исчезнувшем языке. Все несказанно рады, так как теперь удастся разгадать тайны самолетов. После расшифровки оказывается, что найдены бумаги не с планами по строительству сверхзвуковых транспортных самолетов, а лишь с перечнем частей, необходимых для создания орудий по сборке самолетов. Для начала неплохо, но придется приложить еще немало усилий, прежде чем удастся разобраться в проекте и понять все тонкости работы древнего сверхзвукового транспортного самолета.

Приведем слова Дж. Крейга Вентера: «Секвенирование — лишь только начало». Рассказывая о своей десятилетней работе в НИЗ по изучению белка на поверхности клеток сердца, чувствительного к адреналину и приводящего в действие реакцию «выживания», Вентер отметил: «То, что потребовало от меня десяти лет работы, теперь я могу сделать за 15 секунд на ЭВМ».

Протеомика: следующий рубеж

Для ответа на вопрос о молекулярной основе жизни сначала надо уяснить, что же мы ищем, а затем найти возможность осуществить этот поиск. Вот что сталкивает людей, взявшихся решать данную задачу: подробная последовательность нуклеотидных оснований в человеческом геноме определяет порядок сборки РНК аминокислот для получения заданной белковой молекулы. (Прежде исходили из простой зависимости между генами и белковыми молекулами: один ген, одна молекула. Но все оказалось значительно сложнее. Между заданной ДНК и конечными белками, определяющими работу клетки, случаются отклонения. Один ген может в итоге создать много различных белков.) Человеческий геном состоит примерно из 30 тыс. генов, что составляет лишь 2% общего числа пар нуклеотидных оснований. Остальные 98% генома часто неверно называют бросовыми из-за нашего неведения об их возможном предназначении. Полный состав человеческих белков, закодированных в геноме — *протеом,* — значительно превышает 100 тыс., возможно, приближается к миллиону. Белки — это ключ к устройству и работе клетки. Белки определяют классические биологические признаки.

Протеомика сосредоточена на уяснении того, как разветвленная сеть белков управляет клетками и тканями. Следующая нерешенная, требующая огромных усилий задача связана с картированием протеома.

План действий здесь таков:

1. Определение полного состава белков в клетке, ткани или организме.

2. Выяснение взаимодействия этих белков с другими, образующими разветвленную сеть белками.

3. Выявление точной трехмерной картины каждого белка, что позволит ученым находить связывающие участки (например, такие, где белки наиболее восприимчивы к действию лекарств).

На пути претворения данного плана в жизнь встречается много трудностей. Прежде всего, нет единого человеческого протеома. Клетки

мозга образуют одно множество белков, клетки ногтей — другое, клетки крови — третье и т. д. А собираемые белки сильно зависят от различных факторов, таких как болезнь, потребленные накануне продукты и умственное или даже душевное состояние. Каждое состояние организма порождает различный протеом. Кроме того, белки представляют собой крайне сложные образования. Они по-разному укладываются, не всегда предсказуемым образом (можете использовать мощь своего компьютера для расчета возможных укладок белков, обратившись на узел *folding.stanford.edu/ См:* Список идей, 8. Укладка белков).

Что касается опытов, большие установки автоматизировали процесс капиллярного электрофореза, обеспечивая быстрое секвенирование ДНК. При составлении карты протеома сегодня используют несколько различных методов, но ни одному из них не удалось потеснить секвенаторов ДНК. Продолжается разработка программного обеспечения. Возникающие трудности были подытожены в 2001 году на конференции по протеомике «Проект протеома человека»: «Гены стали доступнее».

Началась вторая половина гонки. В январе 2002 года две группы ученых сообщили о составлении карт по белковому взаимодействию для *Saccharomyces cerevisae,* пивных дрожжей. Кроме того, 5 апреля 2002 года пришло сообщение о получении предварительной карты генома риса от двух групп ученых — из Пекинского института геномики (для индийской разновидности риса) и всемирно известной сельскохозяйственной компании [из Швейцарии] *Syngenta* (для японской разновидности риса). Гены зерновых имеют значительное сходство.

Отдельные группы ученых, входящие в состав международного консорциума «Международный проект по дешифровке генома риса» (IRGSP), взялись за изучение риса. Рис содержит 430 млн пар нуклеотидных оснований, тогда как у кукурузы это число составляет 3 млрд., а у пшеницы — 16 млрд. И генов у всех них больше, чем у человека, и этим, возможно, объясняется наша зависть. Выяснение того, как различия в геноме ведут к различиям признаков организмов, и вызывает интерес ко второй половине этой гонки.

Нынешнее положение еще можно сравнить с видением сосуда, который мы рассчитываем заполнить, уяснив до конца, как взаимодействуют молекулы ДНК, РНК и белка. Он может представляться нам либо наполовину полным, либо наполовину пустым.

Последствия и бедствия

В отличие от других нерешенных проблем, протеом ближе к цели. Взять нас с вами. Человеческий геном поможет каждому из нас, ибо есть вещи, которые мы наверняка согласимся уяснить и поправить. Решение воспользоваться знанием выходит далеко за рамки чистой науки, которой движет любопытство. Однако человеку свойственно искать практические выгоды. Пришельцы, совершившие переворот в биологии, были движимы не одним только любопытством. Те, кто субсидировал частные лаборатории по дешифровке генома, сообразовывались не только с человеческим благом, но и с сулимой выгодой. Как только становится возможным влиять на условия человеческого существования, выступают иные соображения — нравственные.

Использование знаний о человеческом геноме несет и добро, и зло. Возможно, памятуя о Манхэттенском проекте, первый глава Национального центра по изучению генома человека Джеймс Уотсон 5% средств центра направлял на изучение нравственных, правовых и социальных последствий проекта. Он писал: «Нам более не надо живых укоров, вопросов и ответов, как наука, оказавшись в нечистоплотных руках, способна принести неисчислимые бедствия».

Вопросы применения генетических знаний на практике выходят за рамки нашей книги, но все же вкратце обрисуем несколько таких приложений в надежде прояснить состояние соответствующей отрасли знания, чтобы в итоге принимались взвешенные с нравственной точки зрения решения о претворении их в жизнь.

Биочип. Посредством метода фотолитографии, сходного с тем, что используется при производстве кристаллов (чипов) для ЭВМ, сотни тысяч биологически активных молекул — ДНК, РНК, белков — укладываются столбиками и рядами на стеклянный или кремниевый кристалл. Для проверки биологические молекулы метят флуоресцентным красителем, затем намывают на кристалл. Нанесенные на кристалл молекулы ДНК или белка, по словам изобретателя Стива Фодора, действуют «подобно тонким полоскам молекулярной "липучки"». Проверяемые молекулы комплиментарны к молекулам на кристалле и прилепятся к ним, после чего при лазерном сканировании предстанут в виде светящейся точки. Выходные данные сканирования затем выводятся на экран, обрабатываются ЭВМ и, наконец, используются для выявления мутаций, получения сведений о ходе болезни или лечения, для определения, какие гены взаимодействуют друг с другом при росте клетки, и изучения многих иных сторон генетики.

Сельскохозяйственное применение. Посредством рестрикционных ферментов можно изменять ДНК растений для получения нужных признаков: высокой урожайности, более питательной пищи для людей и животных, повышенного содержания витаминов и минералов, большей устойчивости к заболеваниям, гербицидам для облегчения борьбы с сорняками, роста устойчивости к насекомым-вредителям, способности связывать азот для уменьшения количества вносимых удобрений и повышения удойности коров на молочных фермах.

Генетический контроль у человека. Поскольку наследственные признаки у человека целиком зависят от генов, мы можем отбирать их для потомства и предсказывать вероятность генетических заболеваний у людей. Такая возможность сопряжена с далеко идущими этическими последствиями.

Изучение стволовых клеток. После оплодотворения яйцеклетки зародыш содержит всю генетическую информацию о дальнейшем развитии организма. Клетки, способные развиться в любую клетку организма, именуются зародышевыми стволовыми клетками. По мере роста организма клетки специализируются, утрачивая гибкость стволовых клеток. Стволовые клетки с заложенным в них потенциалом можно выращивать и использовать для таких крайне важных целей, как восстановление поврежденных сердечных мышц или тканей позвоночника. Однако методы выращивания подобных клеток сопряжены с этическими вопросами, до конца еще не решенными. Иной подход — дождаться более зрелого возраста и выращивать специализированные клетки взрослых, которые столь же полезны.

Клонирование. Поначалу клонирование заключалось в замене ядра яйцеклетки ядром другой клетки с последующим внедрением новой яйцеклетки в матку суррогатной матери, которая в итоге даст потомство, чьи генетические свойства будут одинаковыми со свойствами пересаженного ядра. После овладения данным методом успешные опыты были проведены на мышах, свиньях, коровах, а наибольшую известность получила ныне погибшая овца Долли.

Итак, *можно* ли клонировать человека? Исходя из современной биологической практики это вполне возможно, и некоторые, правда неподтвержденные, заявления уже последовали со стороны секты раэлитов[*].

[*] История религиозного движения раэлитов началась много лет назад, когда французский журналист Клод Ворильон взял себе псевдоним Раэль (13 декабря 1973 года ему явился маленький зеленый человек с другой планеты и сообщил, что Клод — дитя инопланетянина (к тому же родной брат Христа), и его настоящее имя — Раэль) и создал секту, члены которой верят, что людей методом клонирования создали инопланетяне. На пожертвования

Нужно ли это делать — другой вопрос, относящийся к нравственной и правовой сферам. Не менее важна возможность использования рестрикционных ферментов для вырезания и вклеивания человеческой ДНК в ДНК животных с последующим клонированием животных, превращая их в фабрики по производству лекарственных белков, редких гормонов или даже целых органов для пересадки людям при повреждении или заболевании их собственных органов.

Небольшая подборка использования геномики (а значит, и протеомики) дает представление о нравственной стороне геномики и протеомики (более подробно см.: Список идей, 9. Генетические технологии).

Решение головоломки: почему, как, кто и где, когда?

Почему. Протеомика дает возможность создавать новые, более действенные лекарства и диагностические средства. Однако число пар азотистых оснований, генов и белков, с которыми приходится иметь дело, ставит трудную задачу перед теми, кто исследует, создает и испытывает подобные средства.

Вы только взгляните на эти числа: 3 млрд. пар нуклеотидных оснований, 30 тыс. генов, сотни тысяч белков присутствуют в человеческом организме. Они усложняют и без того трудную задачу, требуя методов по обработке огромных объемов данных. Новая отрасль — биоинформатика вызвала большой наплыв ученых — специалистов по составлению алгоритмов — в качестве равноправных биологов, давая возможность обеспечить их орудиями сбора, упорядочивания и толкования биологически значимых данных. Хотя биоинформатика и может оказаться ключевой в решении общей задачи, не исключено, что объем задачи указывает на ее неразрешимость. Сложность взаимодействий белков делает всю биологическую систему объектом, где крайне малые изменения на входе, легко вызываемые великим множеством обычных в таком деле возмущающих факторов, неизбежно приводят к совершенно неожиданным последствиям (подобный вопрос встает в гл. 5 о предсказании погоды).

Некоторым образом данная проблема перекликается с проблемой в физике, где отдельные частицы образуют совокупности, поведение которых предсказывается на основе вероятностных методов. Данный подход,

---

членов секты в 1997 году была создана фирма *Clonaid,* которая объявила себя «первой в мире» коммерческой фирмой по клонированию человека. В 1999 году Ворильон передал ее своей духовной дочери, доктору химии Брижитт Буасселье.

именуемый статистической механикой, доказал свою действенность. В физике частицы одинаковы и по численности значительно превосходят биологические молекулы, так что законы больших чисел обеспечивают сходство. Биологические системы имеют дело с неодинаковыми единицами, и их число существенно меньше, например, количества атомов в содержащемся в комнате воздухе. Поэтому выгоды, получаемые от использования статистики, нельзя применить к решению этой задачи. Возможно, будет создан новый вид статистической математики. И биоинформатика, похоже, та область, где это может произойти.

Кто и где. Другая возможность состоит в том, что биологии поможет очередной наплыв ученых из других отраслей знаний, или же координаторы более обширных проектов вроде Ф. Коллинза, либо неуемные одиночки вроде Дж. Крей-га Вентера. Помимо *Celera* в список компаний, включившихся ныне в исследования по протеомике, входят *Cellzome* из Германии, *Hybrigenics* из Франции и *MDS Proteomics* из Канады.

Когда. По мнению профессора фармацевтической химии Олме Берлингейма из Калифорнийского университета в Сан-Франциско, «мы сейчас имеем возможность значительно быстрее определять состав белка в человеческом организме. Работа должна завершиться за пару лет».

Ученые при определении белков, входящих в те или иные клетки или ткани, обычно прибегают к двум основным способам: двухмерному гель-электрофорезу и масс-спектрометрии. Некоторые компании пытаются по возможности усовершенствовать и автоматизировать эти и другие методы.

Представляется, что после установления устройства человеческого генома и изучения всех его признаков данный узел удастся развязать, и останется лишь воспользоваться найденными закономерностями для выяснения подробностей. Но это не так. Новые сведения о геноме уже преподнесли немало неожиданностей. Поэтому не стоит удивляться очередным открытиям.

Глава пятая

Геология

Возможен ли точный долговременный прогноз погоды?

Прогноз погоды на ночь: темень.

Джордж Карлин

[выдающийся американский комик]

Все любят говорить о погоде, но никто не пытается ее изменить.

Марк Твен

Изучение планеты Земля как целого — прерогатива геологии (науки о Земле). Модель плитотектоники нашей планеты довольно хорошо описывает следствия взаимодействий ее самых верхних, четырех твердых и жидкой оболочек. Однако атмосфера Земли, особенно ее синоптическое состояние, похоже, перечеркивает все попытки создать модели, которые давали бы надежные долговременные прогнозы. Раз погода оказывается столь отличительной чертой нашей планеты, нахождение подходящей модели для предсказания погоды оказывается крупнейшей нерешенной задачей науки о Земле.

Погода на Земле

Преимущественно ясно, отчасти облачно, порой дожди, возможен снег, ожидается ухудшение погоды... Не удивляло ли вас, что синоптики заимствовали свой двусмысленный язык у тех, кто занимается составлением гороскопов? Что же говорить о *Календаре крестьянина*[*], предсказывающем погоду на год вперед, или об ушибленном колене вашей тетушки, которое начинает неизменно крутить с приближением ненастья?

Погода и ее прогноз всегда играли огромную роль в выживании людей. Самые древние ссылки на погоду обычно связаны с религией или фольклором.

Религия египтян с ее небесными божествами включала обряды по призыванию дождя еще за 3500 до н. э. Вавилоняне (3000-300 до н. э.) связывали небесные тела с погодными явлениями, полагая, что темное кольцо вокруг Луны означало приближение дождя. Древние греки накопили

[*] *Old Farmer's Almanach* — ежегодный американский журнал, содержащий прогноз погоды, план посевных работ, астрономические таблицы, астрологические сведения, рецепты, касающиеся жизни земледельца, занимательные истории. Впервые был издан в 1792 году Робертом Бейли Томасом, став «долгожителем» среди американских журналов.

наблюдения за погодой и создали теории, нашедшие воплощение в *Метеорологике* Аристотеля (340 до н. э.), где были собраны прежние представления, приведенные в согласие с господствовавшим тогда учением о четырех стихиях (земле, воде, огне и воздухе). После научного переворота 1600-х годов построения Аристотеля были наконец подвергнуты проверке, и утвердилось представление о всеобщем характере погоды и климата.

В Новое время изучение атмосферных условий стало неотъемлемой частью науки о Земле. Атмосфера представляет собой ее внешнюю оболочку. Остальные четыре оболочки — внутреннее и внешнее ядро, мантия и кора — суть медленно перемещающиеся твердые и жидкие тела. Из-за газообразности атмосферной оболочки она меняется быстрее всего.

Прогноз погоды на Земле

Иногда, частично, большей частью, или совершенно ясно, или облачно с меняющейся вероятностью дождя, снега, града, мокрого снега, смерча, урагана...

Температура: максимальная +58°C,

минимальная -84°C.

Давление: **1** атмосфера +/—10%.

Влажность: **от 0** до 100%.

Ветер: от нуля до 231 мили в час (возможно, выше при смерче).

Видимость: от нуля до полной.

Осадки: от нуля до 523 дюймов воды в год.

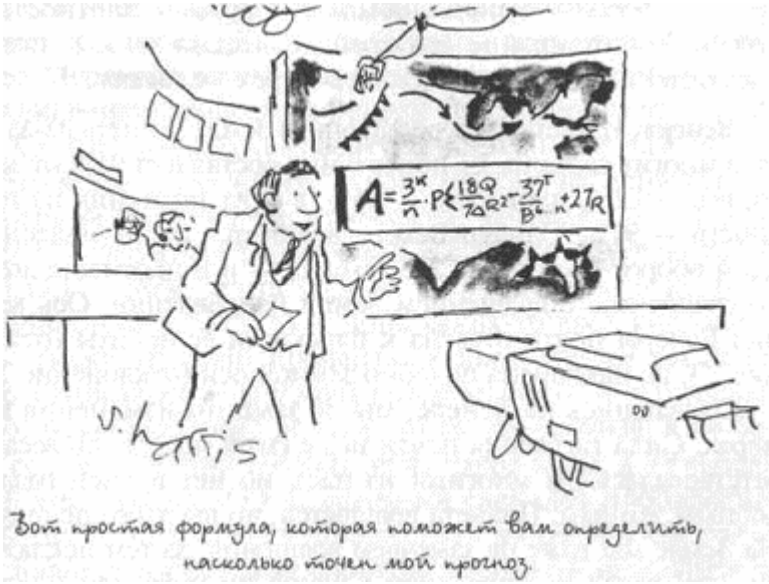
Вероятность грозы: переменная.

Конкретный прогноз зависит от места и времени года.

Пользуясь научным подходом, мы уже достаточно долго наблюдаем за атмосферой и собрали значительное количество данных. В гипотезах, стремящихся объяснить поведение атмосферы, используются зарекомендовавшие себя понятия механики жидкостей и газов, термодинамики, астрономии Солнца, химии и иных дисциплин. Тогда почему же прогнозы погоды, подобно рыбе и отношению к визитам родственников, портятся столь скоро? Иначе говоря, почему точный долгосрочный прогноз погоды все еще оказывается нерешенной задачей?

Ответ один: размеры и сложный характер атмосферы. Оказывается, при достижении системой определенного уровня сложности математическое предсказание начинает столь сильно зависеть от начальных условий, что малейшие изменения приводят к совершенно неожиданным конечным результатам. Сжатое изложение такой восприимчивости к начальным условиям именуют *теорией хаоса,* под которой часто ошибочно

подразумевают полный произвол. Прежде чем вдаваться в подробности данной проблемы и рассматривать пути ее решения, рассмотрим для сравнения погоду соседних планет, изучим становление земной атмосферы, выдвинем гипотезы прогноза погоды и проследим за истоками, развитием теории хаоса и выявим ее уместность. Наконец, займемся вопросом, возможно ли теоретически прогнозирование погоды с помощью современных математических методов.



Погода на наших соседних планетах: трава не вечно зеленеет

Атмосфера представляет собой газовую оболочку, окружающую твердую (и/или жидкую) поверхность планеты. Атмосфера газовых гигантов — Юпитера, Сатурна, Урана и Нептуна — наиболее отличительная их черта. Все твердые части этих планет погребены под толстым слоем газа. Другие небесные тела нашей Солнечной системы — Меркурий, Плутон и Луна — вовсе или почти не обладают атмосферой. На оставшихся трех планетах — Венере, Земле и Марсе — плотность газа колеблется от крайне высокой до весьма малой, подобно рассуждениям девочки в сказке о трех медведях.

Венера. Известна как родственная Земле планета из-за сходства многих свойств. Ее поперечник составляет 95% от земного, вес — 82%, плотность — 95%, а сила тяготения на поверхности — 91%. Однако Венера вращается очень медленно — один оборот составляет 243 земных — и в противоположном по сравнению с вращением Земли направлении. Ось

вращения Венеры почти отвесна к плоскости ее орбиты (отклонение 2°), не наклонена подобно земной оси (отклонение 23,5°).

Оказавшись на Венере, мы не заметим изменения в размерах. Сила тяготения почти та же (хотя потеря 9% веса приветствовалась бы многими из нас), но нет времен года, подобным земным. Планета вращается, но вы этого не ощутите. На Земле мы тоже не замечаем вращения, за тем исключением, что, следя за движением Солнца по небу или наблюдая за периодическим наступлением темноты (ночи), мы можем видеть заход и восход Луны и звезд. Из-за толстого слоя облаков такой возможности нам на Венере не представится.

Раз мы оказались на Венере, представим, что там нет атмосферы, и посмотрим, что будет. При отсутствии атмосферы температура на поверхности станет определяться взаимодействием солнечных лучей с составляющими поверхность Венеры породами. Согласно закону сохранения энергии планета выступает в роли бесприбыльной корпорации: доходы (поступающая на Венеру солнечная энергия) равны расходам (отдаваемая планетой вовне энергия). Поскольку Венера ближе к Солнцу, чем Земля, она получает больше солнечной энергии. Количество отдаваемой вовне энергии зависит от свойств ее поверхности.

Величина, характеризующая способность поверхности отражать падающий на нее поток излучения, именуется альбедо [и равна отношению отраженного потока к падающему]. Полностью отражающее энергию тело имеет альбедо, равное единице (например, зеркало), а совершенно не отражающее — нулевое альбедо (например, черный асфальт). В отсутствие атмосферы альбедо Венеры соответствовало бы альбедо Меркурия ввиду схожести их поверхностей. Температура лишенной атмосферы Венеры составляла бы примерно 38°C. Хотя по меркам температуры на планетах там может показаться довольно жарко, такого мы еще не встречали.

Теперь вернем Венере атмосферу, которая примерно в сто раз тяжелее атмосферы Земли и состоит из углекислого газа (CO_2) — 96%, азота (N_2) — 3%, небольшого количества сернистого газа (SO_2) и лишь каких-то крох кислорода (O_2) — тысячные доли процента. У поверхности давление просто удушающее — в 90 раз выше земного. А это только начало. Везде высотные облака, но светло-желтые, а не белые и серые. Ведь они состоят не из паров воды, а из капель серной кислоты (H_2SO_4). Солнечный свет едва пробивается сквозь них. Температура у поверхности возрастет, как только на планету вернется атмосфера, достигнув немыслимой величины 470°C.

Если вы ступите на Венеру и обратитесь за сводкой погоды к сети Интернет на Венере или к телевидению Венеры, то получите примерно

следующее.

Прогноз погоды на Венере

Сплошная облачность.

Температура:	максимальная +470°C, минимальная +470°C.
Давление:	в 90 раз выше земного (90 атмосфер).
Влажность:	нулевая.
Ветер:	менее 3 миль в час у поверхности, свыше 220 миль в час на уровне высотных облаков.
Видимость:	полная.
Осадки:	не достигают поверхности.
Вероятность грозы:	только в облаках.

Данный прогноз верен везде и всегда, поскольку высотные ветры повсеместно удерживают облака.

Теперь немного подробностей.

Максимальная и минимальная температуры на Венере совпадают ввиду плотности атмосферы и формы ее перемещения, что позволяет энергии равномерно распределяться по всей планете. Крайне высокое значение этой всюду одинаковой температуры, при которой плавятся многие твердые тела, даже металлы вроде свинца и цинка, вызвано ярко выраженным парниковым эффектом (см.: Список идей, 10. Парниковые газы). Углекислый газ в атмосфере отражает обратно исходящее от поверхности планеты инфракрасное излучение, что существенно нагревает поверхность, подобно стеклянному покрытию в парнике, которое сохраняет для находящихся внутри растений температуру, более высокую, чем снаружи. С 1961 года за 20 лет Советский Союз направил к Венере 16 космических кораблей «Венера». Опустившиеся на поверхность планеты аппараты работали очень недолго, а затем выходили из строя под действием высоких температур и давления.

Высокое давление вызвано большой массой атмосферы. На поверхности Венеры плотность углекислого газа значительно выше, чем плотность воздуха Земли. Путешествие по Венере было бы сродни продвижению сквозь толщу разжиженной воды при давлении, соответствующем земному давлению на морской глубине 900 м.

Из-за крайне малого количества воды влажность на Венере отсутствует. Согласно одной современной теории вначале на Венере было много воды, но высокая температура ввиду близости к Солнцу в сочетании с усиливающимся парниковым эффектом испарила воду в атмосферу. Там

солнечные фотоны разложили молекулы воды на водород и кислород. Более легкие молекулы водорода покинули планету, а химически активные молекулы кислорода образовали либо карбонаты (остающиеся до сих пор на поверхности Венеры), либо серную кислоту при взаимодействии с выделяемой при вулканических извержениях серой (более подробно о динамических процессах в атмосфере речь пойдет в следующей главе).

Ветры на поверхности Венеры движутся очень медленно, но в слое ее облаков ураганные ветры (скорость 220 миль в час) переносят капли серной кислоты вокруг планеты с востока на запад за пару земных суток. Механизм данного перемещения неизвестен.

Видимость у поверхности полная благодаря чистой атмосфере внизу. Выше все заволакивает дымкой, а облака почти непроницаемы. Пробивающийся сквозь сернокислотные облака солнечный свет приобретает оранжевый цвет, столь же блеклый, как в облачные дни на Земле.

Сернокислые капельки в облаках собираются в достаточно крупные капли, вызывающие дождь, так что влажность присутствует, но в виде паров серной кислоты, а не воды. Из-за высокой температуры кислотный дождь испаряется, так и не оросив поверхности планеты.

Из-за высотных ветров и трущихся друг о друга облаков наблюдаются частые грозы, но поскольку облака находятся на большой высоте — примерно 50 км, молнии проскакивают большей частью между облаками, а не между облаками и поверхностью планеты, как это происходит на Земле.

В прогноз погоды на Венере не входит время восхода и захода Солнца, что вызвано несколькими причинами. Во-первых, Солнца не видно с ее поверхности. Во-вторых, Венера вращается вокруг своей оси так медленно, что успевает обернуться вокруг светила, еще не сделав полного оборота вокруг своей оси, и, таким образом, восход и закат там не столь привычное дело, как на Земле. Далее, если бы Солнце было видимым, мы бы наблюдали, как оно восходит на западе и заходит на востоке ввиду обратного Земле вращения. Если вы думаете, что сможете услаждать себя видом здешней Луны или звезд, не обольщайтесь. Облака не пропустят идущего от звезд света, а что касается лунного света, то у Венеры нет спутников.

Готовясь к путешествию на Венеру, вам следует разогреть свою печь до требуемой температуры, а затем опуститься с ней на глубину 900 м для получения требуемого давления. Если эти условия окажутся сносными, постарайтесь к тому же долгое время не видеть Солнца.

В качестве туристической достопримечательности Венера мало привлекательна. И тем не менее Европейское управление космических исследований планирует полет к планете на *Venus Express* в 2005 году, а Япония — в 2007-м.

Марс. Погода другого нашего соседа, Марса, пришлась бы нам больше по душе. Вот как выглядела бы сводка погоды в сети Интернет на Марсе.

Прогноз погоды на Марсе

Преимущественно солнечно.

Температура: максимальная +27°C, минимальная —133°C.

Давление: менее 1% земного (0,01 атмосферы). **Влажность:** нулевая.

Ветер: постоянно превышает 100 миль в час.

Видимость: полная, за исключением пыльных бурь

Осадки: снег из углекислого газа близ обоих полюсов.

Вероятность пыльной бури: более высокая в Южном полушарии летом.

Данный прогноз зависит от места и времени.

Поперечник Марса составляет 53% от земного, масса — 11%, плотность — 66%, а сила тяготения на поверхности — 38%. Атмосфера Марса состоит из углекислого газа (CO_2) — 95%, азота (N_2) — 3% и аргона (Ar) — почти 2%. Атмосферное давление у поверхности составляет менее 1 % от земного, так что общая масса его атмосферы тоже менее 1% от массы земной атмосферы.

Для уяснения подробностей прибегнем к голливудскому трюку. Вообразите, что вы внезапно очутились на Марсе. Каковы могут быть ваши ощущения? Прежде всего вы столкнетесь с отсутствием кислорода. На Марсе потребуется носить скафандр. Но даже в громоздком скафандре на Марсе будет легче двигаться, чем на Венере или Земле. Атмосфера там столь разрежена, что не стеснит движений. Более того, из-за силы тяготения, составляющей 38% земного, вы окажетесь почти в 3 раза легче, чем на Земле. Вы сможете прыгать в 3 раза дальше, а посылаемые гольфистом Тайгером Вудсом* мячи вообще потеряются из виду [на Земле он

* *Вуддс Тайгер* (р. 1975; настоящее имя — Элдрик — профессиональный игрок в гольф, считается одним из лучших за всю историю игры. В 15 лет стал самым молодым победителем Национального чемпионата юниоров Ассоциации гольфа США. В 1994 году выступил за команду США на Всемирном любительском чемпионате в Версале (Франция). В 1994— 1996 годах три сезона подряд побеждал на чемпионате США среди любителей. В 1996 году перешел в категорию профессионалов и на март 2004 года одержал сорок побед на турнирах Ассоциации профессиональных игроков в гольф. В 2000—2001 годах первым в истории гольфа выиграл подряд все четыре турнира «Большого шлема» (всего на его счету восемь

умудряется отправлять мячи за 300 ярдов].

Затем надо будет что-то делать с температурой. Можно было бы ожидать, что наличие углекислого газа обеспечит на Марсе парниковый эффект, сходный с наблюдаемым на Венере. Он присутствует, однако из-за разреженности атмосферы почти не влияет на температуру. Если убрать с Марса атмосферу, как это мы делали с Венерой, средняя температура там составит —55°С. Возвращение атмосферы лишь слегка повысит температуру до значения —50°С. Но прежде чем ошибочно заключать, что Марс *всегда* был таким холодным (подобно тому как Венера *всегда* оставалась очень жаркой), не забудьте, что на Марсе для вас кое-что припасено.

Прежде всего продолжительность суток на Марсе почти та же, что и на Земле. Он вращается вокруг собственной оси примерно за 24,5 земных часа. Таким образом, восход и заход Солнца будут близки путешественнику с Земли. Далее, ось вращения у Марса наклонена к своей орбитальной плоскости под углом 25°. Если вы помните, у Венеры нет такого наклона, и это обстоятельство как раз содействует спокойному характеру тамошней погоды. Как и на Марсе, наклон земной оси в 23,5° приводит к смене времен года, поскольку одно полушарие, получая больше прямых солнечных лучей, сильнее нагревается.

При совершении Марсом половины пути вокруг Солнца солнечные лучи освещают его южное полушарие сильнее, чем северное. Тогда в южном полушарии царствует лето, а в северном — зима. Во вторую половину пути Марса вокруг светила положение меняется, и уже северное полушарие освещается больше, и там наступает лето. В эту картину Марс вносит свои собственные краски. Его орбита сильнее вытянута по сравнению с Землей или Венерой, занимая по этому показателю третье место среди планет Солнечной системы. Поэтому времена года неодинаковы для северного и южного полушарий Марса. В летнюю пору на юге Марс находится ближе к Солнцу, получая на 40% больше света, чем при наступлении на юге зимы. С учетом всего сказанного можно приступить к изучению погоды на Марсе.

Повсеместное перемещение атмосферы. Солнечный свет нагревает марсианский «воздух» близ экватора, где он поднимается и движется к полюсам и там, охлаждаясь, опускается. Это схоже с циркуляцией воздуха

побед). В 2003 и 2004 годах становится победителем неофициального чемпионата мира по матчевой игре.

на Земле. *Теплые и холодные «воздушные» массы.* Граница этих «воздушных» масс перемещается по Марсу подобно синоптическому фронту на Земле. *Более суровые погодные условия в одном полушарии по сравнению с другим.* Из-за эллиптической орбиты Мар са перепады температур в южном полушарии значительнее перепадов в северном полушарии. Южное лето жарче, температура поднимается до 27°С; зима же суровей, и температура опускается до отметки — 133°С. *Пыльные бури.* Когда ветры на поверхности достигают скорости 100 миль в час, что нередко случается летом в южном полушарии, они увлекают за собой частицы пыли (оксиды железа или ржавчину) на поверхности, неся их даже через все полушарие или, что бывает реже, через оба полушария. Наблюдались пыльные бури, покрывавшие собой всю планету. Подробности данного явления не уяснены до конца, но вычисли тельные программы по моделированию марсианской погоды свидетельствуют, что воздушная пыль охлаждает поверхность планеты. К представлению о ядерной зиме пришли, используя те же соображения в отношении Земли (подробности о вариантах этих вычислительных программ применительно к Земле см. в следующей главе). Взрыв большого числа водородных бомб приведет не только к огромным опустошениям, но поднятая при этом в атмосферу пыль так охладит Землю, что на ней установится крайне низкая температура, возможно, повсюду. В зависимости от того, как будет оседать ПЫЛЬ, ядерная зима может продлиться значительно дольше обыкновенной. *Ледяные облака.* В летнюю пору в северном полушарии вместо повсеместных пыльных бурь вокруг всей планеты протянутся пояса очень тонких ледяных облаков. Эти облака не поднимаются на такую высоту, как частицы пыльных бурь, и их поведение еще не до конца изучено.

Снег из сухого льда. На обоих полюсах зимой углекислый газ переходит из газообразного в твердое состояние. Углекислота в твердом состоянии называется сухим льдом. Продавцы мороженого на Земле используют сухой лед для охлаждения.

Снежные шапки на полюсах. Белое вещество, присутствующее на получаемых с телескопов и спутников снимках полюсов Марса, представляет собой лед из воды и углекислоты. Согласно оценкам, в случае таяния льда вода покрыла бы поверхность Марса слоем толщиной 9 м. По неизвестным причинам южная полярная шапка слегка смещена по отношению к геометрическому полюсу.

Циклоны. В апреле 1999 года космический телескоп Хаббла обнаружил штормовой циклон (рис. 5.1) в области северного полюса на Марсе. Шторм гнал ледяные облака, охватывая площадь, в четыре раза превышающую

штат Техас.

Цвет неба. Ясное небо над Марсом по цвету может походить на земную синеву, но там поверхностные ветры постоянно вздымают красную пыль, которая придает небесам желтовато-коричневый оттенок, именуемый некоторыми по сходству цвета с ирисками — ирисовым. Слюнки текут, не так ли? *Спутники.* Деймос и Фобос — спутники Марса. Названные в соответствии с греческими словами «ужас» и «страх», эти два спутника невелики и очень быстро движутся по своим орбитам. Из всех спутников Солнечной системы Фобос ближе всего расположен к своей планете. Он обращается вокруг Марса почти 3 раза в сутки. Из-за крохотных размеров с Марса он виден не отовсюду, но даже когда он виден, трудно за ним уследить.

Рис. 5.1. Циклон на Марсе, увиденный с космического телескопа Хаббла

♦ *Отсутствие океанов.* Вначале ученые считали, что погода на Марсе значительно проще земной, большей частью из-за отсутствия там водных океанов, которые существенно усложняют картину погоды на нашей планете. Недавние полеты к Марсу убеждают, что погода там значительно сложнее, чем мы думали, и ей присуща изменчивость, о которой мы даже не догадывались.

