

СЕРГЕЙ ЯЗЕВ



ВСЕЛЕННАЯ

ПУТЕШЕСТВИЕ
ВО ВРЕМЕНИ
И ПРОСТРАНСТВЕ

МУЗЕЙ
КОСМОНАВТИКИ



Вы смогли скачать эту книгу бесплатно на законных основаниях благодаря проекту **«Дигитека»**. [Дигитека](#) — это цифровая коллекция лучших научно-популярных книг по самым важным темам — о том, как устроены мы сами и окружающий нас мир. Дигитека создается командой научно-просветительской программы [«Всенаука»](#). Чтобы сделать умные книги доступными для всех и при этом достойно вознаградить авторов и издателей, «Всенаука» организовала всенародный сбор средств.

Мы от всего сердца благодарим всех, кто помог освободить лучшие научно-популярные книги из оков рынка! Наша особая благодарность — тем, кто сделал самые значительные пожертвования (имена указаны в порядке поступления вкладов):

Дмитрий Зимин
Алексей Сейкин
Николай Кочкин
Роман Гольд
Максим Кузьмич
Арсений Лозбень
Михаил Бурцев
Ислам Курсаев
Вадим Мельников
Павел Дорожкин
Артем Шевченко
Валерий Окулов
Евгений Шевелев
Александр Анисимов
Роман Мойсеев
Евдоким Шевелев

Мы также от имени всех читателей благодарим за финансовую и организационную помощь:

Российскую государственную библиотеку
Компанию «Яндекс»
Фонд поддержки культурных и образовательных проектов «Русский глобус».

Этот экземпляр книги предназначен только для вашего личного использования. Его распространение, в том числе для извлечения коммерческой выгоды, не допускается.

СЕРГЕЙ ЯЗЕВ

ВСЕЛЕННАЯ

ПУТЕШЕСТВИЕ
ВО ВРЕМЕНИ
И ПРОСТРАНСТВЕ



РЕКОМЕНДУЕТ



Санкт-Петербург • Москва • Екатеринбург • Воронеж
Нижний Новгород • Ростов-на-Дону
Самара • Минск

2020

ББК 22.68
УДК 524.8
Я40

Язев Сергей

Я40 Вселенная. Путешествие во времени и пространстве. — СПб.: Питер, 2020. — 288 с.: ил. — (Серия «New Science»).

ISBN 978-5-4461-1245-6

Музей космонавтики рад представить читателям новую книгу о космосе! Это рассказ о наших шагах на пути познания Вселенной — от кипящей и бурлящей материи до разумных существ; от самых примитивных, сказочных и мифических представлений об устройстве космоса до современных, поражающих воображение теорий и гипотез; от черных дыр, тоннелей через время и пространство, до микроскопических частиц, в которых заключены свои миры со своими физическими законами. А главное — эта книга о том, что будет дальше с человечеством и Вселенной, ведь похоже, что мы в самом начале пути и впереди еще много интересного — того, что сбудется на самом деле!

16+ (В соответствии с Федеральным законом от 29 декабря 2010 г. № 436-ФЗ.)

ББК 22.68
УДК 524.8

Все права защищены. Никакая часть данной книги не может быть воспроизведена в какой бы то ни было форме без письменного разрешения владельцев авторских прав.

Информация, содержащаяся в данной книге, получена из источников, рассматриваемых издательством как надежные. Тем не менее, имея в виду возможные человеческие или технические ошибки, издательство не может гарантировать абсолютную точность и полноту приводимых сведений и не несет ответственности за возможные ошибки, связанные с использованием книги.

Издательство не несет ответственности за доступность материалов, ссылки на которые вы можете найти в этой книге. На момент подготовки книги к изданию все ссылки на интернет-ресурсы были действующими.

ISBN 978-5-4461-1245-6

© ООО Издательство «Питер», 2020
© Серия «New Science», 2020
© Евгений Муретов, иллюстрации, 2020
© Сергей Язев, 2019

Музей космонавтики рад представить читателям новую книгу о космосе!

«Вселенная. Путешествие во времени и пространстве» написана профессиональным астрономом, директором Астрономической обсерватории Иркутского государственного университета Сергеем Язевым.

«О если бы писали мы о том лишь, что доподлинно известно, подумайте, о трезвые умы, как было бы читать неинтересно!»

Это рассказ о наших шагах на пути познания Вселенной — от кипящей и бурлящей материи до разумных существ; от самых примитивных, сказочных и мифических представлений об устройстве космоса до сегодняшних, поражающих воображение теорий и гипотез; от черных дыр, тоннелей через время и пространство, до микроскопических частиц, в которых заключены свои миры со своими физическими законами.

А главное — эта книга о том, что будет дальше с человечеством и Вселенной. Ведь похоже, что мы в самом начале пути и впереди еще много интересного — того, что сбудется на самом деле!



Содержание

Предисловие	6
Часть первая	12
1. Вселенная Древнего мира	12
2. Вселенная глазами зарождающейся науки	34
3. Вселенная с центральным Солнцем	52
4. Вселенная без границ	71
5. Вселенная под властью тяготения	89
6. Вселенная, которая не меняется	105
7. Вселенная, управляемая физикой	126
Часть вторая	142
8. Вселенная относительная	142
9. Вселенная, меняющаяся в размерах	174
10. Вселенная, горячая в начале	195
11. Вселенная, подверженная инфляции	225
12. Вселенная разгоняющаяся	247
13. Вселенная открытых вопросов. Вместо заключения	266

Ирине, Маше и Степану

Предисловие

...Это было давно — еще в восьмидесятих годах прошлого века. Я недавно окончил университет, работал наблюдателем на хромосферном солнечном телескопе Байкальской астрофизической обсерватории. В те времена изображение Солнца еще не выводилось на монитор компьютера, и красный диск светила нужно было рассматривать через окуляр (сквозь специальный фильтр).

...Крупная активная область на Солнце явно «проснулась»: светлые флоккулы «играли», небольшое темное волокно прямо на глазах изменяло и форму, и контраст. Мой опыт показывал, что скоро может быть вспышка.

И тут внизу постучали.

Я сделал снимок (щелкнуло зеркальце затвора в трубе телескопа, а электромотор камеры с заунывным жужжанием перемотал фотопленку) и побежал по лестнице вниз — быстрее, чтобы не пропустить начало вспышки (если она будет). Провернул мощный гаражный замок и открыл дверь.

За ней оказалась совсем еще молоденькая девушка — судя по всему, старшеклассница, в очках и с блокнотом в руках. Она поздоровалась и сказала, что в школе им дали задание: написать сочинение про какую-то необычную работу, и вот поэтому она здесь.

Мне не оставалось ничего другого, как пригласить ее проследовать за мной. Наверху она осмотрелась, задала несколько вопросов, что-то записала и принялась за мной наблюдать.

— А зачем вы смотрите на Солнце? — спросила она через некоторое время, уяснив суть моего занятия. — Разве там что-то происходит?

Иногда мне кажется,
что мы одни во
Вселенной, иногда —
что нет. От обеих
мыслей у меня
захватывает дух.

Артур Кларк

— Там все время что-то происходит, — я искренне удивился такому вопросу. — Иногда появляются очень сильные магнитные поля — всплывают из глубин Солнца к поверхности. В этих местах возникают активные области — темные солнечные пятна, а вокруг яркие флоккулы. Иногда пятен бывает мало, иногда много. Бывает, что в активных областях происходят солнечные вспышки. Это такие мощные взрывы. Если взорвать все ядерные бомбы на земле, солнечная вспышка все равно окажется мощнее. Вот, например, сейчас одна такая область видна, и там вполне может случиться вспышка.

Мне хотелось подчеркнуть значимость и необычность моей работы.

Я снова заглянул в окуляр. Высокий петлеобразный протуберанец на восточном лимбе явно активизировался. Я набрал на пульте увеличенное значение экспозиции, чтобы протуберанец хорошо проработался на негативе, и сделал снимок. Камера снова протянула пленку.

— Это что вы сейчас сделали? — спросила девушка.

— Это я сфотографировал Солнце, — пояснил я, не отрываясь от окуляра.

— И вы что же, все время его фотографируете? — спросила она.

— Да! — отозвался я и снова изменил время экспозиции. — Иногда реже, иногда чаще, когда там идут какие-нибудь процессы, вроде той же вспышки. Или вот сейчас протуберанец зашевелился...

— Можно посмотреть?

Она наклонилась к окуляру и стала всматриваться.

— Вы, значит, все время за ним следите — задумчиво проговорила она. — И что, вам это действительно интересно?

— Ну конечно! — отозвался я и замолчал.

Она снова пожала плечами.

АСТРОНОМИЯ ЗАСТАВЛЯЕТ ДУШУ
СМОТРЕТЬ ВВЕРХ И ВЕДЕТ НАС
ИЗ ЭТОГО МИРА В ДРУГОЙ.

Платон

ПРИСУТСТВУЙ Я ПРИ
СОТВОРЕНИИ МИРА,
ДАЛ БЫ ПАРУ СОВЕТОВ,
КАК ПОЛУЧШЕ ОБУСТРОИТЬ
ВСЕЛЕННУЮ.

Альфонс Мудрый

— А что тут может быть интересного? — спросила она. — На Солнце ведь все время что-то происходит. Вспышки, да? Протуберанцы... Они живут своей жизнью, очень далеко от нас. Далеко?

— Примерно в ста пятидесяти миллионах километров.

— Ну вот... К людям это же не имеет никакого отношения. И зачем тогда туда смотреть? Там же все неживое. Оно не думает, не слышит, просто кипит себе...

Впервые в жизни я слышал такие вопросы. Мне всегда казалось, что это-то как раз и есть самое интересное — узнавать, что происходит где-то в глубинах Вселенной и почему оно происходит.

— Во-первых, это нужно знать, — сказал я. — Вы слышали, как вспышки влияют на Землю? Они порождают у нас магнитные бури. В электронных системах могут быть сбои, спутники выходят из строя, и вообще, есть данные, что солнечная активность может влиять на наше здоровье и даже на общественную жизнь.

Девушка что-то записала в блокнот и с сомнением покачала головой.

— Во-вторых, мы же должны знать, почему там все это происходит, — продолжил я, но она меня перебила.

— А вам лично это все интересно? — произнесла она, глядя на меня поверх очков.

— Очень, — сказал я с некоторым вызовом. — Да и как может быть иначе? — я искренне недоумевал.

— Но как это вообще может быть интересно? — похоже, что и она говорила вполне серьезно. — Все это не имеет никакого отношения к людям. Все это где-то, — она помахала блокнотом, — там, в другом мире, чужое, холодное.

— Ничего себе — холодное! — воскликнул я. — Знаете, какая на Солнце температура?

— Да я же не в этом смысле! — она нетерпеливо мотнула головой. — Вам это и вправду интересно? Вижу, что вправду... Странно.

Я не нашелся, что ей сказать.

Мне всегда казалось, что интерес к устройству нашего огромного мира, который мы называем Вселенной, — это естественно. Я считал и продолжаю считать, что жизнь нашей планеты, человечества, народов и отдельных людей — это всего лишь крошечная часть жизни удивительного и бездонного космоса. Ведь мы живем на маленькой планете под влиянием условий и природных законов, которые определяют всё в нашем существовании.

А девушка смотрела на меня и, похоже, видела диковинного, странного персонажа, который занимается непонятым, бессмысленным делом — ну, может быть, не совсем бессмысленным, раз за это кто-то платит зарплату, но точно малоинтересным, которым можно заниматься только в том случае, если нет никакой другой работы. И наверно, именно я был в ее глазах человеком, обделенным природой, которому почему-то интересно неинтересное.

Я почувствовал, что мы с ней — совсем разные. Совсем.

Впрочем, возможно, она думала совсем иначе. Или вообще обо мне не думала.

— Вы знаете, это и вправду очень увлекательно, — сказал я. — Надеюсь, вы со временем поймете. Мне даже жалко... — я хотел сказать «жалко вас», но не рискнул, однако она явно это поняла.

— А мне вот жалко вас, — ничуть не стесняясь, сказала она, еще раз посмотрев на меня. — Извините, если я вас обидела. Большое спасибо. Я напишу про вас сочинение, там все будет написано

ВСЕЛЕННАЯ НЕ ПОДОЗРЕВАЕТ
О ТВОЕМ СУЩЕСТВОВАНИИ!
РАССЛАБЬСЯ!

Энтони де Мелло

ДАЖЕ ЗВЕЗДЫ РАНО ИЛИ ПОЗДНО ГАСНУТ, А УЖ ОНИ — КУДА БОЛЕЕ СОВЕРШЕННЫЕ КОНСТРУКЦИИ, ЧЕМ ЛЮДИ...

Макс Фрай

правильно: какая у вас интересная и нужная профессия, и все такое.

Она записала название обсерватории, телескопа, переспросила незнакомые слова (флоккулы, протуберанец), — а я тем временем снова заглянул в окуляр.

Вспышка горела, разливалась ярким свечением по двум изогнутым лентам, и я начал съемку по специальной программе, периодически меняя положение лайншифтера. Моя посетительница поняла, что мне уже не до нее, попрощалась и стала спускаться по лестнице. Я услышал, как внизу стукнула дверь.

...Иногда я вспоминаю эту историю. Вспомнил и сейчас, когда сел писать предисловие к книге.

Когда-то я был искренне уверен, что все представители вида *Homo sapiens* (человек разумный) — любознательны, и их от рождения интересует то, как устроен мир, в котором мы живем, по каким законам он существует, как он появился (если его когда-то не было) и как он развивается (если он как-то развивается). Но та давняя история показала мне, что это не так. Я ошибался. Устройство нашего мира важно не всем. Любознательность к миру природы — не обязательная черта *Homo sapiens*. Есть люди, которые не смотрят на звезды, не задумываются об устройстве и законах Вселенной. Им это действительно не интересно.

Но, к счастью, во все времена были и другие — те, кому это по-настоящему интересно. Именно благодаря этим людям мы знаем сегодня о Вселенной больше, чем знали, например, две тысячи лет назад. Поэтому в результате технического прогресса наша цивилизация развивается. Некоторые из этих знаний мы применяем на практике. Современные

гаджеты, интернет, компьютеры, глобальная мобильная связь, разнообразные приложения в айфонах и айпадах — это продукты огромной работы именно тех людей, что изучали закономерности мира, в котором мы живем.

Эта книга рассказывает о том, как мы прошли этот путь — от самых примитивных, сказочных и мифических представлений об устройстве Вселенной до сегодняшних, поражающих воображение теорий, которые, в отличие от мифов, подкрепляются наблюдениями и экспериментами.

И конечно, я должен честно предупредить: моя книга адресована тем, кому это интересно. Тем, кого увлекает история кипящей, бурлящей материи, которая, подчиняясь удивительным законам природы, в конце концов породила разумных существ, способных над этим задумываться. Материи, продолжающей порождать на наших глазах (уже нашими руками) новые сущности, которых во Вселенной раньше не было.

Хочу сказать большое спасибо руководителю редакции издательства «Питер» Юлии Сергиенко за плодотворное сотрудничество, литературному редактору Елене Шубиной, сделавшей текст лучше, руководителю проектов петербургского «Планетария 1» Наталье Булгаковой за поддержку проекта, жене Ирине и дочери Маше за всестороннюю поддержку в ходе подготовки рукописи, научному редактору Олегу Верходанову за полезные замечания, сделавшие книгу лучше, и особенно художнику Евгению Муретову.

Эта книга — об истории наших представлений о Вселенной.

Буду рад, если книга окажется интересной и полезной для любознательного читателя.

ТАКОВА УЖ ОСОБЕННОСТЬ
ЗВЕЗДНОГО НЕБА: У ВСЯКОГО,
КТО ГЛЯДИТ НА НЕГО,
СЛАДКО ЩЕМИТ СЕРДЦЕ.
ВОЗМОЖНО, МЫ И В САМОМ
ДЕЛЕ РОДОМ ОТКУДА-ТО
ОТТУДА?

Борис Акунин

ЧАСТЬ ПЕРВАЯ

1. Вселенная Древнего мира

Над храмами с крылатыми быками
Стремилось солнце огненной стезей
По колеям ристалищ Зодиака.
Хрустальные вращались небеса,
И напрягались бронзовые дуги,
И двигались по сложным ободам
Одна в другую вставленные сферы.
И в дельтах рек — халдейский звездочет
И пастухи иранских плоскогорий,
Прислушиваясь к музыке миров,
К гудению сфер и к тонким звездным звонам,
По вещим сочетаниям светил
Определяли судьбы царств и мира.
Все в преходящем было только знак
Извечных тайн, начертанных на небе.

*Максимилиан Волошин,
«Космос»*

1.1. Рождение мира глазами древних

В отличие от современного человека (я имею в виду обычных людей, а не ученых), все наши далекие предки неплохо знали свойства окружавшей их природы. Они жили на огромной земле, у которой не было краев. Земля была разнообразна: леса, степи, пустыни, реки, озера, болота, высокие горы и глубокие ущелья.

МЫ ЖИВЕМ
В РИТМЕ
СОЛНЦА



Это сейчас мы изучаем животный мир и растительность с помощью интернета, книг, телевизора или же посещая зоопарки и ботанические сады. В прошлом люди постоянно сталкивались с разнообразными живыми существами — птицами, насекомыми, рыбами, животными. Люди знали их повадки, образ жизни, и от этого во многом зависела жизнь самих людей. Они умели ориентироваться в лесу и саванне, на берегу моря и в пустыне. Они научились предсказывать погоду на основе своего жизненного опыта, собственных наблюдений и навыков.

Люди с рождения видели, как на востоке поднимался из-за горизонта ослепительный идеально круглый диск — солнце. Солнце несло миру свет и тепло. Солнце задавало ритм жизни — через равные промежутки времени оно поднималось высоко в небо (момент, когда солнце оказывалось выше всего над горизонтом, мы называем истинным полднем), а затем опускалось к горизонту. Промежуток между двумя соседними полуднями — солнечные сутки — и сегодня главная единица измерения времени¹. Именно солнечный ритм заложен в основе жизнедеятельности всех живых существ на поверхности нашей планеты, например человека.

Солнечные и лунные ритмы лежат в основе биоритмов всех живых систем на планете.

¹ Астрономы договорились считать, что сутки начинаются в полночь, но в данном случае это неважно. — *Здесь и далее (если не указано иное) примечания автора.*

Есть множество людей, которые даже никогда не видели Млечный Путь. А вот для наших далеких предков он был привычным элементом картины звездного неба...

С заходом солнца (когда оно пряталось за горизонт) становилось холоднее, и наступала темнота. На потемневшем небе возникали удивительные светящиеся точки — **звезды**. Их взаимное расположение всегда оставалось одинаковым. Люди в разные времена и на разных континентах мысленно объединяли звезды в запоминающиеся группы — созвездия. Они помогали ориентироваться на местности. Впрочем, несколько особо ярких звезд почему-то перемещались. Они двигались медленно, но заметно, иногда выписывая странные петли на небе. Такие светила получили название **планеты**. В древности были известны пять планет, названные именами римских богов — Меркурий, Венера, Марс, Юпитер, Сатурн.

Надо заметить, что нашим предкам было куда легче, чем нам, увидеть небесные светила. Яркое ночное освещение современных городов не позволяет видеть звезды. Астрономы даже ввели понятие «световое загрязнение» городского неба. Как правило, в городе видны только яркие планеты и немногие самые яркие звезды (и то не всегда). Чтобы увидеть серебристую слабо светящуюся полосу на небе — Млечный Путь, нужно уехать за несколько десятков километров от города. Есть множество людей, которые даже никогда не видели Млечный Путь. А вот для наших далеких предков он был привычным элементом картины звездного неба...

Люди прекрасно знали закономерности небесных явлений, которые происходили у них на глазах. Еще не были изобретены телевизоры, компьютеры и прочие гаджеты — люди смотрели не на экран, а вокруг себя. Они видели многое из того, чего мы сегодня даже не замечаем. Небо со звездами поворачивалось, непрерывно вращаясь вокруг одной из звезд, которую мы сегодня называем Полярной². Но внимательные наблюдатели заметили, что небесный свод совершает пол-

² Если наблюдатель находился в Северном полушарии. Кроме того, надо иметь в виду, что 2000 лет назад небо вращалось вокруг точки вблизи звезды Кохаб созвездия Малая Медведица.

СОЛНЦЕ
УЖЕ НИЗКО И
СКОРО СТАНЕТ
ТЕМНО



ный оборот немного быстрее, чем за солнечные сутки. Именно поэтому каждый вечер привычные звезды оказывались слегка смещены относительно своего вчерашнего положения. Одни и те же созвездия наблюдались по вечерам то на западе, то на юге, то на востоке, то на севере в разные времена года. Через год (примерно 365 солнечных суток) положение светил на небе повторялось. Люди заметили (не могли не заметить) и смещению времен года.

Эти привычные и простые для нас явления оставались непонятными — их причина была загадочной. Но эти изменения знали все. От них зависела жизнь людей, последовательность сезонов охоты, сельскохозяйственных работ. Без учета этих закономерностей можно было погибнуть. Это были именно *закономерности*, а не случайные изменения: утром всегда вставало солнце, после весны всегда наступало лето и никогда — зима.

Впрочем, учет природных закономерностей заложен в природе самого человека подобно тому, как он заложен в поведении животных. Ни растения, ни птицы, ни животные не изучают в школах и университетах астрономию и биологию, но генетические программы, выработанные за миллиарды лет эволюции жизни на Земле, заставляют все живые существа вести себя в со-

Впрочем, учет природных закономерностей заложен в природе самого человека подобно тому, как он заложен в поведении животных.

КОГДА У ЧЕЛОВЕКА
НАЧАЛА ФОРМИРОВАТЬСЯ
РЕЧЬ И, КАК СЛЕДСТВИЕ,
АБСТРАКТНОЕ
МЫШЛЕНИЕ — ЧЕЛОВЕК
НАЧАЛ ОСМЫСЛИВАТЬ
ОКРУЖАЮЩИЙ МИР.

ответствии с природными условиями: размножаться, запастись пищу, улетать в южные страны или залегать в берлогу, повинаясь инстинктам.

Нет сомнения, что так жили и предки homo sapiens. Но когда у человека начала формироваться речь и, как следствие, абстрактное мышление — человек начал осмысливать окружающий мир. Первоначально фиксировалась просто последовательность событий (сначала солнце садится, после этого наступает темнота). Затем пришло осознание: солнце село, поэтому наступила темнота.

Как человек становился разумным и почему не стали разумными сотни миллиардов других видов живых существ, обитавших на нашей Земле в течение четырех миллиардов лет? Этот вопрос крайне интересен, но мы не будем его касаться. В этой книге мы ведем разговор на другую тему: как человек начал выстраивать в своем мозгу **картину мира** на основе того, что он видел вокруг себя. Все это: и вращение звездного неба, и вечное суточное движение солнца, и изменения вида луны — требовалось осознать, понять и уложить в какое-то системное представление о мире, в котором человек жил.

Надо сделать оговорку. Это требовалось любознательным людям, которым это действительно было интересно. И раньше таких, наверное, было немного. Во всяком случае, история донесла до нас имена немногих, кто пытался понять, как же устроен мир. Некоторые из этих имен будут упомянуты в книге.

Вопрос о том, из чего состоит мир, в котором мы живем, появился давно. Мы не можем спросить наших далеких предков, что они думали по этому поводу, но, как ни странно, мы точно это знаем.

НАПИСАНО
В 3300 ГОДУ
ДО НАШЕЙ ЭРЫ



Однажды люди изобрели **письменность** и стали записывать свои мысли.

Конечно, сначала эти записи делались даже не на бумаге — до ее изобретения должны были пройти тысячелетия. Для записей важных мыслей люди использовали гладкую поверхность камня, на которой высекались знаки и буквы. В Древнем Египте, а затем в Греции и Риме использовали для записей папирус (предшественник бумаги, изготовленный из листьев одноименного растения). Где-то писали на табличках из мягкой глины, которые потом обжигались и затвердевали. Выбивать надписи на камне гораздо труднее, чем набирать тексты на клавиатуре, но в данном случае мы можем только радоваться, что использовался именно такой способ передачи мыслей. Скорее всего, файлы, набранные три-четыре тысячи лет назад, не сохранились бы до сегодняшнего дня. Зато сохранились насечки на камне и обожженной глине, а также записи на свитках папируса.

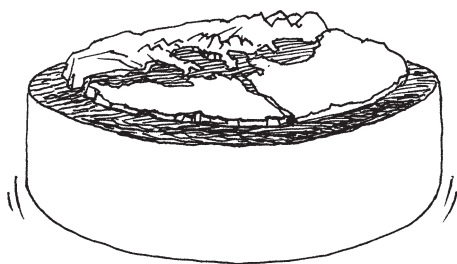
Благодаря этому мы не предполагаем, а точно знаем, что думали о составе мира наши далекие предки (по крайней мере, некоторые из них). И в Европе, и в Древней Америке, которые разделены океаном, считалось, что Вселенная построена из четырех основных **элементов** (основных «кир-

Образец ранней письменности, глиняная табличка, найденная в 1928 г. на территории Древней Месопотамии, где были заложены основы астрономии, географии и других наук.

00:00:00

Большой взрыв

540–530 гг. до н. э. Конфуций обучает учеников, используя Книгу Перемен «И-цзин»



ЗЕМЛЯ
ПРОСТО
ВИСИТ В
ПРОСТРАНСТВЕ.
АНАКСИМАНДР

Земля в представлении Анаксимандра имеет форму толстого диска и неподвижна.

пичиков» мироздания, которые нельзя свести к более простым). Такими элементами у многих народов были вода, земля, воздух и огонь.

Названия этих элементов не нужно воспринимать буквально. Земля — это любое твердое вещество, камень, грунт, песок, почва. Воздух — это то, чем мы дышим, что ощущаем при порывах ветра, но это еще и пар, и дым. Огонь помимо пламени означает и свет, и тепло. Согласно представлениям древних, все предметы (а значит, и весь мир) состояли из этих элементов, смешанных в разных пропорциях. Элементы, или космические стихии, обожествлялись. Люди поклонялись им как могучим силам, которые правят миром. В Древнем Египте, например, со стихией земли связывали бога по имени Геб, со стихией воды — Осириса, со стихией воздуха — Шу, а со стихией огня и света — Ра. Эти боги, согласно воззрениям египтян, «отвечали» за соответствующие стихии и сами же их олицетворяли.

Выдающийся мыслитель по имени **Анаксимандр**, живший в Древней Греции (610–547/540³ годы до нашей эры), считал, что мир возник из загадочно-

³ Даты через наклонную черту обозначают возможный диапазон лет, в пределах которого родился либо умер упоминаемый мыслитель, когда год точно не известен.

го первичного вещества, которое он называл словом **апейрон**. Что это такое, осталось неясным: то ли смесь всех четырех элементов, то ли коктейль из воздуха и огня. Но затем апейрон, согласно учению Анаксимандра, распался на космический холод и космическое тепло. Раскаленная огненная оболочка охватила снаружи холодное и влажное ядро — будущий центр мира, которое под воздействием наружного жара превратилось в несколько концентрических колец. В центре мира образовалась земля в форме низкого цилиндра (диаметр его был втрое больше высоты)⁴. Изначально вся она была покрыта вязким влажным илом, затем вода стекала в низины, формируя озера и моря. В иле сами собой (замечательная идея!) зародились первые живые существа, напоминавшие рыб. Затем они вышли на сушу, а внутри этих существ сформировались первые люди, которые выбрались из рыбообразных оболочек...

Весьма вероятно, что, будучи прекрасным наблюдателем, Анаксимандр обратил внимание на то, что в иле на дне водоемов кипит жизнь.

Картина мира Анаксимандра полна гениальных догадок, некоторые из них не противоречат и современной научной картине мира, некоторые оказались неверными. Но в те времена это была не более чем **умозрительная гипотеза**, которую невозможно было ни доказать, ни опровергнуть. Ее автор просто декларировал, что мир устроен именно так. В этом смысле его концепция не отличалась от всех прочих мифологических картин мира.

Известно нам и о других мировоззрениях наших далеких предков. В Древнем Китае считалось,

Изначально вся она была покрыта вязким влажным илом, затем вода стекала в низины, формируя озера и моря. В иле сами собой зародились первые живые существа, напоминавшие рыб.

⁴ Земля у Анаксимандра была плоская, но довольно толстая.

ИЗ СМЕШЕНИЯ ЗЕМЛИ
С МЕТАЛЛОМ, ДЕРЕВОМ,
ВОДОЙ И ОГНЕМ
ОБРАЗУЮТСЯ ВСЕ ВЕЩИ.

«Речи Царств»

что мир построен из пяти элементов: земли (ту), воды (шуй), огня (хо), а также дерева (му) и металла (цзин). Две с половиной тысячи лет тому назад в Китае был написан текст под названием Го Юй («Речи Царств»), где сказано: «Из смешения земли с металлом, деревом, водой и огнем образуются все вещи». Развитием мира, согласно учению древнекитайских мыслителей, управляют два космических принципа (силы, стихии) — инь и ян. Инь — источник влаги, холода, темноты, смерти, ян — источник огня, света, жизни. Все процессы и явления этого мира — результат взаимодействия (борьбы) этих сил.

Любопытно, что функции инь и ян здесь напминают не способности богов, а скорее проявления законов природы — здесь не идет речь о воле каких-либо сверхъестественных существ, желаниям которых подчиняется мир. Все происходит в мире согласно действию двух принципов, заложенных в природе.