В 2003 году Европейское управление космических исследований отправит космический корабль Mars Express к Марсу, который прибудет туда 26 декабря 2003 года [попытка посадить корабль окончилась неудачей — он так и не вышел на связь]. НАСА планирует доставить туда два вездехода небольшого радиуса действия в 2004 году [что американцам с блеском удалось], орбитальный разведывательный аппарат в 2005 году,

вездеход большого радиуса действия в 2009-м, и возвращаемый корабль с пробами фунта в 2014 году. Мы многое почерпнем отсюда.

Если бы девочка из сказки «Три медведя» «отведала» погоду на Венере и Марсе прежде, чем на Земле, то, пожалуй, сказала бы: «Первая слишком горячая и густая, вторая слишком холодная и жидкая, а вот третья в самый раз». Так-то вот.

Воздух местного производства

Поскольку внутренние планеты — Меркурий, Венера, Земля и Марс — расположены близко к Солнцу (рис. 5.2), вполне разумно предположить, что и состоят они из одного сырья. Так и есть.

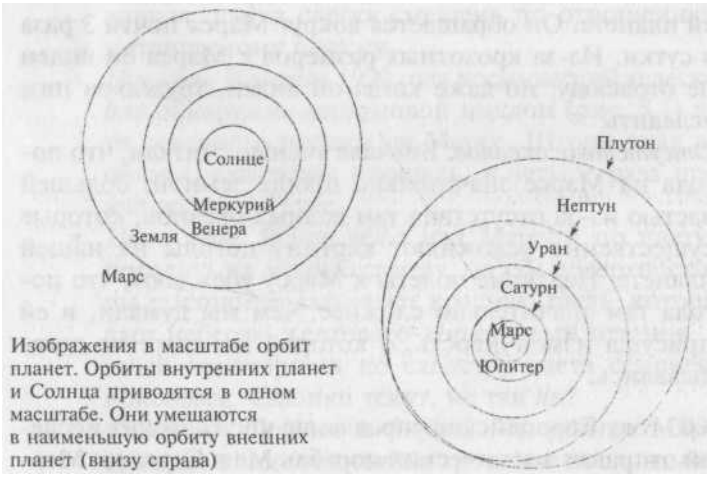


Рис. 5.2. Орбиты планет Солнечной системы

Как говорилось в гл. 3, в период падения планетезималей на раннем этапе зарождения Солнечной системы все внутренние планеты были заполнены камнями и водой. Почему же Венера и Марс растеряли воду, а Земля ее сохранила? Чтобы ответить на этот вопрос, надо рассмотреть процессы, в результате которых планеты получают газ для своей атмосферы и каким образом они могут растерять этот газ.

Получение атмосферного газа

После того как заработала солнечная ядерная топка, солнечный ветер (разреженная плазма большей частью из протонов и электронов,

движущаяся ныне со скоростью около 400 км/ч) выдул почти весь первичный водород с гелием, а внутренние планеты собрали их у себя. Вспомним о бедном Меркурии. Он так близок к Солнцу, что, утираясь при каждом чихании светила, Меркурий говорит: «Будьте здоровы». Единственные газы, которыми ему удалось обзавестись, исходили от Солнца. Свыше 4 млрд. лет назад у Венеры, Земли и Марса, похоже, не было атмосферы. По всей видимости, ее образование шло тремя путями: газовыделение, испарение (возгонка) и (или) бомбардировка [метеоритно-пылевыми частицами].

Газовыделение. В ходе явления, известного как аккреция, под действием тяготения происходило скопление планетезималей, приведшее к образованию планет. При аккреции более плотные вещества опускались к центру планет, образуя их ядро. Менее плотные скальные породы так глубоко не оседали. Они образовали мантию у планет. Химические реакции в мантии выделяли газы, которые оказывались запертыми внизу под тяжестью лежащего сверху вещества. Наконец, самые легкие вещества всплыли наверх, образовав кору. Процесс гравитационного разделения по плотности именуется дифференциацией (см.: Список идей, 11. Земля: история недр).

Ну и ну пустая трата геотермальной энергии.

По мере охлаждения коры заключенный под высоким давлением в мантии газ порой высвобождался, образуя вулканы. Вулканические извержения представляют собой знаменательное событие, ведущее к опустошению огромных площадей. Так, извержение горы Пинатубо на Филиппинах в июне 1991 года исторгло на поверхность 5 млрд. куб. м перла и шлаков, образовавших столбы шириной 18 км у основания и высотой 30 км.

Поверхность трех внутренних планет свидетельствует, что повседневной чертой начала их жизни была вулканическая деятельность, а основными продуктами газовыделения — пары воды (H_2O), двуокись углерода (CO_2), азот (N_2) и два серных газа: двуокись серы (SO_2) и сероводород, знакомый всем по запаху тухлых яиц.

Свыше 4 млрд. лет назад вулканические извержения выступали основными поставщиками газа для первоначальной атмосферы Земли.

Примерно в то же время древние вулканы Марса и Венеры «трудились» над созданием первичной атмосферы на этих планетах.

Испарение (возгонка). В зависимости от температуры и давления у поверхности планеты жидкости могут превращаться в газы (испарение) или твердые тела переходить в газообразное состояние (возгонка). Известным примером здесь может послужить испарение воды в лужах или возгонка твердой углекислоты (сухого льда) в газообразное состояние, что сопровождается клубами дыма (данное явление часто используют на театральных подмостках). Возгонка более существенна для Марса, чем для Земли, так как на этой планете температура ниже, тогда как испарение присуще тому или иному круговороту на Земле, что отличает нашу планету. На Венере испарение не позволяет сернокислотным дождям излиться на ее поверхность.

Бомбардировка. На раннем этапе формирования Солнечной системы солнечный ветер, планетезимали и осколки комет бомбардировали внутренние планеты. При ударах о поверхность образовывался газ. Если вклад такой бомбардировки в атмосферу Венеры, Земли и Марса оказался весьма незначительным, то для Меркурия и Луны она служила единственным поставщиком тех крох газа, которыми они располагают.

Потеря атмосферного газа

Планета теряет газ пятью различными путями: тепловая утечка, сжижение (конденсация), бомбардировка, образование кратеров и (или) химические реакции.

Тепловая утечка. Запускаемые с Земли космические корабли весьма зрелищно покидают родную планету. Газовые молекулы тоже покидают Землю, но не столь шумно. Все на планете удерживается силой ее тяготения, которое у поверхности определяется ее массой и поперечником.

На каждой планете для преодоления ее гравитационных пут тело должно разогнаться до определенной, так называемой второй космической, скорости.

Планета	**2-я космическая скорость, *км/с***
Марс	**5**
Венера	10,4
Земля	11,4

Атмосферные газы в зависимости от температуры и массы молекул

имеют различные скорости. При более высокой температуре молекулы движутся быстрее: легкие — быстрее тяжелых.

Как видно из таблицы на с. 160-161, Марс вследствие тепловой утечки быстро расстанется с легкими газами вроде водорода и гелия, но сможет удержать двуокись углерода. Венере и Земле проще удержать свои газы.

Сжижение. Испарение жидкостей и возгонка твердых тел происходит при высокой температуре, но возможен и обратный процесс: при низкой температуре атмосферные газы в состоянии сжижаться с образованием жидкого или даже твердого состояния.

Наиболее показателен в этом отношении Марс, где двуокись кислорода на полюсах зимой сжижается, образуя твердую углекислоту, то есть сухой лед.

Сжижение происходит даже на Луне. В 1998 году орбитальный аппарат *Lunar Prospector* обнаружил замерзшую воду в глубоких кратерах близ обоих лунных полюсов. Лед, видимо, попал туда с хвоста комет и сохранился в недоступных солнечным лучам местах. Миллиарды лет назад лед мог оказаться там, где лежит и ныне.

Бомбардировка в состоянии породить атмосферу на планете, у которой ее изначально не было. Но она может и забирать газ у уже имеющейся на планете атмосферы. Солнечный ветер в силах помочь утечке газов в верхних слоях атмосферы. Солнечные фотоны способны разлагать молекулы на более мелкие составляющие (в ходе так называемой диссоциации), которые затем из-за более легкой массы покидают планету.

Образование кратеров. Падающие на планету более крупные тела тоже способны придать молекулам газа достаточно энергии, чтобы те покинули планету. Особо уязвимы в данном случае более мелкие планеты с меньшей, второй космической скоростью.

Химические реакции. В зависимости от химической активности молекул реакции между газами и поверхностными скальными породами или жидкостями могут приводит к их связыванию.

Химические реакции на раннем этапе образования нашей планеты связали значительное количество углекислого газа в известняки, удалив тем самым много этого газа из ее атмосферы.

Получение или утрата атмосферного газа

Теперь приложим данные закономерности к внутренним планетам и посмотрим, как их первичная атмосфера приобрела нынешние очертания.

Начнем с Венеры и Марса, а Землю прибережем напоследок.

Венера

Процесс	**Деятельность**	**Примечание**
ПОЛУЧЕНИЕ ГАЗА		
Газовыделение	Приводит к образованию углекислого газа, воды, азота и сернистых соединений	На более крупной планете образовывалось больше газа
Испарение	Высокая температура приводит к переходу большей части воды на планете в парообразное состояние на раннем этапе становления ее атмосферы	*Положительная обратная связь:* пары воды, углекислый газ создают парниковый эффект, нагревают атмосферу, испаряется еще больше воды...
Бомбардировка	Второстепенное влияние	
УТРАТА ГАЗА		
Тепловая утечка	Атомы водорода высвобождаются из молекул воды под действием фотонов большой мощности; другие легкие газы покидают планету вследствие высокой температуры	
Сжижение	Небольшое воздействие	Поверхность планеты слишком горяча для сжижения газа
Бомбардировка	Солнечный ветер выдувает кислород из верхних слоев атмосферы	
Образование кратеров	Второстепенное влияние	
Химические реакции	Атомы кислорода, высвобожденные из молекул воды под действием фотонов большой мощности, связываются в химических реакциях со скальными породами на поверхности планеты	

Марс

Процесс	**Деятельность**	**Примечание**
ПОЛУЧЕНИЕ ГАЗА		
Газовыделение	Приводит к образованию углекислого газа, воды, азота и сернистых соединений; поначалу плотная атмосфера	Из-за меньших размеров образовывалось меньшее количество газов, и планета остывала быстрее
Испарение	Некоторое испарение воды, но не столь большое по сравнению с Венерой и Землей	На Марсе сначала было много воды в жидком состоянии
Бомбардировка	Второстепенное влияние	
УТРАТА ГАЗА		
Тепловая утечка	Атомы водорода высвобождаются из молекул воды под действием фотонов большой мощности; другие легкие газы покидают планету вследствие высокой температуры	
Сжижение	Вода, собираясь, сжижалась	По мере падения температуры вода превращалась в лед, а углекислый газ при сжижении образовывал сухой лед
Бомбардировка	Солнечный ветер выдувает кислород из верхних слоев атмосферы	
Образование кратеров	Второстепенное влияние	
Химические реакции	Атомы кислорода, высвобожденные из молекул воды под действием фотонов большой мощности, связываются в химических реакциях со скальными породами на поверхности планеты: красно-коричневая окись железа (ржавчина) придает Марсу красноватый оттенок, откуда название Красная планета; углекислый газ оказался заключенным в известняках	

Основное различие между нашими соседними планетами и Землей определяется наличием воды. Вода на Венере испарилась вследствие высокой температуры. Испарение способствовало развитию парникового эффекта, после чего вода терялась из-за разложения ее молекул под действием солнечных фотонов на водород и кислород. Марсианская вода некоторое время была разлита по поверхности этой планеты. Однако ввиду слабовыраженного парникового эффекта она не испарялась, а сжижалась. По мере падения температуры вода превращалась в лед, который все еще присутствует на полюсах, большей частью скрытый под поверхностью.

Обратимся теперь к Земле, Нам известно, что стало здесь с водой: она присутствует доныне в трех состояниях: газообразном, жидком и твердом. Вода не только делает Землю отличной от наших соседних планет, она придает изменчивость здешней погоде, которую мы не в состоянии предсказать.

Земля в сопоставлении с Марсом и Венерой

Для уяснения погодных условий на Земле сравним ее с Венерой и Марсом.

Свойство	**Земля**	**Венера**	**Марс**
Поперечник, %	100	95	53
Масса, %	100	82	**11**
Плотность, %	100	95	66
Сила тяготения на поверхности, %	100	91	38
Время обращения вокруг собственной оси	24 ч	243 сут	24,5 ч
Наклон оси	23,5°	2°	25°
Альбедо	0,36	0,72	0,25
Температура:			
без атмосферы	**-23^0C**	+38°C	-55°C
с атмосферой	+ 15°C	+470°C	-50°C
Состав атмосферы, %	77 (азота), 21 (кислорода)	96 (углекислого газа), 3(азота)	96 (углекислого газа), 3(азота)

Поскольку все три планеты поначалу имели одинаковую атмосферу, образовавшуюся в результате вулканического выделения большей части углекислого газа и паров воды, необходимо ответить на ряд вопросов.

Почему Земле удалось сохранить свою воду, тогда как Венера и Марс ее лишились? Мы уже знаем, из-за чего Венера с Марсом теряли

воду: Венера была слишком горячей; Марс же оказался чересчур холодным. На Земле вода участвует в ряде круговоротов, из которых более всего бросается в глаза известный всем влагооборот, когда вода испаряется из океана, ветрами выносится на сушу, выпадает в виде снега или дождя (отчасти в океан), вновь стекает в океан, и все начинается сначала. Данный круговорот воды вызывается не только умеренной температурой, но и перемещениями (циркуляцией) в атмосфере, которым в свою очередь способствуют наклон земной оси и вращение самой планеты вокруг нее.

Что произошло с углекислым газом на Земле? Углекислый газ Земля не растеряла; он лишь оказался сокрытым под действием находящейся в жидком состоянии воды. Углекислый газ из воздуха растворяется в океанической толще. Там при взаимодействии с силикатами он образует известняки, которые оседают на морское дно. Вот куда девается углекислый газ. Но здесь он не задерживается, ведь перед нами лишь этап одного из круговоротов. Плиты земной коры перемещаются под влиянием течений в мантии, на которой они покоятся. Карбонаты увлекаются внутрь мантии, где нагреваются. Углекислый газ выходит в атмосферу в ходе вулканических извержений. Оказавшись там, он снова растворяется в океанической толще и... Кстати, как силикаты попадают в океан? Они выветриваются с поверхности под действием дождей. Этот процесс именуют *карбонатно-силикатным круговоротом.* Поскольку данный круговорот вещества требует воды в жидком состоянии, он может происходить лишь на Земле.

Откуда Земля получила свой кислород? Изобилие кислорода в земной атмосфере вызвано одним источником: жизнью. Однако подоплека значительно сложнее. С возникновением живых организмов не замедлила появиться форма жизни, черпавшая энергию от Солнца для сборки сложных углеводородов из присутствующих молекул воды и углекислого газа. Такого рода фотосинтез, похоже, начался на заре жизни, а его побочным продуктом стал кислород.

Кислород химически очень активен, так что примерно 2 млрд. лет после начала фотосинтеза получавшийся кислород просто взаимодействовал с поверхностными породами. Лишь после полного их окисления кислород стал накапливаться в атмосфере, что повлекло за собой два последствия. Во-первых, поднявшийся к верхним слоям атмосферы кислород разлагался под действием солнечных фотонов. Получавшиеся в итоге атомы кислорода привели к образованию новой и неустойчивой молекулы, именуемой озоном (O_3). Озон так и представлял бы собой химический курьез, если бы не его способность поглощать ультрафиолетовое излучение. После накопления в верхних слоях атмосферы достаточного количества озон начал служить

укрытием Земли от смертельного для жизни ультрафиолета. Стало возможным утверждение на суше жизни и кислородного дыхания, а это сочетание привело к появлению новых форм жизни, например нас с вами.

Воздействие жизни на атмосферу началось давно и продолжается по сию пору. Сегодня приходится решать вопрос с выбросом нашей цивилизацией в атмосферу углекислого газа, что может привести к парниковому эффекту (см.: Список идей, 10. Парниковые газы).

Земная атмосфера — то сырье, из которого синоптики готовят свои отчаянные прогнозы. Она совершенно непохожа на атмосферу наших соседних планет, и присущие ей особенности делают прогнозирование трудным и кропотливым занятием. Предсказание погоды оказывается значительно запутанней, чем кажется на первый взгляд.

Погода и климат: гипотезы (весьма добротные), прогнозы (не столь добротные)

Получив для наблюдения столь замечательное собрание атмосферных газов на Земле, наука готовилась создать предполагаемую модель долгосрочного (климат) и краткосрочного (погода) поведения атмосферы. Благодаря усилиям Исаака Ньютона в 1660-е годы удалось описать движение тел в виде ряда общих и действенных уравнений. И в последующие два века, XVIII и XIX, наука распространила представления Ньютона на случаи больших, малых тел, жидкостей и газов.

Одним из достоинств ньютоновых законов стало то, что, зная заданные для определенного времени условия, можно вычислить последующее движение. С философской точки зрения это детерминизм. Мощь данного метода огромна. Возможен точный расчет положения планет, предсказание приливов и отливов на много лет вперед и построение траектории полета снарядов. К тому же подобные предсказания можно обратить вспять, что позволяет изучать не только будущее, но и прошлое.

Одно из следствий детерминизма состоит в том, что будущее поведение системы легко предугадать, определяя состояние системы в какой-то предшествующий момент. Это предыдущее состояние именуют начальными условиями. На рис. 5.3 подобный процесс представлен в упрощенном виде; с помощью графика можно описывать дальность полета снаряда в зависимости от угла возвышения. При изменении угла в пределах нескольких градусов дальность колеблется в весьма существенных границах. Для получения большей точности попадания разброс угла возвышения необходимо уменьшить.

По существу, результаты с требуемой точностью получаются заданием начальных условий с соответствующей точностью. Неявно в измерениях по проверке прогноза присутствует допущение, что увеличение точности измерений улучшит точность предсказанных результатов.

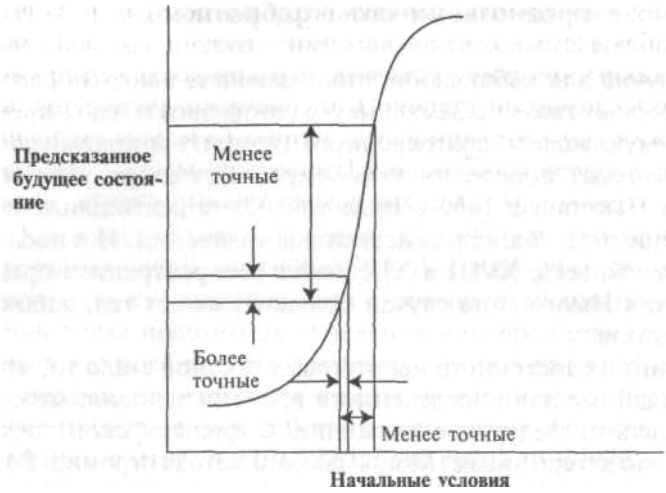


Рис. 5,3. Точность предсказания будущего состояния зависит от точности знания начальных условий

И хотя на протяжении долгого времени такое допущение считалось незыблемым, на исходе XIX века вера в него была поколеблена при весьма странном стечении обстоятельств.

В 1887 году шведский король Оскар II [(1829-1907), король Швеции в 1872—1907 годах и Норвегии в 1872—1905 годах] в ознаменование своего 60-летия пообещал денежную премию тому, кто математически докажет устойчивость орбит планет Солнечной системы. Победитель, Жюль-Анри Пуанкаре, не решил полностью поставленной задачи, но проделанной работы хватило для получения премии. В 1889 году он опубликовал статью «О задаче трех тел и об уравнениях динамики» *(Acta Mathematica.* 1890. № 13)[*]. Пуанкаре столкнулся с необычным положением, когда «небольшие расхождения в начальных условиях ведут к огромным различиям у наблюдаемых в итоге явлений».

Будучи выдающимся математиком, он сумел показать, что при

[*] Шведский математик Ларе Эдвард Фрагмен обнаружил в готовящейся к печати статье ошибку, и на издание отложенной на год исправленной статьи Пуанкаре пришлось выложить 3585 крон, зато ошибка помогла математику обнаружить аттрактор (гомоклинические точки), что заложило фундамент теории хаоса (катастроф).

достижении системой определенной степени сложности получение точных результатов потребует предельно точных начальных условий. Некоторое время соображения Пуанкаре казались математическим курьезом. Но, как мы вскоре увидим, спустя 70 лет они дадут знать о себе.

Пока же вернемся к прогнозу погоды. Любопытное событие произошло во время Первой мировой войны. Льюис Фрай Ричардсон работал в различных научных учреждениях, включая Метеорологическую службу Британии. С началом войны он смог найти себе применение, не поступаясь своими пацифистскими убеждениями: водил санитарную машину во Франции. В часы досуга он строил математическую модель предсказания погоды, основанную на разделении земной поверхности на ячейки, получении данных о погоде в каждой из них и последующем прогнозе погоды посредством математического приема, известного как исчисление конечных разностей. Его модель так и не заработала, но он представил в 1922 году используемый им математический прием в ставшей знаменитой книге «Предсказание погоды с помощью численного процесса». Ричардсон отнес неудачу модели на счет недостаточного количества данных и трудностей ведения громоздких вычислений вручную[*].

Вскоре обычные вычисления препоручили ЭВМ. К 1953 году обосновавшийся в Принстоне венгерский математик Джон фон Нейман успел испробовать первую цифровую вычислительную машину ЭНИАК (ENIAC — Electronic Numerical Integrator and Computer) Принстонского университета на многих задачах, включая уравнения Ричардсона. Хотя машинные расчеты и позволяли делать сравнительно неплохой прогноз погоды, работы оставалось еще непочатый край.

ЭВМ оказалась весьма полезным орудием. В 1960 году Эдуард Лоренц сумел «выбить» для себя новую ЭВМ [Royal McBee]. Он изучал математику в Гарварде, а теперь преподавал метеорологию в Массачусетском технологическом институте. Для проверки машины Лоренц составил программу для 12 нелинейных уравнений, описывающих поток жидкости

[*] Численный прогноз погоды всего на 6 часов, сделанный Ричардсоном, оказался не просто плох — было предсказано появление фантастической бури, а реальная погода оказалась вполне нормальной. Причину ошибки отыскали через несколько лет. А Ричардсон честно, не испугавшись насмешек, опубликовал и результат, и алгоритм расчета. Оказывается, шаг по времени may не должен быть произвольно большим, он ограничивается отношением длины шага по пространству к максимальной скорости. Более полные модели (например, система, которую использовал Ричардсон) описывают процессы с различными скоростями; в частности, нужно учесть и скорость звука. Ограничение на may (условие Куранта—Фридрихса—Леви) было получено спустя пять лет после пуб ликации книги Ричардсона. В разностной схеме Ричардсона условие КФЛ нарушалось, и она была неустойчивой.

применительно к погоде. Эти уравнения включали воздействие давления, скорости ветра, температуры воздуха и влажности. По современным меркам ЭВМ Лоренца была весьма примитивной, но результаты выдавала вполне разумные.

Один прогон оказался столь любопытным, что Лоренц решил расширить его. Из-за медлительности тогдашних ЭВМ он начал прогон программы с середины, введя случайно взятое число 0,506 из распечатки. Затем Лоренц отправился пить кофе, а машина продолжала «перемалывать» содержимое. Вернувшись, он был поражен увиденным: часть нового прогона, перекрывающаяся со старым, содержала отличные от прежних результаты. Причем отличие было разительным. После кропотливой проверки Лоренц выяснил, что ЭВМ использовала числа с шестью знаками после запятой, но выдавала их округленными до трех знаков. Поэтому числу 0,506 на распечатке соответствовало машинное число 0,506127.

Но каким образом столь малая разница на входе могла привести к такому разительному расхождению на выходе? Эдуард Лоренц заново открыл явление, о котором говорил Пуанкаре. В своей статье 1963 года «Детерминированное непериодическое течение» [в кн.: Странные аттракторы. М., 1981] Лоренц указывает, насколько конечный результат чувствителен к начальным условиям.

На рис. 5.4 представлена кривая трехмерной функции, порождаемой нелинейными уравнениями данного рода. Хотя ее значения так и не сходятся к одной точке, они колеблются вокруг двух точек, словно притягивают к себе функцию, отсюда и название «странный притягиватель (аттрактор)».

Чтобы заострить внимание на том, как малые различия ведут к большим последствиям, а возможно, руководствуясь наглядным образом странного аттрактора, свое выступление [в декабре 1972 года перед Американским обществом содействия науке] Лоренц озаглавил так: «Вызовет ли взмах крыла бабочки в Бразилии смерч в Техасе?» Выражение «эффект бабочки» вскоре стало общепринятым. Системы уравнений с подобным поведением уже создавались и изучались независимо от возможности применять их к физическим системам.

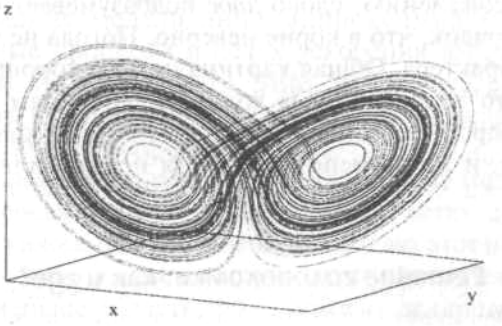


Рис. 5.4. Странный аттрактор

ХАОС: КУХНЯ

В итоге возникла совершенно новая отрасль математики с, пожалуй, вводящим в заблуждение названием «теория хаоса», придуманным математиком Джеймсом Йорком из Мэрилендского университета (см.: Список идей, 12. Теория хаоса). К сожалению, слово *хаос* подразумевает совершенный беспорядок, что в корне неверно. Погода не носит случайного характера. Общая картина погоды хорошо всем известна: лето теплое, а зима холодная. Чего нам недостает, так это подробностей: насколько теплой или холодной будет погода, и ждать непогоду спустя неделю или же ровно через час.

Решение головоломки: как и где?

Есть несколько мнений о путях достижения более точного, долгосрочного прогноза погоды.

КАК И ГДЕ Улучшение методов

♦ *Совершенствование наблюдений за погодой.* Требуется больше данных и лучшего качества. Есть места на Земле, откуда поступает крайне мало данных, прежде всего это горные районы и океанические поверхности. Два больших сезонных течения поверхностных океанических вод, Эль-Ниньо и Ла-Нинья, вызывают обширные синоптические явления, существенно воздействующие на погоду в мире, особенно сказываясь на сельском хозяйстве. Точный долговременный прогноз помог бы крестьянам сохранить сотни миллионов долларов. В рамках проектов наподобие ARGO, составной части Системы наблюдения за климатом Земли, на океанических просторах размещаются 3 тыс. дрейфующих станций для слежения за погодными и водными условиями.

♦ *Повышение качества моделирования.* Современное ма тематическое моделирование значительно совершен ней методов Эдуарда Лоренца, но многое еще пред стоит сделать. Некоторые физические процессы, управляющие погодой, весьма сложны. Нужно учитывать рельеф местности и свойства почвы, брать в расчет динамическое поведение океана и облачного покрова. Нынешние модели лишь аппроксимируют крайне сложные процессы в целях ускорения вычислений с учетом объемов памяти ЭВМ. К тому же различные службы придерживаются собственных моделей со своими аппроксимациями.

♦ *Уменьшение шага сетки у модели.* Первые модели прогнозирования погоды использовали сетку с шагом в сотни километров. В нынешних моделях этот шаг уменьшен до десятков километров, а ближайшая цель — 5 км. Чем меньше область, тем точнее моделирование, однако для получения такой точности нужны суперЭВМ (вспомним потребность биологии в больших вычислительных мощностях, получившую название биоинформатики). В построении суперЭВМ наметилось два подхода: массовая параллельная обработка и векторные вычисления. Процессоры с массовым параллелизмом соединяют большое число универсальных процессоров, каждый из которых осуществляет часть сложного вычисления, а отдельные результаты суммируются. Векторная обработка использует специализированные микропроцессоры, предназначенные для решения сугубо определенной задачи. В свое время американский разработчик ЭВМ Сеймор Крей собирал необыкновенно быстрые суперЭВМ на основе

векторного вычисления. Хотя его подход перестал пользоваться спросом на родине, к нему решила прибегнуть японская компания *NEC*. Вместо перехода на сетку с меньшим шагом для всего земного шара было решено, что качество прогноза у глобальных моделей можно улучшить при сетках с переменным шагом в особо важных областях.

Сборный прогноз. Сборный прогноз — метод, учитывающий чувствительность моделей к малым изменениям в начальных условиях. Данный подход связан с неоднократным прогоном модели, использованием различных начальных условий, чтобы посмотреть, как меняются выходные данные. Если, например, дождь выпадает в четырех испытаниях из десяти, можно прогнозировать 40% вероятности дождя. Обычно модели запускают более 10 раз — часто это 17 прогонов, но порой может быть и 46. Одна из разновидностей данного подхода связана со сравнением результатов различных моделей с последующим прогнозированием на основе средневзвешенного значения. Опытные метеорологи используют ЭВМ, когда сверяют результаты, и порой отклоняют выданный ею прогноз исходя из собственного опыта.

Признание невозможности подробного долгосрочного прогноза и изучение лишь общих тенденций

Как пишет популяризатор науки Джеймс Глейк в книге *ХАОС: создание новой науки* (1987) [СПб., 2001]:

Предположим, что Земля покрыта датчиками на удалении одного фута друг от друга, а по высоте — идущими на расстоянии одного фута вплоть до верхних слоев атмосферы. Предположим, что каждый датчик снимает совершенно точные показания температуры, давления, влажности и любой иной величины по желанию метеоролога. Ровно в полдень обладающая неограниченной мощностью ЭВМ получает все эти данные и вычисляет, что произойдет в каждой точке в 12.01, потом в 12.02 и т. д. И тем не менее ЭВМ не в состоянии предсказать, будет ли в Принстоне, штат Нью-Джерси, солнечно или пасмурно через месяц.

Устоявшаяся сеть прогнозирования погоды не приемлет невозможности прогнозирования. Пока не удастся делать более точные прогнозы на срок более двух недель, приходится мириться с возможностью исходной непредсказуемости погоды. В некотором отношении здесь улавливается сходство с другой задачей науки о Земле: прогнозированием землетрясений (см.: Список идей, 13. Предсказание землетрясений).

Выработка совершенно нового подхода

При всех любопытных свойствах, проявляемых теорией хаоса и *теорией катастроф,* занятой изучением скачкообразных перестроек систем как чистой математики, для извлечения научных выгод требуется их более тесное соотнесение с физической реальностью. Свежий подход на основе простых правил программирования [так называемой системы компьютерной алгебры] предложил в 2002 году Стивен Вольфрам. Его идеи могут помочь в прогнозе погоды и иных областях науки, однако потребуется еще много усилий для соотнесения его отвлеченных математических методов моделирования с реальным миром.

Сегодня проект под названием *climateprediction.com* позволяет запускать модели поведения атмосферы на домашних компьютерах в фоновом режиме в качестве экранных заставок. Эта программа по массивным параллельным вычислениям схожа с обсуждаемыми соответственно в 4-м и 8-м «Списке идей» проектами SETIathome и Folding@Home. Сложные модели поведения атмосферы запускают с использованием различных начальных условий для прогнозирования погоды и климата в далеком 2050 году. Прогнозы затем сравнят с действительными погодными условиями 2050 года, что, возможно, прольет свет на подходы к моделированию. Десятки тысяч людей уже согласились предоставить свои компьютеры за символическое вознаграждение.

Цель данного проекта запечатлена в следующем выражении, передающем дух прогнозирования погоды:

Помогает объяснить прошлое, которое затем
Помогает понять настоящее, а значит,
Предсказать будущее, что позволяет
Больше влиять на грядущие события и
Лучше обезопаситься от неожиданностей.

Чарльз Хэнди[*]

[*] *Хэнди Чарльз* (р. 1932) — английский специалист по менеджменту, автор книг: Время безрассудства: Искусство управления в организации будущего (СПб., 2001), По ту сторону уверенности. О новом мире внутри и вокруг организаций (СПб., 2002). Само выражение приводится в кн.: *Бодди Д., Пэйтон Р.* Основы менеджмента. СПб., 2000.

Глава шестая

Астрономия

Почему Вселенная расширяется со все большей скоростью?

> Разведка — вот что вам предстоит! Не нанесение на карту звезд и изучение туманностей, а вычерчивание неведомых возможностей бытия.
>
> *Слова Кью, обращенные к капитану Пикару* («Звездный путь: Следующее поколение» [*])

Астрономия или, точнее, космология изучает возникновение, развитие и макроскопическое строение и поведение Вселенной. До недавнего времени крупнейшей нерешенной задачей астрономии (космологии) было выяснение вопроса, будет ли Вселенная расширяться всегда или же в конце концов она сожмется.

Обнаружение ускоряющегося расширения Вселенной, что указывает на его необратимость, возможно, закрыло данный вопрос, но породило следующий. Причина такого все ускоряющегося расширения, порой именуемая темной энергией, похоже, противоречит современным представлениям о силах, определяющих поведение Вселенной. Объяснение феномена темной энергии и ныне остается крупнейшей нерешенной проблемой астрономии.

Содержимое Вселенной

«Что там?» — привычный вопрос людей, вглядывающихся в небо.

Попытки астрономии ответить на него в отношении всей Вселенной то дразнят нас своими поразительными ответами, то обескураживают столь же

---

[*] *Star Trek («Звездный путь»)* — научно-фантастический телесериал 1965—1969 годов, ставший особенно популярным во время повторного показа в 1970-е годы. В 1979 году вышел фильм «Звездный путь» («Star Trek: The Movie»), а затем и второй телесериал («Звездный путь: Следующее поколение (Next Generation)», 1987—1994). Автором и создателем мира «Звездного пути» является писатель, сценарист, продюсер, режиссер Джин (полное имя Юджин Уэсли) Родденберри (1921—1991). Этот сериал положил начало суперпопулярной фантастической эпопее. Уже снято четыре телевизионных сериала, всего более 500 серий (скоро начнутся съемки пятого сериала), девять художественных фильмов (десятый появился на экранах в 2001 году), написано более 300 крупных повестей и романов и бесчисленное количество рассказов.

поразительными вопросами.

Содержимое всей Вселенной можно выразить в понятиях ее массы/энергии (масса и энергия оказываются взаимозаменяемыми величинами согласно знаменитому уравнению Эйнштейна: энергия = масса х квадрат скорости света, или $E = mc^2$). В нижеследующей таблице представлены самые последние оценки содержимого Вселенной в величинах массы и энергии, сопровождаемые краткими пояснениями.

Составная часть Вселенной	**% от массы/энергии Вселенной**	**Примечания**
Темная энергия	73	Вызывает ускоряющееся расширение Вселенной. При всей ее скрытности и при всем неведении о ее природе наблюдается огромное воздействие со стороны темной энергии
Темная материя	23	Хотя ее саму не удалось еще наблюдать, она ответственна за быстрое вращение галактик и галактических скоплений
Обыкновенная материя	4	Наблюдаемые яркие звезды, галактики и галактические скопления

Нейтрино	менее **1**	Установлена верхняя граница их совокупной массы, а действительное значение пока не определено

Напрашивается поразительный вывод: *при всей неуловимости темная энергия и темная материя составляют 96% Вселенной и определяют ее поведение.*

Поэтому вполне справедливо задаться вопросом: как астрономия пришла к такому пониманию Вселенной? Подобно хорошему детективному сюжету наше понимание приходило мучительно, шаг за шагом. Ныне это обычно происходит так: усовершенствованная или новая часть экспериментальной оснастки позволяет увидеть нечто новое. Затем теоретики стараются объяснить новые данные посредством существующих теорий или же выдвигают иные гипотезы. Потом делаются предсказания и проводятся новые опыты для уяснения того, как действительность согласуется с предсказанием (можно вообразить, с каким ликованием экспериментаторы доставляют теоретикам щекотливые факты).

В данной главе мы покажем, как приходило к астрономии ее нынешнее понимание Вселенной. Особое внимание будет обращено на скопления звезд, именуемые галактиками, и способы измерения расстояний до звезд и галактик и их скоростей. В заключение мы исследуем путь к возможному решению задач, связанных с преобладающими во Вселенной темной энергией и темной материей.

Измерение межзвездных расстояний

Вселенная полна невообразимого числа объектов (которых, выражаясь памятными многим словами астронома Карла Сагана, миллиарды и миллиарды). Начнем же, казалось бы, с простого вопроса об одном из этих объектов, звезде. Насколько отстоит от нас та или иная звезда? При взгляде на звезды у себя над головой привычное чувство расстояния нас подводит. Все звезды кажутся одинаково удаленными. Планеты и звезды столь далеки, что представляются расположенными на одном расстоянии. Вот почему небо выглядит как купол.

Поскольку оба наших глаза смотрят на предмет с различных положений, у каждого глаза своя собственная видимость. Данное явление именуется параллаксом, и землемеры (геодезисты) пользуются им для точного определения расстояния. Из-за малой удаленности глаз друг от

друга с их помощью нельзя точно оценить большие расстояния.

Тогда тем более удивительно, что самый простой астрономический способ определения расстояния основан на параллаксе. Вот как он действует. Если одну и ту же звезду наблюдать в начале и в конце шестимесячного промежутка времени, она видна по двум различным зрительным осям (подобно тому как наши глаза видят удаленный предмет с двух точек) (рис. 6.1).

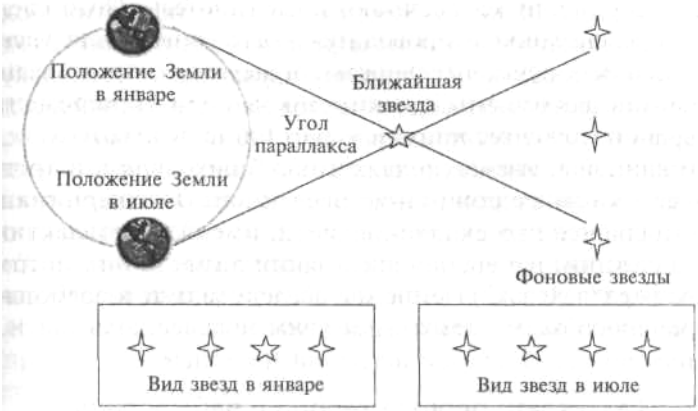


Рис. 6.1. Измерение расстояния на основе параллакса

Измеряя угол между этими зрительными осями (угол параллакса) и зная, что основание треугольника равно поперечнику орбиты обращения Земли вокруг Солнца, можно вычислить расстояние до звезды в соответствии с тригонометрическими соотношениями. Этот расчет впервые сделал немецкий астроном Фридрих Бессель в 1838 году при измерении расстояния до звезды 61 Лебедя.

Данный способ измерения расстояния служит основой при определении чаще всего используемой в астрономии единицы — *парсека (пк)*. Звезда, угол параллакса которой после шестимесячного промежутка времени составляет 1 с (60 с в 1 мин, 60 мин в Г, 360° во всей окружности), считается удаленной на один парсек. Наша ближайшая звезда Альфа Центавра (в действительности система из трех звезд) находится на расстоянии чуть больше одного парсека. Если отправиться к Альфе Центавра со скоростью звука, путешествие займет свыше миллиона лет. Даже свету с его сумасшедшей скоростью потребуется на это более четырех лет.

В пределах 10 пк от Земли находится немногим более 300 звезд, так что мы можем определить расстояние до этих ближайших соседей посредством параллакса. Поскольку с удалением звезд уменьшается и угол параллакса,

предел для измерений наступает примерно при 100 пк, когда возможно получение приемлемых результатов. Таким образом, звезды и галактики на расстоянии тысячи парсек *(килопарсек, кпк)* или миллионов парсек *(мегапарсек, Мпк)* оказываются слишком далекими, чтобы измерить расстояние до них посредством параллакса. Для решения данной задачи разработаны другие способы, которые мы изучим позднее.

Галактики: первые теории и наблюдения

Теперь посмотрим, как астрономия пришла к пониманию галактик. Слово *галактика* греческое и означает «млечный путь». Шведский философ Эмануэль Сведенборг пришел к заключению, что все звезды образуют большое сообщество, где Солнечная система — лишь его часть. В книге *Principia Rerum Naturalium* (1734) он предположил, что Солнечная система, состоящая из светила и планет, образовалась из быстро вращающейся туманности. При этом Сведенборг не руководствовался никакими научными наблюдениями, хотя и изучал точные науки. Данные сведения он почерпнул в ходе спиритического сеанса, где якобы присутствовали небесные посланники. Дальнейшие видения побудили Сведенборга предать огласке полученные им сведения богословского свойства, и в итоге из его учения вышла религия [сведенборгиан] «Новая церковь» [именуемая еще «Новым Иерусалимом»].

Историю галактик продолжил англичанин Томас Райт из Дарема, занимавшийся изготовлением научных орудий и игрушечных солнечных систем, которые продавал вельможам. В книге «Оригинальная теория, или Новая гипотеза о Вселенной, основанная на законах природы и объясняющая с помощью математических принципов наиболее важные явления видимого мироздания, в частности Млечного Пути» (1750) Райт высказывает мысль, что звезды в Млечном Пути распределены в виде жернова. Он говорил: «Глядя всякий раз на небо, никак не могу взять в толк, почему все не идут в астрономы». Как изготовитель научных орудий, он наверняка имел доступ к телескопам. Однако никаких астрономических наблюдений он не издавал. Книга Райта тоже затрагивает религиозные вопросы, например о физическом местонахождении божественного престола.

Заметка о книге Райта в гамбургском журнале попала на глаза блестящему философу Иммануилу Канту. И хотя Кант неверно истолковал сообщение о работе Райта, ему удалось направить ее в созидательное русло. В 1755 году Кант предполагает, что Млечный Путь представляет собой линзовидный диск из звезд, вращающийся вокруг своей оси. Затем он утверждает, что размытые световые пятна, именуемые туманностями, на самом деле представляют собой системы звезд, подобные Млечному Пути, но находящиеся на большом удалении. Кант именует их островными вселенными[*].

[*] Ни «линзовидных дисков», ни «островных вселенных» у Канта в его «Всеобщей

В ту пору не было средств, чтобы прикинуть расстояние до этих туманностей. Даже с помощью Бесселева метода параллакса, разработанного почти столетие спустя, не справиться с такой задачей.

Итак, начало изучению астрономией галактик положили богословски настроенный мастеровой и философ. Следующий важный вклад в понимание галактик суждено было внести ученому-наблюдателю. Любопытно, что его не занимали сами галактики; он составил перечень объектов, которых следовало избегать при поиске комет. Шарль Мессье (1730—1817) был столь заядлым охотником за кометами, что король Людовик XV прозвал его «кометной ищейкой». За всю жизнь Мессье открыл один или одновременно с кем-то 20 комет и наблюдал еще 24. Он часто находил неподвижные объекты, которые не могли быть кометами. Небольшими телескопами, которыми пользовался Мессье — в поперечнике они не превышали трех с половиной дюймов, — невозможно было различить в туманностях отдельные звезды. Наблюдаемые им «туманности» представлялись световыми пятнышками неведомого происхождения. Он составил перечень координат свыше 100 туманностей, снабдив их числами. Например, M31 ныне известна как туманность Андромеды, а M100 (рис. 6.2) — как Спиральная галактика.

Мессье писал: «К составлению каталога меня подтолкнула туманность I [ныне это Крабовидная туманность], открытая мной повыше верхнего рога Тельца 12 сентября 1758 года в ходе наблюдения за кометой того года. Данная туманность так походила на комету своим видом и светимостью, что я решил отыскать и иные туманности, с тем чтобы астрономы более не путали их с кометами». Мессье вызвал недовольство многих астрономов,

---

естественной истории и теории неба...» (1755) нет. Вот его слова: «Все неподвижные звезды, доступные глазу в неизмеримой глубине неба, где они кажутся рассеянными с какой-то расточительностью, представляют собой солнца и центры подобных же систем... Скопление звезд, расположенных возле одной общей плоскости, составляет такую же систему, как планеты нашего солнечного мира вокруг Солнца. Млечный Путь представляет собой зодиак этих миров высшего порядка... Разве нельзя на основании столь полного сходства в строении прийти к заключению об одинаковой причине и одинаковом способе образования? Но если неподвижные звезды образуют одну систему, размеры которой определяются сферой притяжения центрального тела, то разве не могут возникать еще иные системы солнц и, так сказать, еще иные млечные пути в безграничном мировом пространстве? Мы с изумлением увидели на небе фигуры, которые представляют собой не что иное, как именно подобные системы неподвижных звезд, ограниченные общей плоскостью, — млечные пути, если можно так выразиться, которые представляются нашему глазу при различном положении относительно его в виде эллиптических образований, мерцающих слабым светом из-за бесконечной удаленности от нас...» *(Кант И.* Докритические произведения). Далее встречается выражение «рассеянная масса мирозданий» (там же).

посвятив комету 1769 года французскому императору Наполеону Бонапарту и истолковав ее как астрологическое знамение рождения Наполеона.

В начале 1900-х годов наблюдательная астрономия переживала расцвет. Удалось наблюдать сотни тысяч небесных тел.

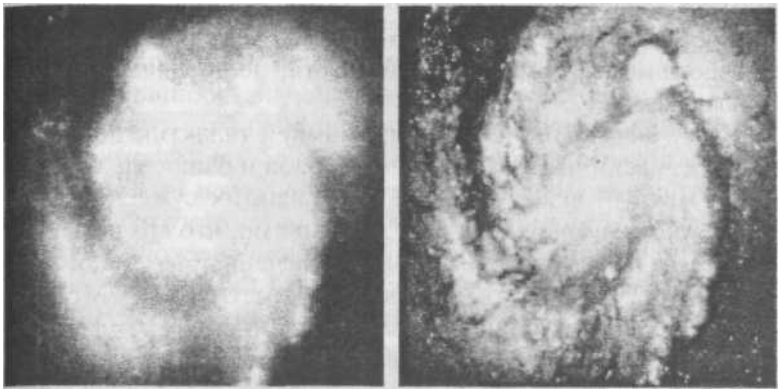


Рис. 6.2. Снимки галактики М100 с космического телескопа Хаббла

Благодаря щедрости богатых покровителей и неустаным усилиям ряда женщин-астрономов (см. главку «Чем крупнее телескопы, тем больше расстояния до звезд», с. 189— 193) были составлены каталоги небесных тел с указанием их местонахождения, светимости и некоторых спектральных характеристик. Но расстояния были известны лишь для нескольких сотен ближайших звезд, а подробное строение туманностей и их удаленность от нас оставались неведомыми. Наблюдатели ушли далеко вперед, теоретикам лишь предстояло совершить прорыв.

Космологический вклад Эйнштейна

Вклад, значительно способствовавший теоретическому осмыслению природы туманностей, поступил в астрономию из Швейцарии. Марсель Гроссман был одним из выпускников швейцарской Высшей технической школы (Политехникума) в Цюрихе. В его группе готовили учителей математики и физики.

Один из приятелей Гроссмана не любил занятий и особенно царивших тогда в учебных заведениях строгих порядков, но ему удалось закончить учебу благодаря тому, что Гроссман перед экзаменами снабжал его своими записями лекций. Гроссмана и двух других однокашников оставили при Политехникуме, а их приятелю, не любившему занятий, пришлось довольствоваться временным местом учителя. В 1901 году он писал

Гроссману: «Я оставил всякую мысль о поступлении в университет». Наконец, отец Гроссмана рекомендовал его приятеля начальнику патентного бюро в Берне, и в 1902 году тот получил работу технического эксперта третьего класса в Бернском патентном бюро*. Следующие семь лет, трудясь на должности патентного эксперта, приятель Гроссмана проявил незаурядную творческую жилку, опубликовал несколько научных статей и получил докторскую степень в Цюрихском университете. Свою диссертацию, озаглавленную «Новое определение размеров молекул», он посвятил Марселю Гроссману. На рис. 6.3 представлен сделанный примерно в 1900 году снимок (слева направо) Марселя Гроссмана, его приятеля, Густава Гайсслера и брата Марселя Геральда.

Приятелем и однокашником Марселя Гроссмана в Политехникуме был не кто иной, как Альберт Эйнштейн. Хотя Гроссман стал известным математиком, он не мог тягаться славой со своим приятелем. И все же вскоре Эйнштейну вновь понадобилась помощь Гроссмана.

Работа в патентном бюро нравилась Эйнштейну, но его интересы были гораздо шире. Со своими друзьями, философом Морисом Соловиным и математиком Конрадом Габихтом Эйнштейн создал кружок, шутливо прозванный ими «Академия Олимпия». Проходившие там беседы имели огромное значение для Эйнштейна.

* Официальное наименование этого учреждения звучало несколько напыщенно: Федеральное ведомство духовной собственности. Оно возникло в 1888 году. Вначале его штат насчитывал всего 7 сотрудников. В 1908 году их было уже 33, в том числе 18 технических экспертов. В русских дореволюционных изданиях это пользовавшееся широкой известностью учреждение именовалось как Федеральное ведомство умственных ценностей.

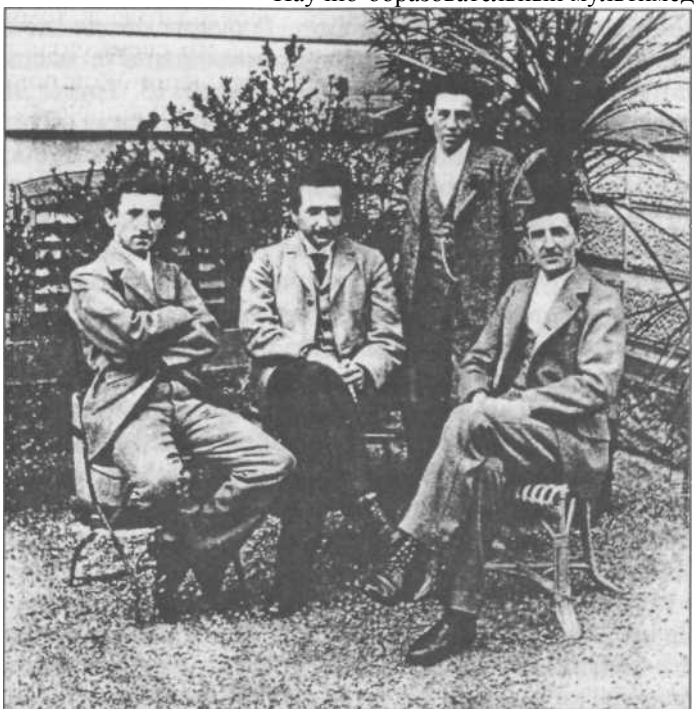


Рис. 6.3. Марсель Гроссман, Альберт Эйнштейн, Густав Гисслер и Геральд Гроссман

Но еще большее влияние на него оказал Микеланджело Бессо. Эйнштейн пристроил его в 1904 году в патентное бюро, так что в течение нескольких лет они ежедневно вместе ходили на работу. Эйнштейн называл Бессо лучшим в Европе резонатором научных идей, а их у Эйнштейна было предостаточно. 5 год один из историков назвал эйнштейновским годом чудес. В тот год авторитетный журнал *Annalen der Physik und Chemie* опубликовал пять его статей, затрагивающих такие вопросы, как фотоэлектрический эффект, новый способ определения размера молекул, броуновское движение, специальная относительность и эквивалентность массы и энергии (более подробно см.: Список идей, 15. Труды Эйнштейна: помимо теории относительности). В статье об относительности Эйнштейн объединил ньютонову механику с максвелловым электромагнетизмом и рассмотрел последствия замены представления об абсолютном характере времени и пространстве законом постоянства скорости света.

Два года спустя Эйнштейн рассмотрел, как надо изменить ньютоново тяготение для согласования со своими представлениями об относительности. То, что он назовет «счастливейшей мыслью в моей

жизни» [*], состояло в полном отождествлении (эквивалентности) поля тяготения с соответствующим ускорением системы отсчета. Одним словом, согласно этому принципу находящийся в космическом корабле наблюдатель не в состоянии различить ускорение корабля и воздействие тяготения на основании измерений внутри корабля. Такой сплав, названный принципом эквивалентности, стал отправной точкой для общей относительности.

Дальнейшие годы знаменовались некоторыми изменениями в жизни Эйнштейна. В 1912 году его зачислили в преподавательский состав Политехникума. В научном плане в своей теории относительности он столкнулся с огромной трудностью. Ведь если все ускоренные системы отсчета тождественны, тогда для них перестает быть верной евклидова геометрия. Эйнштейн помнил, как изучал дифференциальную геометрию (геометрические соотношения между бесконечно малыми величинами) во время учебы, но детали забылись.

К счастью, одним из сотрудников Эйнштейна в Политехникуме был не кто иной, как Марсель Гроссман, ставший известным профессором математики. Гроссман помог Эйнштейну с дифференциальной геометрией и тензорным исчислением, математической дисциплиной с использованием многомерных переменных.

Эйнштейн писал [29 октября 1912 года физику Арнольду Зоммерфельду]: «За всю свою жизнь я не работал так усердно, проникшись глубоким уважением к математике, самую изысканную часть которой по своему недомыслию считал излишеством». Эйнштейн и Гроссман совместно написали в 1913 году статью, где дали почти полное описание общей теории относительности. Статья «Проект обобщенной теории относительности и теории тяготения» содержала ряд уравнений поля тяготения, но они еще не приобрели своего окончательного вида.

В последующие два года Эйнштейн печатает статьи, советуется с коллегами, пишет очередные статьи, вновь советуется, печатается, и 25 ноября 1915 года выходит статья «Уравнения гравитационного поля» о его общей теории относительности уже в окончательном виде. В декабре 1915 года [письмо физику Паулю Эренфесту] он говорит о себе: «Этот негодник Эйнштейн постоянно старается себе угодить. Каждый год он отказывается от того, о чем писал годом ранее». Уравнения Эйнштейна предсказывали небольшое смещение точки максимального сближения с орбиты планеты

[*] См.: *Пайс А.* Научная деятельность и жизнь Альберта Эйнштейна. М., 1989 (из статьи «Gmndgedanken und Methoden der Relativitatstheorie in ihrer Entwicklung dargestellt», подготовленной в 1920 году для издающегося с 1869 года британского журнала *Nature,* но так и не напечатанной).

Меркурий с Солнцем (перигелий), которое не в состоянии была объяснить ньютонова теория тяготения. А раз орбита Меркурия вела себя подобным образом, значит, теория Эйнштейна блестяще согласовывалась с действительностью, в итоге привлекла к себе внимание его собратьев-ученых.

Когда принципы общей теории относительности были перенесены на всю Вселенную, некоторые коллеги Эйнштейна (особенно датский астроном Биллем де Ситтер) отметили, что согласно его теории Вселенная как таковая неустойчива в статичном положении. По уравнению Вселенная либо расширяется, либо сжимается. Сообразуясь с астрономическими данными того времени (1917), Эйнштейн предположил, что у нее нет каких-либо особых мест, направлений или границ и что она в целом неподвижна. К своему огорчению, он выяснил, что для сохранения стационарности Вселенной нужно внести в уравнения дополнительный член [в виде отрицательного давления], который бы уравновешивал силу притяжения. Этот член уравнения получил название космологической постоянной. Как ни старались некоторые астрономы отговорить его от этой затеи, Эйнштейн настоял на своем.

Для приближающегося со световой скоростью наблюдателя Эйнштейн и все вокруг него представляются вытянутыми и тонкими.

Чем крупнее телескопы, тем больше расстояния до звезд

В 1920 году перед астрономией все еще стояли две огромные задачи: определение размера Млечного Пути и природы туманностей. Главный вклад в их решение внесли Джордж Хейл (рис. 6.4) и Генриетта Суон Ливитт (рис. 6.5), появившиеся на свет в 1868 году с разницей в неделю.

Рис. 6.4. Джордж Эллери Хейл

Джордж Эллери Хейл родился в Чикаго в состоятельной семье. Его поприще наблюдателя начиналось в далекой юности с подержанного четырехдюймового линзового телескопа. Еще студентом физического факультета Массачусетского технологического института он изобрел прибор, названный спектрогелиографом, для изучения солнечных протуберанцев и в 1890 году защитил на его основе диплом. Перенесение Хейлом физики на астрономическую почву привело к рождению астрофизики.

Рис. 6.5. Генриетта Су он Ливитт

Однако главный вклад Хейла заключался в телескопах — больших телескопах. На первый взгляд основная задача телескопа состоит в увеличении, однако простое укрупнение нечеткого или расплывчатого изображения, по сути, ничего не дает. На самом деле главная задача телескопа — собирание как можно большего количества света и различение деталей. Чем больше телескоп, тем больше света он может собрать и тем лучше он различает два близко расположенных источника света.

Свои недюжинные организаторские и пробивные способности Хейл направил на строительство крупнейшего в мире телескопа. В этом деле ему сопутствовала удача. Построенные Хейлом телескопы три раза оказывались крупнейшими в мире. Второй телескоп Хейла был назван в честь лос-анджелесского предпринимателя Джона Д. Хукера, пожертвовавшего деньги на покупку зеркала. Этот телескоп с поперечником 2,5 м был установлен на горе Маунт-Вилсон, возвышающейся над Лос-Анджелесом, и вступил в действие в 1918 году.

Хейл не только добывал деньги и контролировал установку телескопа Хукера, он укомплектовал Маунт-Вилсоновскую обсерваторию блестящими исследователями, включая двух новоиспеченных докторов философии: Харлоу Шепли (окончившего Принстонский университет в 1914 году) и Эдвина Хаббла (окончившего Чикагский университет в 1917 году); о них речь впереди. В 1928 году Джордж Хейл увольняется из Маунт-Вилсоновской обсерватории, сославшись на переутомление и желание вернуться к собственным изысканиям. Передышка длилась недолго. Вскоре он приступает к разработке и выбиванию средств для другого большого телескопа, с поперечником в 5 м, на горе Паломар в Калифорнии. Хейл умер в 1938 году. Пятиметровый телескоп был завершен спустя десять лет и назван в его честь (на протяжении почти 40 лет телескоп Хейла заслуженно считался крупнейшим в мире).

Генриетта Ливитт тоже родилась в 1868 году, тоже еще в юности увлеклась наукой и тоже поступила в массачусетское учебное заведение. В 1892 году она заканчивает Радклифский колледж*, в ту пору еще Общество

* Престижный частный колледж высшей ступени гуманитарного направления для девушек в Кембридже, штат Массачусетс. Основан в 1879 году. Около 2,7 тыс. студенток. Входит в ассоциацию учебных заведений «Семь сестер». Организационно связан с Гарвардским университетом (до 1999 года имел отдельную администрацию, но общие помещения и профессорско-преподавательский состав). В октябре 1999 года официально слился с Гарвардом и преобразован в Радклифский институт перспективных исследований. Выпускницы колледжа получают дипломы Гарвардского университета. Назван в честь

преподавания наук женщинам. На последнем курсе Ливитт увлеклась астрономией и после окончания учебы поступила на другое отделение. Тяжелая болезнь лишила ее слуха, но тяга к астрономии не пропала. В 1895 году она стала одной из «вычислительных машин» Эдуарда Пиккеринга в обсерватории Гарвардского колледжа.

Эта женская группа проводила расчеты и изучала данные снимков в целях «сбора фактов», как выражался Пиккеринг. Поначалу Ливитт работала на добровольных началах, но после обретения навыков в определении светимости звезд по стеклянным негативам спустя семь лет ее взяли на полный рабочий день (со ставкой 30 центов в час, что по курсу 2003 года соответствует 6 долларам).

Представительницы «пикеринговского гарема», как ласково величали женщин, не были самостоятельными исследователями. Они делали то, что им скажут. Нудная, но важная работа Ливитт состояла в составлении списка весьма необычных звезд, обнаруженных в Малом Магеллановом облаке, размытого светового пятна, напоминающего кусок, отколотый от Млечного Пути. Малое и Большое Магеллановы облака хорошо знакомы наблюдателям Южного полушария. Они названы в честь Фернана Магеллана (1480—1521), в 1519 году во время своего кругосветного путешествия видевшего их [описал же их историограф и участник экспедиции Антонио Пигафетта (1480/1491—1534?). Полный список его дневниковых записей был обнаружен в Милане и впервые опубликован в 1800 году]. В Магеллановых облаках Ливитт обнаружила 1777 звезд, их светимость периодически менялась от яркого блеска до тусклого и обратно.

Звезды с переменной светимостью называют цефеидами — по созвездию Цефей, где их впервые обнаружили. Периоды изменения светимости у цефеид колеблются от одного до ста дней. Старательно сравнивая сделанные в различное время снимки, Ливитт выявила четкую зависимость: *более ярким звездам соответствуют более продолжительные периоды*. На основе этой зависимости, названной период-светимость зависимостью, через светимость и период ее изменения у цефеид можно определить их удаленность от Земли. Однако исследовательница не стала привлекать этот многообещающий способ измерения расстояний к решению каких-либо астрономических задач. Она, которая, по мнению одной из ее сослуживиц, «обладала лучшими мозгами в обсерватории», напечатала о найденной ею зависимости период-светимость в 1912 году и принялась за очередную поставленную перед ней задачу. Она продолжала трудиться в

меценатки Энн Моулсон, урожд. Рад-клиф (ум. ок. 1661), учредившей (1643) первую стипендию для Гарвардского университета (основан пуританами в 1634) в 100 фунтов.

Гарвардской обсерватории до самой кончины в 1921 году. Ее смерть была воспринята сослуживцами как «бедствие».

Выдающийся датский астроном Эйнар Герцшпрунг оценил значение открытой Ливитт зависимости период-светимость ив 1913 году использовал ее при определении расстояния до Малого Магелланова облака. Харлоу Шепли тоже привлек данный способ в Маунт-Вилсоновской обсерватории при нахождении расстояния до другого ряда звездных скоплений, именуемых шаровыми. При трехмерном построении местонахождения шаровых скоплений выяснилось, что центр их распределения удален от нашей Солнечной системы на 15 тыс. пк (позже эту величину снизили до 9 тыс.). Шепли пришел к выводу, что центр распределения шаровых скоплений совпадает с центром Млечного Пути. И тогда получалось, что общая величина Млечного Пути составляет 100 тыс. пк, что оказалось существенно выше прежних оценок. Затем изучение «новой звезды» (впервые вспыхнувшей звезды) в туманности Андромеды позволило Шепли оценить расстояние до нее в 10 тыс. пк. Таким образом, представленная Шепли картина Вселенной указывала на то, что перед нами одна обширная Галактика, Млечный Путь, а наша Солнечная система находится вдали от ее центра.

Одна большая Галактика или многочисленные обособленные галактики

Различие между предлагаемой Шепли моделью Млечного Пути и более привычной моделью оказалось в центре внимания на состоявшемся в 1920 году собрании Национальной академии наук в Вашингтоне (округ Колумбия). Туда для вступительного доклада в честь [чикагского промышленника] Уильяма Эллери Хейла (ум. 1898) (отца Джорджа Хейла) был приглашен молодой Харлоу Шепли (рис. 6.6). Однако вместо привычного изложения доклад обернулся дискуссией. Содокладчиком Шепли выступил Хебер Кертис (рис. 6.7), сотрудник обсерватории Лика, который только что завершил свои наблюдения за спиральными туманностями.

Рис. 6.6. Харлоу Шепли

Темой их дискуссии стал «масштаб Вселенной». Кертис отстаивал устоявшийся взгляд: Млечный Путь составляет в поперечнике всего лишь 10 тыс. пк, а Земля расположена вблизи его центра. Заключая свое выступление, Кертис отошел от обозначенной темы и рискнул предположить, что спиральные туманности (так они назывались в то время) находятся очень далеко и составляют отдельные галактики (сегодня мы знаем, что это спиральные галактики). Хоть Шепли и не был готов к такому повороту, он утверждал, что спиральные туманности представляют собой небольшие газовые облака внутри нашей Галактики, и в качестве свидетельства привел недавние наблюдения своего сослуживца и друга Адриана ван Маанена из Маунт-Вилсоновской обсерватории. Кертис отверг работу ван Маанена, посчитав ее несущественной. Действительно, позже выяснилась ошибочность наблюдений ван Маанена.

Рис. 6.7. Хебер Кертис

Дискуссия не выявила победителя и даже не получила достаточного отклика, но идея Шепли о более обширном Млечном Пути с удаленной от его центра Землей, похоже, привлекла внимание общественности. Дома, в Маунт-Вилсоне, сослуживец Шепли Эдвин Хаббл не скрывал своих симпатий к Кертису. Хаббл и Шепли никогда не ладили, поскольку Шепли работал над программой, на которую имел виды Хаббл, когда отправлялся во Францию на поля сражений Первой мировой войны. К тому же британская манерность Хаббла, постоянное напоминание о своей учебе за границей благодаря стипендии Родса* раздражали Шепли. Их соперничеству пришел конец в 1921 году. Умер Эдуард Пиккеринг, и Харлоу Шепли покинул Маунт-Вилсон, чтобы возглавить в том же году Гарвардскую обсерваторию. Хаббл все внимание направил на М31, где, как он думал, сумеет различить отдельные звезды и, пожалуй, даже определить их удаленность от Земли. 2,5-метровый телескоп Хукера не отпускал от себя.

* Стипендия Родса для студентов из США, стран Содружества и Южной Африки; дает право учиться в Оксфордском университете. Фонд учрежден в 1902 году английским политическим деятелем Сесилом Джоном Род-сом (1853—1902), активно проводившим колониальную политику.

Вселенная галактик

За долгие, холодные ночи бдения у телескопа Хаббл (на рис. 6.8 он запечатлен за работой) наконец был вознагражден. В ночь с 5 на 6 октября 1923 года он отыскал первую переменную звезду-цефеиду в туманности М31. С помощью открытой Генриеттой Ливитт зависимости период-светимость для цефеид и построенного Джорджем Хейлом телескопа Хаббл определил расстояние до М31 (ныне известной как туманность Андромеды), составившее 300 тыс. пк. Даже с учетом раздутого Шепли поперечника для Млечного Пути М31 оказалась слишком удаленной, чтобы уместиться в нашей Галактике.

Представление об «островной Вселенной» теперь нашло опытное подтверждение. Оказалось, что существует два различных вида цефеид, так что Хаббл на самом деле даже уменьшил расстояния. Современная оценка удаленности М31, туманности Андромеды, составляет 750 тыс. пк. Благодаря Хабблу рисуемый астрономией образ Вселенной претерпел значительные изменения. Млечный Путь стал лишь одной из многочисленных галактик, рассеянных среди огромных просторов мироздания.

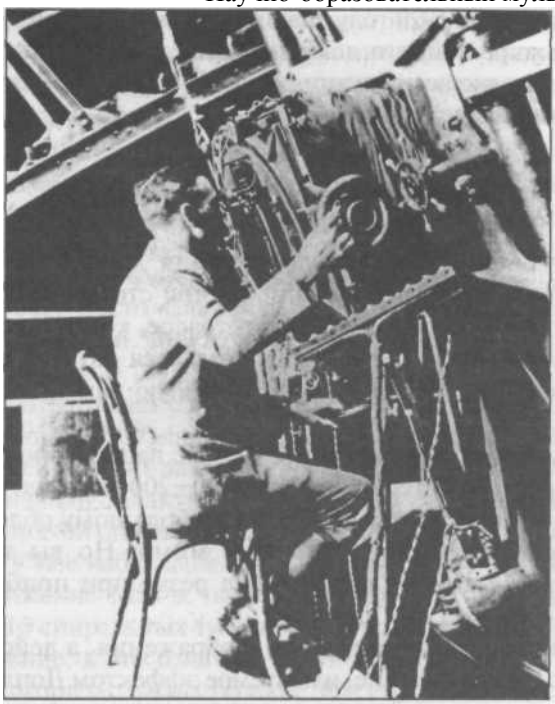


Рис. 6.8. Эдвин Хаббл

Затем Хаббл применил телескоп Хукера для решения задачи по выявлению подробного устроения галактик. На протяжении нескольких лет Хаббл наблюдал за расплывчатыми световыми пятнами, которые доставляли столько хлопот Мессье при выслеживании комет. Он выяснил, что многие из них в действительности представляют собой звездные галактики. Обнаружив спиральные, линзовидные, эллиптические и неправильные галактики, он классифицировал их по внешнему виду. Их чертеж он напечатал в виде, названном камертонным. К 1929 году значимость вклада Хаббла в астрономию подкрепили его доказательства удаленности галактик и проведенная классификация. Однако Хабблу предстояла еще более грандиозная работа.

Определение скорости галактик

Для уяснения высшего достижения Хаббла необходимо взглянуть на известное явление с иной стороны. Вспомним себя едущими по скоростной автотрассе, когда мысли заняты совсем другим. Вдруг сзади раздается звук,

и в зеркале заднего вида вы различаете сигналящую вам полицейскую машину.

Вы смотрите на спидометр. Сейчас ваша скорость в пределах нормы, но какой она была 100-200 м назад, когда вы проезжали мимо патруля? К вашему большому облегчению, полицейская машина проносится мимо. Но вы замечаете нечто странное. Звук сирены был резче при приближении патруля, чем при его удалении.

И это вовсе не игра вашего воображения, а действительно наблюдаемое явление, именуемое эффектом Доплера. При испускании звуковой волны движущимся источником покоящийся наблюдатель воспринимает ее с различной частотой: при приближении источника звука к приемнику высота звука растет, а при удалении — понижается. То же происходит, когда мимо вас проносится поезд, гоночный автомобиль или над вами пролетает самолет. Чем быстрее движется источник звука, тем явственнее у него частотный сдвиг.

Доплеровский эффект присущ и свету. При приближении светового источника к наблюдателю его спектр смещается в область более высоких частот, что именуют фиолетовым смещением; при удалении источника его спектр смещается в область меньших частот, что называют красным смещением. Поскольку нашим органам чувств недоступны очень большие скорости, доплеровский эффект у света мы не замечаем. Но посредством регистрирующих частотные сдвиги спектрометров ученые могут вычислить скорость светового источника. На Земле синоптики используют доплеровский радиолокатор для определения скорости перемещения атмосферного фронта, а полицейские — для выяснения, насколько быстро мы едем. В астрономии доплеровский эффект позволяет определить скорость звезд или даже целых галактик.