Согласно же представлениям древних цивилизаций Европы и Среднего Востока, природными процессами управляли не какие-то абстрактные принципы, а вполне конкретные боги. Они заложили порядок движения небесных светил, насылали на землю дожди, грозы и ветер, командовали ростом растений.

Итак, в большинстве древних космологий (концепций о происхождении, строении и развитии мира) считалось, что мир состоит из нескольких взаимодействующих стихий.

До нас дошла гениальная догадка еще одного древнегреческого мыслителя, которого звали **Левкипп** (жил в середине V века до нашей эры). Это учение дополнил и развил великий древнегреческий философ **Демокрит** (470/457–370/357 годы до нашей

эры). Концепция Левкиппа–Демокрита заключалась в том, что все вещество мира состоит из вечно существующих мельчайших, невидимых глазу частиц — **атомов** (слово «атом» по-гречески означает «нерасщепяемый, неделимый»). Крошечные атомы, как предположил Левкипп, отличаются друг от друга формой и величиной, за счет своей шероховатости они цепляются друг за друга, образуя крупные предметы, включая Землю. Их многообразие объясняется разнообразии веществ, из которых построен мир.

Спустя почти две с половиной тысячи лет эта догадка в основном подтвердилась — наука сумела уже не только предположить, но и доказать, что вещество действительно состоит из мельчайших частиц разных типов, различающихся по своим свойствам. Они сцепляются друг с другом не за счет шероховатости, а благодаря **электрическим зарядам**, но это уже частности. Во времена Левкиппа и Демокрита доказать эту гипотезу было невозможно, их версия оставалась всего лишь гениальным предположением.

АТОМ – ЗНАЧИТ
НЕДЕЛИМЫЙ!



Представим, что у нас нет интернета и книг, что мы ничего не знаем о современной картине мира — о Солнечной системе, полетах в космос и кругосветных путешествиях. Что же мы видим вокруг себя?

1.2. Устройство мира глазами древних

Давайте вообразим, что мы жители Древней Греции. Это значит не только то, что мы будем ходить в тогах, туниках и сандалиях. Главное другое: представим, что у нас нет интернета и книг, что мы ничего не знаем о современной картине мира — о Солнечной системе, полетах в космос и кругосветных путешествиях. Перед нами стоит задача построить картину мира на основании того, что мы видим вокруг себя.

Что же мы видим?

Мы стоим на земле. Она твердая, хотя кое-где покрыта водой (но под водой рек, озер и морей есть твердое дно). Есть холмы и горы, есть овраги, долины и ущелья, но в основном земля плоская. Если найти такое место, откуда горы и деревья не загораживают нам горизонт, мы видим, что земля очень большая, а объекты на горизонте находятся очень далеко от нас.

Если поднять голову, мы увидим небо. Оно голубое (хотя иногда его закрывают облака). Высоко в небе, выше облаков, по небу перемещаются два ярких светила — солнце и луна⁵. Когда солнце прячется за горизонтом, наступает темнота, небо становится черным, и в нем можно увидеть яркие светящиеся точки — звезды.

Вот на основании таких наблюдений и строились первые простейшие картины мира. Земля в них выглядела как круглый плоский диск с горами и мо-

⁵ Когда солнце и луна упоминаются как светила, а не как собственные названия небесных тел, их названия пишутся со строчной буквы.

рями. Сверху этот диск был накрыт твердым куполом неба.

Любопытно, что субъективно люди воспринимают видимый купол неба не полусферическим. Нам кажется, что расстояние до горизонта очень велико — гораздо больше, чем до точки на куполе прямо у нас над головой (греки называли эту точку зенитом). Тем не менее на многих древних изображениях небо показано в виде твердого полушария, накрывающего плоскую землю.

Мы знаем, что вода может падать прямо с неба (во время дождя). Поэтому возникла версия, что есть вода наверху, *над куполом*, которая иногда (видимо, через какие-то отверстия) стекает сверху. Солнце и луна, видимо, как-то закреплены на небе, но могут по нему передвигаться.

О природе звезд судили по-разному. Например, были версии, что звезды — это отверстия в своде небес, и через эти отверстия в наш мир проникает яркий свет из другого мира, находящегося «за небом».

Такое представление об устройстве мира было очень распространено. Это и понятно: оно прекрасно соответствовало бытовым наблюдениям. Земля плоская? Конечно! А какая же еще? Небо над нами твердое? Да, и это хорошо видно.

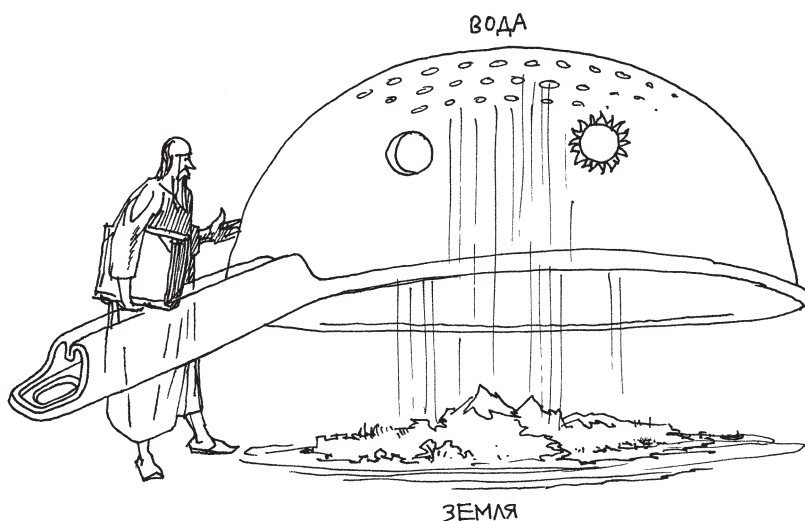
Так, собственно, и думали люди.

Именно такая картина мира предстанет перед нами, если мы заглянем в Ветхий Завет (Бытие, гл. 1). Вот фрагменты из этого текста, известного уже более двух тысяч лет:

«...И создал Бог твердь, и отделил воду, которая под твердью, от воды, которая над твердью. И стало так. И назвал Бог твердь небом...

У КАЖДОЙ
ТОЧКИ НА
ПОВЕРХНОСТИ
ЗЕМЛИ —
СВОЙ ЗЕНИТ





Дождь проливается на землю сквозь отверстия в тверди небесной.

...И собралась вода под небом в свои места, и явилась суша. И назвал Бог сушу землею, а собрание вод назвал морями...

...И сказал Бог: да будут светила на тверди небесной для [освещения земли] и для отделения дня от ночи, и для знамений, и времен, и дней, и ночей...

...И да будут они светильниками на тверди небесной, чтобы светить на землю. И стало так...

...И создал Бог два светила великие: светило большее, для управления днем, и светило меньшее, для управления ночью, и звезды...»

Слово «твердь», которое, согласно Библии, является синонимом слова «небо», — русский перевод латинского слова *firmamentum* или греческого слова «стереома», обозначающего твердый предмет.

Итак, согласно Библии мир был создан Богом. В этом мире твердое небо отделяет воду, которая расположена под небесным сводом (в морях, реках и озерах), от воды, которая находится над твердым небом (и, видимо, проливается на землю в виде осадков).

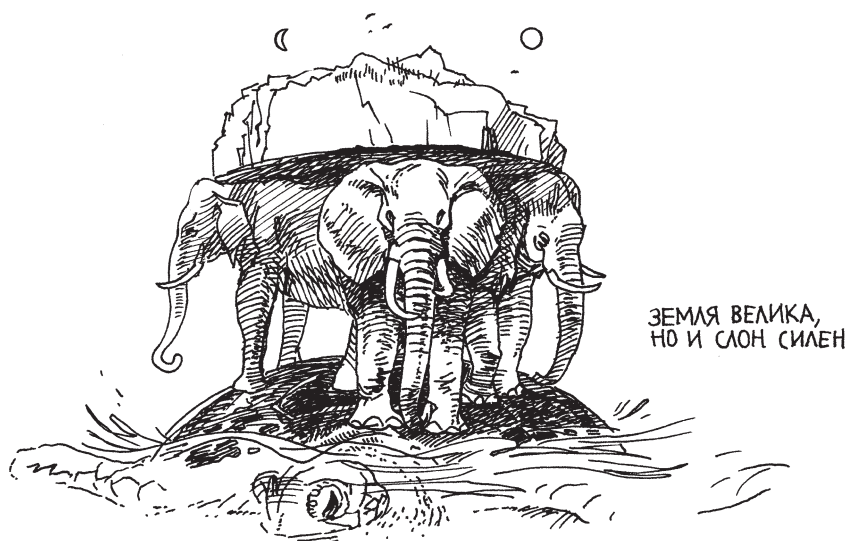
Против такой картины мира в древности никто не возражал, поскольку она вполне соответствовала тому, что люди видели своими глазами. Здесь ничего не говорится о том, что находится *выше небесной тверди* (кроме воды). По-видимому, люди, которые об этом задумывались, считали, что это пространство принадлежит Богу.

Надо заметить, что еще в дохристианские времена существовали разнообразные варианты этой картины мира: например, небо было не одно, а состояло из нескольких этажей или ярусов (отсюда выражение «седьмое небо»). Считалось, что здесь живут сверхъестественные существа — ангелы и другие создания, чем «главнее», тем выше. За твердый свод неба могли подниматься только души умерших (улетали «на небо»). Согласно некоторым верованиям, сюда же могли попасть души живых колдунов и шаманов во время их таинственных обрядов, а после окончания обрядов возвращаться назад, в мир под небесной твердью.

Были и варианты картины мира, когда под землей домысливался «нижний мир», куда уходило все умирающее в нашем мире. Представления о мрачном подземном царстве мертвых, и даже об аде, куда попадают души грешников, перекликаются с такими мифами.

Но и «верхние миры», и «нижний мир» никто никогда не видел. Они были сочинены, домыслены, додуманы — в отличие от земли и неба со светилами, которые каждый мог увидеть своими глазами.

Что находится выше небесной тверди (кроме воды)? По-видимому, люди, которые об этом задумывались, считали, что это пространство принадлежит Богу.



Существовали, кроме того, древние космологии, в которых присутствовали мифические живые существа. Например, хорошо известна картина мира, где земля держится на спинах слонов (или китов, или черепах). Согласно легенде, которая возникла в Древней Индии, у Вселенной есть четыре угла, и каждый держится на собственном слоне. Слон по имени Айравата держал на себе восточный край земли, слон Ямы отвечал за южный край, слон Вамана поддерживал запад, а слон Сарвабхаума — север. Был и вариант с семью слонами, поскольку число семь считалось магическим.

Этнографы и культурологи знают множество поверий, согласно которым земля лежит на загривке (или на рогах) гигантского быка или на спине огромной мифической рыбы. Такие представления легко объясняли феномен землетрясений — кит (бык, слон и так далее) мог пошевелиться, что и приводило к сотрясениям земли.

Были варианты картин мира, где земля представляла собой огромный остров, плавающий во вселенском

океане, подобно лодке. В одном из мифов североамериканских индейцев племени чероки прямоугольная земля не тонет в море потому, что цепями (или веревками) прикреплена к твердому своду небес. Когда веревки (или цепи) перетрутся, земля утонет, и история мира на этом закончится.

Гигантские слоны и черепахи, согласно представлениям древних обитателей Индии, лучше всего подходили на роль подставок под огромную землю, поскольку мыслились как очень большие существа.

В целом желание подложить массивное основание (постамент, подставку) под явно тяжелую землю отмечено во многих древних космологиях. Земля требовала надежного постамента.

Замечательным примером является мусульманский миф о строении мира. Творец земли — Аллах — разместил ее на голове ангела (вероятно, гигантских размеров), а под ноги ангела был уложен красный рубин, доставленный из рая. Рубин был размещен на спине огромного быка, чьи рога доставали до небесного свода. В качестве постамента для быка Аллах сотворил огромное судно: чтобы добраться от его носа до кормы, человеку потребовалось бы идти в течение 550 лет. Судно было установлено на спине гигантской рыбы Лабонадор. Рыба была погружена в космическое море, также созданное Аллахом. Самое поразительное, что под морем снова находился воздух. Эту концепцию описал Александр Архангельский в книге «Мухаммеданская космогония», изданной в Казани в 1899 году.

Еще один пример подобной сложной «пирамиды» — легенда от древнерусских книжников. Земля здесь была размещена на ветвях железного дуба, дуб находился на спинах золотых китов, погруженных в огненное море. Всю конструкцию поддерживала «воля божья».

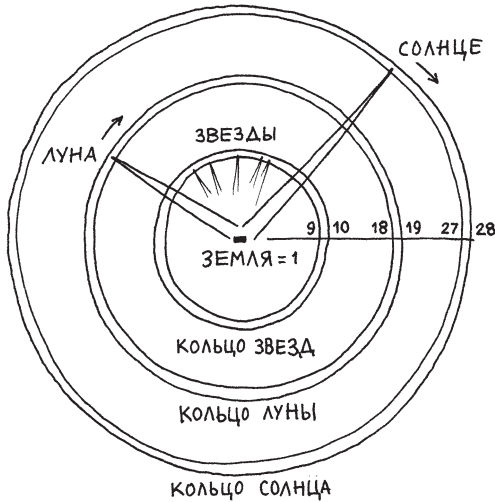
Это очень важный момент. Авторы таких концепций могли подкладывать под землю массивные под-

ЖЕЛАНИЕ ПОДЛОЖИТЬ
МАССИВНОЕ ОСНОВАНИЕ
ПОД ЯВНО ТЯЖЕЛУЮ
ЗЕМЛЮ ОТМЕЧЕНО
ВО МНОГИХ ДРЕВНИХ
КОСМОЛОГИЯХ. ЗЕМЛЯ
ТРЕБОВАЛА НАДЕЖНОГО
ПОСТАМЕНТА.



КАРТИНА МИРА. АНАКСИМАНДР

ЗЕМЛЯ ПРОСТО ВИСИТ,
ЗАЧЕМ ЕЙ ДВИГАТЬСЯ



Мир по Анаксимандру. Кольца частично находятся над поверхностью плоской земли, в ночное время Солнце проходит под землей. Числа на схеме показывают расстояния, за единицу Анаксимандр принимает размер самой Земли.

ставки одну за другой, но этот процесс должен был когда-то закончиться, иначе количество подставок могло нарастать до бесконечности. По-видимому, рано или поздно люди осознавали, что надо где-то остановиться, и тогда без воли сверхъестественного существа, создавшего мир, обойтись было невозможно. Заметим попутно, что, если к помощи сверхъестественного существа все равно приходилось обращаться, можно было сделать это сразу, подвесив землю в окружающем пространстве безо всяких подставок!

По-видимому, первым мыслителем, который пришел к идее о земле, лишенной подставок, был уже упоминавшийся выше Анаксимандр. В соответствии с его картиной мира, земля в форме цилиндра висела в центре Вселенной. Никаких подставок под ней не было.