Первым астрономом, воспользовавшимся доплеровским сдвигом, был Весто Слайфер, проработавший всю жизнь, с 1901 по 1952 год, в Обсерватории Лоуэлла в Флагстаффе (штат Аризона). В 1912 году, помимо поисков на Марсе каналов в соответствии с задумкой богатого астронома-любителя Персиваля Лоуэлла, Слайфер стал измерять доплеровское смещение у спиральных туманностей еще до того, как в них признали галактики. У первой же туманности, М31, чье смещение он определил, скорость оказалась невероятной — 300 км/с. У нее наблюдался фиолетовый сдвиг, что указывало на приближение М31 к нам. К 1917 году Слайфер измерял скорость 15 спиральных туманностей, выяснив, что у 13 красное смещение, а это означало их удаление от нас со скоростью в некоторых случаях больше 300 км/с, как отмечалось у М31. Последствий такого

сумасшедшего бегства от Солнечной системы в то время еще до конца не представляли, хотя следовало бы задуматься над причинами такой явной непопулярности нашей системы.

Здесь и сказал свое слово Хаббл. При определении скорости галактик Хаббл опирался на доплеровские сдвиги, найденные Слайфером и сослуживцем Хаббла — Милтоном Хьюмасоном, которому удалось измерить скорость разбегания 800 галактик. Хьюмасон начинал работу в Маунт-Вилсоновской обсерватории водителем грузовика, затем стал ночным сторожем, помощником астронома и, наконец, наблюдателем и соавтором Хаббла, вместе они написали ряд важных статей. Недурно для человека с четырьмя классами образования!

Хаббл приступил к определению расстояний до галактик, скорости которых вычислили Слайфер и Хьюмасон. Подход Генриетты Ливитт с использованием светимости цефеид был точен для ближайших галактик, но не годился для более дальних. Цефеиды в таких галактиках были едва различимы. Хаббл изобрел новый способ определения расстояния на основе выделения наиболее яркой звезды галактики. Метод ярчайших звезд позволял оценить расстояние почти до всех галактик из списка Слайфера. Для оставшихся галактик Хаббл при определении расстояния взял за основу общее количество излучаемого ими света.

Наблюдение расширения

Для выяснения зависимости расстояния от скорости Хаббл вычертил кривую этой зависимости (рис. 6.9). Без учета разброса измерений зависимость оказалась линейной. Одним словом, *чем удаленнее галактика, тем быстрее она движется.* Строго говоря, данная зависимость относилась лишь к выбранным Хабблом галактикам. Однако из нее следовал весьма неожиданный вывод: *Вселенная как единое целое расширяется.*

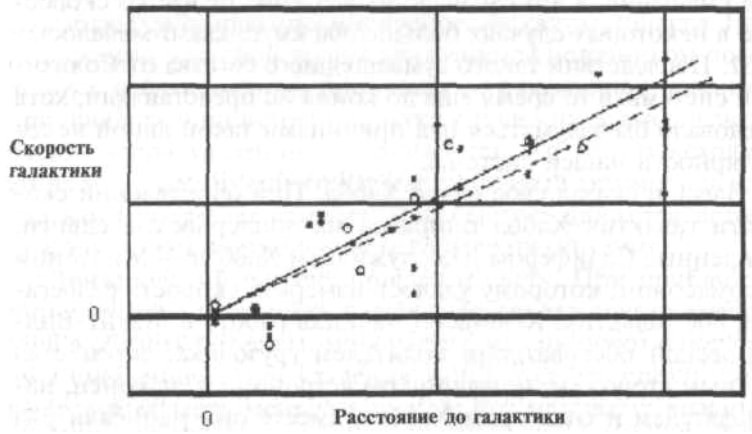


Рис. 6.9. Исходная кривая Хаббла, отражающая зависимость скорости от расстояния

Чтобы понять, как это происходит, прибегнем к более наглядному сравнению. Вообразим себе космический марафон. После начала забега одни участники бегут со скоростью 4 мили в час, другие — 3, а третьи — 2 мили. Через час бегущие со скоростью 4 мили покроют расстояние в 4 мили со скоростью 3 и 2 мили соответственно, так что получится кривая, построенная Хабблом. Заметим, что с точки зрения *любого* бегуна все другие от него удаляются.

Линейная зависимость между скоростью разбегания и расстоянием ныне носит имя Хаббла. Хотя полученные Хабблом значения расстояний были впоследствии уточнены, сделанные им выводы остаются верными. Вселенная состоит из звездных галактик, она огромна и расширяется. На рис. 6.10 можно увидеть и Эдвина Хаббла, и Альберта Эйнштейна.

Когда Эйнштейн ознакомился с работой Хаббла, он исключил космологическую постоянную, введенную им в уравнения общей теории относительности для придания Вселенной стационарного вида, назвав этот показатель «самой грубой ошибкой своей жизни». Как мы увидим, космологическая постоянная может вернуться в качестве возможного решения крупнейшей не решенной астрономией загадки.

Обнаружение темной материи

Теоретики вскоре поняли, что если расширение Вселенной с ее галактиками вернуть в прошлое, то окажется, что на ранней ступени все

вещество и энергия Вселенной находились в очень плотном состоянии. Получившуюся теорию сторонник совсем иного взгляда Фред Хойл [в одном из выступлений по радио в 1950 году] насмешливо назвал большим хлопком. Однако это название благодаря экспериментальному подтверждению так и закрепилось за теорией (см.: Список идей, 16. Большой взрыв).

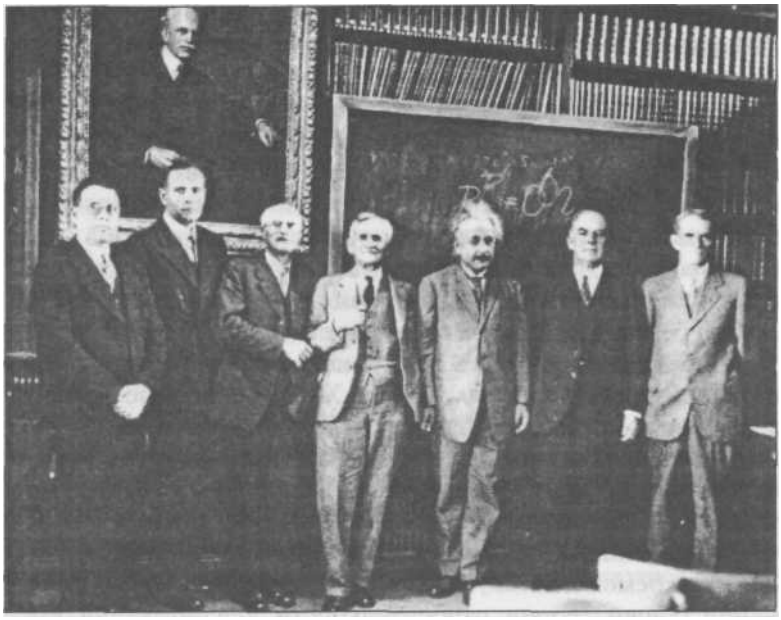


Рис. 6.10. Библиотека Маунт-Вилсоновской обсерватории.

Слева направо: Милтон Хьюмасон, Эдвин Хаббл, исследователь Солнца астроном Чарльз Эдуард Сент-Джон, Альберт Абрахам Майкельсон, Альберт Эйнштейн, глава Калифорнийского университета Уильям Уоллес Кэмпбелл и Уолтер Сидни Адаме, директор Маунт-Вилсоновской обсерватории. Позади виден портрет основателя обсерватории Джорджа Хейла. 1931 год

Примечательно, что огромное расхождение в отношении масс галактик обнаружили вскоре после обнародования зависимости Хаббла [«красное смещение спектральных линий — расстояние»] и удаления из расчетов космологической постоянной Эйнштейна, но этот вопрос обходили стороной почти 40 лет. Еще более поразительно, что астроном, впервые заметивший эту несообразность, оказался выпускником цюрихского Политехникума, подобно Эйнштейну, и всю жизнь проработал в Калифорнийском технологическом институте (Калтехе — Caltech), Маунт-Вилсоновской и Маунт-Паломарской обсерваториях, как и Хаббл.

Его звали Фриц Цвикки. Родившись в Болгарии в 1898 году, Цвикки 6-летним ребенком переехал жить в Швейцарию к дедушке с бабушкой, так и оставшись навсегда гражданином Швейцарии. Не попав на Первую мировую войну по малолетству, Цвикки изучал теоретическую физику в Политехникуме и в докторской диссертации 1922 года использовал законы квантовой механики для изучения кристаллов. В 1925 году Цвикки по Рокфеллеровской стипендии* поехал в США, выбрав местом занятий Калифорнийский технологический институт, поскольку предгорья Пасадены хоть как-то походили на его Альпы. Вопреки ожиданиям своего попечителя Роберта Э. Милликена вместо квантовой механики Цвикки увлекся астрономией. Он стал работать с другим немецкоговорящим астрономом Вальтером Бааде. В начале своего научного пути Цвикки изучал скопление галактик, известное как Волосы Вероники, и обозначенное Мессье номером M100.

С помощью доплеровских методов, впервые предложенных Весто Слайфером и опробованных в Маунт-Вилсоновской обсерватории Милтоном Хьюмасоном, Цвикки определил скорости восьми галактик в созвездии Вероники и оценил массу, необходимую для удержания этих галактик полем тяготения внутри самого скопления. Затем он сравнил полученную массу с величиной массы всего скопления, рассчитанной на основе исходящего от него света. Оказалось, что для удержания скопления от разлетания необходима значительно большая масса. Недостающую массу Цвикки назвал темной материей.

По его расчетам выходило, что в созвездии Вероники темной материи значительно больше, чем обыкновенного вещества. Столь тревожного вывода другие астрофизики не замечали почти 40 лет, возможно, из-за того, что он прозвучал на немецком языке в неприметном журнале *Helvetica Phisica Ada.* Статья называлась «Красное смещение внегалактических туманностей».

За долгие годы плодотворной деятельности Цвикки выдвинул множество остроумных идей, которые отстаивал с завидным упорством. Для одних это был человек блестящего ума, для других — грубиян. У каждого, кто встречался с Фрицем Цвикки (рис. 6.11), складывалось о нем свое мнение. Пожалуй, приветствие, которым он зачастую встречал гостей в

* Стипендия Фонда Рокфеллера, филантропической организации, основанной в 1913 по инициативе промышленника и нефтяного магната Джона Дэвисона Рокфеллера. Это самый крупный из фондов семейства Рокфеллеров и второй по величине в США после Фонда Форда. Выплачивается стипендия с 1919 года (сначала американским, а с 1923 года и иностранным учащимся).

Калифорнийском технологическом институте: «Кто же вы, черт возьми!» — можно адресовать и темной материи. Как бы то ни было, некоторое время темная материя не очень-то сказывалась на делах астрономических.

Следующий важный вклад в 1970 году внесли Вера Рубин и У. К. Форд, первыми изучившие вращение M31 (туманности Андромеды), а затем еще более 60 спиральных галактик. Выяснилось, что все эти галактики вращаются с большей скоростью, чем способна обеспечить их видимая масса, что свидетельствовало о существовании скрытой массы. По мере роста поступающих данных стало невозможно обходить этот вопрос. Темная материя заявляет о своем существовании, причем ее почти в 10 раз больше обыкновенной светящейся (видимой) материи — до тех пор, пока мы не пересмотрим наши представления о тяготении (но об этом дальше).

В темноте рассуждать о темной материи

Рассматриваются три различных способа в объяснении природы темной материи: барионная темная материя, не-барионная темная материя или возможное недопонимание тяготения.

Рис. 6.11. Фриц Цвикки

Барионная темная материя. Строго говоря, барионами являются

только протоны и нейтроны (см. гл. 2), но астрономы в состав барионной темной материи включают и электроны. Все дело в том, что такая темная материя состоит из хорошо известных частиц, но ее излучение недостаточно для обнаружения.

Примером темной барионной материи могут служить:

♦ *Обыкновенное вещество*. Гелиевые и водородные облака, рассеянные в межгалактическом пространстве, считаются обыкновенной темной материей.

MACHO (Massive Astrophysical Compact Halo Objects), массивные астрофизические компактные галообъекты. Состоят из тел во внешнем окружении галактик (гало — короны), обладающих массой, но ввиду малых размеров или слабого излучения мы не в состоянии их обнаружить. Представители таких тел:

♦ Коричневые карлики размером примерно с Юпитер или наименьшую звезду, но тяжелее Юпитера в 80 раз. Эти объекты формировались одновременно со звездами и планетами, но из-за недостаточной для запуска механизма ядерного синтеза массы они просто медленно остывают, излучая энергию, слишком малую, чтобы наши датчики ее обнаружили.

♦ Белые карлики, нейтронные звезды и черные дыры — это все, что осталось от существовавших некогда звезд малой, средней и большой массы, и у них слишком слабое (либо отсутствующее вовсе, как у черных дыр) для регистрации излучение.

Для поиска MACHO привлекают эффект гравитационной линзы, когда свет от далеких звезд изгибается в присутствии MACHO, что косвенно указывает на их наличие. Результаты измерений в Млечном Пути свидетельствуют о наличии нескольких MACHO во внешней области короны нашей Галактики, но этого мало для учета всей темной материи.

Небарионная темная материя. Небарионная темная материя состоит из частиц, отсутствующих в известном на сегодняшний день списке обладающих массой покоя элементарных частиц. Возможна как холодная, так и горячая небарионная темная материя.

♦ *Холодная темная материя.* Такая материя состояла бы из крайне тяжелых, медленных частиц. Эти частицы получили название слабовзаимодействующих элементарных частиц с неравной нулю массой покоя (WIMPs — Weakly Interacting Massive Particles). Ни одна из них не была пока обнаружена, но существование некоторых таких частиц вытекает из теорий, объясняющих механизм появления массы у элементарных частиц (см. гл. 2). Холодная темная материя могла бы включать:

— фотино, или суперсимметричных партнеров фото нов с массой, превышающей массу протонов в 10— 100 раз;

— аксионы, гипотетические частицы, призванные объяснить отсутствие определенного свойства у ней тронов, а также наблюдаемую асимметрию Вселен ной;

— кварковые комья, представляющие собой необычное, пока еще не наблюдавшееся сочетание шести кварков (см. гл. 2).

♦ *Темная горячая материя.* Эта материя состоит из легких быстродвижущихся частиц. Самый подходящий соискатель на это место — нейтрино. Поначалу нейтрино считали частицей с нулевой массой покоя, но недавние опыты свидетельствуют, что они могут обладать небольшой такой массой. Сколько бы ни было нейтрино во Вселенной, их совокупная масса, похоже, слишком мала, чтобы как-то решить вопрос с темной материей.

Недопонимание тяготения. Галактики все еще представляют в виде скопления частиц, подчиняющихся законам Ньютона. Несмотря на то что теория тяготения выдержала проверку временем, новые опыты могут заставить внести в них изменения для межгалактических расстояний.

Прогнозирование будущего Вселенной

При всей сложности нерешенной проблемы темной материи *не она* является крупнейшей проблемой, с которой сегодня приходится иметь дело астрономии. Возникла эта проблема в конце 1990-х годов в ходе изучения космологами развития Вселенной с теоретических позиций. На пространственно-временной схеме эволюции Вселенной четко просматривается несколько возможностей ее дальнейшей судьбы (рис. 6.12).

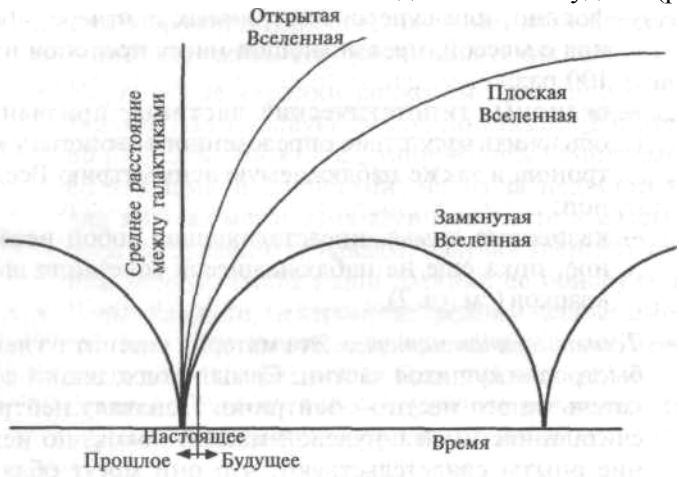


Рис. 6.12. Расстояние между галактиками во Вселенной в зависимости от времени

Представить движение Вселенной можно на примере подбрасывания мяча в воздух. Если подбросить его достаточно резко, то мяч высоко взмоет в небо, замрет на какой-то миг и затем упадет к вам в руки. Нечто подобное происходило бы в замкнутой Вселенной. Возвращение мяча вызвано силой тяготения, благодаря массе Земли, достаточно большой, чтобы вернуть мяч обратно. Теперь подбросим мяч, находясь на небольшом астероиде. Если астероид невелик, то пущенный с определенной скоростью мяч может и не вернуться на него, преодолев его силу тяготения. Такое положение соответствовало бы открытой Вселенной. Если же вы окажитесь на небесном теле с подходящей массой, мяч начнет удаляться бесконечно далеко, причем скорость его будет стремиться к нулю. Такое состояние характерно для плоской Вселенной.

Итак, вопрос об ЭВОЛЮЦИИ Вселенной, похоже, стоит так: хватит ли массы у нее для удержания от непрестанного расширения? Главным фактором эволюции Вселенной является величина совокупной плотности ее вещества и энергии, а необходимость учета обеих величин определяется знаменитым уравнением Эйнштейна $E= mc^2$ (см. гл. 2).

Плотность вещества (энергии) обычно выражается величиной омега, равной приведенной плотности вещества (энергии) (по отношению к критической плотности). Омега, равная единице в случае совпадения плотности вещества (энергии) с критическим значением плотности, указывает на расширение Вселенной со все уменьшающейся скоростью, и через бесконечное время на бесконечном удалении она уже не будет ни расширяться, ни сжиматься. Этот случай характерен для Вселенной с критической плотностью. Если масса определяет геометрию времени-пространства, критической плотности соответствует плоская Вселенная, где сохраняется параллельность линий и справедлива евклидова геометрия.

Если омега больше единицы, значит, расширение Вселенной будет замедляться еще быстрее и, достигнув предельных размеров, она начнет стягиваться, пока не произойдет «большого сжатия». Данный случай описывает поведение замкнутой Вселенной, где параллельные линии начнут сходиться.

Если омега меньше единицы, Вселенная будет вечно расширяться со слегка замедляющейся скоростью. Данный случай описывает поведение открытой Вселенной, где параллельные линии начнут расходиться.

Согласно видимой материи (энергии) омега значительно меньше единицы, что свидетельствует об открытой Вселенной. Современные оценки

количества темной материи во Вселенной дают существенную прибавку массы, однако получаемая совокупная величина уступает критической плотности. Согласно значениям видимой и темной материи Вселенная открыта независимо от возможного состава темной материи. Вопрос, стало быть, снят? Не тут-то было.

Столкнувшись с неожиданным: ускорение Вселенной

В начале 1990-х годов две разные группы ученых занялись измерением расстояния до сверхновых звезд (см. гл. 3) в надежде определить замедление Вселенной нахождением ее нынешней скорости расширения, которая, по их мнению, должна была падать со временем. Но нашли они не то, что искали: вместо замедления получили *ускорение.* Ученые были столь удивлены, что, боясь ошибиться, несколько раз перепроверили свои результаты и лишь затем их обнародовали.

Прежде чем приступить к изучению этих данных, посмотрим, что ученые пытались сделать. Ведь, как мы помним, затруднение Хаббла при определении расстояний до удаленных галактик вызывалась тем, что переменные звезды-цефеиды у таких галактик оказывались слишком тусклыми. Поэтому вполне разумно было отыскать более яркие объекты с известной светимостью, после чего вычислить расстояние до них на основе их относительной светимости. При всей яркости сверхновых звезд светимость зависит от их массы. Один вид сверхновых связан со звездой постоянной массы, а поэтому и известной светимости. Подобное происходит, когда белый карлик получает дополнительную массу от звезды-спутника, и этой массы достаточно, чтобы превысить предел для массы белого карлика (в 1,4 раза больше массы Солнца).

Тогда белый карлик взрывается, становясь сверхновой звездой типа 1а. Ввиду своей чрезвычайной светимости сверхновые типа 1а легко различимы в отдаленных галактиках. Такие сверхновые взрываются с одной и той же светимостью, так что расстояние до них можно вычислить, измеряя их видимый блеск: чем он слабее, тем она дальше. Трудность данного подхода связана с тем, что сверхновые типа 1а сохраняют свою максимальную яркость лишь в течение нескольких недель.

В 1998 году в рамках проекта космологии сверхновых звезд Калифорнийского технологического института и Международного консорциума по поиску сверхновых с большой Z^* [величиной красного

---

* Относительное изменение длины волны линий в спектре излучения небесных тел Z равно

смещения] исследовались различные сверхновые типа 1а вблизи максимума их яркости и определялись их расстояния. С помощью метода доплеровского сдвига, впервые предложенного Весто Слайфером, они определили красные сдвиги галактик, где находились сверхновые, и сравнили полученные величины со значениями, получаемыми с применением зависимости Хаббла. Измерения показали, что эти отдаленные сверхновые обладают значительно меньшим блеском, чем указывает зависимость Хаббла. А поскольку свету от вспыхнувших сверхновых пришлось добираться к нам 4—8 млрд лет, измерения свидетельствовали, что сегодня Вселенная расширяется значительно быстрее прежнего. Иначе говоря, ее расширение идет с *ускорением.*

На следующий год обнаружили еще более удаленную сверхновую. Оказалось, что это самая далекая из когда-либо наблюдавшихся звезд, и свет от нее шел 11 млрд. лет. Блеск ее оказался выше расчетного. Получалось, что 11 млрд. лет назад происходило замедление ранней Вселенной из-за сил тяготения. Но 4—8 млрд. лет назад она стала ускоренно расширяться, а галактики — разбегаться со всевозрастающей скоростью.

Из этого измерения следовал неумолимый вывод: какова бы ни была причина нынешнего ускоренного расширения Вселенной, оно было менее заметным или даже вовсе отсутствовало на ранней стадии ее эволюции. Оно стало заметным, когда Вселенная миновала пик своей эволюции, и с той поры возраст определяет ее поведение.

отношению разности лабораторной длины волны линии спектра и длины волны смещенной линии к лабораторной длине волны линии спектра.

Такое положение вещей сродни ситуации, когда водитель замедляет скорость при виде красного света светофора, чтобы при появлении зеленого света нажать на газ.

В темноте рассуждать о темной энергии

Что это за штука, вызывающая подобное космологическое ускорение? Мы не знаем, но уже дали ей название. Недостающую массу (энергию) никогда не видели, поэтому она темная. А раз она противодействует тяготению, то не может обладать привычной для нас массой. Астрофизик из Чикагского университета Майкл Тернер окрестил ее в 1999 году *темной энергией.*

Благодаря ряду различных опытов у нас есть оценка величины этой неведомой темной энергии, пусть даже мы и не знаем, *что* она собой представляет. Несколько опытов ставилось с целью выяснить общие геометрические свойства пространства и определить, открытая, плоская или замкнутая наша Вселенная. Фоновое микроволновое излучение, заполняющее ее всю, осталось от начального «большого взрыва». В течение первых 400 тыс. лет после этого взрыва Вселенная была еще столь горячей, что представлялась непроницаемой для электромагнитного излучения. Затем, остыв, она стала испускать электромагнитные волны. На протяжении 400 тыс. лет эти волны способны были преодолевать лишь ограниченное

расстояние, так что все флуктуации в излучении были ограничены по величине. Но с тех пор флуктуации исказились ввиду искривления пространства. Измерение величины минимальных температурных флуктуации в самом излучении дает возможность определить общую кривизну пространства. Для измерения этих флуктуации были задействованы высотные воздушные шары и датчик наверху метеорологической станции на Южном полюсе. В рамках экспериментов «Бумеранг», «Максима» и «Дейси» удалось изучить эти флуктуации и определить, что пространство Вселенной — плоское (евклидово): $\Omega = 1 \pm 4\%$ (рис. 6.13).

У плоской Вселенной Ω= 1, так что плотность в точности должна совпадать с критическим значением. Поскольку обычное вещество и темная материя вместе составляют 27% критической плотности массы (энергии), для обеспечения плоского характера геометрии Вселенной оставшиеся 73% должны приходиться на темную энергию. Данная теория оставляет смешанное чувство: мы можем оценить количество темной энергии, блуждая в потемках по поводу ее природы.

Вот какую картину рисуют эти данные: после первоначального резкого раздувания (инфляции) Вселенная перешла к расширению, и скорость уменьшилась под действием материи (обычной и темной). На ранних стадиях эволюции темная энергия почти не проявляла себя, так как была столь равномерно распределена по Вселенной, что не вмешивалась в формирование галактик и туманностей.

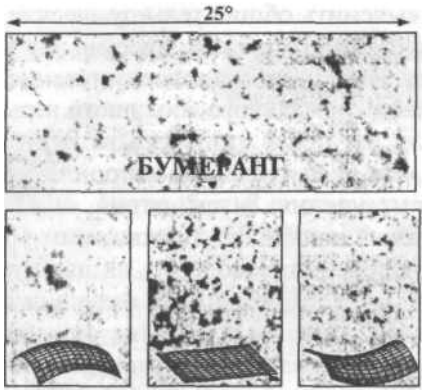


Рис. 6. 75. *Флуктуации фонового микроволнового излучения, определяющие общую кривизну пространства. На верхнем снимке представлены опытные данные; нижние снимки представляют собой три возможных распределения флуктуациис двухмерными изображениями пространственно-временной кривизны. Слева направо представлены случаи замкнутой, плоской и открытой Вселенной.*

Данные более всего согласуются со случаем плоской Вселенной

Спустя несколько миллиардов лет верховенство перешло к темной энергии, и она стала своим отрицательным давлением противодействовать силе тяготения, ускоряя тем самым расширение Вселенной. В настоящее время темная энергия слегка пересиливает тяготение, но с увеличением расширения Вселенной все большие расстояния будут способствовать дальнейшему ослаблению тяготения. Преобладание темной энергии будет становиться все более заметным, вызывая еще более ускоренное расширение Вселенной.

Решение головоломки: где, когда, как и кто?

С точки зрения теории существует несколько возможностей учета темной энергии:

Возвращение космологической постоянной Эйнштейна. Будет забавно, если окажется невозможным обойтись без «самой крупной ошибки» Эйнштейна. Ведь правильно подобранная космологическая постоянная отразит противодействие тяготению в виде отрицательного давления, вызывающего ускоренное расширение Вселенной в согласии с опытными данными. Но если космологическая постоянная представляет собой энергию нулевых колебаний вакуума (представление квантовой механики, связанное с принципом неопределенности Гейзенберга), она получается на 120 порядков выше, и надо ее каким-то образом уменьшать. *Добавление зависящего от времени члена к эйнштейновским уравнениям поля.* Если бы некоторая величина в уравнениях Эйнштейна менялась во времени, она могла бы объяснить незначительное влияние темной энергии для ранней Вселенной и последующее усиление ее роли. Хотя теоретики предпочитают простые уравнения по возможности с малым числом регулируемых параметров, надо рассмотреть и такой, менее изящный выход из положения.

Допущение изменения во времени фундаментальных величин, ранее считавшихся постоянными. Возможно, скорость света или постоянная тяготения менялись со временем. Исследования в этом направлении продвигаются с трудом и дают противоречивые результаты. *Добавление пятого, еще не выявленного взаимодействия.* Данное взаимодействие получило название «квинтэссенция» и представляет собой еще не выявленное поле отрицательной энергии, пронизывающей все пространство. Схожее представление связано со спиновым полем, именуемым спинтэссенцией. *Допущение гипотетических частиц под названием аксионы.* Если аксионы существуют, то фотоны могут генерировать аксионы, а

затем опять становиться фотонами, вызывая изменения в светимости звезд. Другая возможность состоит в том, что аксионы каким-то образом связывают друг с другом темную материю и темную энергию. Аксионы — необычные частицы, возможно, имеющие отношение к вопросу о происхождении массы элементарных частиц Вселенной (см. гл. 2).

♦ *Допущение возможности существования множественных вселенных.* Возможно, квантовая пена породила много вселенных, и мы обитаем в одной из них. Другие все ленные вполне могут обладать иной величиной сил взаимодействия, иными постоянными или даже совершенно иными физическими законами. Наша приютила жизнь, благодаря чему мы можем рассуждать о ее природе.

♦ *Взаимодействие мембраны, содержащей нашу Вселенную, с мембранами, содержащими иные вселенные.* В случае истинности одной из теорий относительно источника массы у частиц (см. гл. 2), включающих недоступные ощущениям многочисленные размерности, возможно, мембрана, на которой пребывает наша Вселенная, взаимодействует с другими мембранами посредством тяготения. Тогда мембраны могли бы сталкиваться, что заставило бы нас пересмотреть все прежние теории относительно эволюции Вселенной.

Где, когда и как. Помимо теоретических разработок планируется проведение ряда опытов по выяснению природы и величины темной энергии и темной материи.

♦ *Космический телескоп Джеймса Уэбба.* В 2010 году на мечено заменить космический телескоп Хаббла другим, более мощным. Если вспомнить, сколькими успехами мы обязаны телескопу Хаббла, от его преемника следует ожидать еще более ощутимых результатов.

Спутник Планка. Европейское управление космических исследований готовит запуск спутника для проведения более точных по сравнению с сегодняшними измерений флуктуации реликтового излучения. Запуск намечен на начало 2007 года.

♦ *Слоуновский цифровой обзор неба.* В рамках этого грандиозного проекта, уже претворяемого в жизнь, с помощью 2,5-метрового телескопа [обсерватории Апачи-Пойнт*, штат Нью-Мексико] проводится нанесение

* Обсерватория в штате Нью-Мексико (США), находящаяся в собственности и эксплуатируемая сообществом университетов (Университетом штата Нью-Мексико, Вашингтонским, Чикагским, Принстонским университетами и Университетом штата Вашингтон). Основной инструмент — 3,5-метровый альтазимутальный телескоп для наблюдений в оптическом и инфракрасном диапазонах. Главное зеркало имеет сотовую структуру и изготовлено методом вращательного литья, что делает его в 5 раз легче

координат галактик одной четверти видимого неба. Будет охвачено более 100 млн галактик.

♦ *SNAP (SuperNova/Acceleration Probe).* В рамках данного проекта намечен запуск космического телескопа, который на протяжении трех лет смог бы регистрировать до 2 тыс. сверхновых типа 1а в год. Заработать он должен не позднее 2006 года.

♦ *Обзор красных смещений галактик, расположенных в телесном угле размером 2°.* Данный обзор осуществляется с помощью англо-австралийского 3,9-метрового теле скопа в обсерватории Сайдинг-Спринг австралийского штата Новый Южный Уэльс. Им будет охвачено более 250 тыс. галактик. Наблюдение уже ведется, и свежие данные размещаются на узле *www.aao.gov.au/2df* .

Кто. В марте 2000 года Национальная академия наук США создала Комитет по физике Вселенной, перед которым поставлена задача — обеспечить взаимодействие астрономии и физики с целью преодоления привычных представлений и изучения новых возможностей на стыке обеих отраслей знаний. В своем отчете комитет подчеркивает «глубокую связь... между кварками и космосом» и предлагает «стать посредником в изучении физики Вселенной с участием Министерства энергетики, НАСА и Национального научного фонда*. Члены Комитета по физике Вселенной и те, кто может помочь в этом деле:

Майкл Стенли Тернер (Чикагский университет, председатель);

Роджер Дэвид Бландфорд (Калифорнийский технологический институт);

Сандра Мур Фейбер (Калифорнийский университет, Санта-Крус);

сплошного зеркала того же размера. В 1997 году для работы по проекту «Цифровой обзор неба» введены в строй 2,5-метровый телескоп и телескоп поддержки с зеркалом диаметром 0,6 м. Цель проекта состоит в том, чтобы собрать изображения и спектроскопические данные о сотнях миллионов астрономических объектов, в том числе слабых галактик. Имеется также телескоп с зеркалом диаметром 1 м, принадлежащий Университету штата Нью-Мексико. Обсерватория начала работу в конце 1990 года.

* Независимое федеральное ведомство, основанное по инициативе Конгресса в 1950 году с целью содействия развитию фундаментальных и прикладных научных и научно-технических исследований в государственных интересах. Поддерживает и финансирует перспективные разработки в университетах и научно-исследовательских учреждениях. Во главе фонда стоит правление из 24 видных научных и общественных деятелей, назначаемых наряду с директором президентом США с согласия Сената на шестилетний срок и работающих на общественных началах. Его годовой бюджет в 1990-е годы составлял более трех миллиардов долларов. На его долю приходится примерно четверть всех средств, отпускаемых правительством на поддержание фундаментальной науки.

Томас К. Гайссер (Делавэрский университет);

Файона Энн Харрисон (Калифорнийский технологический институт);

Джон Питер Хачра (Гарвардский университет);

Хелен Р. Куинн (Стэнфордский центр линейного ускорителя);

Р. Дж. Хамиш Робертсон (Вашингтонский университет);

Бернар Садуле (Калифорнийский университет, Беркли);

Фрэнк Дж. Скиулли (Колумбийский университет);

Дэвид Натаниел Спергел (Принстонский университет);

Дж. Энтони Тайсон [научно-исследовательский центр «Bell Laboratories»] компании *Lucent Technologies;*

Фрэнк Энтони Вилчек (Массачусетский технологический институт);

Клиффорд Мартин Уилл (Вашингтонский университет);

Брюс Д. Уинстейн (Чикагский университет);

Филип Джеймс Эдвин Пиблз;

Джон Баколл;

Джереми Острикер;

И. У. «Рокки» Колб.

Вселенная походит на подарок, принесенный кем-то на вечеринку. Подарок довольно темен и завернут в темную бумагу, но зато украшен блестящей тесьмой затейливых расцветок и узоров.

Так и мы: настолько поглощены яркой тесьмой видимой материи во Вселенной, что до сих пор почти ничего не ведаем о таящейся внутри темной материи и темной энергии.

Мы только начинаем трясти коробку.

Что мы услышим?

Список проблем

Теперь я подозреваю, что Вселенная
не только более необычна, чем мы себе
воображаем, — она более необычайна,
чем мы себе можем вообразить.

Дж. Б. Холдейн

Ограничить число нерешенных наукой проблем — то же самое, что заставить полноводную Миссисипи течь сквозь садовый шланг.

В действительности, помимо затронутых нами пяти крупнейших не решенных наукой задач, внимания и усилий ученых требует множество иных проблем. Некоторые из них, возможно, оспорят или даже в итоге оттеснят нашу пятерку.

В данном разделе перечислены и бегло рассмотрены некоторые иные не решенные наукой задачи.

Узнать о них больше можно из других источников (см. раздел «Источники для углубленного изучения» в конце книги).

Проблемы физики

Какова природа света?