Анаксимандр совершил выдающийся интеллектуальный подвиг. Представить себе, что гигантская тяжелая земля вместе с ее горами, океанами, равнинами и долинами свободно парит в пространстве и никуда не падает, было непросто. Но безум-

ная конструкция из бесконечных подставок, для поддержки которой все равно необходимо было привлекать сверхъестественные силы, выглядела еще менее правдоподобной. Идея Анаксимандра была более экономной — земля у него просто висела в окружающем космосе. Великолепным было и его объяснение, почему, собственно, земля при этом неподвижна: потому что у нее нет причины двигаться куда бы то ни было.

Воистину, это была гениальная идея, несмотря на ее явную нелепость с точки зрения обыденного сознания.

Интересно, что Анаксимандр, по-видимому, первым указал, что небесные светила находятся *на разных расстояниях* от центра земли. Выше уже упоминалась версия мыслителя о том, что начальное вещество апейрон распалось на холодное ядро и раскаленную оболочку. Под действием нагрева от ядра отделились несколько колец в виде замкнутых трубок. Самое близкое к земле кольцо связано со звездами. Собственно, звезды по Анаксимандру — это маленькие отверстия в огромном кольце, сквозь которые виден свет от раскаленного вещества внутри кольца. Такая трактовка природы звезд была ничем не хуже древнего вавилонского мифа, согласно которому звездное небо — это гигантская шкура прародительницы Вселенной Тиамат, богини в облике дракона, убитой воителем Мардуком. Следующее кольцо, имевшее отверстие побольше, связано с Луной. Луна по Анаксимандру — это всего лишь отверстие во втором кольце. Если это отверстие закрывается, частично либо полностью, мы наблюдаем **фазы Луны**. Третье же, самое далекое кольцо обладает огромным (размером с землю) отверстием, внутри него пылает самый мощный огонь. Это Солнце.

АНАКСИМАНДР ПЕРВЫМ
УКАЗАЛ, ЧТО НЕБЕСНЫЕ
СВЕТИЛА НАХОДЯТСЯ НА
РАЗНЫХ РАССТОЯНИЯХ ОТ
ЦЕНТРА ЗЕМЛИ.

ЛУНА В ФАЗЕ
УБЫВАНИЯ

Периодические изменения вида Луны в небе называют фазами луны (см. также с. 32, 43).

Таким образом, звезды Анаксимандра находились ближе к Земле, чем Луна (позже оказалось, что это не так). Судя по всему, Анаксимандр оказался автором первой геоцентрической системы мира⁶.

Ученик Анаксимандра **Анаксимен** (?–528/525 годы до нашей эры), а также **Гераклит** (540–480 годы до нашей эры) развивали это учение, добавляя свои элементы. Их объединяла мысль о материалистическом устройстве мира: эти философы пытались объяснить мир через сам мир, не привлекая без нужды идею о сверхъестественных божествах. В истории этот подход называется ионийской школой. Ее основателем считается предшественник упомянутых мыслителей **Фалес** (40/624–548/546 годы до нашей эры). Гераклит называл главным источником информации о мире глаза и уши человека. Современная наука вполне разделяет такое представление.

Говоря об умозрительных картинах мира прошлого, нельзя не упомянуть о системе, которую создал вели-

⁶ Геоцентрическими называются системы, в которых в центре мира расположена Земля — от имени богини земли Геи.

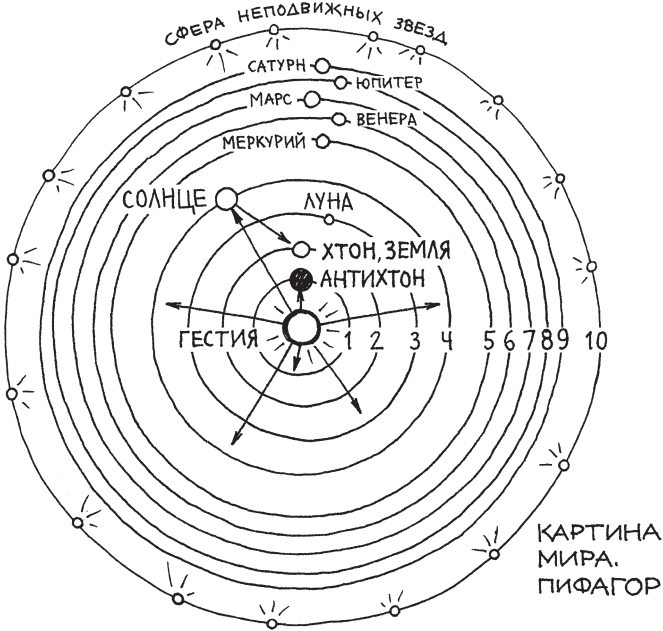
кий математик и мыслитель **Пифагор** (586/569 — около 495 года до нашей эры). Пифагор и его последователи считали, что в мире заложены математические закономерности, выраженные соотношениями целых чисел. Наполняя по-разному одинаковые сосуды водой (звон сосудов различался), Пифагор убедился, что интервалы между звуками музыкальной гаммы связаны с правильными численными соотношениями — 1 : 2, 2 : 3, 3 : 4 и так далее. Считается, что открытие зависимости высоты тона звука от длины струны также принадлежит Пифагору. Всё это означало для пифагорейцев, что в основе мира заложена математика. Пифагору приписывается высказывание «Всё есть число!»

Как же выглядел мир по Пифагору? В центре Вселенной размещался некий таинственный центральный огонь — Гестия. Вокруг Гестии обращался по окружности придуманный пифагорейцами загадочный объект под названием Антихтон (Противоземля). Его задача заключалась в том, чтобы всегда загораживать Гестию от Земли (наблюдатель на Земле никогда не видит центральный огонь). Вокруг Гестии движется Земля⁷. За Землей — Луна, затем Солнце, Меркурий, Венера, за Венерой — Марс, Юпитер и Сатурн, а за Сатурном сфера неподвижных звезд — поверхность, подобная скорлупе, на которой внутри закреплены звезды.

Любопытно, что Пифагор, видимо, не мог себе представить, чтобы небесные тела (Земля, Луна и планеты с Солнцем) свободно летали вокруг центрального огня. Были придуманы твердые шарообразные поверхности — сферы, вложенные одна внутрь другой. Эти сферы вращались, каждая со своей скоростью, а на них были закреплены планеты. Но как мы можем видеть

ПИФАГОР НЕ МОГ СЕБЕ ПРЕДСТАВИТЬ, ЧТОБЫ НЕБЕСНЫЕ ТЕЛА (ЗЕМЛЯ, ЛУНА И ПЛАНЕТЫ С СОЛНЦЕМ) СВОБОДНО ЛЕТАЛИ ВОКРУГ ЦЕНТРАЛЬНОГО ОГНЯ.

⁷ Читатель, наверно, заметил, что Земля теперь написана с большой буквы. Дело в том, что у Пифагора Земля — это уже не весь мир, а некое небесное тело.



далекие планеты, если, например, Земля находится внутри твердой сферы Луны? Сквозь непрозрачные сферы невозможно увидеть ни Солнце, ни (тем более) звезды...

Дело в том, что эти сферы, согласно учению Пифагора, пересказанному его последователем **Филолаем**, *прозрачны*. Они состоят из хрусталя (судя по всему, горный хрусталь был единственным известным по тем временам прочным, твердым, но прозрачным веществом).

Таким образом, всего сфер было десять — по Пифагору, это было идеальное число. В систему мира была заложена математическая гармония: отношения радиусов хрустальных небесных сфер равнялось отношению длин струн, дающих интервалы между звуками музыкальной гаммы. Вращаясь, небесные сферы издавали звуки — каждая своей. Почему мы их не слышим? Потому что они звучат всегда, наши уши к ним привыкли и не распознают.

Солнце в этой системе само не светило — это было полупрозрачное зеркало, отражавшее свет Гестии. Система была,

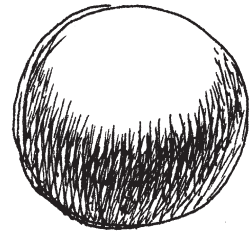
прямо скажем, непростой. Впервые в ней правильно указана последовательность известных планет (от Меркурия до Сатурна). Наверно, впервые Земля рассматривалась не как центр мира или весь мир, а как одна из планет, обращающаяся вокруг чего-то другого (пока еще не Солнца). Наконец, Земля в этой системе была огромным шаром. Пифагорейцам **Экфанту** и **Хикетасу** (в разных источниках его называют также Хикетом или Никитой) приписывают даже объяснение смены дня и ночи через вращение земного шара.

Как ни парадоксально, но и эта непростая система оставалась по-прежнему умозрительной, подобно всем упомянутым выше. Хрустальные сферы и Противоземля были придуманы. Шарообразность Земли выводилась не из наблюдений, а из умозрительных рассуждений: шар, по мысли Пифагора, идеальное геометрическое тело, поэтому боги могли создать Землю только сферической формы.

Нечего и говорить, что такое рассуждение выглядит несколько наивным с позиций сегодняшнего дня. Но это не умаляет громадного интеллектуального подвига пифагорейцев, создавших эту картину мира.

Итак, уже две с половиной тысячи лет тому назад думающие и любознательные люди всерьез размышляли над устройством Вселенной, в которой мы живем. Многие особенности нашей Солнечной системы (в те времена не было такого понятия) были придуманы уже тогда. Это были догадки, интуитивные прозрения, результаты рассуждений, но эти картины мира были куда более серьезными, чем представления о плоской Земле на спине большой черепахи, находящейся неизвестно где.

ШАР - ЭТО ИДЕАЛЬНАЯ ФОРМА,
ПОЭТОМУ БОГИ ПРИДАЛИ
ЗЕМЛЕ ФОРМУ ШАРА
ПИФАГОР



2. Вселенная глазами зарождающейся науки

*Валерий Брюсов,
«Халдейский пастух»*

...Ты жадно смотришь вдаль: ты с вышины холма
За звездами следишь, их узнаешь и числишь,
Предвидишь их круги, склонения... ты мыслишь,
И таинства миров яснеют для ума.
Божественный пастух! Среди тиши и мрака
Ты слышал имена, ты видел горний свет,
Ты первый начертал пути своих планет,
Нашел названия для знаков Зодиака...

Итак, мы выяснили, что люди во все времена размышляли об устройстве мира, в котором мы живем, и строили в своем сознании соответствующие картины мира. Множество картин мира не дожили до сегодняшнего дня, зато о некоторых мы знаем благодаря письменности.

Что же их все объединяет — от библейской до пифагорейской?

Выше мы уже отметили, что все они придуманы.

Конечно, все они так или иначе основаны на том, что мы видим своими глазами, но остальное в них — додумано. Все эти картины мира оказались не соответствующими действительности. Оказалось, что Земля не плоская (хотя она и кажется нам плоской). Оказалось, что нет никакого твердого неба, накрывающего Землю, как крышка (хоть нам и кажется, что это так). Оказалось, что нет никаких хрустальных прозрачных сфер, издающих гармоничные звуки (впрочем, мы их никогда и не видели).

Что же нам позволило понять, что верно, а что неверно, что есть, а чего нет?

Судя по всему, дело в том, что у людей начало проявляться так называемое критическое мышление, на основе которого вырос научный метод.

Об этом писал советский и американский физик и кибернетик Валентин Федорович Турчин. Согласно его концепции, изложенной в книге «Феномен науки», наличие критического мышления означает следующее: человек начинает не просто думать о чем-то, *он анализирует собственное мышление*. Человек сам себе задает вопросы: «А почему я так думаю? А можно ли думать иначе? А к каким последствиям приведут те или иные мысли?»

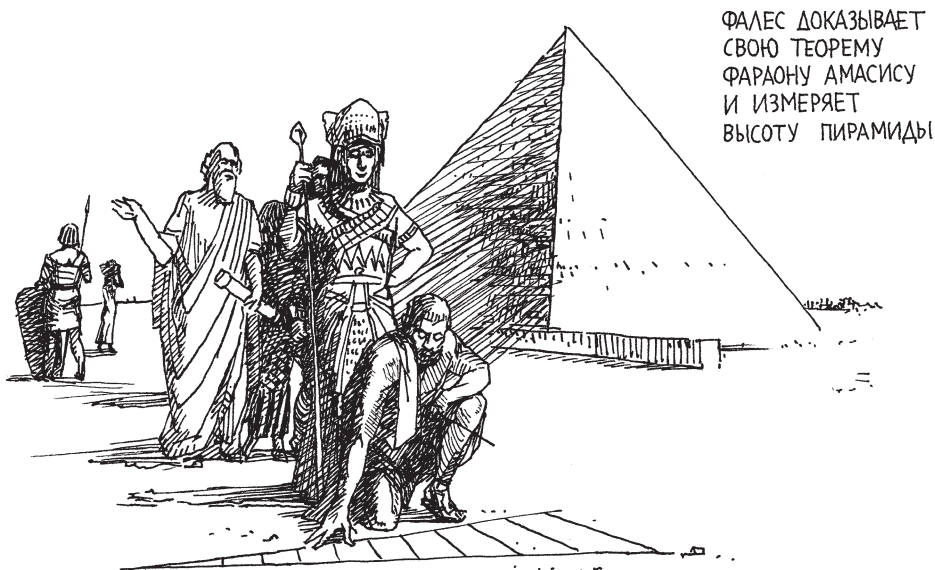
Именно благодаря появлению критического мышления начала развиваться человеческая цивилизация. Турчин отметил, что ни в египетских, ни в вавилонских текстах не было найдено ничего, что напоминало бы математические доказательства. Похоже, не существовало даже такого понятия!⁸

Понятие доказательства появилось в Древней Греции более двух с половиной тысяч лет тому назад. Автору симпатична гипотеза Турчина, что этому помогла форма греческого общественного устройства. Здесь впервые появилась — пусть усеченная, пусть не для всех, но все-таки демократия.

В иерархических обществах, где единолично правит вождь, царь, фараон, король, шах, султан, доказательства не нужны. Правильным считается то, что повелел правитель. Но когда в греческом городе-государстве надо было принять правильное решение в результате спора *равных* по своему общественному уровню аристократов, впервые оказались важными искусство риторики, логика, степень убедительности и аргумен-

В ИЕРАРХИЧЕСКИХ
ОБЩЕСТВАХ, ГДЕ
ЕДИНОЛИЧНО ПРАВИТ
ВОЖДЬ, ЦАРЬ, ФАРАОН,
КОРОЛЬ, ШАХ, СУЛТАН,
ДОКАЗАТЕЛЬСТВА
НЕ НУЖНЫ.

⁸ Научный редактор этой книги указал, что пример математического доказательства обнаружен на глиняной табличке (1800–1600 гг. до нашей эры), принадлежащей культуре шумеров.