Свет в некоторых случаях ведет себя подобно волне, а во многих других — сродни частице. Спрашивается: что же он такое? Ни то, ни другое. Частица и волна — лишь упрощенное представление о поведении света. На самом же деле свет не частица и не волна. Свет оказывается сложнее того образа, что рисуют эти упрощенные представления.

Каковы условия внутри черных дыр?

Черные дыры, рассматриваемые в гл. 1 и 6, обычно представляют собой сжимающиеся ядра больших звезд, переживших взрыв в виде сверхновой. У них такая огромная плотность, что даже свет не в состоянии покинуть их недра. Ввиду огромного внутреннего сжатия черных дыр к ним неприменимы обычные законы физики. А поскольку ничто не может покинуть черных дыр, недоступно и проведение каких-либо опытов для проверки тех или иных теорий.

Сколько измерений присуще Вселенной можно ли создать «теорию всего сущего»?

Как говорилось в гл. 2, пытающиеся потеснить стандартную модель теории, возможно, в итоге прояснят число измерений, а также преподнесут нам «теорию всего сущего». Но пусть вас не вводит в заблуждение название. Если «теория всего сущего» и даст ключ к пониманию природы

элементарных частиц, внушительный список нерешенных проблем — залог того, что подобная теория оставит без ответа еще много важных вопросов. Подобно слухам о смерти Марка Твена, слухи о кончине науки с приходом «теории всего сущего» слишком преувеличены.

Возможно ли путешествие во времени?

Теоретически общая теория относительности Эйнштейна допускает такое путешествие. Однако нужное при этом воздействие на черные дыры и их теоретических собратьев, «кротовые норы» [*], потребует огромных затрат энергии, значительно превосходящих наши нынешние технические возможности. Толковое описание путешествия во времени дается в книгах Митио Каку *Гиперпространство* (1994) и *Образы* (1997) и на сайте http://mkaku.org

Удастся ли обнаружить гравитационные волны?

Некоторые обсерватории заняты поиском свидетельств существования гравитационных волн. Если такие волны удастся найти, данные колебания самой пространственно-временной структуры будут указывать на происходящие во Вселенной катаклизмы вроде взрыва сверхновых, столкновений черных дыр, а возможно, еще неведомых событий. За подробностями обращайтесь к статье У. Уэйта Гиббса «Пространственно-временная рябь».

Каково время жизни протона?

Некоторые теории, не укладывающиеся в рамки стандартной модели (см. гл. 2), предсказывают распад протона, и для обнаружения такого распада было сооружено несколько детекторов. Хотя самого распада пока не наблюдалось, нижняя граница периода полураспада у протона оценивается величиной 10^{32} лет (значительно превышающей возраст Вселенной). С появлением более чувствительных датчиков, возможно, удастся обнаружить распад протона или же придется отодвинуть нижнюю границу периода его полураспада.

Возможны ли сверхпроводники при высокой температуре?

Сверхпроводимость появляется при падении у металла электрического сопротивления до нуля. В таких условиях установившийся в проводнике

[*] Так называемые топологические туннели. Другие названия этих гипотетических объектов — мосты Эйнштейна—Розена (1909—1995), Подольского (1896-1966), горловины Шварцшильда (1873-1916). Туннели могут связывать как отдельные, сколь угодно отдаленные области пространства нашей Вселенной, так и области с различными моментами начала ее раздувания. В настоящее время продолжается дискуссия о реализуемости туннелей, об их проходимости и эволюции.

электрический ток течет без потерь, которые свойственны обычному току при прохождении в проводниках вроде медного провода.

Явление сверхпроводимости впервые наблюдалось при крайне низкой температуре (чуть выше абсолютного нуля, —273°С). В 1986 году ученым удалось сделать сверхпроводящими материалы при температуре кипения жидкого азота (-196°С), что уже допускало создание промышленных изделий. Механизм данного явления понят еще не до конца, но исследователи пытаются добиться сверхпроводимости при комнатной температуре, что позволит уменьшить потери электроэнергии.

Проблемы химии

Как состав молекулы определяет ее облик?

Знание орбитального строения атомов в простых молекулах позволяет довольно легко определить внешний вид молекулы. Однако теоретические исследования облика сложных молекул, особенно биологически важных, пока не проводились. Один из аспектов данной проблемы — укладка белков, рассматриваемая в Списке идей, 8.

Каковы химические процессы при раке?

Биологические факторы вроде наследственности и внешней среды, вероятно, играют большую роль в развитии рака. Зная происходящие в раковых клетках химические реакции, возможно, удастся создать молекулы для прерывания этих реакций и выработки у клеток сопротивляемости раку.

Как молекулы обеспечивают связь в живых клетках?

Для оповещения в клетках задействуются молекулы нужной формы, когда через «подгонку» в виде комплиментарности и происходит передача сообщения. Белковые молекулы наиболее важны, так что вид их укладки и определяет их облик *[конформацию]*. Поэтому более глубокое знание белковой укладки поможет решить вопрос со связью.

Где на молекулярном уровне задается старение клетки?

Другая биохимическая проблема старения, возможно, связана с ДНК и белками, занятыми «починкой» ДНК, которая урезается в ходе неоднократной репликации (см.: Список идей, 9. Генетические технологии).

Проблемы биологии

Как развивается целый организм из одной оплодотворенной яйцеклетки?

На данный вопрос, похоже, удастся ответить, как только будет решена главная задача из гл. 4: каково устроение и предназначение протеома? Конечно, каждому организму свойственны свои особенности в устроении

белков и их предназначении, но наверняка удастся отыскать и много общего.

Что вызывает массовые вымирания?

За последние 500 млн лет пять раз происходило полное исчезновение видов. Наука продолжает доискиваться причин этого. Последнее вымирание, случившееся 65 млн лет назад, на рубеже мелового и третичного периодов, связано с исчезновением динозавров. Как ставит вопрос Дэвид Роп в книге *Вымирание: подкачали гены или удача?* (см.: Источники для углубленного изучения), вызвано ли вымирание большинства живших в ту пору организмов генетическими факторами или же неким катаклизмом? Согласно выдвинутой отцом и сыном, Луисом и Вальтером, Альваресами гипотезе, 65 млн лет назад на Землю упал огромный метеорит (примерно 10 км в поперечнике). Произведенный им удар поднял огромные облака пыли, которые стали помехой фотосинтезу, что привело к гибели многих растений, а значит, и составляющих одну пищевую цепочку животных, вплоть до громадных, но уязвимых динозавров. Подтверждение этой гипотезы — большой метеоритный кратер, обнаруженный в южной части Мексиканского залива в 1993 году. Возможно ли, что и предыдущие вымирания были следствием подобных столкновений? Исследования и споры продолжаются.

Динозавры были теплокровными или холоднокровными животными?

Британский профессор анатомии Ричард Оуэн ввел понятие «динозавр» (что значит «ужасные ящеры») в 1841 году, когда было найдено всего три неполных скелета. Воссозданием облика вымерших животных занялся британский художник-анималист и ваятель Бенджамин Уотерхаус Гаукинс. Поскольку первые найденные особи имели зубы, как у игуаны, его чучела напоминали огромных игуан, вызвав настоящий переполох среди посетителей.

А ведь ящерицы холоднокровные пресмыкающиеся, и поэтому сначала решили, что таковыми были и динозавры. Затем несколько ученых предположили, что по меньшей мере некоторые динозавры относились к теплокровным животным. Доказательств не было вплоть до 2000 года, когда в Южной Дакоте обнаружили окаменевшее сердце динозавра. Имевшее четырехкамерное устройство, это сердце подтверждает предположение о теплокровных динозаврах, поскольку в сердце ящериц всего три камеры. Однако, чтобы убедить остальной мир в верности такого предположения, необходимы дополнительные свидетельства.

Что лежит в основе человеческого сознания?

Будучи предметом изучения гуманитарных наук, данный вопрос выходит далеко за рамки настоящей книги, однако многие наши научные коллеги берутся за его изучение.

Как и следовало ожидать, существует несколько подходов к трактовке человеческого сознания. Сторонники редукционизма утверждают, что мозг представляет собой огромное множество взаимодействующих молекул и что в итоге мы разгадаем правила их работы (см. статью Крика и Коха «Проблема сознания» [В мире науки. 1992. № 11-12]).

Другой подход восходит к квантовой механике. Согласно ему, мы не в состоянии постичь нелинейность и непредсказуемость работы **мозга,** пока не уясним связи между атомным и макроскопическим уровнями поведения материи (см. книгу Роджера Пенроуза *Новый ум короля: О компьютерах, мышлении и законах физики* [М., 2003]; а также *Тени разума: В поисках науки о сознании.* [М., 2003]).

В соответствии с давним подходом человеческому уму присуща мистическая составляющая, недоступная научному объяснению, так что наука вообще не способна постичь человеческое сознание.

В связи с недавней работой Стивена Вулфрема по созданию упорядоченных образов постоянным применением одних и тех же простых правил (см. гл. 5) не стоит удивляться, что данный подход используют по отношению к человеческому сознанию; так появится еще одна точка зрения.

Проблемы геологии

Что вызывает большие перемены в климате Земли наподобие повсеместного потепления и ледниковых периодов?

Ледниковые периоды, свойственные Земле последние 35 млн лет, наступали примерно каждые 100 тыс. лет. Ледники надвигаются и отступают по всему северному умеренному поясу, оставляя памятные знаки в виде рек, озер и морей. 30 млн лет назад, когда по Земле бродили динозавры, климат был значительно теплее нынешнего, так что деревья росли даже вблизи Северного полюса. Как уже говорилось в гл. 5, температура земной поверхности зависит от равновесного состояния приходящей и уходящей энергий. Многие факторы влияют на это равновесие, включая излучаемую Солнцем энергию, обломки в космосе, между которыми пробирается Земля, падающее излучение, изменения земной орбиты, атмосферные изменения и колебания в количестве излучаемой Землей энергии (альбедо).

Вот в каком направлении ведутся исследования, особенно с учетом

разгоревшихся в последнее время споров по поводу парникового эффекта. Теорий много, а истинного понимания происходящего нет до сих пор.

Можно ли предсказывать извержения вулканов или землетрясения?

Некоторые вулканические извержения поддаются прогнозу, например недавнее (1991) извержение вулкана Пинатубо на Филиппинах, но другие недоступны для современных средств, по-прежнему заставая вулканологов врасплох (например, извержение вулкана Сент-Хеленс, штат Вашингтон, 18 мая 1980 года). Многие факторы вызывают извержения вулканов. Нет единого теоретического подхода, который был бы верен для всех вулканов.

Землетрясения предсказать еще труднее, нежели извержения вулканов. Некоторые известные геологи даже сомневаются в возможности составить надежный прогноз (см.: Список идей, 13. Предсказание землетрясений).

Что происходит в земном ядре?

Две нижние оболочки Земли, внешнее и внутреннее ядро, недоступны для нас ввиду глубокого залегания и высокого давления, что исключает прямые измерения. Все сведения о земных ядрах геологи получают на основе наблюдений за поверхностью и общей плотностью, составом и магнитными свойствами, а также исследований с помощью сейсмических волн. К тому же помогает изучение железных метеоритов ввиду сходства процесса их формирования с земным. Недавние результаты, полученные с помощью сейсмических волн, выявили различную скорость волн в северо-южном и восточно-западном направлениях, что указывает на слоистое твердое внутреннее ядро.

Проблемы астрономии

Одиноки ли мы во Вселенной?

Несмотря на отсутствие каких-либо экспериментальных свидетельств существования внеземной жизни, теорий на этот счет хватает с избытком, как и попыток обнаружить весточки от далеких цивилизаций.

Как эволюционируют галактики?

Как уже упоминалось в гл. 6, Эдвин Хаббл классифицировал все известные галактики согласно их внешнему облику. Несмотря на тщательность описания их нынешнего состояния, данный подход не позволяет понять эволюцию галактик. Выдвинуто несколько теорий, призванных объяснить формирование спиральных, эллиптических и неправильных галактик. Эти теории зиждутся на физике газовых облаков, предшествовавших галактикам. Моделирование на суперЭВМ позволило кое-что уяснить, но пока не привело к единой теории образования галактик. Создание такой теории требует дополнительных исследований.

Распространены ли сходные с Землей планеты?

Математические модели предсказывают существование сходных с Землей планет от единиц до миллионов в пределах Млечного Пути. Мощные телескопы обнаружили более 70 планет за пределами Солнечной системы, но большинство из них величиной с Юпитер или крупнее. По мере совершенствования телескопов удастся отыскать и другие планеты, что поможет определить, какая из математических моделей больше соответствует действительности.

Каков источник всплесков γ-излучения?

Примерно один раз в сутки наблюдается сильнейшее у-излучение, которое зачастую оказывается мощнее всех прочих, взятых вместе (γ-лучи схожи с видимым светом, но у них значительно выше частота и энергия). Данное явление впервые зафиксировано в конце 1960-х, но о нем не сообщали до 1970-х годов, поскольку все датчики использовались для контроля за соблюдением запрета на проведение ядерных испытаний.

Поначалу астрономы считали, что источники этих выбросов находятся в пределах Млечного Пути. Высокая интенсивность излучения вызвала предположение о близости ее источников. Но по мере накопления данных становилось очевидным, что эти выбросы шли отовсюду, а не были сосредоточены в плоскости Млечного Пути.

Зафиксированная в 1997 году благодаря космическому телескопу Хаббла вспышка указывала на то, что она исходила из периферии слабо светящейся галактики, удаленной на несколько миллиардов световых лет. Поскольку источник находился вдали от центра галактики, он вряд ли был черной дырой. Как считают, эти всплески у-излучения исходят от обычных звезд, содержащихся в диске галактики, возможно, вследствие столкновения нейтронных звезд или иных, еще нам неизвестных небесных тел.

Почему Плутон столь разительно непохож на все прочие планеты?

Четыре внутренние планеты — Меркурий, Венера, Земля и Марс — относительно невелики, каменисты и близки к Солнцу. Четыре внешние планеты — Юпитер, Сатурн, Уран и Нептун — велики, газообразны и удалены от Солнца. Теперь о Плутоне. Плутон мал (подобно внутренним планетам) и удален от Солнца (подобно внешним планетам). В этом смысле Плутон выпадает из общего ряда. Он обращается вокруг Солнца поблизости от области, именуемой поясом Койпера*, содержащим много тел, сходных с

* *Койпер Джерард Петер* (1905—1973) — нидерландский и американский астроном. Открыл спутник Урана — Миранду (1948), спутник Нептуна — Нереиду (1949), углекислый газ в атмосфере Марса, атмосферу у спутника Сатурна Титана. Составил несколько детальных

Плутоном (некоторые астрономы называют их Плутино).

Недавно несколько музеев решили лишить Плутона статуса планеты. Пока не удастся нанести на карту больше других тел из пояса Койпера, споры вокруг статуса Плутона не утихнут.

Каков возраст Вселенной?

Возраст Вселенной можно оценить несколькими способами. Одним способом возраст химических элементов в составе Млечного Пути оценивается по результатам радиоактивного распада элементов с известным периодом полураспада на основе предположения, что элементы синтезируются (внутри сверхновых больших звезд) с постоянной скоростью. По данному способу возраст Вселенной определен 14,5±3 млрд. лет.

Другой способ включает оценку возраста звездных скоплений на основе некоторых допущений относительно поведения и удаления скоплений. Возраст самых древних скоплений исчисляется 11,5±1,3 млрд. лет, а для Вселенной — 11-14 млрд.

Возраст Вселенной, определяемый по скорости ее расширения и расстоянию до самых удаленных объектов, составляет 13—14 млрд. лет. Недавнее открытие ускоренного расширения Вселенной (см. гл. 6) делает эту величину более неопределенной.

Недавно разработан еще один метод. Космический телескоп Хаббла, работая на пределе своих возможностей, измерил температуру старейших белых карликов в шаровом скоплении М4. (Этот способ схож с оценкой времени, прошедшего после прогорания костра, по температуре золы.) Выходило, что возраст древнейших белых карликов составляет 12—13 млрд. лет. Если предположить, что первые звезды образовались не ранее, чем через 1 млрд. лет после «большого взрыва», возраст Вселенной составляет 13—14 млрд. лет, а оценка служит проверкой показателей, полученных другими методами.

В феврале 2003 года получены данные с уилкинсоновского зонда микроволновой анизотропии (WMAP) [*], позволившие наиболее точно

атласов фотографий Луны. Выявил много двойных звезд и белых карликов.

[*] Спутник, названный в память об инициаторе данного эксперимента — астрофизике Дэвиде Т. Уилкинсоне. Вес 840 кг. Был запущен в июне 2001 года на околосолнечную орбиту, в точку Лагранжа L2 (1,5 млн км от Земли), где гравитационные силы Земли и Солнца равны друг другу и условия прецизионных наблюдений всего неба наиболее благоприятны. От Солнца, Земли и Луны (наиболее близких источников тепловых шумов) приемная аппаратура защищена большим круглым экраном, на освещенной стороне которого размещены

вычислить возраст Вселенной: 13,7±0,2 млрд. лет.

Существуют ли множественные вселенные?

В соответствии с одним возможным решением рассмотренной в гл. 6 проблемы ускоренного расширения Вселенной получается множество вселенных, населяющих обособленные «браны» (многомерные мембраны). При всей своей умозрительности данная идея дает широкий простор для всевозможных домыслов. Более подробно о множественных вселенных можно узнать из книги Мартина Риса *Наша космическая обитель*.

солнечные батареи. Такая ориентация сохраняется в течение всего полета. Два приемных зеркала площадью 1,4*1,6 м^2, поставленные «спина к спине», просматривают небо в стороне от оси ориентации. В результате вращения станции вокруг собственной оси за сутки просматривается 30% небесной сферы. Разрешающая способность WMAP в 30 раз выше, чем у предыдущего спутника COBE (Cosmic Background Explorer), запущенного НАСА в 1989 году. Размер измеряемой ячейки на небе равен 0,2x0,2°, что сразу сказалось на точности небесных карт. Во много раз повысилась и чувствительность приемной аппаратуры. Например, массив данных COBE, полученных за 4 года, в новом эксперименте набирается всего за 10 дней.

Когда Земле предстоит очередная встреча с астероидом?

О Землю постоянно ударяются космические осколки. И поэтому так важно знать, какой величины небесные тела падают на нас и сколь часто. Тела с поперечником 1 м входят в атмосферу Земли несколько раз в месяц. Они часто взрываются на большой высоте, выделяя энергию, равную взрыву небольшой атомной бомбы. Примерно один раз в столетие к нам прилетает тело 100 м в поперечнике, оставляя после себя большую память (ощутимый удар). После взрыва подобного небесного тела в 1908 году над сибирской тайгой, в бассейне реки Подкаменная Тунгуска [Красноярский край], были повалены деревья на площади около 2 тыс. км^{2*}.

Удар небесного тела с поперечником 1 км, случающийся раз в миллион лет, может привести к огромным разрушениям и даже вызвать климатические изменения. Столкновение с небесным телом размером 10 км в поперечнике, вероятно, и привело к исчезновению динозавров на рубеже меловой и третичной эпох 65 млн лет назад. Хотя тело такого размера может появиться лишь раз в 100 млн лет, на Земле уже предпринимают шаги, чтобы не быть застигнутыми врасплох. Разрабатываются проекты «Околоземные объекты» (NEOs) и «Наблюдение за околоземными астероидами» (NEAT), в соответствии с которыми к 2010 году удастся отслеживать 90% астероидов с поперечником более 1 км, общее число которых, по различным оценкам, находится в пределах 500—1000. Другая программа, «Spacewatch», осуществляемая Аризонским университетом,

---

* В течение нескольких секунд наблюдался ослепительный яркий болид, перемещавшийся по небу с юго-востока на северо-запад. На пути движения болида, который был виден на огромной территории Восточной Сибири (в радиусе до 800 км), остался мощный пылевой след, сохранявшийся в течение нескольких часов. После световых явлений был слышен взрыв на расстоянии свыше 1000 км. Во многих селениях ощущалось сотрясение почвы и построек, подобное землетрясению, раскалывались оконные стекла, с полок падала домашняя утварь, качались висевшие предметы и т. д. Многие люди, а также домашние животные были сбиты с ног воздушной волной. Сейсмографы в Иркутске и в ряде мест Западной Европы зарегистрировали сейсмическую волну. Воздушная взрывная волна была зафиксирована на барограммах, полученных на многих сибирских метеорологических станциях, в Петербурге и ряде метеорологических станций Великобритании. Эти явления наиболее полно объясняет кометная гипотеза, согласно которой они были вызваны вторжением в земную атмосферу небольшой кометы, двигавшейся с космической скоростью. По современным представлениям, кометы состоят из замерзших воды и различных газов с примесями включений никелистого железа и каменистого вещества. Г. И. Петров в 1975 году определил, что «тунгусское тело» было весьма рыхлым и не более чем в 10 раз превышало плотность воздуха у поверхности Земли. Оно представляло собой рыхлый ком снега радиусом 300 м и плотностью менее 0,01 г/см^3. На высоте около 10 км тело превратилось в газ, рассеявшийся в атмосфере, что объясняет необычайно светлые ночи в Западной Сибири и в Европе после этого события. Упавшая на землю ударная волна вызвала повал леса.

состоит в наблюдении за небом в поисках возможных «кандидатов» на столкновение с Землей.

За более подробными сведениями обращайтесь на узлы Всемирной Паутины:

http://neat.jpl.nasa.gov

http://neo.jpl.nasa.gov

http://apacewatch.lpl.arizona.edu/

Что было до «большого взрыва»?

Поскольку время и пространство ведут свой отчет с «большого взрыва», понятие «до» не имеет никакого смысла. Это равносильно вопросу, что находится северней Северного полюса. Или, как бы выразилась американская писательница Гертруда Стайн*, нет никакого «затем» затем†. Но подобные трудности не останавливают теоретиков. Возможно, до «большого взрыва» время было мнимым; вероятно, не было вообще ничего, и Вселенная возникла из флуктуации вакуума; или же произошло столкновение с другой «браной» (см. затронутый ранее вопрос о множественных вселенных). Таким теориям трудно найти экспериментальное подтверждение, поскольку огромная температура первоначального огненного шара не допускала создания каких-либо атомных или субатомных образований, которые могли бы существовать до начала расширения Вселенной.

---

* *Стайн Гертруда* (1874-1946) — американская писательница, теоретик литературы. Модернист. Формально-экспериментальная проза («Становление американцев», 1906-1908, издана 1925) в русле литературы «потока сознания». Биографическая книга «Автобиография Элис Б. Ток-лас» (1933). Стайн принадлежит выражение «потерянное поколение» (на рус. яз.: *Стайн Г.* Автобиография Элис Б. Токлас. СПб., 2000; *Стайн Г.* Автобиография Элис Б. Токлас. Пикассо. Лекции в Америке. М., 2001).

† Намек на слова *there is no there, there* из 4-й главы повести 1936 года (опубликована в 1937 году) «Биография всех», являющейся продолжением ее знаменитого романа «Автобиография Элис Б. Токлас».

Список идей

Многие идеи, о которых повествует наша книга, рассматриваются лишь в той мере, в какой они связаны с крупнейшими, не решенными наукой задачами. Однако читателям, возможно, хочется получить более подробные сведения. Данный раздел позволит углубить представления о затронутых вскользь темах. Темы расположены в порядке их появления на страницах книги, и при этом даются ссылки на источники, если вы пожелаете расширить свой кругозор. Дополнительные сведения содержатся в разделе «Источники для углубленного изучения».

Надеемся, что эти идеи смогут удовлетворить ваше любопытство или даже разжечь его. В будущем удастся решить некоторые из этих проблем, но им на смену придут другие.

1. Антивещество

Почти каждой элементарной частице соответствует античастица. Как правило, античастицы обладают той же массой, что и их обычный собрат с зарядом одинаковой величины, только противоположного знака. Как видно на рис. 1.1, каждому кварку соответствует свой антикварк (антиверхний, антиочарованный...), каждому лептону — свой антилептон антиэлектронное нейтрино, антимюонное нейтрино...), а W^+- и W^--бозону — свои античастицы. Лишь у фотона, Z-бозона, глюона (всего восемь разновидностей) и гипотетического гравитона нет античастиц. Иначе говоря, они сами служат для себя античастицами.

Рис. 1.1. Основные частицы

Как упоминалось в гл. 2, антивещество было предсказано теорией, когда в 1928 году британский физик П. А. М. Дирак объединил квантовую механику со специальной теорией относительности. Сходным, но более простым примером здесь могут послужить решения уравнения $x^1 = 9$, равные +3 и —3. Зачастую при наличии у уравнения двух решений одно обычно отбрасывают, считая не имеющим физического смысла. Ученые пытались исключить решение уравнения Дирака, допускавшее существование подобной электрону частицы, но несущей положительный, а не отрицательный заряд. Но спустя четыре года [1932] американский физик Карл Андерсон представил опытные свидетельства существования позитрона при исследовании космических лучей, так что предсказание подтвердилось. В 1955 году в Калифорнийском университете Эмилио Сегре и Оуэн Чемберлен наблюдали антипротон, а антинейтрон обнаружился годом позже.

Событие, сотворившее электрон и позитрон в диффузионной камере у Андерсона в 1932 году, именуют рождением пар. Световой фотон в космических лучах отдает всю свою энергию, которая превращается в массу в соответствии с уравнением Эйнштейна $E = mc^2$. При столкновении электрона с позитроном их масса полностью переходит в энергию, так что в итоге два световых фотона разлетаются в противоположные стороны. Данный процесс называют аннигиляцией, и он состоит в превращении массы в энергию, величина которой вновь определяется уравнением Эйнштейна.

Теоретически ничто не может помешать антипротонам соединиться с антинейтронами для образования антиядер, а антиэлектронам примкнуть к этим антиядрам с образованием антиатомов. И действительно, в 1995 году в Европейской лаборатории физики элементарных частиц возглавляемому немецким физиком Вальтером Олертом коллективу ученых удалось получить девять атомов антиводорода. Только не подумайте, что эти антиатомы устроили переполох в лаборатории. Ввиду подавляющего перевеса обычного вещества девять атомов антиводорода не продержались и сорок миллиардных секунды.

Научная фантастика привлекает огромное количество антивещества, особенно в качестве топлива для космических кораблей. Наибольшая трудность в создании движителя на основе антивещества сопряжена с его хранением и радиоактивным загрязнением. Как бы ни бились инженеры над созданием космических кораблей, работающих на основе антивещества, встает вопрос о безопасности, поскольку один грамм аннигилирующего вещества (антивещества) выделяет энергию, сравнимую с энергией

сброшенной в 1945 году на Японию атомной бомбы.

Не существуют ли где-то в далекой галактике или даже в Млечном Пути залежи антивещества? В конце концов, если бы единственной связью с этими галактиками для нас служили излучаемые ими световые фотоны, мы оставались бы в неведении. Фотон — сам себе античастица, так что мы не могли бы отличить обыкновенные галактики от галактик из антивещества, поскольку от тех и других исходили бы фотоны. Все это верно, однако постоянно обрушивающиеся на нас космические лучи содержат не одни фотоны, только никакого неведомого антивещества там нет. Кроме того, в случае протон-антипротонной аннигиляции на краю антигалактики излучался бы свет определенной частоты. Такого света пока не наблюдалось. Похоже, что Вселенная почти целиком состоит из обычного вещества.

Однако отсутствие антивещества порождает другую трудность. Если населяемая нами Вселенная симметрична, то при «большом взрыве» должно было появиться одинаковое количество вещества и антивещества, и они бы полностью взаимно уничтожились. Некому тогда было бы обсуждать этот вопрос. Куда же делось антивещество? Согласно одной теории, возникла антивселенная, которая где-то затерялась, возможно на одной из «бран» из М-теории (см. гл. 2).

Недавние опыты указывают на асимметрию в скорости распада некоторых видов вещества и антивещества. Мезоны, двухкварковые частицы, нестабильны, и поэтому их нет в обычном веществе. Лишь разновидность мезонов — К-мезон был тщательно изучен. Различную скорость распада у К-мезона и анти К-мезона обнаружила в 1957 году физик из Колумбийского университета Ву Цзяньсюн. В 2001 году опыты на ускорителях в Стэнфордском университете и в японском академгородке Цукуба [расположенном в 35 км к северо-востоку от Токио] выявили асимметрию в распаде В-мезонов и анти В-мезонов, где анти В-мезоны распадались чуть быстрее. Величина асимметрии будет уточняться по мере получения данных в ходе этих долгосрочных исследований.

Если антивещество распадается быстрее обычного вещества, такое положение можно уподобить сражению миллионного войска с миллионным анти войском. Если каждый воин будет убивать одного неприятеля, то к концу сражения останется один воин. Вещество и антивещество взаимно уничтожатся, но благодаря крохотному превышению обычное вещество возобладает. Если такой подход верен, можно представить, сколько вещества было до великой аннигиляции.

Предсказанные стандартной моделью величины нарушения симметрии

в скорости распада слишком малы, чтобы получилось наблюдаемое ныне во Вселенной количество вещества, но тут готова предложить свои услуги более юная М-теория.

Для более подробного ознакомления с проблемой см. статью: Sarah Graham «Explore: In Search of Antimatter» *{Scientific American.* 2001. August 20), размещенную во Всемирной Паутине по адресу: *http://physicsweb.Org/article/news/5/3/l/l*

2. Ускорители

Как видно из названия, ускоритель разгоняет медленно движущиеся частицы. Частицы с более высокими скоростями обладают более высокой энергией, так что физика высоких энергии развивалась совместно с ускорителями частиц. Польза от частиц высоких энергий стала очевидной, когда американский физик Карл Андерсон обнаружил античастицу электрона — позитрон — среди следов, оставляемых в диффузионной камере после бомбардировки космическими лучами. Поскольку космические лучи приходят к нам, обладая различной энергией, отовсюду и когда им заблагорассудится, для проведения систематических опытов над элементарными частицами требовался более надежный источник частиц высокой энергии.

Линейные ускорители разгоняют заряженные частицы в электромагнитном поле по прямой, подобно тому как разгоняют электроны в электронно-лучевых трубках телевизионных приемников. Мишень устанавливают в конце пути частицы, а датчики, чувствительные к оставленным продуктами столкновения частиц следам, регистрируют последствия столкновения. Для получения все более высоких энергий требуется постоянно увеличивать длину ускорителей. Стэнфордский центр линейного ускорителя с туннелем длиной 3,2 км (2 мили) разгоняет электроны (или позитроны) посредством обычной электромагнитной волны, подобно микроволновой печи. Для более подробного ознакомления см. узел Всемирной Паутины *www.slac.stanford.edu/*

Другая разновидность ускорителя — круговой. Первый круговой ускоритель был изобретен американским физиком Эрнестом Лоуренсом и получил название «циклотрон». В 1928 году Калифорнийский университет в Беркли переманил к себе из Йельского университета 27-летнего Лоуренса, намериваясь создать у себя наряду с химическим столь же крепкое физическое отделение. На следующий год Лоуренсу, внуку норвежских переселенцев, довелось просматривать один немецкий электротехнический журнал. Он увидел наброски устройства, предлагаемого норвежским инженером Ролфом Видероэ для разгона зарядов двойным пропусканием их

через ускоряющее поле, изменяя направление поля таким образом, что заряды получали двойную энергию. Поначалу огромные технические трудности отпугивали Лоуренса. Однако, не желая отставать в гонке за высокими энергиями, в начале 1930 года он поручает создание такого устройства аспиранту Стэнли Ливингстону. К январю 1931 года Лоуренс и Ливингстон располагали работающим макетом циклотрона (рис. 1.2) с поперечником 4,5 дюйма [1 дюйм = 2,54 см], разгонявшим ионы водорода до энергии 80 тыс. электрон-вольт (эВ). В 1939 году Лоуренс получил Нобелевскую премию за изобретение циклотрона. В 1940 году в США насчитывалось 22 готовых или строящихся циклотрона, и более 11 — за границей.

Вторая мировая война замедлила поступь циклотронов. Но стоило ей отгреметь, как новшества позволили существенно нарастить мощь установок. Появился синхротрон, где изменением магнитного поля частицы разгонялись по орбитам с неизменным радиусом. Это позволяло уменьшить пространство, где поддерживался вакуум, и тем самым упрощалось управление пучком.

Рис. 1.2. Эрнест Лоуренс с макетом циклотрона

Затем стали удерживать частицы на круговой орбите, компенсируя потери на излучение. Это обеспечивало так называемое накопительное кольцо. Наконец поставили два таких кольца, так что пучки частиц направляли друг на друга. Такое перекрестное расположение накопительных колец позволило получить много важнейших сведений об

элементарных частицах. В Соединенных Штатах крупнейший ускоритель принадлежит Национальной лаборатории высокоэнергетических исследований имени Энрико Ферми (FNAL) в Батавии (штат Иллинойс), близ Чикаго. Созданная в 1968 году лаборатория располагает самым мощным в мире ускорителем частиц «Tevatron», способным обеспечивать встречные пучки энергией порядка 0,980 трлн. эВ (ТэВ): разгоняющихся по часовой стрелке протонов и против часовой стрелки — антипротонов. Протон-антипротонное столкновение в точках взаимодействия частиц создает энергию 1,96 ТэВ.

Для более подробного ознакомления с проблемой см. узел Всемирной Паутины *www.fnal.gov*

Фундаментальными изысканиями занят CERN (Европейская организация по ядерным исследованиям), расположенный на границе Франции и Швейцарии. CERN располагает десятью ускорителями. Там ведут исследования ученые 80 национальностей из 500 университетов. Более подробные сведения о CERN'e см. на узле Всемирной Паутины

http://public.web.cern.ch/Public

Крупнейший ускоритель в CERN'e, электрон-позитронный коллайдер (LEP) имел самую длинную в мире траекторию разгона пучка 27 км. LEP теперь в прошлом; его тоннель переоборудуется для использования уже в качестве большого адронного коллайдера (LHC), где протоны будут сталкиваться с протонами при энергии 7 ТэВ. *Со* вступлением в строй в 2005 году он станет крупнейшим в мире.

Для более подробного ознакомления с LHC см. узел Всемирной Паутины *http://lhc-new-homepage.web.cern.ch/lhc-new-homepage/*

Некоторые теоретики считают, что новый LHC сможет создавать крохотные черные дыры со скоростью одной такой дыры в секунду, называя его производителем черных дыр. Эти черные дыры будут исчезать в течение долей секунды, но при этом возможно возникновение всеми разыскиваемой частицы — бозона Хиггса, о которой шла речь в гл. 2. По словам сотрудника Мэрилендского университета Грегори Ландсберга, все это вполне может случиться «за один час работы» в «черных дырах на большом адронном коллайдере» (S. Dimopoulos, G. Landsberg, *Physical Review Letters 87* (2001): 161602).

Узлы Всемирной Паутины:

www.aip.org/history/lawrence/first.htm ;

www.lbl.gov/Science-Articles/Archive/early-years.html

3. Фермионы и бозоны

Все частицы, составляющие Вселенную, распадаются на две группы: фермионы и бозоны. Подобное различение ввели аспиранты Лейденского университета (Голландия) Сэмюэль Гаудсмит и Джордж Уленбек. Гаудсмит, больше занятый исследованиями, заметил дополнительное расщепление спектра излучения атомов гелия. Уленбек, лучше знавший классическую физику, усмотрел причину такого расщепления в некоем внутреннем свойстве электрона. Вместе они пришли к заключению, что электрон изначально обладает определенным угловым моментом — спином [статья 1925 года в *Die Naturwissenschaften.* № 13. S. 953-954].