ФАЛЕС ДОКАЗЫВАЕТ
СВОЮ ТЕОРЕМУ
ФАРАОНУ АМАСИСУ
И ИЗМЕРЯЕТ
ВЫСОТУ ПИРАМИДЫ

тированность доводов. Впервые для принятия решений рассматривались *разные* точки зрения, которые высказывали разные люди в ходе дискуссии. Правильной следовало считать ту точку зрения, которая была лучше обоснована и доказана. Принимать следовало то решение, которое логически должно было привести к лучшим результатам с наименьшими потерями. Для этого требовалось научиться критически мыслить, научиться оценивать последствия.

Когда практика доказательств была перенесена в математику, одна за другой появились теоремы, которые мы уже больше двух тысяч лет изучаем в школе. Уже упомянувшемуся Фалесу приписывают доказательства положений о том, что диаметр делит круг на две равные части, что углы при основании равнобедренного треугольника равны, а также некоторых других. Пишут, что когда Фалес придумал, как строить окружность вокруг прямоугольного треугольника, он на радостях распорядился принести в жертву целого быка. Так в те времена было принято.

Нет сомнений, что люди и раньше знали признаки равенства треугольников, но греки впервые доказали их математически строго. Во времена Пифагора в Греции заниматься математикой считалось почетным, благородным и даже священным делом. Видимо, поэтому за сравнительно короткий период в Греции была разработана вся **геометрия** — сначала на плоскости (планиметрия), а затем и в объеме (стереометрия). Надо заметить, что этому предшествовали сотни тысяч лет, в течение которых технического и интеллектуального прогресса практически не было. Не менялись ни орудия труда, ни образ жизни, все повторялось из поколения в поколение. И вдруг все стало довольно быстро меняться и продолжает меняться до сих пор. Судя по всему, всё дело в появлении критического мышления.

Критическое мышление давало удивительные результаты. Применение метода доказательств к реальному миру природы позволило существенно продвинуться и в объяснении явлений природы, и в построении картин мира, и в совершенствовании производства, и в улучшении орудий труда. Понятие доказательства сразу отметало мифологические космологии прошлого. Любое утверждение — например, о плоской земле на рогах быка или на спине черепахи, следовало теперь доказать. Бездоказательные же утверждения выглядели все менее убедительно — разумеется, в глазах тех, кто освоил критическое мышление.

Великий философ **Аристотель** (384–322 годы до нашей эры) жил почти 2400 лет тому назад. Тем не менее мы помним Аристотеля до сих пор, поскольку он внес огромный вклад в развитие представлений человека о том, как устроен мир и что такое сам человек. В наше время нет человека, который был бы специалистом во всех науках. Современные

Во времена Пифагора в Греции заниматься математикой считалось почетным, благородным и даже священным делом.

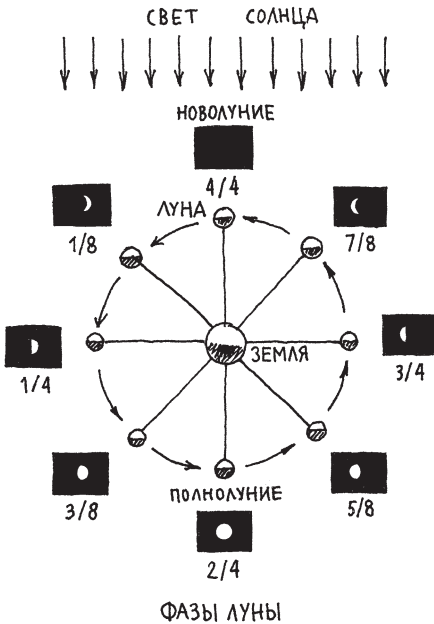


Схема фаз Луны. Вид Луны при наблюдении в Северном полушарии Земли.

науки настолько обширны, объемы информации настолько велики, что всё не может уместиться в одном мозгу. Но 2400 лет назад люди знали гораздо меньше. И Аристотель был, пожалуй, одним из немногих, кто удерживал в своем сознании если не все, то многое из того, что знали люди в то время. Он анализировал, критически осмысливал и выстраивал свою картину мира, включавшую в себя и человека.

Аристотель доверял глазам. Он утверждал, что мир является именно таким, каким мы его видим. Это простое и понятное предположение многими воспринималось позитивно. Его взгляды на устройство Вселенной не были умозрительными — они строились на доказательствах, а доказательства основывались на фактах и наблюдениях.

Так, например, Аристотель объяснил фазы Луны. Он обратил внимание на то, что Луна внешне напоминает шар, на который падает свет Солнца. Если свет падает сбоку (для наблюдателя на Земле) — мы видим только половину лунного шара, а вторая не видна, поскольку остается в тени. Если Луна повернута к нам освещенным полушарием, мы видим в небе круглый диск (фаза **полнолуния**). Если Луна повернута к Земле темной, неосвещенной стороной, она вообще не видна на небе (**новолуние**). Если проследить, как меняются вид Луны на небе и ее положение на фоне звезд от дня ко дню (точнее, от ночи к ночи), становится ясно, что Луна движется вокруг Земли. Значит, так оно и есть, утверждал Аристотель.

Это было правильное объяснение. В данном случае простые наблюдения помогли разобраться с важным природным феноменом.

Аристотель утверждал, что Земля имеет форму шара. Но это впервые было не умозрительное заключение, как у Пифагора (напомним, пифагорейцы считали Землю шарообразной просто потому, что шар — идеальная форма тела). У Аристотеля были доказательства!

Во-первых, был опыт наблюдений за кораблем, уходящим в море. Чем дальше уходил корабль, тем меньше он казался. Но нужно было заметить еще одну важную деталь: сначала исчезала нижняя часть корабля, потом средняя, и уже затем скрывался за горизонтом парус. Так может быть только в том случае, если поверхность Земли обладает кривизной. Но если даже поверхность моря выпуклая, значит, и поверхность всей Земли не плоская! Можно предположить, что выпуклость сохраняется и за горизонтом, а при постоянной выпуклости поверхности Земля должна оказаться шаром.

Во-вторых, можно сделать вывод о шарообразности Земли по результатам наблюдений **лунных затмений**. Еще древние египтяне заметили, что иногда происходит странное явление — на диск полной Луны наползает тень, и Луна меркнет. Аристотель заметил, что лунные затмения бывают только во время полнолуний. Это значит, что Луна в момент затмения обязательно обращена к Земле полностью освещенным полушарием. Значит, Солнце находится по-

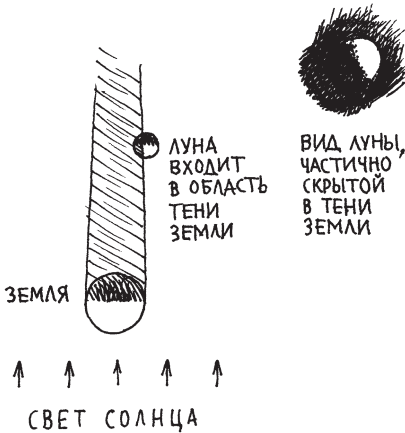
ЧТО ВИДИТ
НАБЛЮДАТЕЛЬ



ПАРУС ЕЩЕ ВИДЕН,
А КОРАБЛЬ — УЖЕ НЕТ



Первое доказательство
Аристотеля. Корабль,
уходящий за горизонт.



Второе доказательство
Аристотеля. Тень на Луне
во время лунного затмения.

зади Земли, у нас за спиной, если мы смотрим в это время на Луну. В этом можно было убедиться из наблюдений: например, если Луна во время затмения находилась на востоке, то Солнце к тому моменту уходило за горизонт на западе. Другими словами, Земля во время лунного затмения располагалась как раз между Луной и Солнцем.

Но это значит, говорил Аристотель, что тень, которую мы видим во время затмения на Луне, — это **тень Земли**. И мы видим, что край этой тени имеет форму круга. Какие тела отбрасывают круглую тень? Безусловно, круглые тела. Значит, Земля круглая!

В-третьих, Аристотель обратил внимание на то, что давно было известно путешественникам и мореплавателям. Если, не сбиваясь с пути, следовать в направлении путеводной звезды, всё звездное небо вместе со всеми созвездиями постепенно смещается — звезда становится выше. Говоря современным языком, если, находясь в Северном полушарии, двигаться на север, Полярная звезда поднимается все выше и выше. Впервые достигнув Северного полюса, люди убедились, что Полярная звезда оказалась точно над головой, в зените. Если же двигаться в противоположном направлении, к экватору, Полярная звезда опускается все ниже, приближаясь к горизонту.

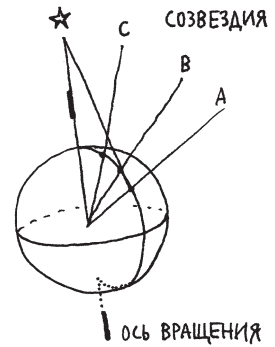
Это может быть только в том случае, если поверхность Земли обладает кривизной, заключал Аристотель. Поэтому для каждой точки шарообразной Зем-

ли направление на зенит — это продолжение радиуса Земли, противоположное направлению на центр Земли. Потому-то для наблюдателей в разных точках земли различается вид звездного неба — над головой видны разные созвездия, что мы и наблюдаем...

Все три доказательства были совершенно правильными. Они были основаны на наблюдениях, то есть на фактах. Повторим еще раз: это факт видимого исчезновения за горизонтом сначала нижней, а потом уже верхней части корабля, факт круглой (а не какой-то иной) тени Земли на Луне во время лунного затмения, и факт смещения звездного неба вместе с Полярной звездой по мере перемещения наблюдателя к северу или от севера (вдоль земного меридиана).

Если использовать логику (а греки прекрасно овладели логикой), можно сделать вывод: Земля, если верны указанные наблюдения, не может не быть шаром. Если бы Земля не была шаром, перечисленные факты были бы невозможны. Как не могут не быть равными треугольники, если соблюдаются правила их равенства.

Забавно, что и в наше время встречаются люди, которые допускают, что Земля — плоская. Если не проводить наблюдения, никогда не столкнешься с фактами, которые, если человек в ладах с логикой, невозможно интерпретировать иначе как то, что Земля все-таки круглая. Разумеется, сторонники плоской Земли не смотрят на небо, не следят за лунными затмения-



Третье доказательство Аристотеля. Созвездия над головой и угол наблюдения Полярной звезды при движении по меридиану изменяются.

ми, не измеряют высоту Полярной звезды над горизонтом, находясь на разных широтах. Они вернулись к *умозрительным* построениям, не требующим наблюдений, фактов и доказательств, не требующим использования критического мышления. Когда же сторонникам плоской Земли показывают снимки, сделанные из космоса, им остается только утверждать, что это не настоящие снимки — это фейки, фальшивки, фальсификации! А это, по мысли сторонников плоской Земли, означает, что все правительства космических держав находятся в сговоре и зачем-то подделывают снимки с изображениями земного шара. Нелепости громоздятся одна на другую.

Людей с докритическим мышлением, конечно, во времена Аристотеля было куда больше, чем сейчас. Но убедительность и простота рассуждений Аристотеля, его апелляция к здравому смыслу делали его рассуждения понятными многим.



Авторитет Аристотеля был громаден (не лишним будет вспомнить, что он был воспитателем и учителем великого воителя, императора Александра Македонского), и даже после смерти слава великого мыслителя только увеличивалась. Книги Аристотеля ценились чрезвычайно высоко, буквально на вес золота.

Аристотель полагал, что вокруг Земли вращается Луна (это правильно) и что Луна ближе Солнца, потому что Луна может загораживать Солнце во время солнечных затмений (это тоже верно). Он также считал, что планеты находятся дальше Луны, и этому тоже были доказательства: философ сам наблюдал **покрытие Луной Марса** (когда Луна загородила Марс). В отличие от Анаксимандра, Аристотель полагал, что звезды находятся дальше от Земли, чем Солнце (и это тоже правильно). Все эти выводы он основывал на доказательствах, на результатах наблюдений. Эти наблюдения вслед за Аристотелем мог выполнить кто угодно и убедиться, что он прав.

Но в то же время Аристотель считал Землю центром Вселенной. Сегодня мы знаем, что это грубая ошибка. Но замечательно то, что великий философ сделал такой вывод тоже на основании наблюдений.

Он рассуждал так. Пусть правы те, кто считает, что Земля движется вокруг Солнца. Но это значит, что в разные времена года мы смотрим на звезды с разных точек — то с одной стороны, то с другой. В результате нам должно казаться, что в течение года звезды выписывают на небе кружки — в сторону, обратную направлению движения Земли. Во времена Аристотеля уже выполнялись достаточно точные астрономические наблюдения положений небесных тел и никакие годичные смещения звезд замечены не были. Это был сильный довод в пользу концепции неподвижной Земли. Это было доказательством неподвижности Земли. И отсюда следовало, что видимое суточное вращение

АРИСТОТЕЛЬ СЧИТАЛ
ЗЕМЛЮ ЦЕНТРОМ
ВСЕЛЕННОЙ. СЕГОДНЯ МЫ
ЗНАЕМ, ЧТО ЭТО ГРУБАЯ
ОШИБКА. НО ЗАМЕЧАТЕЛЬНО
ТО, ЧТО ВЕЛИКИЙ ФИЛОСОФ
СДЕЛАЛ ТАКОЙ ВЫВОД ТОЖЕ
НА ОСНОВАНИИ НАБЛЮДЕНИЙ.

небесного свода соответствует наблюдениям — небо вместе со всеми светилами должно вращаться вокруг Земли: один оборот за звездные сутки (23 часа 56 минут).

Забегая вперед, можно заметить, что рассуждения Аристотеля были в принципе верны. Другое дело, что 2400 лет тому назад трудно было предположить, насколько далеки от нас звезды. Они действительно описывают **го-дичные кружки**, как и говорил Аристотель. Но эти кружки настолько малы, что обнаружить мизерные годовые смещения звезд удалось с огромным трудом только в XIX веке — спустя 22 столетия после Аристотеля. На том уровне точности измерений, которые были возможны во времена Аристотеля, заметить эти смещения было нельзя. И это значит, что нужно было либо предположить, что звезды очень далеки (насколько нам известно, такие радикальные идеи не выдвигал никто), либо — что Земля действительно неподвижна, а значит, *находится в центре мира*.

Построения Аристотеля вошли в состав знаменитой геоцентрической картины мира⁹, которую связывают с именем Птолемея. **Клавдий Птолемей** (100–170) жил спустя почти четыре века после Аристотеля.

Издавна было известно, что планеты движутся по небу неравномерно, меняя направление своего движения с прямого на попятное, выписывают загадочные петли в своем движении по звездному небу. Греческие астрономы, например **Гиппарх** (190–120 годы до нашей эры), обнаружили, что и Луна, и Солнце движутся также неравномерно: то чуть быстрее, то чуть медленнее. Обнаружилось, что даже продолжительность сезонов — весны, лета, осени и зимы — неодинакова (сегодня мы совсем не обращаем на это внимание). Эти факты трудно было примирить с идеей о том, что Земля нахо-

2400 ЛЕТ ТОМУ
НАЗАД ТРУДНО БЫЛО
ПРЕДПОЛОЖИТЬ,
НАСКОЛЬКО ДАЛЕКИ
ОТ НАС ЗВЕЗДЫ.

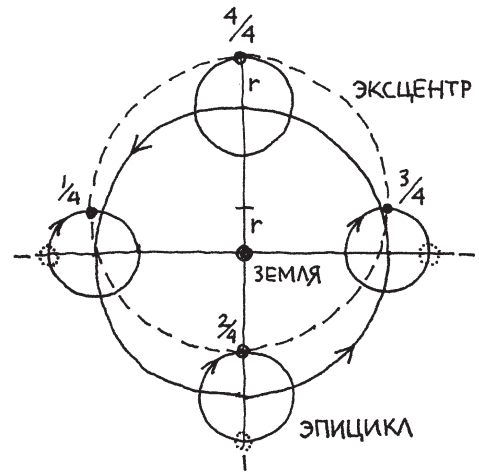
⁹ Напоминаю, что в рамках этой концепции Земля — Гея — находится в центре мира.

дится точно в центре мира, а планеты, Солнце и Луна движутся по правильным окружностям.

На самом деле идея была глубоко неверна: сегодня мы знаем, что все планеты, включая Землю, движутся вокруг Солнца (а Луна — вокруг Земли), причем не по окружностям, а по вытянутым замкнутым траекториям — **эллипсам**. Разумеется, поэтому наблюдения реальных движений небесных тел никак не согласовывались с идеальной картиной орбит в виде окружностей.

Великолепный математик Гиппарх предложил следующее объяснение наблюдаемых фактов. Земля находится не точно в центре круговых орбит планет, а немного смещена. Тогда для земного наблюдателя расстояние до светил, а также и видимые скорости их движения на небе будут все время меняться. Исходя из наблюдений, можно было рассчитать, насколько должна быть смещена Земля относительно геометрического центра системы. И эти расчеты были выполнены.

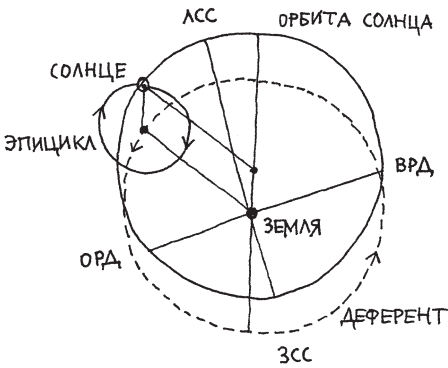
Итак, в основе системы мира Аристотеля — Птолемея находится неподвижный земной шар. Но у Птолемея он расположен не в геометрическом центре системы, а несколько смещен. Точка, где находится центр Земли, называлась **эквант**. Смещение экванта от геометрического центра мира позволяло смоделировать наблюдаемые на практике движения небесных тел, как и у Гиппарха.



**ДВИЖЕНИЕ НЕБЕСНОГО ТЕЛА
ПО ЭПИЦИКЛУ**

Гиппарх, выполняя наблюдения и расчеты, использовал сформулированную до него теорему о движении небесного тела по эпициклу.

Тело, движущееся вокруг Земли по эпициклу, за год опишет окружность, центр которой будет отстоять от Земли на расстояние, равное радиусу самого эпицикла, при условии, что период обращения по эпициклу также имеет длительность один год. Эту окружность стали называть эксцентром.



ДВИЖЕНИЕ СОЛНЦА
В ТЕОРИИ ГИППАРХА
ПЕРИОДЫ ОБРАЩЕНИЯ
ПО ДЕФЕРЕНТУ И ЭПИЦИКЛУ
РАВНЫ И СОСТАВЛЯЮТ 1 ГОД

Гипотеза Гиппарха объясняла неравномерность движения планет расположением Земли не в центре орбит планет, представляющих собой правильные окружности.

Гиппарх объяснял неравенство астрономических времен года и неравномерность движения Солнца вокруг Земли расположением Земли не в центре круговой орбиты Солнца, которая складывается из сочетаний движений по деференту и эпициклу.

ЛСС, ЗСС — летнее и зимнее солнцестояния.

ОРД, ВРД — осеннее и весеннее равноденствия.

Но как описать петлеобразное движение планет? В системе Птолемея каждая планета равномерно движется по окружности, которая получила название **эпицикл**. Но в центре эпицикла находится вовсе не Земля и даже не эквант. Центр эпицикла у Птолемея двигался по другой окружности, которая называлась **деферентом**. А вот центр деферента совпадал с эквантом.

Планета в рамках такой системы двигалась по эпициклу, а центр эпицикла вращался вокруг экванта по деференту, — в результате получалось петлеобразное движение. Впрочем, не совсем такое, какое наблюдалось на реальном небе.

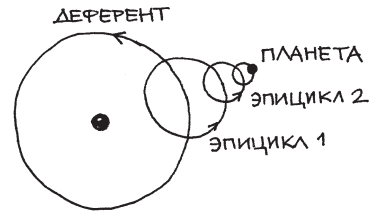
Гениальный геометр Птолемей продолжал усовершенствовать систему, подгоняя ее под наблюдения. А что, если планета движется не по одному эпициклу, а, например, по двум?..

...Планета движется по второму эпициклу, центр второго эпицикла — по первому, а центр первого эпицикла — по деференту. Нужно было так подобрать радиусы окружностей и скорости движения, чтобы итоговое движение планеты (одновременно по нескольким окружностям, по каждой со своей скоростью) максимально соответствовало наблюдениям. Если соответствие было все еще недостаточным, Птолемей вводил третий, четвертый эпициклы. С каждым

шагом итоговое движение планеты все ближе походило на то, что астрономы видели в небе. Для достижения удовлетворительной точности Птолемею пришлось ввести десятки эпициклов!

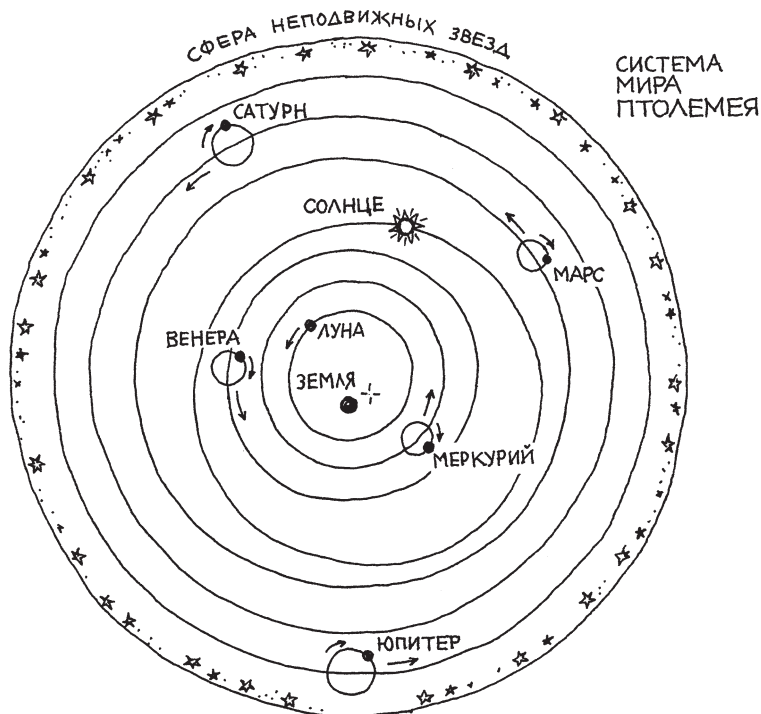
Присмотримся к системе Птолемея.

Поблизости от центра системы находится неподвижная массивная Земля. Птолемей расположил ее симметрично экванту относительно геометрического центра системы. Вокруг экванта движется по своему деференту Луна, дальше — Меркурий по эпициклам и деференту, за ним аналогично — Венера. За деферентом Венеры находится деферент Солнца, которое движется по нему без эпициклов. За деферентом Солнца по своим деферентам и эпициклам движутся вокруг экванта планеты Марс, Юпитер и Сатурн. Все это пространство заключено, как в скорлупу, в твердую сферу неподвижных звезд. Радиус этой сферы в системе Птолемея, если переводить в современные единицы измерения, согласно исследованиям российского астронома Михаила Шевченко, составляет примерно сто миллионов километров. Согласно современным данным, это всего лишь две трети истинного расстояния от Земли до Солнца. И в этом пространстве должны были уместиться все известные светила — от Луны и Солнца до Сатурна! Во времена Птолемея вся



А ЕСЛИ ТОЧНЕЕ?
ДОБАВИМ ЭПИЦИКЛ!

Движение планеты уточняется
добавлением эпициклов.



Вселенная от Земли вблизи центра до твердой сферы неподвижных звезд была совсем небольшой...

Что находилось за пределами сферы неподвижных звезд — об этом Птолемей умалчивал. Подразумевалось, что там находится пространство для богов.

Читатель может задать вопрос: зачем столько времени уделять *неправильной* системе, если давно известно, что она неверна? Надо скорее переходить к правильной!

Автор полагает, что это поучительная история и время мы тратим не зря.

Клавдий Птолемей был умнейшим человеком, блестящим математиком. Он разрабатывал свою систему не потому, что ему хотелось выдумать что-нибудь сложное. Факты, результаты наблюдений того времени, вынуждали его сделать вывод, что Земля неподвижна, а все осталь-

ное (деференты и эпициклы) являлось следствием этого утверждения. При этом Птолемей допускал, что в принципе Земля может двигаться вокруг Солнца и вращаться вокруг своей оси. Но факты, известные ему, говорили об обратном.

Что же это за факты?

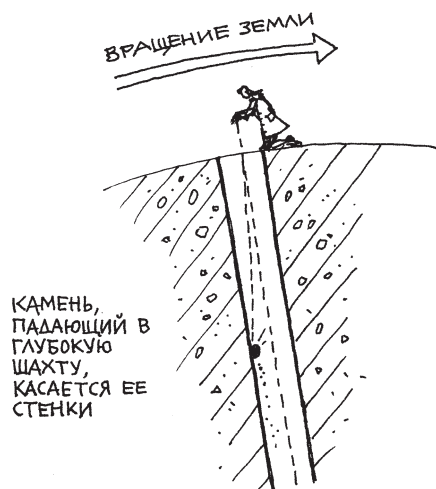
Земля была, очевидно, огромной и тяжелой. Звезды казались огненными и (наверное), как огонь, легкими. Это был довод (правда, косвенный) в пользу того, чтобы разместить Землю в центре мира.

Птолемей знал о существовании центробежной силы. Он рассуждал так: если бы Земля вращалась, центробежная сила должна была бы отбрасывать все незакрепленные предметы с ее поверхности. В принципе он был прав: если бы масса Земли с ее тяготением была поменьше, а скорость вращения — побольше, так и было бы. И вес всех предметов на Земле действительно немного уменьшен благодаря ее вращению, сегодня мы это знаем благодаря опытам. Но во времена Птолемея еще не существовала физика в сегодняшнем понимании, не были известны формулы для закона тяготения и центробежной силы, и решить эту задачу он не мог.

Было у Птолемея еще одно замечательное рассуждение. Подбросьте камень, говорил он. Если Земля вращается, она повернется, пока камень в воздухе, и камень упадет в другом месте! Кроме того, если Земля вращается, мы бы видели, как облака и птицы уносятся в одну сторону, противоположную направлению вращения.

Птолемей не знал об эффекте **инерции**. Хотя в его времена был доступен простой эксперимент. Всадник, скачущий с постоянной скоростью, может подбрасывать и ловить камень, который вовсе не уносится назад, пока находится в воздухе: он движется в горизонтальном направлении по инерции, сохраняя скорость, которую ему придала скачущая лошадь, пока он был в руке всадника. Что касается облаков, то Птолемей считал, что все про-

ПОДБРОСЬТЕ КАМЕНЬ.
ЕСЛИ ЗЕМЛЯ ВРАЩАЕТСЯ,
ОНА ПОВЕРНЕТСЯ, ПОКА
КАМЕНЬ В ВОЗДУХЕ,
И КАМЕНЬ УПАДЕТ
В ДРУГОМ МЕСТЕ!



Повтор опыта Птолемея в 1804 году подтверждает вращение Земли.

странство Вселенной заполнено воздухом. В те времена сложно было предположить, что тонкая воздушная оболочка нашей планеты (атмосфера) вращается *вместе* с Землей, а между небесными телами царит безвоздушное пространство.

У Птолемея был еще один довод. Давайте выкопаем глубокую яму, предлагал он, и уроним камень над ее серединой. Если Земля вращается, то, пока камень падает, Земля успеет повернуться, и камень упадет не посередине ямы, а ближе к одной из стенок. А если яма будет очень глубокой, камень должен налететь на стенку. Но ничего подобного не происходит. Не значит ли это, что никакого вращения Земли нет?..

Поразительно, что Птолемей и тут был прав. Другое дело, что любую задачу надо доводить до конкретных чисел: какой глубины должна быть яма, чтобы при данной скорости вращения Земли ожидаемый эффект был замечен? Спустя почти тысячу семьсот лет, в 1804 году, такой эксперимент поставил немецкий физик, астроном и геодезист **Иоганн Бенценберг** (1777–1846), бросая камень в глубокую шахту. Эффект был обнаружен: камень действительно налетал на стенку шахты, что могло быть только в том случае, если Земля вращается вокруг своей оси.

Ограниченные возможности наблюдений и экспериментов не позволили Птолемею доказать, что Земля вращается вокруг своей оси. Но тогда вступали в действие жесткие законы логики. Если Земля непод-

вижна, то должна вращаться вся грандиозная твердая небесная сфера радиусом в сто миллионов километров, совершая один оборот за звездные сутки. Представить такую чудовищно раскрученную конструкцию было сложно, но тут было всего два варианта: вращается либо Земля, либо небесная сфера. А опыты и наблюдения не подтверждали вращения Земли, как считал Птолемей.

Система Птолемея с ее деферентами и эпициклами оказалась невероятно сложной. Но она работала! С ее помощью можно было вычислить, например, на фоне какого созвездия та или иная планета будет наблюдаться через несколько месяцев или даже лет. Приходило время, и наблюдатель мог убедиться, что расчеты оказались правильными. Система, которая была совершенно неверна по сути, при этом давала верные результаты.

Более того, эта система была научной. В ее основе лежали не выдумки, догадки и умозрительные рассуждения, а жесткие логические выводы из результатов наблюдений. Этим она отличалась от предыдущих картин мира.

Замечательно, что сама наука, которая непрерывно проверяет сама себя, ставит новые опыты и совершенствует наблюдения, со временем доказала неверность системы Птолемея. Появились и доказательства движения Земли вокруг Солнца, и доказательства вращения Земли вокруг своей оси. Но это было гораздо позже. До этого времени система Птолемея использовалась в Европе как базовая система мира на протяжении почти пятнадцати веков.