Основы квантовой механики тогда только закладывались, так что данное представление привело к добавлению четвертого квантового числа (помимо главного, орбитального и магнитного), названного спиновым квантовым. Электрон изображают в виде крошечного, стремительно вращающегося волчка, однако подобное описание не надо воспринимать буквально. Внутренний угловой момент электрона, спин, равен $\pm{}^1/_2(h/2p)$где *h* — постоянная Планка. Понятие «спин» связано с привычным взглядом на электрон, поскольку спиновое квантовое число имеет два значения $+{}^1/_2(h/2p)$и $-{}^1/_2(h/2p)$соответствуя как бы вращению [ускоряющемуся] «вверх» и вращению [падающему] «вниз». В 1928 году разработка британским физиком П. Дираком релятивистской квантовой механики подвела теоретическую базу под спин электрона; догадка Гаудсмита и Уленбека оказалась весьма удачной.

В 1925 году австрийский физик Вольфганг Паули заключил, что два электрона не могут находиться в одном квантовом состоянии на одном и том же месте. Этот принцип запрета Паули лежит в основе Периодической таблицы химических элементов.

При изучении статистического поведения электронов итальянско-американский физик Энрико Ферми и Дирак разработали теорию статистики Ферми—Дирака. Ее положения в дальнейшем были распространены и на другие частицы с полуцелым спином h/2p. Эти частицы, названные *фермионами,* охватывают собой все лептоны и кварки. Таким образом, массу Вселенной составляют фермионы.

Изучением частиц с нулевым или целым спином h/2p в 1924 году занимался индийский физик Шатьендранат Бозе. Работая в университете г. Дакка (Бангладеш), Бозе послал результаты своих изысканий для отзыва Эйнштейну. Тот перевел его труд на немецкий язык и настоятельно посоветовал издать *[Bose S. N.* Plancks Gesetz und Lichtquanten Hypo-these // Zeitschrift fur Physik. 1924. № 26; на рус. яз.: *Бозе Ш.* Закон Планка и

гипотеза световых квантов // *Эйнштейн А.* Собр. научных трудов. М., 1966]. На следующий год Эйнштейн расширил результаты Бозе с учетом всех частиц, не являющихся фермионами *[Einstein A.* Quantentheorie des einatomigen idealen Gases // Sitzungsberichte der PreuBischen Akademie der Wissenschaften, Phys-math. Kl. 1924; 1925; на рус. яз.: *Эйнштейн А.* Квантовая теория одноатомного идеального газа // Собр. научных трудов. Т. 3]. Статистическое поведение таких частиц стали именовать статистикой Бозе— Эйнштейна. Подчиняющиеся этой статистике частицы Дирак назвал *бозонами.* Переносчики всех взаимодействий — фотон у электромагнитного, глюоны у сильного, и W- и Z-частицы у слабого — относятся к бозонам.

Если два фермиона не могут находиться в одном и том же квантовом состоянии, то для бозонов такого ограничения не существует. И действительно, чем больше бозонов находится в определенном энергетическом состоянии, тем больше вероятность уподобления им всех прочих бозонов. Данное явление лежит в основе вынужденного излучения в лазерах, когда фотоны приводятся в одно и то же энергетическое состояние. Такого рода «стадность» помогает объяснить сверхтекучесть гелия и даже сверхпроводимость, когда электроны сбиваются в пары и действуют уже как бозоны. В 1995 году удалось так снизить температуру газообразного рубидия, что все атомы обрели одно и то же квантовое состояние. Подобное скопление называют конденсатом Бозе—Эйнштейна.

Склонность к «одиночеству» у фермионов и «общительность» бозонов делают их столь непохожими. Но это различие оказывается определяющим для природы Вселенной. Например, если бы фермионы объединялись подобно бозонам, все электроны в атоме собирались бы на самом нижнем энергетическом уровне, и тогда не могло бы быть и речи о химических реакциях, а стало быть, и о жизни.

4. Внеземная жизнь

> Я говорил о летающих тарелках со множеством людей. Мне было любопытно: они настаивали, что такое возможно. И это так. Подобное возможно. Но они не понимают, что вопрос-то не в показе того, возможно такое или нет, а в том, существует это или нет.
>
> *Ричард Ф. Фейнман, физик, Нобелевский лауреат*

Ученых, как и всех, будоражит возможность существования внеземной

жизни. Однако действительность такова, что, помимо представлений на кино- и телеэкране, на страницах книг, на сайтах Всемирной Паутины и бесчисленного числа рассказов «очевидцев», *нет ни одного научного свидетельства наличия жизни вне Земли.* Тем не менее научные поиски ведутся на обоих фронтах, теоретическом и экспериментальном.

Теоретические поиски

Какие формы жизни возможны?

♦ *Жизнь на углеродной основе, подобно нашей.* Выражая мнение большинства, покойный химик Сирил Поннамперума из Мэрилендского университета полагал, что химия живого на Земле может быть обобщена на всю Вселенную. По его словам, данные «свидетельствуют, что создание и соединение кирпичиков жизни (аминокислот и нуклеотидов), похоже, было неизбежным, стоило лишь заработать химической печи земного "первичного бульона"», и «в случае существования жизни где-то еще на просторах Вселенной в химическом от ношении она была бы крайне схожей с жизнью на Земле».

Большинство ученых соглашаются, что, несмотря на образ пучеглазых зеленых пришельцев, насаждаемый производителями игрушек, любая внеземная форма жизни будет существенно разниться от людей. Однако некоторые структурные и функциональные составляющие могут оказаться общими. Например, подобные глазам датчики для восприятия фотонов (возможно, в невидимой области спектра), два подобных глазам датчика для определения расстояния и кратчайший путь к устройству обработки данных от датчиков (мозгу) представляются схожими. Далее, вполне уместно компактное телесное устройство, включающее конечности для управления окружающими предметами и отдельные приспособления для передвижения. В некотором отношении голливудский образ пришельца может оказаться не столь далеким от действительности.

♦ *Жизнь не на углеродной основе.* Помимо углерода остовом жизни может вполне послужить расположенный в таблице Менделеева как раз под ним кремний. После того как эту связь заметили в 1890-е годы, романист Г. Уэллс писал: «Какие фантастические картины предстают при подобном предположении: образы кремнеалюминиевых организмов — а почему бы и не кремнеалюминиевых людей, бродящих посреди атмосферы из газообразной серы, скажем, вдоль моря, где плещется жидкое железо при температуре доменной печи в несколько тысяч градусов».

Действительно, химические свойства кремния и углерода во многом сходны. Например, углерод при соединении с четырьмя атомами водорода образует метан (CH_4), тогда как кремний дает в этом случае силан (SiH_4).

Химическое взаимодействие кремния с кислородом тоже роднит их (CO_2 и SiO_2), но наблюдается и существенное различие. Двуокись кремния образует трехмерную решетку, ее крепкие связи делают SiO_2 твердым (песок), даже при высоких температурах.

В биохимии углеродной жизни энергия черпается из длинных углеводных цепей, которые разрываются посредством белковых ферментов-катализаторов. Отходами при этом являются вода и углекислый газ, которые легко выводятся из организма, поскольку находятся соответственно в жидком и газообразном состоянии. Кремниевой жизни пришлось бы иметь дело с твердыми отходами, удаление которых сопряжено с трудностями.

К тому же углеродные биологически важные молекулы обладают таким свойством, как хиральность (см. гл. 3), иначе говоря, трехмерность связей заставляет их при образовании спирали закручиваться либо вправо, либо влево. Данное свойство обеспечивает метаболизму гибкость, чего будет лишена кремниевая жизнь, у которой склонность к хиральности проявляется значительно слабее.

Наконец, распространенность. В 2002 году в космосе удалось обнаружить 113 углеродных молекул, тогда как кремниевых оказалось всего 10. Если и существуют формы жизни на основе кремния, похоже, они будут занимать значительно меньшую нишу по сравнению с углеродной жизнью.

Итак, насколько вероятно существование внеземных цивилизаций? В ноябре 1961 года Национальная академия наук организовала неофициальную встречу в местечке Грин- Банк, штат Западная Виргиния, по вопросу внеземной жизни. Радиоастроном из Национальной радиоастрономической обсерватории Фрэнк Дрейк привел уравнение, ставящее вероятность существования внеземной жизни в зависимость от ряда сомножителей, определяемых отдельно. Данное уравнение, названное Дрейком уравнением Грин-Банк, стало общепризнанным и было переименовано в уравнение Дрейка:

Число внеземных цивилизаций = (рождаемые за год звезды) x
x (*f* планет) x (*f* жизненной зоны) x (*f* жизни) x (*f* разума) x
x (*f* межзвездной связи) x (время жизни).

Для оценки количества «сообщающихся» цивилизаций (которые посылают и принимают послания) в галактике Млечный Путь необходимо прежде оценить семь сомножителей, где/принимают значения от 0 до 1.

1. Какова скорость образования в нашей Галактике звезд, подходящих для создания пригодных для жизни планет ?

Большие звезды слишком недолговечны, а малые чересчур холодны, так что остаются лишь звезды средней величины.

2. Какова доля таких звезд, имеющих планеты ?

Согласно нынешнему уровню понимания процесса образования звезд, вполне вероятно, что вокруг большинства таких звезд могли бы обращаться планеты.

3. Какова доля планет, обращающихся вокруг своих звезд в пределах, где возможно зарождение жизни ?

На Земле решающее значение имеет наличие свободной воды в жидком состоянии. Венера для этого слишком жаркая, а Марс слишком холоден, так что в нашей Солнечной системе лишь одна планета находится в жизненной зоне — Земля. Большое значение могла иметь и Луна. Приливно-отливные явления способны повлиять на зарождение жизни, заставляя то наполняться, то высыхать водоемы, приводя к образованию «первичного бульона» нужной концентрации.

Неведомую пока роль в становлении жизни могли сыграть большие внешние планеты, особенно Юпитер, отводя идущие к внутренним планетам астероиды или кометы. Такой «громоотвод» защитил Землю от нежелательных воздействий, которые могли замедлить или даже прервать ход жизни.

4. Какова доля благоприятно расположенных планет, где действительно зародилась жизнь?

Оценка данного множителя делит людей на пессимистов и оптимистов. Некоторые, например Нобелевский лауреат бельгийский биохимик Кристиан Де Дюва, полагают, что при достаточном количестве углерода и воды в жидком состоянии, соответствующей температуре и достаточном сроке зарождение жизни неизбежно. Другие приводят массу примеров всевозможных тонкостей в устройстве даже одноклеточного организма и говорят, что жизнь — крайне редкое событие, возможно, даже единственное в своем роде. Ученые расходятся в оценках данного множителя. Некоторые вообще сомневаются в целесообразности подобного подхода ввиду столь больших разногласий. И все же в отсутствие свидетельств это лишь предположение, которое не стоит воспринимать слишком уж всерьез.

5. Какова доля форм жизни, приведших к возникновению разума ?

На Земле многие виды выказывают разумное поведение, порой это относится и к людям. Поскольку разум показывает незаурядную способность к выживанию, то, пожалуй, при достаточном сроке он может развиться у многих форм жизни.

6. Какова доля разумных форм жизни, способных создать технические средства для передачи поддающихся обнаружению

сигналов?

И люди, и дельфины представляют разумные формы жизни на Земле, но только разработанные человеком технические средства издают поддающиеся обнаружению сигналы, так что для данной оценки обычно берут величину от 0,05 до 0,5.

7. *В течение скольких лет разумная цивилизация передает в космос поддающиеся обнаружению сигналы?*

Данная оценка может служить очередным пробным камнем для выявления оптимистов и пессимистов. Оптимисту видится цивилизация в миллионы лет, тогда как пессимист, глядя на нашу цивилизацию, говорит о близком конце. Не забывайте, что уравнение Дрейка составлялось для радиоастрономии. Цивилизация могла оставить радиопозывные, создав более действенные средства, или же вообще забросить радио, найдя более интересные занятия. Что касается нас, мы стали передавать радиопозывные чуть более 100 лет назад, так что самые ранние из этих посланий углубились в космос на расстояние 100 световых лет.

Перемножение всех этих сомножителей дает оценку общего числа «сообщающихся» цивилизаций в галактике Млечный Путь, которая колеблется от миллиардов (у оптимистов) до одной — нашей с вами. У Дрейка эта величина составляла 10 тыс. Современные оценки часто сводятся к числу «сообщающихся» цивилизаций, примерно равному количеству лет, в течение которых цивилизация передает поддающиеся обнаружению сигналы.

Некоторые считают, что уравнение Дрейка — лишь краткое выражение нашего неведения, однако полезно поразмышлять над каждым из сомножителей. К тому же уравнение позволяет получить еще одну оценку: среднего расстояния между «сообщающимися» цивилизациями. При всех пессимистичных или оптимистичных оценках семи перечисленных сомножителей среднее расстояние между «сообщающимися» цивилизациями в галактике Млечный Путь составляет от сотен до тысяч световых лет. Если путешествие света от одной цивилизации к другой займет несколько сотен лет, то связь между ними займет больше времени, чем выход скрипучих старых модемов в Интернет, если вы еще это помните. И все же для насчитывающей миллионы лет технически развитой, ширящейся цивилизации с ее стремлением заселить Галактику путешествие в тысячу лет к новому миру — не такое уж и безрассудство.

С учетом того, что Солнечная система существует лишь последнюю треть жизни Галактики, многие звезды имеют довольно большую фору. Возможно, там уже достигли нужного технического уровня развития и

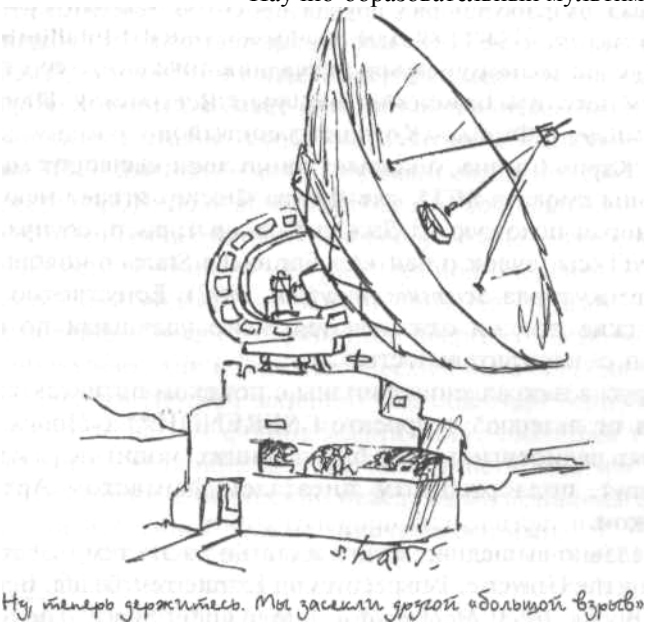
принялись заселять Галактику. Принимая в расчет размеры Галактики и допустимую скорость тамошних космических кораблей, вполне вероятно, что подобный план можно было бы осуществить за 2 млн лет. Такой срок велик в отношении жизни отдельного человека, но мал по сравнению с возрастом Галактики. Иначе говоря, технически передовые цивилизации вполне могли бы заселить Галактику в духе «звездного пути», «звездных войн» или иных научно-фантастических произведений.

В 1950 году ученые трудились в Лос-Аламосе над созданием водородной бомбы. Тон их застольным беседам часто задавал Энрико Ферми своими каверзными вопросами. Размышляя над временем, отпущенным инопланетянам на заселение Галактики, Ферми заметил: «Вы никогда не задумывались, где все они находятся?» Вопрос впоследствии стал звучать иначе: «Где они?» — и получил название парадокса Ферми. Любой теории о внеземной жизни приходится иметь дело с этим простым, но веским доводом.

Экспериментальные поиски

Об оценках, необходимых для решения уравнения Дрейка, физик Филип Моррисон заметил: «Неправильная постановка вопроса. На самом деле вопрос таков: надо ли нам что-то предпринимать для уяснения существа дела?.. А уяснение требует практических шагов».

Первые практические шаги в этом направлении предпринял не кто иной, как Фрэнк Дрейк. Ежедневно в течение шести часов с апреля по июль 1960 года 25-метровая параболическая антенна Национальной радиоастрономической обсерватории на частоте 1420 МГц наблюдала за двумя звездами примерно одного возраста с нашим Солнцем.



Сигналы со звезд Тау Кита и Эпсилон Эридана оказывались радиопомехами, и лишь однажды донеслись некие послания, но это были сигналы с секретного военного объекта. Проект «Озма», названный по имени королевы Оз придуманной американским писателем Лайменом Фрэнком Баумом (1856— 1919) страны с «удивительными и необычными существами» [более известной у нас по пересказам писателя Волкова («Волшебник Изумрудного города»)], не дал положительных результатов, но начало поиску внеземного разума было положено.

Для прослушивания внеземных сообщений и даже отправки собственных, в случае если «там» нас прослушивают, был разработан ряд других проектов. Самый крупный под названием SETI (Search for Extraterrestrial Intelligence — «Поиск внеземного разума») начался в 1984 году. (Для более подробного ознакомления см. узел Всемирной Паутины *www.seti.org.)* Фильм «Контакт», снятый по роману астронома Карла Сагана, довольно точно воспроизводит многие стороны проекта SET1, где Джоди Фостер играет героиню, во многом похожую на Джилл Корнер Тарнер, соучредителя SETI (см. очерк о ней «An Ear to the Stars» в ноябрьском номере журнала *Scientific American,* 2002). Естественно, голливудские поиски оказываются более удачными по сравнению с действительностью.

Другие направления связаны с поиском оптических сигналов от лазеров* и проектом SERENDIP† («Поиск внеземных радиосигналов от близлежащих развитых разумных миров»), поддержанным писателем-фантастом Артуром Кларком.

Недавно вышедшие книги и статьи на эту тему: *Shostak S.* Sharing the Universe: Perspectives on Extraterrestrial life. Berkeley Hills Books, 1998; *McDonald K.* Life in Outer Space: The Search for Extraterrestrials, Raintree/Steck-Vaughn, 2000; *Hazen R. M.* Why Aren't black Holes Black? Anchor, 1997; *Crawford I.* Where They Are? // Scientific American. 2000. July; *Greenwald J.* Who's Out There? // Discover. 1999. April; *Davies P.* Are We Alone? Basic Books, 1996.

Если вы пожелаете участвовать в проекте SETI, можете загрузить в свой компьютер программу, которая будет получать данные через Интернет и обрабатывать их на вашем компьютере, когда он будет находиться в режиме ожидания с появлением заставки, отображать сигналы и посылать их обратно SETI. Для получения программы обращайтесь на сайт по адресу: *http://setiathome.ssl.berkeley.edu/download.htm l*

Но есть еще одна будоражащая воображение возможность: жизнь на основе темной материи (темной энергии). Ввиду отсутствия взаимодействия темной материи (темной энергии) и обычного вещества (обычной энергии) мы не можем воспринимать их, как и они нас. А если учесть преобладание темной энергии (темной материи) над обычным веществом, то основанные на них формы жизни могут оказаться столь огромными по величине или по численности, что мы окажемся букашками, совершенно неведомыми *истинным* формам жизни Вселенной или не замечаемыми ими.

5. Аминокислоты

Аминокислоты состоят из углерода (обозначаемого альфа-углерод) и связанных с ним четырех групп (рис. 1.3). Группы таковы: карбоксильная (COO^-), представляющая собой кислоту; аминогруппа (H_3N^+) — основание;

---

* Поиску подлежат видимые или инфракрасные сигналы (пульсирующие или постоянные) со сверхузкими спектральными линиями, то есть сигналы, источниками которых, скорее всего, являются лазеры или аналогичная инопланетная техника.

† Обыгрывание слова *serendipity,* означающего «везение на счастливые находки» и вошедшего в английский язык с легкой руки писателя XVIII века, родоначальника жанра «готического романа» Горация Уолпо-ла (1717-1797) после его знакомства с персидской сказкой «Три царевича из Серендипа», в которой героям необыкновенно везло на неожиданные открытия. *Серендиб,* как называли Цейлон арабы, представляет собой искаженное заимствование от санскритского составного слова суварна-випа («золотой остров»).

водород (H) и обозначаемая знаком R группа — боковая цепь, своя для каждой аминокислоты.

При ковалентной связи углерода карбоксильной группы аминокислоты с азотом аминогруппы другой аминокислоты выделяется молекула воды и образуется пептидная связь. Белковые молекулы состоят из большой цепи аминокислот, соединенных пептидной связью.

В пищеварительной системе животных аминокислоты выделяются при переваривании белковых молекул, после чего кровотоком доставляются к клеткам организма, где повторно используются.

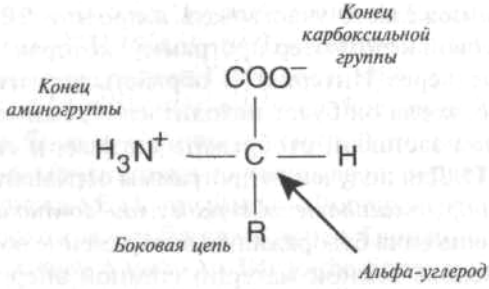


Рис. I.3. Молекулярное строение аминокислоты

Аминокислоты идут на «сборку» белков в соответствии с «чертежом», хранящимся в клеточной ДНК и претворяемым в жизнь РНК при содействии белковых катализаторов (ферментов). Таким образом, большинство необходимых организму аминокислот можно собрать из имеющихся в нем аминокислот. Это так называемые *заменимые* аминокислоты. Те же, которые должны поступать с пищей, относятся к *незаменимым* аминокислотам.

Более 100 аминокислот встречаются у растений и бактерий, у животных же их 20. В приведенной таблице даны названия, принятые сокращенные обозначения и химические формулы (линейная запись) 20 аминокислот животных.

Аминокислота	Обозначение	Молекулярная формула
Алании	alaA	$CH_iCH(NH_2)$-COOH
Аринин	arg R	$HN=C(NH_2)$-NH-$(CH_2)_3$-CH(NH,)-COOH
Аспарагин	asn N	H_2N-CO-CH_2-CH(NH_2)-COOH
Аспарагиновая кислота	asp D	HOOC-CH_2-CH(NH_2)-COOH
Цистеин	cysC	HS-CH_2-CH(NH_2)-COOH
Глутаминовая кислота	glu E	HOOC-$(CH_2)_2$-CH(NH_2)-COOH

Глутамин	glnQ	H_2N-CO-$(CH_2)_2$-CH(NH_2)-COOH
Глицин	gly G	NH_2-CH_2-COOH
Гистидин	his H	NH-CH=N-CH=C-CH_rCH(NH_2)- COOH
Изолейцин	ile I	CH_3-CH_2-CH(CH_3)-CH(NH_2)-COOH
Лейцин	leu L	$(CH_3)_2$-CH-$CH_?$-CH(NH2)-COOH
Лизин	lysK	H_2N-$(CH_2)_4$-CH(NH_2)-COOH
Метионин	met M	CH_3-S-$(CH_2)_2$-CH(NH_2)-COOH
Фенилаланин	phe F	Ph-CH_2-CH(NH_2)-COOH
Пролин	pro P	NH-$(CH_2)_3$-CH-COOH
Серии	ser S	HO-CH_2-CH(NH_2)-COOH
Треонин	thr T	CH_3-CH(OH)-CH(NH_2)-COOH
Триптофан	trp W	Ph-NH-CH=C-CH_2-CH(NH2)- COOH
Тирозин	**tyr** Y	HO-Ph-CH_2-CH(NH_2)-COOH
Валин	val V	$(CH_3)_2$-CH-CH(NH_2)-COOH

Источник: http://chemistry.about.com/library/weekly/aa080801a.htm

6. Построение модели ДНК

Крайне малые размеры **ДНК** не позволяют увидеть ее. Вот почему для некоторых она предстает сугубо отвлеченным понятием, а не действительно существующей молекулой. Лучшему пониманию **ДНК** может помочь собственноручная сборка ее физической модели.

Детские конструкторы прекрасно подходят для сборки моделей молекул, включая **ДНК.** Один из авторов этой книги (Артур Уиггинз) воспользовался набором конструктора K'NEX для сборки модели ДНК, которую на рис. 1.4 держат в руках дети, помогавшие ему в этом деле.

Данная модель собрана на основе набора K'NEX 32 Model Building Set в коробке Blue Value Tub (34006), который можно приобрести за 30 или 40 долларов (см. *www.knex.com*).

Рис. 1.4. Модель ДНК, которую держат в руках Рей, Мелисса и Тим Ноу (внуки А. У. Уиггинза)

Руководство по сборке молекулы ДНК можно посмотреть на узле Всемирной Паутины *http://c3.biomath.mssm.edu/knex/dna.models.knex.html*

По завершении работы вы получите часть молекулы ДНК, содержащую 48 пар оснований. В длину она составит около 1 м.

Получившаяся модель немного отличается от настоящей ДНК. В модели каждый синий стержень находится под углом 20° к предыдущему стержню, тогда как водородные связи в настоящей ДНК параллельны в пределах 6°. Однако модель показывает отдельные повороты спирали, большую и маленькую бороздки и парные основания А-Т и Ц-Г Уотсона—Крика.

При сборке данной модели вы сможете увидеть действие lac-оперона по расщеплению двух нитей ДНК в ходе репликации и работу рестрикционных ферментов, разрезающих ДНК в определенных местах благодаря «подгонке» этих ферментов к молекулам.

7. Кодоны

Почти все формы жизни на Земле используют один и тот же генетический код, ключом к которому служат кодоны. Если нуклеотидные основания в ДНК представить в виде букв генетического кода, то кодоны будут словами, а ген — последовательностью кодонов, образующих предложение. Согласно основному посылу (центральная догма) [занесенного] в ген выражения (экспрессии гена), сообщение от ДНК записывается на мРНК (матричную РНК), которое затем переносится на белки.

Для уяснения работы кодонов рассмотрим ее подробно.

♦ Последовательность содержащихся в ДНК нуклеотидных оснований

задается чередованием аденина, тимина, цитозина и гуанина, обычно обозначаемых буква ми А, Т, Ц и Г.

♦ мРНК переписывает нуклеотидные основания ДНК в том же порядке на рибосому, лишь заменив тиминна урацил. В рибосоме происходит сборка белков нанизыванием друг на друга аминокислот (см.: Список идей, 5. Аминокислоты). Порядок следования аминокислот в белке определяет тРНК (транспортная РНК), передающая исходный порядок следования нуклеотидных оснований в ДНК.

Но каким образом четыре нуклеотидных основания определяют, какую из 20 аминокислот необходимо брать при построении белка?

♦ Если бы каждое нуклеотидное основание задавало одну аминокислоту, можно было бы собрать лишь четыре аминокислоты.

♦ Если бы два нуклеотидных основания совместно зада вали одну аминокислоту, выходило бы $4^2 = 16$ аминокислот.

♦ Если бы три нуклеотидных основания совместно задавали одну аминокислоту, можно было бы получить $4^3 = 64$ аминокислоты, а этого более чем достаточно. Таким образом, кодон должен представлять собой триплет — три идущих вместе основания.

Троичная природа кодона нашла опытное подтверждение в 1961 году благодаря работе Фрэнсиса Крика.

Выяснением вопроса, какие триплеты нуклеотидных оснований определяют аминокислоты, занялся в 1961 году американский биохимик Маршалл Ниренберг, установивший, что УУУ кодирует аминокислоту фенилаланин.

Последующие опыты Ниренберга и других ученых к 1966 году помогли установить полное соответствие между кодона-ми и аминокислотами.

В таблицах приводятся трехбуквенные кодоны и соответствующие им аминокислоты, присоединяемые к выстраиваемой РНК белковой молекуле, а также нуклеотидные основания РНК (У, Ц, А и Г), а не ДНК (Т, Ц, А и Г). Инициирующий [АУГ или ГУГ] и терминирующий [сокр. терм; это УАА (охра-кодон), УАГ (янтарь-кодон) и УГА (опал-кодон)] *[трансляцию]* кодоны указывают на начало и завершение транскрипции РНК.

	У	Ц	А	Г	
У	УУУ = фен УУЦ = фен УУА = лей УУГ = лей	УЦУ = сер УЦЦ = сер УЦА = сер УЦГ = сер	УАУ = тир УАЦ = тир УАА = стоп УАГ = стоп	УГУ = цис УГЦ = цис УГА = стоп УГЦ = трп	У Ц А Г

Ц	ЦУУ = лей ЦУЦ = лей ЦУА = лей ЦУГ = лей	ЦЦУ =про ЦЦЦ = про ЦЦА = про ЦЦГ = про	ЦАУ = хиз ЦАЦ = хиз ЦЦА = глн ЦАГ = глн	ЦГУ = арг ЦГЦ = арг ЦГА = арг ЦГГ = арг	У Ц А Г
А	АУУ = иле АУЦ = иле АУА = иле АУГ = мет	АЦУ = тре АЦЦ = тре АЦА = тре АЦГ = тре	ААУ = асн ААЦ = асн ААА = лиз ААГ = лиз	АГУ = сер АГЦ = сер АГА = арг АГГ = арг	У Ц А Г
Г	ГУУ = вал ГУЦ = вал ГУА = вал ГУГ = вал	ГЦУ = ала ГЦЦ = ала ГЦА = ала ГЦГ = ала	ГАУ - асп ГАЦ = асп ГАА = гл ГАГ = глу	ГГУ = гли ГЦЦ = гли ГГА = гли ГГГ - гли	У Ц А Г

Заметим, что большинство аминокислот задается не одним кодоном. Такая избыточность нередко означает, что одна и та же аминокислота задается независимо от того, какое азотистое основание находится на третьем месте в кодоне. Поскольку именно третье положение часто неверно считывается, подобная избыточность сводит к минимуму последствия от ошибок в считывании.

СТАРТ			АУГ,	ГУГ	Лей	УУА,	УУГ,
ЦУУ,	ЦУЦ,						
ЦУА,	ЦУГ						
Ала	ГЦУ, ГЦЦ,	ГЦА, ГЦГ	Лиз	ААА,	ААГ		
Арг	ЦГУ, ЦГЦ,	ЦГА, ЦГГ,	Мет	АУГ			
	АГА, АГГ						
Асн	ААУ, ААЦ		Фен	УУУ,	УУЦ		
Асп	ГАУ, ГАЦ		Про	ЦЦУ,	ЦЦЦ,	ЦЦА,	ЦЦГ
Цис	УГУ, УГЦ		Сер	УЦУ,	УЦЦ,	УЦА,	УЦГ,
				АГУ,	АГЦ		
Глн	ЦАА, ЦАГ		Тре	АЦУ,	АЦЦ,	АЦА,	АЦГ
Глу	ГАА, ГАГ		Три	УГГ			
Гли	ГГУ, ГГЦ,	ГГА, ГГГ	Тип	УАУ,	УАЦ		
Хиз	ЦАУ, ЦАЦ		Вал	ГУУ,	ГУЦ,	ГУА,	ГУ1
Иле	АУУ, АУЦ,	АУА	СТОП	УАГ,	УГА,	УАА	

8. Укладка белков

Белки, плод усилий ДНК, РНК и белковых ферментов, несут на себе бремя жизни — в буквальном и переносном смысле. На два вида белков, из-за своего строения названных глобулярными [округлыми] и фибриллярными* [вытянутыми], возложены многочисленные обязанности:

♦ *Ферментный катализ.* Глобулярные белки точно подлаживаются под определенные молекулы, вызывая жизненно необходимые химические реакции.

♦ *Защита.* Различные глобулярные белки берегут от определенных молекул, которые «подстраиваются» под облик белков.

♦ *Транспортировка.* Другая разновидность глобулярных белков занимается доставкой небольших молекул, опять же исходя из облика белка. Например, гемоглобин имеет полость, подстроенную под молекулу

* Фибриллярные белки образованы полипептидными цепями, которые расположены параллельно друг другу вдоль одной оси и образуют длинные волокна (фибриллы), или слои. Нерастворимы в воде и растворах солей. Основные структурные элементы соединительной ткани (коллаген (сухожилия, связки, хрящ), кератин (волосы, ногти) и др.).

кислорода, переносит кислород через кровь и при необходимости «сгружает». Представьте, что случится, если молекула угарного газа займет полость в гемоглобине и «застрянет» там и гемоглобин уже не сможет доставлять кислород.

♦ *Обеспечение волокнами.* Коллаген — самый распространенный фибриллярный белок у позвоночных животных. Это молекулярная основа костей, связок, сухожилий и кожи.

♦ *Движение.* Молекулы актина и миозина обладают способностью скользить, обеспечивая сокращение мышц.

♦ *Регуляция.* Белки выступают в качестве поверхностных рецепторов клетки и внутренних регуляторов поведения гена вроде lac-репрессоров (см. гл. 4).

Внешний облик белка имеет решающее значение при выполнении многих задач, и он далеко не прост. Если длинную нить аминокислот, составляющих белок, уподобить волокну, то функциональный облик белка можно уподобить замысловатой корзине, сплетенной из этого волокна.

Сложное, трехмерное устройство белков впервые заметили в 1930-е годы, когда У. Т. Астбури получил различные рентгенограммы дифракционных полос натянутого человеческого волоса. Американский химик Лайнус Полинг, работая с Робертом Кори в 1951 году, основываясь на знании химических связей, предположил, что самые простые белковые молекулы имеют спиралевидное (а) или складчатое (Р) строение.

(В Англии Джеймс Уотсон и Фрэнсис Крик боялись, как бы Полинг раньше их не открыл строение ДНК. Оказалось, что Полинг работал с неверными данными и в итоге предпочел тройную спираль для ДНК вместо двойной, которую предложили Уотсон и Крик в 1953 году, имея на руках блестящие данные рентгенограмм Розалинды Франклин.)

Вскоре после выступления Полинга и Кори датский биохимик К. Линдерстрем-Ланг предложил четырехуровневое строение белка, исходя из теоретических соображений (см. рис. 3.6). Современный уровень знаний позволил добавить еще два уровня, о которых мы поговорим, рассмотрев вначале некоторые опытные данные.

В 1957 году химик Джон Кендрю после завершения в Кембриджском университете (Великобритания) большой работы с использованием методов рентгеноструктурного анализа определил точное трехмерное строение белка миоглобина, доставляющего кислород к мышцам. Посмотрев на итоговые результаты, Кендрю заметил: «Пожалуй, более всего эту молекулу отличают упорядоченность и отсутствие всякой симметрии». Все дело в том, что

белки обычно имеют скрученное, витое трехмерное строение. Даже опытным исследователям нужно приложить немало усилий, чтобы усмотреть в моделях белков некие закономерности. Вот почему столь ценно знание многоуровневой организации белков.

Первичная структура белка определяется цепью аминокислот, собираемых РНК согласно «чертежу» ДНК. У белка со 100 аминокислотами каждое место может занимать любая из 20 аминокислот, так что в итоге можно получить 20^{100} совершенно различных белков. Столь огромная величина (10^{130}), превышающая число атомов обычного вещества во Вселенной, свидетельствует о невероятном многообразии белков.