СИСТЕМА, КОТОРАЯ
БЫЛА СОВЕРШЕННО
НЕВЕРНА ПО СУТИ,
ПРИ ЭТОМ ДАВАЛА
ВЕРНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ.

3. Вселенная с центральным Солнцем

Андреас Грифиус,
«К портрету Коперника»

...Отбросив темный вздор бесчисленных лжедогадок,
Там, среди хаоса, ты распознал порядок
И, высшее познав, не скрыл от нас того,
Что мы вращаемся вокруг Солнца своего!..

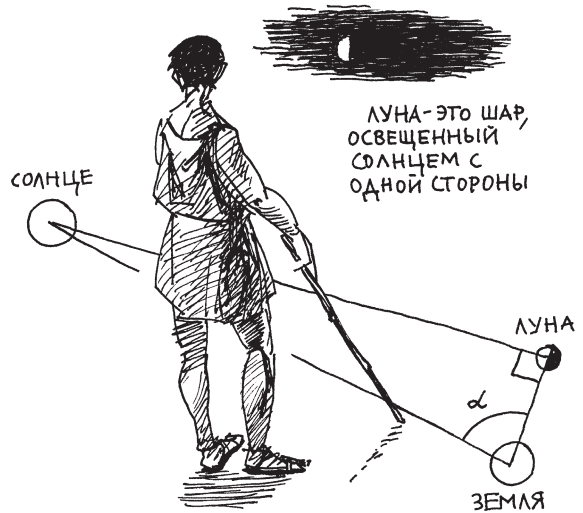
Итак, из наблюдений, выполненных греками две тысячи лет назад, следовало, что в центре мира находится шарообразная неподвижная Земля. Неужели никто не думал иначе?

Были и такие. В их числе нужно назвать замечательного человека, жившего задолго до Птолемея. Его звали **Аристарх** (320–230 годы до нашей эры).

На берегу Средиземного моря в городе Александрии (основанном учеником Аристотеля Александром Македонским) в те времена существовал первый в истории человечества университет — Мусейон. Здесь жили ученые, поэты, философы, находившиеся на содержании государства. Здесь читались лекции, писались книги. Аристарх был преподавателем Мусейона. Как ученый он тоже занимался изучением устройства Вселенной.

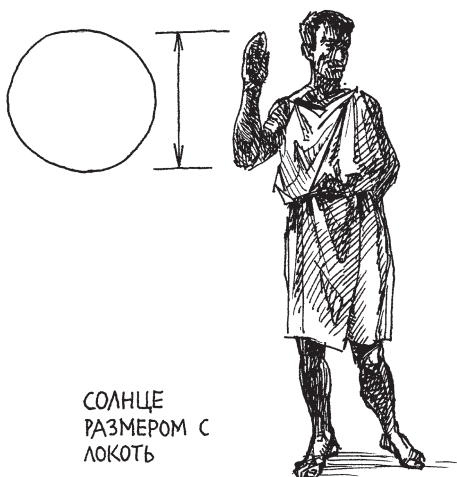
Аристарх придумал способ, как определить, во сколько раз Солнце дальше Луны. То, что Луна ближе Солнца, было известно со времен Аристотеля (на самом деле еще раньше) — Аристотель объяснил солнечные затмения тем, что Луна может затмить Солнце, а значит, Солнце находится дальше. Аристарх, основываясь на соображениях Аристотеля (Луна — это шар, освещаемый Солнцем с одной

АРИСТАРХ ПРИДУМАЛ
СПОСОБ, КАК ОПРЕДЕЛИТЬ,
ВО СКОЛЬКО РАЗ СОЛНЦЕ
ДАЛЬШЕ ЛУНЫ.



стороны), предложил дожидаться, когда на небе будет наблюдаться ровно половина лунного диска. Астрономы называют такую фазу Луны **первой четвертью**, если Солнце находится к западу от Луны, и **последней четвертью**, если Солнце — к востоку от нее. Но если освещена ровно половина шара Луны, это означает, что угол между направлением Луна — Солнце и направлением Луна — Земля — прямой. Построим треугольник, предлагал Аристарх, с вершинами на Земле, Луне и на Солнце. Угол при вершине у Луны прямой. Это значит, что, если взять отношение расстояния от Земли до Луны к расстоянию от Земли до Солнца, оно будет равно косинусу угла между направлениями на Солнце и на Луну. Этот угол можно измерить, заглянуть в таблицы косинусов (к тому времени греки создали таблицы тригонометрических функций). Величина этого косинуса и будет равна отношению расстояния до Луны к расстоянию до Солнца!

Если два предмета визуально равны, но известно, что один из них дальше, значит, он имеет больший размер. Дальше — значит больше.



СОЛНЦЕ
РАЗМЕРОМ С
ЛОКОТЬ

Действуя таким образом, Аристарх измерил угол между направлениями на Луну и на Солнце. Этот угол у него получился равным 87 градусам. Косинус этого угла равен примерно 0,05, или 1:20. Получилось, что Луна ближе Солнца в 20 раз.

Это был важный результат. Он был грубо неверным — на самом деле Солнце дальше Луны примерно в 400 раз. Большая ошибка получилась потому, что сложно определить момент, когда мы видим действительно ровно половину лунного диска. А при углах, близких к 90 градусам, небольшие изменения угла приводят к заметным изменениям его косинуса. Но даже ошибочный результат указывал на то, что Солнце находится *гораздо дальше*, чем Луна. Ранее считалось, что два светила находятся примерно на одинаковом расстоянии от нас.

Этот вывод с неизбежностью влек за собой и другой. Видимые размеры солнечного и лунного дисков на небе практически одинаковы. Это означает, что если Солнце в 20 раз дальше — оно должно быть в 20 раз *больше*. Это тоже было чрезвычайно важно. Получалось, что Солнце громадно — как минимум в 20 раз больше Луны (раньше считалось, что они примерно одного размера). На самом деле, как указано выше, Солнце в 400 раз дальше Луны и, значит, в 400 раз больше ее.

Но каковы же размеры Луны? Если мы будем их знать, мы сможем определить и размеры Солнца, умножив полученное число на 20 (на самом деле на 400).

Аристарх смог определить размеры Луны! Во время лунного затмения, когда на диске полной Луны появился край земной тени (со времен Аристотеля образованные люди понимали — во время лунного затмения Луна попадает в тень Земли), Аристарх сделал зарисовку Луны. По рисунку нетрудно было определить размер тени по сравнению с размером Луны. Диаметр тени оказался примерно в 3,5 раза больше диаметра Луны.

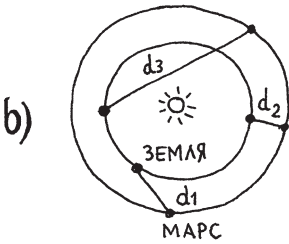
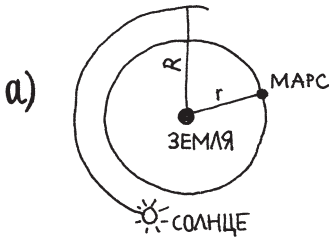
Дальше Аристарх рассуждал так. Мы знаем, что Солнце гораздо дальше от Земли, чем Луна. Значит, диаметр земной тени на близкой Луне не может сильно отличаться от диаметра самой Земли. Не будет большой ошибкой считать, что размеры земной тени приблизительно равны размерам самой Земли. Тогда получается, что Земля примерно в 3,5 раза больше Луны.

Это была правильная оценка. Примерно так оно и есть.

Но отсюда следовал еще один вывод. Солнце больше Луны примерно в 20 раз, а Луна меньше Земли примерно в 3,5 раза. Простейшее арифметическое вычисление позволяло получить ответ: Солнце больше Земли примерно в шесть раз (на самом деле в 109 раз). Но и это для времен Аристарха было удивительным достижением. В шесть раз больше по диаметру — значит, примерно в 250 раз больше по объему! Путешественники и мореплаватели приносили вести о том, насколько велика Земля. А наблюдения Аристарха и их анализ показывали, что Солнце *гораздо больше* Земли.



Определение сравнительных размеров Земли и Луны во время лунного затмения.



ЭТО ОБЪЯСНЯЕТ
ИЗМЕНЕНИЕ
ЯРКОСТИ
МАРСА

Если Земля в центре мира, расстояние до Марса неизменно (а). Если Земля и Марс вращаются вокруг Солнца, расстояние до Марса постоянно изменяется (б).

Предшественники Аристарха полагали, что Солнце невелико — от «локтя» до размеров полуострова Пелопоннес (так утверждал, впрочем чисто умозрительно, философ **Анаксагор**).

Возможно, именно представление о том, насколько велико Солнце, привело Аристарха к мысли о **гелиоцентрической системе мира** (от слова «Гелиос» — Солнце). Станным выглядел бы мир, в котором огромное Солнце движется вокруг маленькой Земли. Еще одним доводом в пользу перемещения Солнца в центр Вселенной было явное изменение яркости Марса: эта планета то увеличивала свой блеск, то уменьшала. Если Земля находится в центре мира, то расстояние до Марса должно оставаться постоянным (он летит по окружности вокруг Земли), но тогда непонятно, почему изменяется яркость планеты. Если же и Земля, и Марс обращаются вокруг Солнца, все становится ясно — ведь расстояние между двумя планетами в этом случае должно все время меняться.

Контрдовод — а почему мы не видим кажущегося смещения звезд как следствия движения Земли, Аристархом (по свидетельству **Архимеда**) отвергался. Ученый указывал, что звезды *очень далеки* и поэтому смещения должны быть крайне малы, из-за чего мы их не замечаем. Как выяснилось спустя две тысячи лет, он был совершенно прав. Заметим, что Птолемей, обосновывая свою систему, этим доводом не пользовался — он тоже считал, что звезды могут оказаться очень далекими, и в этом он был согласен с Аристархом. У Птолемея были иные доказательства неподвижности Земли (об этом сказано выше).

Были и другие замечания к гипотезе Аристарха: поскольку в схеме Аристарха планеты движутся по окружностям, эта концепция не объясняла явную неравномерность движения планет.

В конечном итоге Птолемей счел идею Аристарха умозрительной и недоказанной, а поэтому, скорее всего, неверной. Таким образом, гелиоцентрическая гипотеза, возникнув еще до нашей эры, подтверждения не нашла. Геоцентрическая система мира в варианте Птолемея доминировала в Европе на протяжении многих столетий.

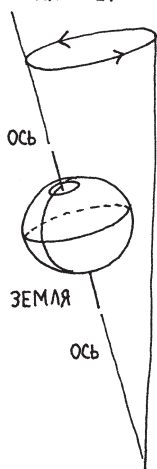
В этой книге излагается не история астрономии, иначе следовало бы рассказать, что происходило в этой сфере на протяжении почти полутора тысячелетий после Птолемея. У нас несколько иная задача — мы следим за тем, как менялась в представлении человека картина мира. Поэтому с некоторым упрощением можно было бы сказать следующее: по крайней мере, в Европе со времен Птолемея до конца XVI века основная картина мира (которой придерживалось большинство) не изменилась. Более того, она стала в некоторых отношениях примитивнее, чем была в античные времена.

Но ограничиться двумя фразами все-таки нельзя. Пропустить пятнадцать веков и продолжить наш рассказ, как будто в это время совсем ничего не происходило, было бы неверным. Определенно стоит сказать несколько слов о том, что происходило в Европе после цивилизации великих греков, просуществовавшей почти тысячу лет.

Мы видели, что за период от Анаксимандра (VI век до нашей эры) до Птолемея (II век нашей эры) прогресс был громадным (если сравнивать, конечно, с предыдущими веками и тысячелетиями, когда прогресс был почти незаметен). Ученые доказали, что Земля — шар, определили с неплохой точностью размеры Земли, Луны и Солнца, обнаружили неравномерность

ГЕЛИОЦЕНТРИЧЕСКАЯ
ГИПОТЕЗА, ВОЗНИКНУВ
ЕЩЕ ДО НАШЕЙ ЭРЫ,
ПОДТВЕРЖДЕНИЯ
НЕ НАШЛА.

ПОВТОР
ПОЛОЖЕНИЯ
ОСИ ВРАЩЕНИЯ —
КАЖДЫЕ 26
ТЫСЯЧ ЛЕТ



Прецессия Земли —
медленное смещение оси
вращения Земли.

движения светил, описали ее математически, узнали наклон плоскости орбиты Луны к земному экватору, разработали систему небесных координат и составили карты звезд, выявили эффект прецессии (медленное изменение ориентации Земли в пространстве), объяснили причину смены фаз Луны и затмений. Усилиями Птолемея была создана подробная модель Вселенной (картина мира), рассчитанная и подогнанная настолько точно, что можно было успешно прогнозировать на годы вперед и восстанавливать на годы назад расположение планет на небе. Возобладала важная научная традиция — не придумывать описание мира, а строить его *в соответствии с наблюдениями и опытом*. Безусловно, это был грандиозный прогресс (спасибо критическому мышлению).

Закат этой цивилизации начался примерно в III веке нашей эры. Как это ни странно (а может быть, как раз не странно), но это было связано со стремительным усилением молодой и энергичной христианской религии.

Новая религия обращалась, прежде всего, к людям бедным и бесправным. Проповедники христианства рассказывали об удивительном боге, сыне обычной бедной женщины (не дочери какого-нибудь императора или вельможи), который сознательно пошел на мучительную смерть ради людей. Идея о том, что ее приверженцев, страдальцев на земле, ждет рай на небесах, безусловно, привлекала. Для многих это была единственная надежда в тяжелом и несправедливом мире, разделенном на рабов и их хозяев, богатых и нищих, обладающих досугом и работающим без отдыха.

Сначала христианство в Римской империи (начиная с I века до нашей эры Греция была провинцией Рима) жестоко преследовалось. Нравы Рима явно

отличались от греческих: империя беспощадно боролась с новой опасной идеологией. Но новая вера находила все больше сторонников, прежде всего среди обездоленных людей, которые, надо прямо сказать, редко были образованными. Книг великих философов они не читали (многие просто не умели читать), и с критическим мышлением у них были проблемы. Увы, невежество во все времена приводило (и приводит) к религиозному или нерелигиозному фанатизму. Люди были готовы и умирать, и убивать за свою идею, свою веру ради будущей райской жизни и ради «своего» Бога.

В 311 году христианская религия стала в Риме государственной. Став официальной идеологией, она продолжала борьбу со своими врагами. Врагом стала среди прочих и языческая религия (вера в олимпийских богов), более тысячи лет царившая в Греции. Борьба с чуждой религией затронула и греческую философию заодно с наукой — как потенциальную ересь. Насаждалась мысль о том, что все, что следует знать человеку, сказано в Священном Писании. Неграмотные люди громили обсерватории и библиотеки, сжигали книги «язычников». Мрачной страницей истории стала кровавая расправа фанатиков в 415 году над философом **Гипатией**, преподававшей в Мусейоне математику и астрономию.