Вторичную структуру представляет а-спираль и складчатый (β-слой [β-тяж], как и предполагал Полинг. Эти структуры возникают вследствие притягивания положительно заряженных участков молекулы к отрицательным участкам той же молекулы и иных электрических воздействий.

Надвторичная структура (не показана) сочетает в себе две вторичные структуры или более, именуемые мотивами. Лист или складка имеет обычно мотив (βαβ; так называемая укладка Россманна* представляет собой сочетание βαβαβ; другой распространенный мотив — β-бочонок (образующий трубку β-тяж).

Третичная структура часто образуется при реакции молекулы с водой, когда [гидрофобные, т. е. лишенные сродства с водой] участки молекулы плотно свертываются внутри ее, так что почти не остается свободного пространству. Такое плотное свертывание объясняет, почему некоторые мутации, связанные с замещением аминокислоты различной величины, могут изменять облик белка настолько, что он уже не в состоянии играть отведенную ему роль в метаболизме организма.

Домен (не показан) представляет собой участок белка, нередко из сотен аминокислот, имеющий своеобразный вид независимо от облика остальной молекулы. Домены можно уподобить узлам на длинной веревке.

Четвертичная структура описывает положение, когда две цепи аминокислот или более, именуемые подгруппами, соединяются, образуя один функциональный белок. Например, гемоглобин состоит из двух подгрупп: α-цепи и β-цепи. Серповидноклеточная анемия вызывается мутацией, замещающей аминокислоту в одном из углов кольца β-подгруппы, образуя там «липучку», которая скрепляет одну молекулу

* По имени известного американского биохимика родом из Германии Майкла Россманна (р. 1930), открывшего ее в 1974 году.

гемоглобина с другой. В итоге молекулярная цепь оказывается слишком длинной, чтобы справляться со своими обязанностями.

Первичная структура белка, биологически неактивная, также подвержена воздействию других молекул, которые могут повлиять на ее строение и работоспособность. Поэтому белки от первичного состояния зачастую переходят к третичному или четвертичному за несколько минут или даже доли секунды. Данный процесс именуют укладкой (или сворачиванием). И наоборот, при изменении окружающих условий (температуры, кислотности, концентрации ионов) белок может изменить свой облик, или развернуться. Обратный процесс именуют денатурацией. Примером может служить добавление соли или уксуса в пищу, что сохраняет ее, разрушая белки микроорганизмов, которые в обычных условиях беспрепятственно размножались бы на пище.

Во многих случаях после денатурации белки возвращают свою биологически активную конформацию и продолжают функционировать как ни в чем не бывало.

Однако иногда возможна неправильная укладка. Например, когда вы варите яйцо, белки разворачиваются. Но при охлаждении яйца они не возвращаются к прежней укладке, а образуют нерастворимую массу (если яйцо сварено вкрутую).

На правильное и неправильное сворачивание белка влияют другие белки, именуемые шаперонинами*, которые обычно помогают укладке, ускоряя ее и предотвращая неправильную укладку. Выявлено более 17 шаперонинов, некоторые из которых даже позволяют уже неправильно уложенному белку вернуться к правильной укладке. Ведутся обширные исследования по неправильной укладке, которая, возможно, является причиной болезни Альцгеймера и коровьего бешенства.

Ввиду огромного числа белков и еще большего количества всевозможных для них укладок изыскания в этой области требуют привлечения суперЭВМ для учета всех случаев. Подобно обработке данных, получаемых в рамках проекта SETI, вы можете загрузить на свой домашний компьютер программу по расчету белковых укладок, которая будет работать в виде экранной заставки при простое вашего компьютера. Если вас это

* Шаперонины обеспечивают сворачивание, а шапероны — разворачивание белка. В названии обыгрывается значение английского слова *chaperon* (провожатая при молодой особе). К настоящему времени описано несколько классов шаперонов, различающихся по структуре и специфическим функциям. Все шапероны относятся к так называемым белкам теплового шока, синтез которых резко увеличивается в стрессовых для клетки ситуациях. Поэтому сокращенное название этих белков — hsp.

заинтересовало, можете обратиться на узел Всемирной Паутины *http://folding.stanford.edu* / Уже на более чем 60 тыс. компьютеров запущена эта программа, что оказывает существенную поддержку проекту Folding@home.

Дополнительный источник информации:

www.faseb.org/opar/protfold/protein .htm

9. Генетические технологии

Поскольку операционные системы всех живых существ основаны на ДНК, возможность разрезать ДНК, перестраивать ее, а затем вновь собирать породила новую отрасль производства — генную технологию.

Многие растения и животные уже оказались подвержены действию данной технологии. Многие годы животноводы и растениеводы изменяли ДНК посредством селекционирования. Недавно стали прибегать к более прямым генетическим изменениям. Устойчивость к гербицидам, связывание азота и устойчивость к вредителям — вот немногие из подвергшихся изменению признаков. В итоге добились увеличения производства высокопитательных продуктов.

Обращение генетических технологий к человеку связано с этическими вопросами, которые необходимо решить, особенно в связи с отсутствием полной картины человеческого протеома, а значит, и неизвестным пока воздействием генетических изменений на человеческие признаки (см. гл. 4).

Косвенное использование генетических технологий уже существенно отразилось на жизни людей. Приводим перечень осуществляемых биотехнологических проектов.

Бактерии используются для получения прежде труднодоступных, нужных человеческому организму белков, таких как:

эритропоэтин (Erythropoietin), стимулирующий производство красных кровяных телец (эритроцитов);

гормон роста, способствующий нормальному росту;

инсулин, помогающий при диабете;

интерферон, применяемый при различных болезнях; механизм его действия еще не до конца понят;

профибринолизин (плазминоген), способствующий рассасыванию кровяных сгустков.

Теперь с помощью генной терапии лечат такие заболевания человека, как:

СПИД;

болезнь печени, вызванную а-1-антитрипсиновой недостаточностью; поражение печени может привести к хроническому гепатиту и циррозу;

некоторые разновидности рака;

хроническая гранулематозная болезнь (хронический семейный гранулематоз);

кистозный фиброз;

семейная гиперхолестеринемия;

болезнь Гоше, по имени французского дерматолога Филиппа Гоше (1854-1918), характеризуется накоплением глюкоцереброзидов в макрофагах главным образом селезенки, костей и печени; наследуется по аутосомно-доминантному типу;

гемофилия;

болезнь Хантера (мукополисахаридоз II типа), по имени канадского врача родом из Шотландии Чарльза Хантера (1873-1955), в 1917 году описавшего характерную симптоматику у двух мальчиков-братьев; характеризуется умеренно выраженной деформацией скелета, атрофией дисков зрительных нервов, пигментной дегенерацией сетчатки; наследуется по рецессивному, связанному с Х-хромосомой типу;

периферическая ангиопатия;

пуриннуклеозид-фосфорилазы недостаточность;

ревматоидный артрит;

тяжелая комбинированная иммунная недостаточность (ТКИН; англ. SCID — Severe Combined Immunodeficiency).

Подобные списки устаревают уже при их обнародовании, пополняясь болезнями чуть ли не ежедневно. Для получения самых свежих сведений обращайтесь к следующим узлам Всемирной Паутины, размещающих новости в сфере биотехнологий:

www.bioethics.net/news/html/biotech.php

http://life.bio.sunysb.edu/biotech/ntws/

www.mc.maricopa.edu/~tdclark/html/biotechnology_news.html

http://ucbiotech.org/~news/

Уяснение нами природы теломер — пример того, как знание работы генома (протеома) можно перевести на язык технологий. Повторяющийся участок в конце хромосомы, именуемый теломерой, часто состоит из повторяющейся много раз последовательности ТТАГГГ, которую можно было бы уподобить словам «и т. д., и т. д., и т. д.»... В некотором смысле эти повторяющиеся последовательности можно рассматривать как «бросовую»

ДНК, поскольку в них не кодируется сборка белков. При каждой репликации ДНК одна из повторяемых последовательностей физически отделяется от молекулы ДНК, укорачивая ее. После отбрасывания всех повторяющихся последовательностей при следующей репликации ДНК отпавшие основания оказываются уже не «шапочками» повторяющихся концов [хромосомы], а частью чертежа для специфичного белка. Данное явление, напрямую связываемое со старением клетки, именуют пределом Хейфлика*. Азотистых оснований, необходимых для сборки определенного белка, больше нет, поэтому белок не собирается должным образом, а значит, и не может выполнять возложенных на него обязанностей в полном объеме. Если этот белок играет жизненно важную роль в метаболизме организма, подобный сбой означает смерть.

Предположим, что организм использует данный белок для борьбы с определенным вирусом. Прежде белок собирался правильно и вирус одолевал.

Но с уходом всех повторяющихся ТТАГГГ последовательностей стало невозможным собирать стойкий к вирусу белок, и вирус безраздельно завладел организмом. Возможно, поэтому флавивирусы† вроде возбудителя лихорадки Западного Нила легче поражают пожилых людей.

Вместе с тем раковые клетки не старятся. Они безгранично воспроизводятся. Так что же происходит с их повторяющимися последовательностями ТТАГГГ, которые должны отпадать? Оказывается, существует фермент, именуемый теломеразой, который при активации восстанавливает на конце хромосомы недостающие последовательности ТТАГГГ, позволяя тем самым клетке размножаться вне отведенных ей пределов.

Защите против некоторых видов рака, возможно, помог бы поиск активированной теломеразы. Кроме того, ввод тело-меразы при нераковых

---

* По имени американского биохимика Леонарда Хейфлика, открывшего в 1962 году явление старения клетки. Он обнаружил, что при культивировании в питательной среде вне организма in vitro нормальные диплоидные (соматические) клетки человека способны делиться лишь ограниченное число раз. Предельное число делений зависело от возраста того, кому принадлежали клетки, взятые в культуру. Так, клетки от новорожденных детей могли пройти 80-90 делений, в то время как клетки от 70-летних стариков делились только 20-30 раз. Максимальное число клеточных делений было названо пределом Хейфлика (на рус. яз.: *ХейфликЛ.* Как и почему мы стареем? Советы специалиста. М., 1999; *он же.* Смертность и бессмертие на клеточном уровне // Биохимия. 1997. Т. 62. № 11).

† *Флавивирусы* — семейство вирусов, насчитывающее около 70 представителей и получившее свое название от лат. *flavus* (желтый), по имени типичного представителя данного семейства — вируса желтой лихорадки.

заболеваниях, возможно, продлил бы жизнь. Или же деактивация теломеразы после прохождения курса лечения раковым больным предотвратила бы опасность рецидива.

Продолжающиеся исследования в данной области во многом влияют на фармакологию.

Наблюдающийся в биотехнологии бум стал возможен после картирования генома модельных организмов и человека. Однако из-за носившего урывочный характер картирования генома человека (когда сведения поступали от различных исследователей) подстраивание фармацевтической продукции или генной терапии под каждого человека пока еще невозможно.

Такое положение должно вот-вот измениться.

15 августа 2002 года Дж. Крейг Вентер объявил о своем намерении создать новый центр по секвенированию ДНК под эгидой Института исследований генома (TIGR), Центра содействия геномике и Института альтернативной биологической энергетики.

В задачу этих учреждений входит расшифровка полного генома конкретного человека, производимая за несколько часов или минут, а не в течение месяцев или лет, которая бы стоила 2—3 тыс. долларов, а не сотни миллионов, как это было в случае с международным консорциумом *Human Genome Project.* Хотя Вентер и оговаривается, что «существующие технические средства не способны решить подобной задачи», он рассчитывает справиться с ней за десять лет. С появлением этих новых технических средств Вентер планирует одновременное секвенирование ДНК всех микробов, содержащихся в пробе морской воды, в качестве способа слежения за состоянием экологии.

Пусть подобные планы и выглядят чересчур оптимистичными, достижения Вентера позволяют надеяться, что его прогнозы оправдаются.

10. Парниковые газы

Парник обеспечивает растения теплом, благодаря тому что стекло пропускает солнечный свет видимой, высокочастотной части спектра, задерживая при этом исходящее от растений низкочастотное, инфракрасное излучение. Тем самым стекло служит ловушкой для нагретого воздуха. Как уже говорилось в гл. 5, поверхность Венеры, Земли и Марса нагревается благодаря атмосфере, действующей в данном случае подобно стеклу парника.

На рис. 1.5 показано взаимодействие излучения с земной поверхностью. Видимый свет от Солнца (1) большей частью проходит сквозь земную

атмосферу, и лишь незначительное его количество отражается облаками. Солнечная энергия отчасти поглощается земной поверхностью (2) и отражается от нее (3). Затем молекулы земной поверхности излучают энергию в низкочастотном инфракрасном диапазоне (4). Газы

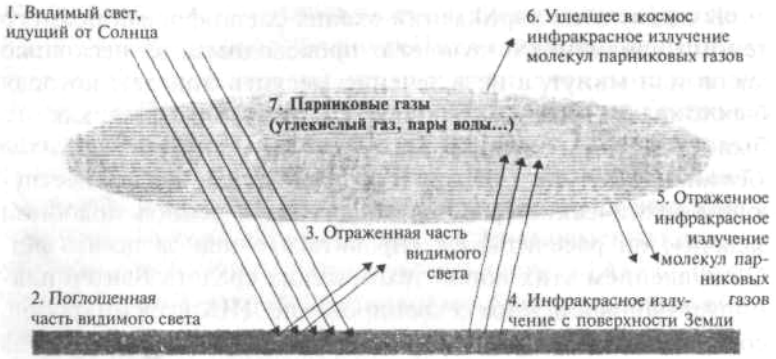


Рис. 1.5. Взаимодействие излучения с Землей

в атмосфере Земли отражают значительную часть инфракрасного излучения обратно на поверхность (5), тогда как в космос возвращается лишь малая толика (6). В итоге земная поверхность нагревается подобно воздуху внутри парника.

Земная атмосфера состоит преимущественно из азота и кислорода, которые не отражают инфракрасного излучения обратно на поверхность планеты. Это делают другие атмосферные газы, называемые поэтому парниковыми. Образуемые в атмосфере естественным путем, парниковые газы включают водяные пары, двуокись углерода, метан, закись азота и озон. Промышленность существенно пополняет их число, создавая к тому же не встречающиеся в природе парниковые газы.

На долю двуокиси углерода среди парниковых газов приходится 76%. Природными источниками углекислого газа служат извержения вулканов, гниющие растения и разлагающиеся трупы животных, морские испарения и дыхание животных. Из атмосферы двуокись углерода удаляется через морскую воду и благодаря фотосинтезу как океанического планктона, так и биомассы на суше, включая леса и луга (именуемые поглотителями — *sink).* Человеческая деятельность (именуемая антропогенной), сопряженная с выделением углекислого газа в атмосферу, включает сжигание твердых отходов, ископаемого топлива, древесины и деревянных изделий.

Метан, составляющий 13% парниковых газов, называют также болотным газом. Метан выделяется при гниении растений, особенно на

рисовых полях, бактериями, разлагающими органическое вещество в увлажненной почве и в кишечнике многих животных (вспомним коровью отрыжку). Метан порождается человеческой деятельностью при ведении горных работ и транспортировке ископаемого топлива, разложении твердых отходов на свалках и разведении домашнего скота.

Закись азота составляет 6% парниковых газов и выделяется естественным путем океаном и в результате почвенной деятельности бактерий. Человек привносит закись азота посредством азотных удобрений, установок по очистке сточных вод и выхлопов легковых и грузовых автомобилей.

Примерно 5% парниковых газов поставляются источниками человеческой деятельности. Сюда относятся водород-но-фтористый углерод (HFC), перфторированный углерод (PFC) и шестифтористая сера (SF6) [*], используемые в различных промышленных производствах.

Недавние прогнозы по поводу повсеместного потепления пробудили интерес к парниковым газам. Как и в случае с любой общечеловеческой проблемой, здесь имеют место научная, техническая, экономическая и этическая составляющие. Поскольку рассмотрение большей их части выходит за рамки нашей книги, сосредоточим внимание лишь на некоторых научных аспектах, связанных с обсуждением темы погоды в гл. 5.

Сначала рассмотрим рис. 1.6, где приводятся показания температуры за прошлые годы.

На графике видно, что средняя температура у поверхности Земли за последние 100 лет поднялась примерно на 1°F [5/9°C].

Изменения температуры у поверхности Земли

[*] Служит газообразным изолятором для высоковольтных установок, поэтому еще называется *элегазом*.

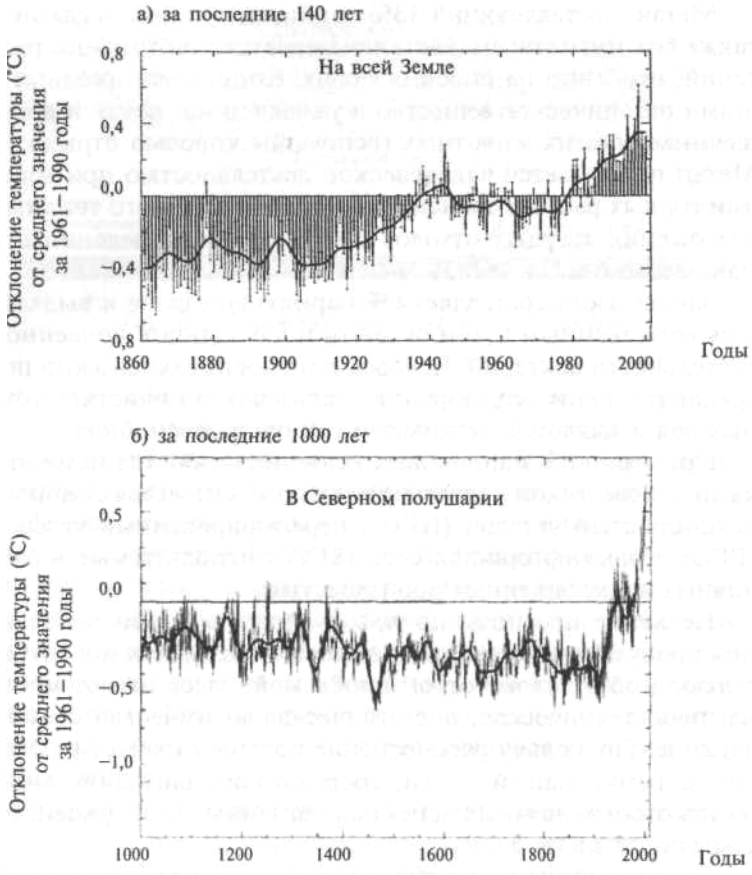


Рис. 1.6. Средняя температура у поверхности Земли

Отступление ледников, таяние ледникового покрова на Северном и Южном полюсах, увеличение испарения и количества осадков и подъем уровня океана служат дополнительными свидетельствами повсеместного потепления в прошлом. Очевидно, Земля становится более теплой.

Но вызван ли такой рост температуры недавним увеличением количества парниковых газов? Взглянем на рис. 1.7.

Содержание в атмосфере трех широко распространенных парниковых газов

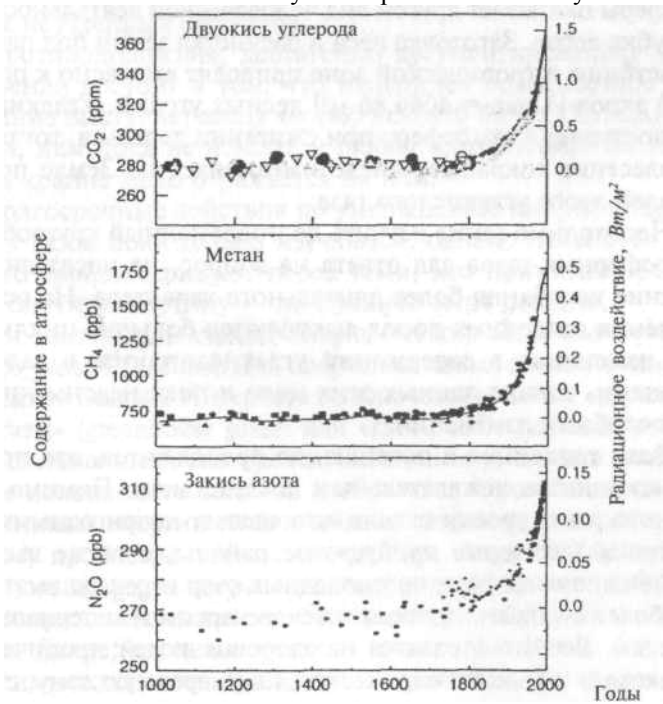


Рис. 1.7. Содержание в атмосфере парниковых газов

Финансируемая ООН и состоящая из 2500 ученых Межправительственная комиссия по вопросу изменения климата (1PCC) пришла к заключению, что виной всему парниковые газы (см. узел Всемирной Паутины *www.ipcc.ch* /).Исходя из значительно большего числа природных источников парниковых газов по сравнению с антропогенными источниками, можно подумать, что рост объемов самих газов обусловлен чем-то иным, помимо деятельности человека. Однако климатологи утверждают, что естественные источники и поглотители примерно уравновешивают друг друга, так что отмеченный рост, вероятно, вызван антропогенными источниками.

Помимо поставки углекислого газа сжиганием ископаемого топлива и древесины большое влияние на состав атмосферы оказывает другой вид человеческой деятельности — вырубка лесов. Заготовка леса и расчистка земли под пашню и пастбища в тропической зоне приводят ежечасно к потере 3500 акров [1 акр = 4046,86 м^2] лесных угодий. Углекислый газ поступает в атмосферу при сжигании деревьев, тогда как обезлесение сокращает число имеющихся на Земле поглотителей этого углекислого газа.

Необходимо также изучить долговременный кругооборот атмосферных газов для ответа на вопрос, не носят ли нынешние колебания более длительного характера. На основе изучения осадочных пород выявляются большие циклические изменения в содержании углекислого газа в далеком прошлом, однако данных этих мало и пока неясны причины подобных изменений.

Если тенденция к потеплению продолжится, это приведет ко многим нежелательным последствиям. Помимо очевидного роста уровня океана, что сделает непригодными для обитания некоторые прибрежные районы, а также вызовет увеличение солености пресноводных озер и рек, климат станет более суровым, приведя к человеческим и материальным потерям. Все это отразится на здоровье людей: тропические насекомые и болезни переместятся в умеренную зону; существенно возрастет риск заболевания диабетом, малярией, тепловых ударов, тепловой прострации и одышки.

Как уже говорилось в гл. 5, машинные модели климата содержат много неясного, что связано с трудностями моделирования; изменением солнечной активности; переменчивым характером облачности; сложностью математического аппарата, обусловленной характеризующими климат взаимосвязанными нелинейными переменными, обратной связью; слишком большим размером ячеек [покрывающих синоптический район сетки] и крайне малым количеством данных. Как и в случае с погодой, заключение межправительственной комиссии IPCC основывалось на сборном прогнозе. Предсказывалось неблагоприятное воздействие на здоровье человека, природные экосистемы и земледельческое и приморское население, но с оговоркой ввиду большого числа неучтенных факторов.

Противоположная, достаточно аргументированная точка зрения состоит в том, что нынешнее повсеместное потепление выступает лишь частью некоего более длительного цикла, нам пока не ясного, и любая человеческая деятельность крайне мало отражается на нем.

Долгосрочные действия по уменьшению выброса парниковых газов пока только изучаются, однако неясности научного свойства рисуют перед теми, кто принимает решения, смутную картину — по крайней мере сегодня.

См. узел Американского геофизического общества

www.agu.org/eos_elec/991483.html Для получения самых свежих новостей проводите поиск в Интернете по ключевым словам «парниковые газы» (greenhouse gases) или «глобальное потепление».

В дальнейшем, если развитые страны уменьшат потребление ископаемого топлива и обратятся к возобновляемым источникам энергии

типа водяных, ветряных и солнечных, остроту проблемы потепления удастся снять. В Европе используют ядерную энергию, но ее производство и потребление сопряжено с вопросами безопасности и утилизации отходов. Далее, странам третьего мира необходимо снизить уровень рождаемости. Прежде чем проводить в жизнь тот или иной план, следует учесть все этические, экономические и политические факторы.

11. Земля: история недр

В ходе формирования Земли тяготение сортировало первичный материал в соответствии с его плотностью: более плотные составляющие опускались к центру, а менее плотные плавали сверху, образовав в итоге кору. На рис. 1.8 представлена Земля в разрезе.

Кора — внешняя оболочка. Она обладает наименьшей плотностью и расколота на многочисленные тонкие и жесткие каменные плиты, медленно движущиеся ввиду перемещения нижележащей мантии.

Мантия — следующая оболочка. Она самая толстая из всех оболочек, относительно теплая и жидкая по сравнению с корой, имеет горячие точки, порождающие конвекционные потоки (представьте завихрения в закипающей воде, только значительно медленнее движущиеся). Потоки в мантии перемещают плиты, вызывая землетрясения, вулканические извержения, расширение морского дна и дрейф континентов.

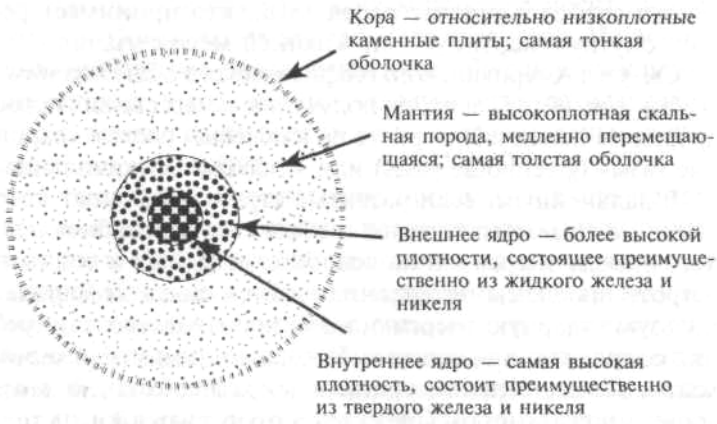


Рис. 1.8. Строение Земли

Далее идет горячее жидкое *внешнее ядро,* состоящее из плотного железа и никеля и плещущееся ввиду вращения Земли. Земной магнетизм,

возможно, вызван местным движением внутри этой оболочки.

Самая нижняя оболочка именуется *внутренним ядром.* Она хотя и состоит из расплавленного железа и никеля, из-за огромного давления оказывается твердой и самой плотной оболочкой.

За подробностями процесса создания этой модели и подтверждающими ее опытными данными обращайтесь к нашей книге *Пять крупнейших представлений в науке* (The Five Biggest Ideas in Science. N.Y.: John Wiley & Sons, Inc., 1997).

Следующие узлы Всемирной Паутины содержат свежую информацию и прекрасные иллюстративные материалы:

www.hartrao.ac.za/geodesy/tectonics.html
http://pubs.usgs.gov/peubications/text/dynamic.html
www.seismo.unr.edu/ftp/pub/louie/class/100/plate-tectonics.html
http://scign.jpl.nasa.gov/lwarn/plate/htm

12. Теория хаоса

О тягость легкости, смысл пустоты!
Бесформенный хаос прекрасных форм!
У. Шекспир. Ромео и Джульетта

Как уже говорилось в гл. 5, хаос не следует путать с произволом. Хаос означает скорее чрезвычайную восприимчивость конечного результата к малым изменениям в начальных условиях. Как поется в старой колыбельной:

Не было гвоздя —
Подкова пропала.
Не было подковы —
Лошадь захромала.
Лошадь захромала —
Командир убит.
Конница разбита,
Армия бежит.
Враг вступает
В город,
Пленных не щадя,
Оттого что в кузнице
Не было гвоздя!
[Гвоздь и подкова.
Пер. с англ. С. Маршака]

До 1960-х годов существовал некий сугубо математический метод, как оказалось, связанный с теорией хаоса. Гастон Морис Жулиа, математик из

Алжира, после ранения в сражениях Первой мировой войны вынужден был носить на лице кожаную повязку, защищавшую сильно искалеченный нос. Из-за многочисленных операций ему приходилось долго скитаться по госпиталям, где, чтобы как-то скоротать время, он занимался математическими выкладками. В 25 лет он пишет «Записку о приближении рациональных функций». Работу он делал в связи с темой, объявленной в 1915 году Французской академией наук на соискание главной премии 1918 года, которой и удостоился; хотя французский математик и астроном Пьер Жозеф Луи Фату (1878-1929) опубликовал в декабре 1917 года работу на ту же тему, однако Жулиа отослал свою статью в Академию наук раньше. Функция представляет собой математическое правило вычисления наподобие следующего: $f(x) = x^2 + \text{const}$. Если $x = 2$, а const = 3, то значение функции составит 7. Приближение (итерация) осуществляется использованием вычисленного для /значения в качестве следующего значения для *x*. Итак, если x = 7, то $f(x) = 52$, и т. д. Жулиа исследовал более сложные выражения. Особо его занимали функции и значения, при которых возможно многократное приближение без бесконечного роста итоговой величины [самой функции]. Значения *x,* для которых повторяющиеся итерации давали конечный результат, стали именоваться пленниками [обычно говорят о множестве точек притяжения, или аттракторах]. При стремлении к бесконечности итоговых величин их называют «беглецами» [обычно говорят о множестве точек отталкивания, или репеллерах]. Вычисления велись вручную и были крайне трудоемкими даже для простых функций. Хотя Жулиа и обрел некую славу в математических кругах, его труд был основательно забыт, и вспомнили о нем уже в 1970-е годы.

Бенуа Маидельброта, родившегося в Польше в 1924 году, со статьей Жулиа познакомил в 1945 году родной дядя, профессор математики. В то время идеи Жулиа его не заинтересовали. Но спустя 30 лет после головокружительной научной карьеры Мандельброт очутился в компании *IBM* и обратил мощь ЭВМ на итеративные вычисления Жулиа. Мандельброт первым разработал метод графического построения, когда ЭВМ выводит на экран образ схождения и расхождения приближаемой функции.

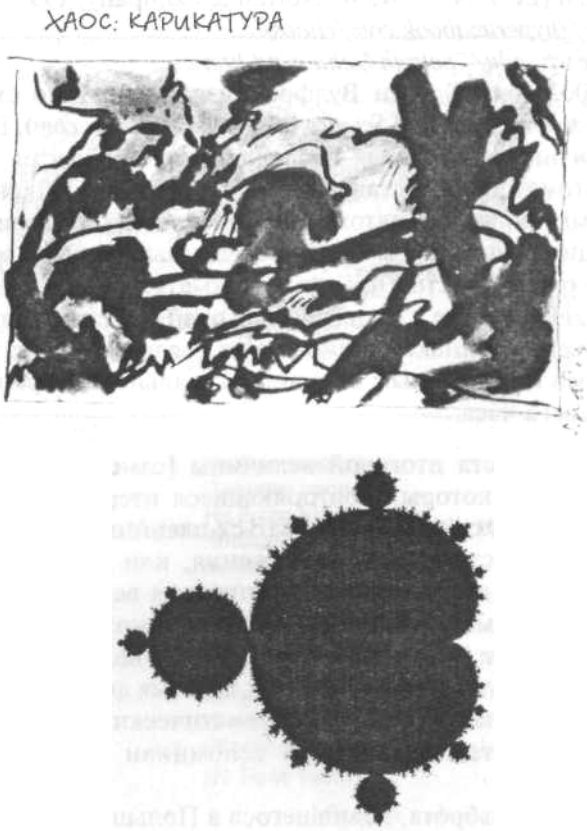


Рис. 1.9. Множество Мандельброта

Прекрасные образы, порождаемые методами итерации Мандельброта и Жулиа, способствовали одно время появлению бесчисленных книг и узлов Всемирной Паутины. Вот некоторые из них:

Gleick J. Making a New Science. N.Y.: Viking Penguin, 1987.

Exploring Chaos — A Guide to the New Science of Disorder / Nina Hall (Ed.). N.Y.: W. W. Norton & Company, 1991.

http://hypertextbook.com/chaos

www.wfu.edu/~petrejh4/chaosind.htm

В 2002 году Стивен Вулфрем издал книгу по смежной тематике *A New Kind of Science* (см. *www.Wolfram.com*). Его труд основан на собственных исследованиях в области клеточных автоматов, представляющих собой ряд одинаково запрограммированных автоматов, иначе «клеток», взаимодействующих друг с другом по определенным правилам. С помощью

очень простых правил можно создать очень сложные образы. Некоторые из этих образов очень похожи на природные объекты, однако установление связи между математикой хаоса и пригодным описанием реального мира все еще ждет своего часа.

13 .Предсказание землетрясений

Предсказаний землетрясений сегодня много. Поисковые машины в Интернете на запрос «Предсказание землетрясений» выдадут вам более 50 тыс. узлов Всемирной Паутины. Некоторые предсказания делаются на основе «данных» экстрасенсов (см.: *Wynn Charles M., Wiggins Arthur W., Harris Sidney.* Quantum Leaps in the Wrong Direction: Where Real Science Ends... and Pseudoscience Begins. Washington, 2001). Другие усилия связаны с соотнесением землетрясений с земным электричеством, поведением животных, расположением планет или иными явлениями. Несмотря на ошибочность большинства прогнозов, хотя бы один непременно оказывается верным.

Предположим, приятель предлагает вам пари: «Ставлю 20 долларов на то, что в следующем месяце произойдет крупное землетрясение в помеченной точками вот здесь на карте области».

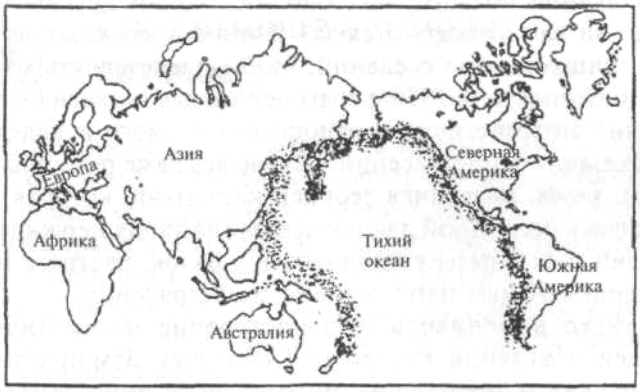


Рис. I.10. Зоны землетрясений

Не принимайте вызова. Ваш приятель наверняка выиграет. Помеченная точками область на карте (рис. 1.10) соответствует границам плит, составляющих земную кору. Когда конвенционные потоки в мантии (см.: Список идей, 11. Земля: история недр) увлекают за собой плиты, происходят землетрясения. Хотя некоторые землетрясения случаются и в иных местах, помимо оконечностей плит, именно на оконечности и приходится

подавляющая часть таких событий. Статистические данные о землетрясениях различной силы за год таковы:

Сила землетрясения по шкале Рихтера (чем больше величина, тем разрушительнее землетрясение)	Количество землетрясений в год
4-4,9	**6200**
5-5,9	**800**
6-6,9	**120**
7-7,9	**18**

Заметим, что условия пари были довольно туманны. Что такое крупное землетрясение? Если речь идет о значениях по шкале Рихтера выше 6 баллов, то таких событий происходит более десятка в месяц и преимущественно в помеченной точками области. Выражения «за месяц» и в «помеченной области» довольно расплывчаты. Если вы живете в пределах данной области, подобно миллионам других людей, нужно ли вам уезжать отсюда? Данное предсказание сообщает слишком мало сведений, чтобы представлять хоть какую-то ценность. В 1970-е годы некоторые геологи были настроены оптимистично в отношении точного и надежного предсказания землетрясений. Появилась даже разновидность теории хаоса, названная теорией катастроф, которая представлялась пригодной для предсказания таких неожиданных событий, как потеря устойчивости у балок, растрескивание асбестоцементных плит, а также землетрясения.

Однако выяснилось, что построение математических моделей поведения внутренних оболочек Земли столь же трудно, как и построение моделей поведения земной атмосферы. Нелегко составить уравнение, точно описывающее поведение модели, и даже приближенные уравнения оказываются на редкость нелинейными, выказывая крайнюю чувствительность к начальным условиям, свойственным хаотическим системам. К тому же получение сведений о текущем состоянии пород внутри коры и мантии сложнее, чем измерение параметров атмосферы, ввиду недоступности недр коры и мантии.

В статье 1997 года (журнал *Science: [Geller R. J., Jackson D. D., Kagan Y. Y, Mulargia F.* Earthquakes cannot be predicted // Science, 1997. Vol. 275]) известные геологи Роберт Геллер из Токийского, Дэвид Джексон и Ян Каган из Калифорнийского университетов и Франческо Муларджа из Университета Болоньи (Италия) утверждают, что «конкретные землетрясения, похоже, изначально непредсказуемы». За подробностями обращайтесь на сайт Всемирной Паутины:

http://scec.ess.ucla.edu/~ykagan/perspective.html

Вот еще неплохие источники:

http://quake.wr.usgs.gov/research/parkfleld /

www.nature.com/nature/debates/earthquake/equake_frameset.html

Составление звездных каталогов

Следующий неполный перечень звездных каталогов отражает стремление людей к упорядочению окружающего мира и поиску определенных закономерностей. Намечаются еще более грандиозные замыслы по созданию космических обсерваторий, в том числе на Луне и Марсе.

Звезды именуются согласно каталогу, где они встречаются. Многие яркие звезды обозначают согласно приводимым в каталоге Байера названиям.

Наиболее ярким звездам каждого созвездия Байер присваивал буквы греческого алфавита в порядке убывания их светимости. Например, Полярная звезда именуется *P Ursae Minoris* (а Малой Медведицы), поскольку она самая яркая в созвездии. Другим примером может служить первая видимая звезда—спутник черной дыры, названная HDE 226868 потому, что впервые появилась в расширенном каталоге Генри Дрейпера, и, таким образом, ее местонахождение там соответствует числу 226868.

Год	Название каталога и обозначение звезд	Составитель	Количество небесных тел	Примечания
350 до н. э.		Ши Шэнь Тимохарис	800	Китай Первый настоя-щий звездный каталог
300 до н. э.				
130дон.		Гиппарх	1080	
120 н.э.	*Альмагест*	Клавдий Птолемей	1022	См. примечание 1
1540 н.э.	*De le Stelle Fisse*	Алесандро Пикколомини		48 греческих созвездий
1602 н. э.		Тихо Браге	Ок. 1000	См. примечание 2
1603	*Uranometrio* (перечисляются в виде: греческая буква плюс латин-ское наименова-ние созвездия)	Иоганн Байер		Красочный; координаты взяты из данных Браге

1678		Эдмунд Галлей		Первый каталог небесной сферы Южного полушария
1690	*Sternverzeichnis*	Иоганн Гевелий		Оспаривает выводы Галлея
1725	*Hisloria Coelestis Britannica*	Джон Флемстид	3000	Первый королевский астроном; см. примечание 3
1762		Джеймс Брадлей	60 000	Третий королевский астроном
1771	Туманности, получившие в наименовании букву **M**	Шарль Мессье	Более 100	См. гл. 6
1801		Иоганн Боде		Воспользовался прежними сведениями
1863	*Bonnez-Durchmustemng* (BD + CD + CPD)*	Фридрих В. А. Аргеландер и др.	1 160 000	Боннская обсерватория
1864	*General Catalog of Nebulae* (GC)	Фридрих Вильгельм Гершель, Каролина Гершель, Джон У. Гершель	2500	См. примечание 4
1888	*New General Catalog of Nebulae and Star Clusters* (NGC и 1C)"	Дж.Л. Э.Дрейер	13 000	См. примечание 5
1918-1924	*Henry Draper Catalog* (HD и HDE)	Эдуард Ч. Пикеринг, Энни Джамп Кэннон	400 000	См. примечание 6
1966	Смитсоновская астрономическая обсерватория		260 000	Маунт-Паломар и др.
1989	*Hipparcos* (HIP) и *Tycho* (TYC)		2 500 000	Точность
1979-продолжается	*Guide Star*		1 млрд	Для наведения [телескопа] Хаббла

* BD — *Боннское обозрение,* каталог в 4 томах и приложенный к нему большой атлас неба на 324 188 звезд (дополнен Э. Шёнфельдом в 1886 году до 457 857 еще 133 659 звездами), видимых в Северном полушарии; CD — через 50 лет после составления Ф. Аргеландером каталога *Боннское обозрение* в Аргентине (Кордовская обсерватория) вышло продолжение для видимых звезд Южного неба «Кордовское обозрение неба»

(Cordoba Durchmusterung — CD), включающее уже 578 802 звезды и составленное в 1892—1914 годах коллективом обсерватории под руководством Джона Томе (1843-1908); было доведено до Южного полюса в 1930 году; CPD (Cape Photographic Durchmusterung) — Фотографический обзор с мыса Доброй Надежды, каталог 454 875 звезд Южного полушария, составлен в 1896-1900 годах голландским астрономом Якобусом Корнелисом Каптейном (1851-1922).

** 1С — *Index Catalogue,* два дополнительных каталога, появившихся в 1895 и 1908 годах.

Примечания

1. Птолемеев *Альмагест* составляет основу нынешних астрологических данных, хотя земная ось с тех пор сместилась таким образом, что созвездия зодиака более не соответствуют принятым для них месяцам. К тому же после Птолемея было открыто огромное число звезд и даже несколько планет, но это, похоже, не занимает астрологию.

2. Тихо Браге, последний величайший наблюдатель звездного неба невооруженным глазом не издавал собственного каталога звезд. Эта задача выпала на долю его помощника, достойного уважения Иоганна Кеплера, внесшего лепту в ко пилку астрономических знаний, установившего, что планеты движутся не по круговым, а вытянутым (эллиптическим) орбитам.

3. Джон Флемстид (1646-1719) основал Королевскую Гринвичскую обсерваторию, став ее первым директором и первым королевским астрономом. Это был край не скрупулезный наблюдатель, чей список звезд по численности и точности координат превзошел все прежние каталоги. Современники Эдмунд Галлей и Исаак Ньютон через Королевское общество торопили Флемстида обнародовать свои наблюдения как можно раньше, хоть они и были еще не завершены. Наконец без согласия и даже ведома Флемстида в 1712 году была напечатана часть его наблюдений в 400 экз., которые были использованы И. Ньютоном при обосновании закона всемирного тяготения. Однако Флемстид настоял на уничтожении этого издания и предпринял новое, названное им «Historia coelestis Britannica». При жизни Флемстида вышел лишь первый том, включавший его наблюдения, произведенные в Денби и Гринвиче над Солнцем, Луной, звездами, планетами, спутниками Юпитера, пятнами на Солнце. Второй том содержит меридианные наблюдения в Гринвиче, третий (1725) — исторический очерк описания инструментов и знаменитый «Бри танский» каталог 2884 звезд. Уже после смерти Ф. был издан (1729) его «Atlas coelestis».

4. Сэр Уильям Гершель (1738-1822) был урожденным Фридрихом Вильгельмом Гершелем и появился на свет в немецком городе Ганновере. Сын бедного музыканта, Гершель поступил на службу простым полковым гобоистом, но походная жизнь ему не понравилась, и уже в 1757 году он дезертировал с военной службы и прибыл в Англию, куда несколько ранее переселился брат его Иаков, капельмейстер ганноверского полка. Здесь Гершель стал органистом и учителем музыки. В 1772 году к нему присоединилась сестра Каролина Лукреция. Вскоре у него пробудился интерес к астрономии, так что бравшие у него уроки музыки ученики постигали не только музыку, но и астрономию. Не имея дома помещения для телескопа, он установил его на улице. Это зрелище привлекало посетителей, одним из которых оказался доктор Уильям Ватсон, член Королевского общества, представивший на его суд некоторые заметки Гершеля о высоте гор на Луне.

В последующие два года Гершель обнаружил яркое небесное тело там, где прежние карты не показывали никаких звезд. Это медленно движущееся тело оказалось планетой, названной Гершелем Georgium sidus («Звездой Георгия»), в честь короля Георгия III, позже переименованной в Уран. Это открытие определило карьеру Гершеля; король Георг III, любитель астрономии и покровитель ганноверцев, снабдил его средствами для постройки отдельной обсерватории в Слоу, близ Виндзора, и назначил ему ежегодное содержание в 300 гиней. Здесь Гершель с юношеским жаром и необыкновенным усердием принялся за астрономические наблюдения. По словам биографа, он выходил из обсерватории только для того, чтобы представлять Королевскому обществу результаты своих неусыпных трудов. Он выписал из Ганновера сестру Каролину, которая затем не покидала брата до самой его смерти и была превосходным помощником; она не только записывала наблюдения, но и производила вычисления. Гершель был избран членом Королевского общества, получил звание придворного астронома наряду с сестрой и помощником.

50-летний Гершель женится на вдове Мери Питт, коренной англичанке. У них рождается сын, Джон Фредерик, учившийся вначале в Кембридже на математика, но затем обратившийся к астрономии, чтобы завершить звездный каталог своего отца.

5. Йохан Людвиг (Джон Луис) Эмиль Дрейер (1852-1926) родился в Копенгагене (Дания). В 1872 году он работал помощником [Уильяма Парсонса] лорда Рос са в его поместье Бир-Касл близ Парсонстауна, что между Дублином и Лимериком в Ирландии. Лорд Росс построил крупнейший в мире телескоп, 72-дюймовое чудище, прозванное Левиафаном из Парсонстауна. В 1845 году, отмеченном страшным голодом, наблюдения были свернуты, но когда телескоп вновь заработал, Дрейеру удалось выявить много удаленных небесных тел, добавив в *Общий ката лог (New General Catalog)* Гершеля тысячу новых имен. Основной труд Дрейер проделал в обсерватории г. Арма, где по заданию Королевского общества составил *Новый общий каталог (New General Catalog* — NGC).

6. Генри Дрейпер (1837-1882) был медиком и астрономом-любителем, в 1872 году сделавшим первый снимок спектра у звезды, которой оказалась Вега. После безвременной кончины Дрейпера вдова учредила на его средства фонд поощрения работ по фотографическому изучению спектра звезд в Гарвардской обсерватории, который возглавил Эдвард Пикеринг (см. гл. 6).

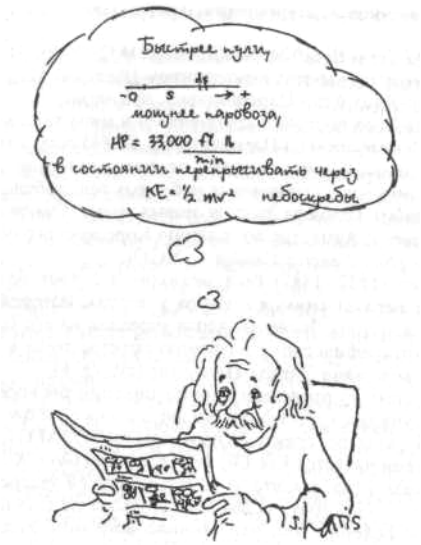
После 1910 года одна из представительниц пикерингovского «гарема», Энни Джамп Кэннон приступила к классификации звезд по их спектру. Она разработала схему распределения звезд по спектральным классам OBAFGKM (для лучшего запоминания студентами читается как *Oh, Be A Fine Girl (Guy), Kiss Me),* классифицировав по 50 тыс. звезд в год, так что за 40 лет работы ей удалось охватить своей схемой 400 тыс. звезд. В 1938 году, за два года до ухода на пенсию, она получила должность в Гарварде подобно той, что занимал астроном Уильям Кранч Бонд (1789-1859).

За более подробными сведениями обращайтесь на узел Всемирной Паутины *www.seds.org/~spider/Misc/star_cats.html*

15. Труды Эйнштейна: помимо теории относительности

Альберт Эйнштейн в 1905 году напечатал в германском ежемесячном журнале по физике *Annalen der Physik und Chemie* пять статей.

В представленной Цюрихскому университету в апреле и защищенной в июле 1905 года докторской диссертации «Новое определение размеров молекул» Эйнштейн показал, как определить число Авогадро (знаменитую величину 6,02 x 10^{23}, равную числу содержащихся в 1 моле вещества молекул) и размеры ионов в растворе на основе измеренных значений осмотического давления и коэффициента диффузии. Данный труд принес ему звание доктора философии и спустя уже почти 100 лет остается одним из наиболее часто цитируемых в научной литературе.



В работе «О движении взвешенных в покоящейся жидкости частиц, требуемом молекулярно-кинетической теорией теплоты» разъяснялось, каким образом зигзагообразное движение молекул, наблюдаемое под микроскопом, вызывалось столкновениями с движущимися молекулами в жидкости. Сами молекулы из-за малой величины не были видны, но итоговое движение более крупного тела наблюдалось микроскопистами, в том числе Робертом Броуном. Такое движение стало называться броуновским. Статья Эйнштейна укрепила связь между кинетической теорией и наблюдаемыми явлениями.

Статью «Об одной эвристической точке зрения, касающейся возникновения и превращения света» Эйнштейн называл революционной, что на самом деле так и было. Неудовлетворенный описанием материи как дискретного состояния, противопоставляемого непрерывной природе электромагнитного излучения, Эйнштейн предположил, что свет в некоторых отношениях следует рассматривать подобно частицам. Он показал, что данный подход согласуется с исследованием Планка излучаемого нагретым телом света. Подойдя с той же меркой к фотоэлектрическому эффекту, когда падающий на металлическую поверхность свет приводил к испусканию этой поверхностью электронов, Эйнштейн сумел объяснить некоторые результаты, сбивавшие с толку других ученых. Данная статья способствовала утверждению нового взгляда на свет, где автор с большим вниманием отнесся к выводам Планка, нежели

он сам, рассматривавший свое толкование дискретности испускаемой светом энергии скорее как математическую хитрость, а не как точное отображение действительности. Прежде чем написать статью, Эйнштейн почти пять лет размышлял над этим свойством света.

«К электродинамике движущихся сред» — знаменитая статья Эйнштейна о специальной теории относительности. В ней говорится об обобщении классической относительности, согласно которой законы физики правомерны для любого наблюдателя, движущегося с постоянной скоростью. Например, если подбросить мяч внутри движущегося автомобиля, он взлетит и опустится так, словно вы неподвижно стоите на земле. Второй постулат относительности поистине революционен. Он опровергает представление Ньютона: скорость света для всех наблюдателей, движущихся с постоянной скоростью, постоянна, а пространство и время — относительны по отношению к нему, в отличие от придаваемого им Ньютоном абсолютного характера. Как явствует из письма Эйнштейна своему внуку, ученый размышлял над данным вопросом по меньшей мере семь лет, прежде чем появилась на свет эта статья.

Последняя статья 1905 года «Зависит ли инерция тела от содержащейся в нем энергии», будучи дополнением предыдущей статьи, стала своего рода математической сноской к специальной теории относительности, поскольку содержала связывающее массу и энергию уравнение. Оно было выражено как $m = L/V^2$, где V — скорость света, а не в привычном для всех ныне виде $E = mc^2$.

За более подробными сведениями обращайтесь к книге: Einstein's Miraculous Year: Five Papers That Changed the Face of Physics. Princeton, 1998.

Благодаря огромному вкладу в ряд областей физики невольно складывается впечатление, что Эйнштейн весьма серьезно относился к своим научным занятиям. Но вот что он пишет по поводу своих четырех статей близкому другу Конраду Габихту 18 мая 1905 года:

«Между нами воцарилось такое молчание, что я ощущаю себя чуть ли не святотатцем, нарушая его своим невразумительным лепетом. Итак, что же происходит с тобой, ты, бесчувственный сухарь?.. Почему до сих пор так и не прислал своей диссертации? Разве не знаешь, что я один из полутора горемык, что прочитали бы ее с любопытством и удовольствием, черт бы тебя побрал! Я же обещаю тебе взамен четыре статьи. В первой речь идет об излучении и энергетических свойствах света, и она достаточно революционна, в чем сам убедишься, если вначале пришлешь мне свой опус. Вторая занята определением истинных размеров атомов. Третья доказывает, что тела порядка $'/_{1000}$ мм, взвешенные в жидкости, вынуждены

совершать наблюдаемое случайное движение, обусловленное тепловым движением. Четвертая же представляет пока лишь набросок и касается электродинамики движущихся тел с привлечением видоизмененной теории пространства и времени».

Каким образом Эйнштейну удалось написать пять статей, столь повлиявших на развитие физики, всего за год? Возможно, вы скажете, что он был математическим гением, преуспевал в школе, много читал и трудился в научной обстановке, которая давала много времени для теоретической работы. Это не так.

В 1905 году Альберту Эйнштейну исполнилось 26 лет, он целыми днями был занят в Швейцарском патентном бюро Берна, состоял в браке с Милевой Марич (1875-1948), возлюбленной еще со студенческой скамьи, и был отцом годовалого ребенка, Ганса Альберта.

Вот несколько высказываний Альберта Эйнштейна о себе:

«У меня нет никакого особого таланта. Я всего лишь любознателен».

«Я вовсе не так уж и умен, просто я больше просиживаю над вопросами».

«Сами мысли не приходили в некой словесной оболочке. Я вообще редко мыслю словами. Приходит в голову мысль, и я лишь пытаюсь облечь ее в слова».

Однажды Эйнштейн в ответ на просьбу 12-летней девочки [из Бруклина] помочь ей с выполнением домашнего задания послал ей письмо с целой страницей формул, сопровождая их такими словами:

«Пусть тебя не смущают нелады с математикой; заверяю тебя, у меня их было значительно больше.

Порой я спрашиваю себя, как мне удалось создать теорию относительности. Причина, по моему разумению, в том, что обычный взрослый просто никогда не задумывается над вопросами пространства и времени. Они волновали его, когда он был ребенком. Но мое умственное развитие запоздало, отчего любопытство к пространству и времени у меня пробудилось, когда я уже вырос».

Многие биографы, повествуя о ранних годах учебы Эйнштейна, отмечают его независимость, нежелание следовать авторитетам и многочисленные неудачи. Некоторые заключают, что он страдал необучаемостью, возможно дислексией (неспособностью к чтению). Следующее высказывание, возможно, внесет некоторую ясность: «Чтение после определенного возраста слишком уж отвлекает ум от его творческих устремлений. Тот, кто слишком много читает и слишком мало пользуется

собственными мозгами, приобретает леность мышления».

Конечно, умственные способности Эйнштейна был] значительно выше средних, но, пожалуй, важнее было ел умение сосредотачиваться. Некоторые назвали бы это упорством, но дар направлять свои незаурядные способности на что-то одно его изрядно выручал. Однако поглощенность наукой, видимо, не могла сделать из него идеального муж и отца. Завоевав известность своими научными трудами Эйнштейн стал получать приглашения занять ту или иную академическую должность, и ему приходилось много разъезжать. Все это не прошло даром, и в 1919 году они с Миле вой разводятся. Одним из условий развода значилась выплата Эйнштейном Милеве части его будущей Нобелевской премии. Нобелевскую премию ему присудили в 1921 году (за объяснение механизма фотоэлектрического эффекта), і бывшая жена с детьми получили причитающиеся деньги.

В 1919 году Альберт Эйнштейн женился на вдове своего двоюродного брата Эльзе, продолжал свою научную работ и много ездил, везде играя на своей скрипке. Хотя немногие разбирались в его теории, язык музыки был понятен всем. 1 1919 году пришло первое опытное подтверждение его об щей теории относительности, добавившее ему славы С приходом к власти в Германии нацистов миролюбцу и еврею Эйнштейну приходилось все труднее. В итоге он бежит в США. В Принстонском институте высших исследований он безуспешно пытался построить объединенную теории поля. До конца своей жизни (1955) Эйнштейн оставался непререкаемым авторитетом в физике.

«Мир нуждается в героях, и лучше, чтобы это были безобидные вроде меня люди, а не злодеи наподобие Гитлера».

Альберт Эйнштейн

16. «Большой взрыв»

Теория «большого взрыва» о порождении Вселенной утверждает, что все вещество и энергия берут начало 14 млрд. лет назад из одной точки, после чего Вселенная начала расширяться. На первых порах расширение было стремительным, получив название раздувания (инфляции), а затем из-за влияния тяготения оно замедлилось. Теперь же оно вновь ускоряется под действием темной энергии.

За более подробными сведениями, содержащими опытные данные, обращайтесь к нашей книге *Пять крупнейших представлений в науке* (The Five Biggest Ideas in Science. NY, 1997).

Значительно проще было уследить за происходящим до «большого взрыва». Все тогда пребывало в одном месте.

Источники для углубленного изучения

Источники общего характера

Книги

Anton Ted. Bold Science; Seven Scientists Who Are Changing Our World. N.Y.: W. H. Freeman and Co., 2000.

Kaku Michio. Hyperspace. London: Oxford University Press, 1994.

Kaku Michio. Visions. N.Y.: Anchor Books, 1997.

Kuhn Robert L. Closer to Truth Challenging Current Belief. N.Y.: McGraw-Hill, 2000.

Периодические издания

Discover

Science

Science Week

Узел Всемирной Паутины

www.mkaku.org

Глава 1. Видение науки

Книги

Malone John. Unsolved Mysteries of Science: A Mind-Expanding Journey through a Universe of Big Bangs, Particle Waves, and Other Perplexing Concepts. N.Y.: John Wiley & Sons, Inc., 2001.

The Next Fifty Years — Science in the First Half of the Twenty-First Century / Brockman, John (Ed.). N.Y.: Vantage Books, 2002.

Глава 2. Физика. ***Почему одни частицы обладают массой, а другие нет?***

Книги

Brennan R. P. Heisenberg Probably Slept Here: The Lives, Times, and Ideas of the Great Physicists of the 20th Century. N.Y.: John Wiley & Sons, Inc., 1996.

Gordon K. Super symmetry: Squarks, Photinos, and the Unveiling of the Ultimate Laws of Nature. Cambridge, Mass.: Helix Books, 2000 [на рус. яз.: *Гордон К.* Современная физика элементарных частиц. М.: Мир, 1990; *Говард Э. Х., Гордон Л. К.* Обладает ли природа суперсимметрией? // В мире науки. 1986. Авг. С. 26].

Peat F. D. Superstrings and the Search for the Theory of Everything. N.Y.: Contemporary Books, 1989.

Периодические издания

Arkani-Hamed N., Dimopolous S., Dvali G. The Universe's Unseen Dimensions // Scientific American. 2000. Aug. A Matter of Time // Scientific American. 2002. Sept. Special Issue.

Overbye D. Remembering David Schramm, the Gentle Giant of Cosmology. New York Times. 1998. № 10. Febr.

Weinberg S. A Unified Physics by 2050? // Scientific American. 1999. Dec.

Узлы Всемирной Паутины

CERN (Conseil Europeen pour la Recherche Nucleaire) — узел Европейской организации по ядерным исследованиям:

http://welcome.cern.ch/welcome/gateway.html

Проект обучения современной физике (Contemporary Physics Education Project): *www.cpepweb.org /*

Узел Национальной лаборатории высокоэнергетических исследований имени Энрико Ферми (Fermilab, Fermi National Accelerator Laboratory — FNAL) в Батавии, штат Иллинойс: *www.fnal.gov/*

Хиггсовы поля: *www.hep.yorku.ca/whatjsjiiggs.html*

Хигтс: *http://magazine.uchicago.edu/0104/features/higgs.html*

Физика высоких энергий в лаб. Ферми (Fermilab): *www.hep.net/*

Охота за высшими измерениями (Hunting for Higher Dimensions //

Science News Online. 2000. № 19. Febr.): *www.sdencenews.org*

Путеводитель для любителя по М-теории («A Layman's Guide to M-Theory»), автор M. J. Duff: *http://arxiv.org/abs/hep-th/9805177*

Узел «Приключения частиц» (Particle Adventure):

http://particleadventure.org/particleadventure/index.html

Совет по исследованию в области физики частиц и астрономии

(Particle Physics and Astronomy Research Council): *www.pparc.ac.uk/*

Квантовая теория поля:

http://theory.caltech.edu/people/jhs/strings/strll4.html

Узел Стэнфордского центра линейного ускорителя (Stanford Linear

Accelerator Center): *www.slac.stanford.edu/*

Глава 3. Химия. ***Какого рода химические реакции подтолкнули атомы к образованию первых живых существ?***

Книги

Adams F. Origins of Existence: How Life Emerged in the Universe. N.Y.: The Free Press, 2002.

Duve Ch. de. Life Evolving: Molecules, Mind, and Meaning. Oxford: Oxford University Press, 2002.

Ridley M. Genome. N.Y.: HarperCollins, 2000. Shapiro R. Planetary Dreams: The Quest to Discover Life Beyond Earth. N.Y.: John Wiley & Sons, Inc., 2001.

Периодические издания

Ridley M. The Year of the Genome // Discover. 2001. Vol. 1. № 1. Jan.

Wade N. Inside the Cell, Experts See Life's Origin // New York Times. 1999. №16. Apr.

Узлы Всемирной Паутины

Archaea: www.ucmp.berkeley.edu/archaea/archaea.html

Начало жизни на Земле: www.sigmaxi.org/amsci/articles/95articles/cdeduve.html

Life in the right universe: www. discover.com/nov_00/featlife. html

Происхождение жизни:

http://origins.jpl.nasa.gov/

www.resa.net/nasa/origins life.htm

http://taggart.glg.msu.edu/isb200/oolife.htm

Происхождение жизни на Земле, автор Leslie Orgel:

www.geocities.com/CapeCanaveral/Lab/2948/orgel.html

Премия «Происхождение жизни» (Origin of Life prize):

www.us.net/life/

Происхождение и становление жизни:

www.chemistry.ucsc.edu/Projects/origin/home.html

Взгляды Викрамасинхга (Wickramasinghe) и Хойла (Hoyle) на происхождение жизни: www.actionbiosdence.org/new frontiers/wickramasinghe/wickhoyle.html

Глава 4. Биология. Каково строение и предназначение протеома?

Книги

Raven P. H., Johnson G. B. Biology, 6th Edition. N.Y.: McGraw-Hill, 2002 (на рус. яз.: Рейвн П., Эверт Р., Лйкхорн С. Современная ботаника: В 2 т. / Пер. с англ. В. Гладковой и др. М.: Мир, 1990).

Узлы Всемирной Паутины

Прикладная молекулярная генетика:

www.biochem.arizona.edu/classes/bioc471/pages/Lecture3.html

Биочипы:

http://157.98.13.103/docs/1995/103-3/innovations.html

http://arrayit.com/Company/Media/PrintMedia/printmedia.html

www.goertzel.org/benzine/FodorProfile.htm

Электрофорез в геле:

www.iacr.bbsrc.ac.uk/notebook/courses/guide/dnast.htm

Генетический код:

http://newton.dep.anl.gov/askasci/mole00.htm

«Бросовая» ДНК, или как?:

www.iacr.bbsrc.ac.uk/notebook/courses/guide/dnast.htm

Заметки о молекулярной биологии:

www.iacr.bbsrc.ac.uk/notebook/courses/guide/dnast.htm

Молекулярная генетика: http://newton.dep.anl.gov/askasci/mole00.htm

Глава 5. Геология. Возможен ли точный долговременный прогноз погоды?

Периодические издания

Scientific American Presents Weather // Scientific American. 2000. Vol. ll.№ 1.

Узлы Всемирной Паутины

Лед на Луне: http://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/ice/icemoon.html

Возникновение воды на Земле: http://scienceweek.com/swfr065.htm

Моделирование предсказания погоды на персональном компьютере: www.climateprediction.com

Запуск зонда Venera на Венеру: http://nssdcgsfc.nasa.gov/planetary/venera.html

Глава 6. Астрономия. Почему Вселенная расширяется со все большей скоростью?

Книги

Bergstrom L, GoobarA. Cosmology and Particle Astrophysics. N.Y.: John Wiley & Sons, Inc., 1999.

Boss A. Looking for Earths: The Race to Find New Solar Systems. N.Y.: John Wiley & Sons, Inc., 2000.

Fox K. C The Big Bang Theory: What It Is, Where It Carne From, and Why It Works. New York: John Wiley & Sons, Inc., 2002.

Livio M. The Accelerating Universe: Infinite Expansion, the Cosmological Constant, and the Beauty of the Cosmos. N.Y.: John Wiley &Sons, Inc., 2000.

Периодические издания

Cline D. B. The Search for Dark Matter // Scientific American. 2003. Vol. . № 3. March.

Overbye D. A Scientist's Prey: Dark Energy in the Cosmic Abyss // New

York Times. 2003. № 18. Febr. Wright K. Very Dark Energy// Discover. 2001. Vol. 22. № 3. March.

Узлы Всемирной Паутины

Ускорение Вселенной:

www.discover.com/science_news/astronomy/quick.html

Астрономические сайты:

www.winternet.com/~gmcdavid/html_dir/astronomy.html

Биография Фридриха Бесселя (Bessel):

www.groups.dcs.stand.ac.uk/~history/Mathematicians/Bessel.html

Дополнительные сведения о «большом взрыве»:

http://hoku.as.utexas.edu/~gebhardt/a309s02/Iect5dm.html

Теория «большого взрыва»:

www.damtp.cam.ac.uk/user/gr/public/bb_home.html

Космологическая постоянная и темная материя:

http://umwntl.physics.lsa.umich.edu/PIC99/_Talks/turner/turner.htm

Темная энергия в ускоряющейся Вселенной:

http://snap.lbl.gov/brochure/index.html

Dark energy resource book:

http://supernova.lbl.gov/~evlinder/sci.html#secl

Темная материя и темная энергия:

http://hitoshi.berkeley.edu/290E/

High Z Supernova Project:

www.sc.doe.gov/feature_articles_2001/April/lucky_supernova/lucky_supernova.htm

Проект «Микроволновая анизотропия»:

http://map.gsfc.nasa.gov/m_uni/uni_101fate.html

М-теория:

www.damtp.cam.ac.uk/user/gr/public/qg_ss.html

Космический телескоп нового поколения (Next Generation Space Telescope): http://ngst.gsfcnasa.gov/

Представление зонда по измерению ускорения сверхновой звезды:

http://atlas.physics.lsa.umich.edu/docushare/dscgi/ds.py/GetRepr/File-985/html

Сайты по теоретической космологии:

http://cfa-www.harvard.edu/~jcohn/tcosmo.html

Список проблем

Книги

Kaku M. Hyperspace. N.Y.: Oxford University Press, 1994.

Kaku M. Visions. N.Y.: Anchor Books, 1997.

Malone J. Unsolved Mysteries of Science. N.Y.: John Wiley & Sons, Inc., 2001.

Penrose R. The Emperor's New Mind: Concerning Computers, Minds, and the Laws of Physics. N.Y.: Viking Penguin, 1990 (на рус. яз.: Новый ум короля. О компьютерах, мышлении и законах физики / Пер. с англ., ред. В. Малышенко, М.: Эдиториал УРСС, 2003).

Raup D. Extinction — Bad Genes or Bad Luck? N.Y.: W. W. Norton & Company, 1992 (на рус. яз.: РаупД., Стенли С. Основы палеонтологии / Пер. с англ. Ю. Фролова, В. Махлина М.: Мир, 1974).

Rees M. Our Cosmic Habitat. Princeton, NJ: Princeton University Press, 2001.

Steel D. Rogue Asteroids and Doomsday Comets: The Search for the Million Megaton Menace That Threatens Life on Earth, N.Y.: John Wiley & Sons, Inc., 1997.

Периодические издания

Crick F., Koch C The Problem of Consciousness // Scientific American. 2. Sept. [на рус. яз.: Проблема сознания // В мире науки. 1992.

№11-12. С. 113-120]. Gibbs W. W. Ripples in Spacetime // Scientific American. 2002.Apr.

Overbye D. A New View of Our Universe: Only One of Many // New

York Times. 2002. № 29. Oct. *Wade N.* Before the Big Bang, There Was... What? //

New York Times. 1. №23. May.

Узлы Всемирной Паутины

www.jupiterscientific.org/sciinfo/gusp.html
www.mkaku.org
http://neat.jpl.nasa.gov
http://neo.jpl.nasa.gov
http://spacewatch.Ipl.arizona.edu

Оглавление

Предисловие

Глава первая. ВИДЕНИЕ НАУКИ

Глава вторая. ФИЗИКА. *Почему одни частицы обладают массой, а другие нет?*

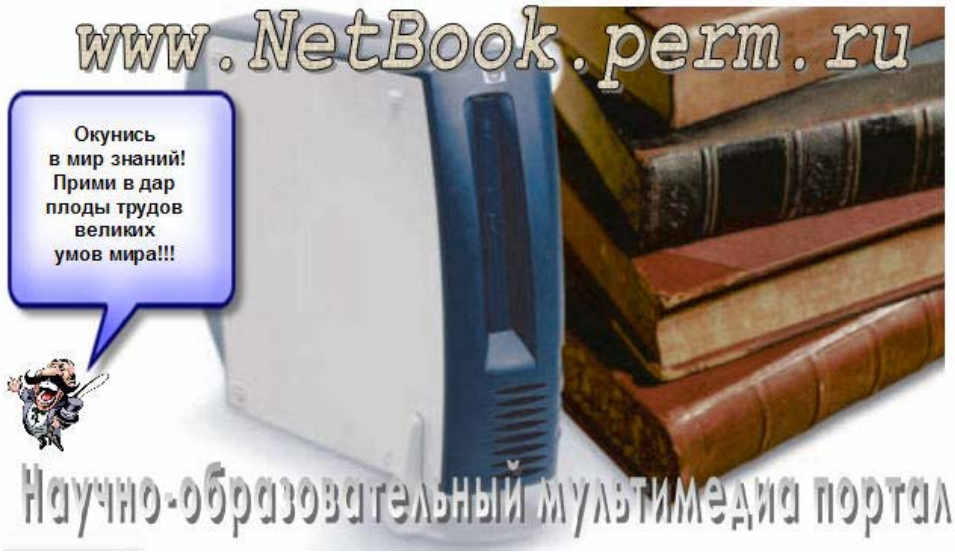
Глава третья. ХИМИЯ. *Какого рода химические реакции подтолкнули атомы к образованию первых живых существ?*

Глава четвертая. БИОЛОГИЯ. *Каково строение и предназначение протеома?*

Глава пятая. ГЕОЛОГИЯ. *Возможен ли точный долговременный прогноз погоды?*

Глава шестая. АСТРОНОМИЯ. *Почему Вселенная расширяется со все большей скоростью?*

СПИСОК ПРОБЛЕМ

СПИСОК ИДЕЙ

Источники для углубленного изучения