Раздираемая противоречиями, лишенная механизмов пополнения ресурсов (уже не было сил на новые завоевания), Римская империя с ее неэффективной экономикой рухнула. В IV веке она распалась на два государства.

Западная Римская империя была уничтожена в конце V столетия ордами «варваров», пришедших с востока. На ее территории появились несколько государств. Здесь воцарились примитивные хозяйство и быт, от которых Греция ушла едва ли не тысячу лет назад. Какие геоцентрические и гелиоцентрические

НЕВЕЖЕСТВО ВО ВСЕ
ВРЕМЕНА ПРИВОДИЛО
К РЕЛИГИОЗНОМУ ИЛИ
НЕРЕЛИГИОЗНОМУ
ФАНАТИЗМУ.

Экземпляры
Грандиозного труда
Птолемея, сначала
именовавшегося
«Мегалэ
Синтаксис» —
«Величайшее
Сочинение»,
а затем ставшего
известным всему
миру под названием
«Альмагест» были
вывезены на арабский
Восток и там пережили
темные времена.

системы, какие экванты и дифференцы, какие точные наблюдения и математические расчеты? Неграмотным в основной массе людям и их правителям непонятные и заумные теории и тексты были не нужны. Представления об устройстве мира вернулись к уровню далекого прошлого — плоская земля под твердым небом. Достижения великой греческой культуры были забыты.

Вторая, Восточная империя трансформировалась в новое крупное государство — Византию. Ее столицей стал город Константинополь, названный в честь основавшего его императора Константина I на месте селения Византий. Здесь тоже мало что осталось от греческой культуры, но отдельные ее очаги уцелели.

Кое-что (в частности, экземпляры грандиозного труда Птолемея, сначала именовавшегося «Мегалэ Синтаксис» — «Величайшее Сочинение», а затем ставшего известным всему миру под названием «Альмагест») было вывезено на арабский Восток и там пережило темные времена. Некоторые книги великих греков случайно сохранились и в Европе.

В 391 году толпа беснующихся фанатиков разгромила книгохранилище Серапейон. В 475 году были сожжены высшая школа и библиотека, и не где-нибудь, а в самой столице Византийской империи — Константинополе. Даже представить себе невозможно, сколько бесценных книг, рукописей, папирусов, табличек с мыслями великих умов далекого прошлого, с информацией о древних цивилизациях нашей планеты погибли вместе с Александрийской библиотекой. Историки до сих пор спорят о ее судьбе — была ли она уничтожена во времена римского императора Юлия Цезаря, во время столкновений христиан и язычников либо во время захвата Александрии арабами (есть исторические

свидетельства, подтверждающие каждую из этих версий). Но фактом остается одно — она погибла.

Интеллектуальное и культурное наследие греков уничтожалось как христианами, так и варварами. Не пытались его сохранить и власти.

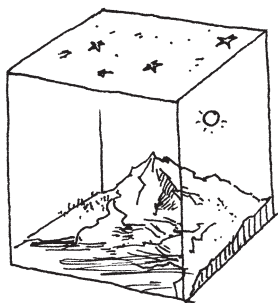
В немецкой культуре есть важное понятие *Zeitgeist*, которое можно перевести как **дух времени**. В Древней Греции заниматься наукой, математикой, рассуждениями об устройстве мира, дискутировать и обсуждать было почетно и престижно (ясно, что речь идет прежде всего об образованной части населения). Государственная власть считала эти занятия нужными. В Римской империи ученые, философы, поэты (не всегда, не везде и не все) могли находиться на государственном обеспечении, писали книги, читали лекции, пытались исследовать мир с помощью наблюдений и измерений. Действовали школы: основанная Платоном Академия в Афинах, созданный Аристотелем Лицей, высшая школа Мусейон и книгохранилище Серапейон при храме Сераписа в Александрии...

Новая христианская религия несла, увы, другой дух времени. Теперь считалось, что попытки узнать больше того, что сказано в Библии, не нужны, бесполезны (потому что невозможны) и даже греховны. Еще до утверждения христианства в качестве государственной религии Рима один из ранних христианских богословов Тертуллиан (150–222) писал: «Нам после Христа не нужна никакая любознательность, не нужно никакого исследования».

В такой атмосфере наука развиваться не может. Неудивительно, что в Европе на протяжении почти полутора тысячелетий понимание устройства Вселенной практически не продвинулось вперед. Наглядным примером представлений о мире в эту эпоху может служить появившаяся в 547 году кни-

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЕ
И КУЛЬТУРНОЕ НАСЛЕДИЕ
ГРЕКОВ УНИЧТОЖАЛОСЬ
КАК ХРИСТИАНАМИ,
ТАК И ВАРВАРАМИ.
В ДРЕВНЕЙ ГРЕЦИИ
ЗАНИМАТЬСЯ НАУКОЙ,
МАТЕМАТИКОЙ,
РАССУЖДЕНИЯМИ
ОБ УСТРОЙСТВЕ МИРА БЫЛО
ПОЧЕТНО И ПРЕСТИЖНО.

МОДЕЛЬ МИРА ПО ОПИСАНИЮ
ЧЕЛОВЕКА, КОТОРЫЙ В 547 Г.
«МНОГО ВИДЕЛ И МНОГО ЗНАЛ»



МИР В СУНДУКЕ

га путешественника и купца, ставшего затем византийским монахом, **Космы (Козьмы)**, получившего прозвище **Индикоплов**, то есть «плававший в Индию». Козьма Индикоплов, действительно совершивший путешествие в Индию и поэтому пользовавшийся авторитетом как человек, который «много видел и много знал», написал книгу с характерным названием: «Христианская топография Вселенной, основанная на свидетельствах Священного Писания, в коем христианам нельзя сомневаться».

В этой книге излагалась схема строения мира. Плоская земля имела форму четырехугольника, по краям возвышались вертикальные стены, подобно стенкам огромного сундука. Сверху мир был закрыт твердой крышкой — небесным сводом. Ночь наступала потому, что Солнце заходило за высокую гору на севере. Эта картина мира была убогой и примитивной — даже мифы «диких» племен Африки и обитателей островов Тихого океана подчас были сложнее и остроумнее, чем схема европейца Козьмы. Эта система поддерживалась христианской церковью на протяжении нескольких веков, в частности и на Руси.

Что же стало с системой Птолемея?

Она была слишком сложна и потому неприемлема для новой (точнее, первой) массовой культуры, связанной с христианским учением.

Первоначально был неприемлем даже Аристотель. Идею круглой Земли критиковали и высмеивали первые христианские богословы. Ведь из шарообразности Земли следовало, что на «нижнем» полушарии люди должны ходить вверх ногами по отношению к людям полушария «верхнего»! Существование таких

«антиподов» казалось нелепым и невозможным. Идея плоской земли выглядела куда естественнее.

Замечательно, что учение Аристотеля со временем (спустя века) все-таки было воспринято, поглощено и адаптировано христианским учением. Идея Аристотеля о том, что мир таков, каким мы его видим, была понятна для всех. А идея, что огромная массивная Земля находится в центре мира потому, что это главный объект мира, созданный Богом специально для размещения здесь человека, вполне соответствовала Библии. Ведь текст Библии трактовался так, что Земля с ее водами под небесной твердью, с двумя светильниками на небе (Солнцем и Луной), с ее растениями и животными была создана именно для того, чтобы здесь мог жить человек, созданный в последнюю очередь, когда весь мир был уже «готов». При таком подходе человека можно было рассматривать как вершину творения. Эта идея христианскому учению не противоречила.

Труды Аристотеля, сохранившиеся в библиотеках монастырей, были взяты на вооружение официальной идеологией. Однако новый дух времени Средневековья убил главную мысль Аристотеля-ученого, призывавшего когда-то пользоваться для исследования мира глазами и ушами, а не выдумывать несуществующие сущности. Теперь же исследования не приветствовались, методике исследований не учили. Например, в Евангелиях (текстах об Иисусе Христе, написанных его ученика-

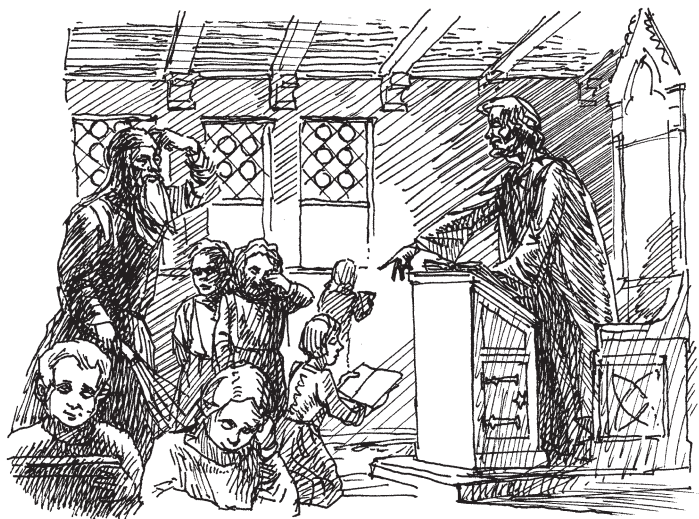
УДОБНО ЛИ ХОДИТЬ
ВНИЗ ГОЛОВОЙ? НЕТ!
И ВСЕ, ЧТО ВЫ СЛЫХАЛИ
ПРО АНТИПОДОВ, – ЛОЖЬ!



00:00:00

Большой взрыв

1096 г. Начинает работать университет в Оксфорде,
в Китае сделана первая пушка



Мир таков, каким мы его видим. Земля — плоская, и сомневаться в этом нельзя!

ми — апостолами) апостол Фома, который после воскресения Христа не сразу поверил, что перед ним его Учитель, потребовав доказательств, и только после того, как рассмотрел и ощупал отверстия от гвоздей в руках Иисуса, признал его. Христиане скорее негативно относятся к Фоме, называя его Фомой неверующим, в отличие от прочих апостолов, поверивших сразу, не требуя доказательств. Следовало верить без доказательств!

В школах (схолах) просто зазубривались тексты. Надлежало заучивать то, что было сказано в священных книгах, не анализируя и не требуя доказательств. Аристотеля можно (и нужно) было цитировать, но теперь спорить с ним было нельзя. Диспуты сводились к тому, что каждый из споривших приводил в качестве доводов разные цитаты из Аристотеля: так Аристотель выступал против самого себя.

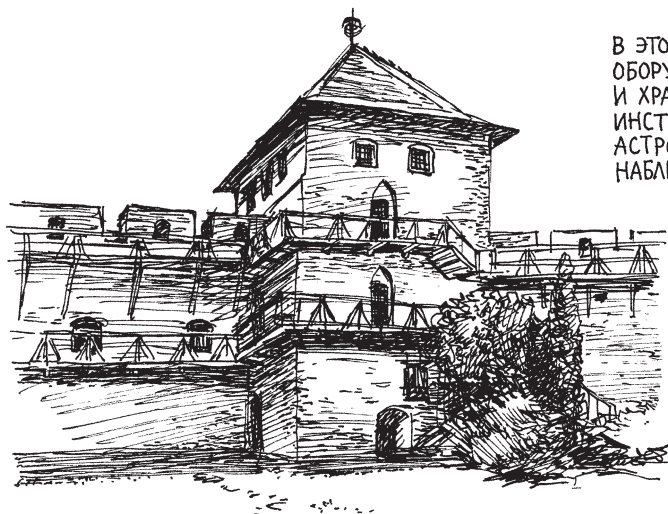
Творческая энергия любознательных людей, которая никуда не делась, была вынужденно направлена не на

исследования мира, а на комментирование уже существующих текстов. Труды богословов (сложно назвать их учеными в том смысле, который мы придаем этому слову сегодня) сводились к рассуждениям и комментариям по поводу Священного Писания, трудов Аристотеля и самих богословов. Выходить за рамки комментирования и предлагать новые идеи было опасно. Так, призыв **Пьера Абеляра** (1079–1142) «верьте доказательствам разума, а не авторитетам!» обернулся тем, что его труды в 1140 году были запрещены церковью.

Король Кастилии и Леона **Альфонсо X** (1252–1284), построивший астрономическую обсерваторию в Толедо и инициировавший составление таблиц с координатами звезд (знаменитые в те времена Альфонсинские таблицы), однажды неосторожно высказался, ознакомившись с системой Птолемея. Он неосмотрительно заявил, что на месте Бога создал бы систему мира попроще, и, согласно легенде, из-за этого лишился трона (хотя бы не головы). Выдающийся английский мыслитель **Роджер Бэкон** (1214–1294) однажды (видимо, в пылу) даже заявил, что готов сжечь сочинения Аристотеля, поскольку необходимость цитировать на каждом шагу древнегреческого философа стала тормозом для исследований и получения новых знаний. Понятно, что дело тут было не в Аристотеле, безусловно, он и сам был бы против такого духа времени!

Многие историки и философы пишут, что в Средние века творческая энергия любознательных людей была направлена на исследование феномена человека, сущности человеческого разума, его взаимоотношения с Богом. Это так. Но факт остается фактом: *Zeitgeist*, воцарившийся в описываемое время, не позволял думать (или, во всяком случае, высказываться публично) об устройстве мира, не апеллируя к Священному Писанию. Дух времени не допускал проведения ис-

Король Кастилии и Леона Альфонсо X неосмотрительно заявил, что на месте Бога создал бы систему мира попроще, и, согласно легенде, из-за этого лишился трона.



В ЭТОЙ БАШНЕ КОПЕРНИК
ОБОРУДОВАЛ ОБСЕРВАТОРИЮ
И ХРАНИЛ САМОДЕЛЬНЫЕ
ИНСТРУМЕНТЫ ДЛЯ
АСТРОНОМИЧЕСКИХ
НАБЛЮДЕНИЙ

следований, не позволял ставить эксперименты, планировать наблюдения. Это не было принято, так не следовало делать, и угроза обвинения в ереси всегда явственно присутствовала.

Жизнь всегда сложнее, чем ее описание. Жизнь Европы в Средние века, конечно, нельзя сводить только к тому, о чем написано в этом разделе книги. Но факт остается фактом: за всю эту непростую эпоху в Европе не было сделано ни одного астрономического открытия. Представления об устройстве Вселенной не развивались.

К забытой на многие столетия гелиоцентрической идее вернулся **Николай Коперник** (1473–1543) — замечательный польский ученый, астроном и математик, чье имя связывают с первой научной революцией. Коперник был священнослужителем католической церкви (каноником), чему поспособствовал его дядя, ставший католическим епископом. Коперник получил неплохое образование, обучаясь разным наукам (включая медицину) в университетах Кракова, Болоньи и Падуи. Астрономией он занимался всерьез, и одна из башен крепости города Фромборка, куда он переехал в 1512 году, была оборудована под его обсерваторию.

Согласно имеющимся историческим данным, он стал приверженцем гелиоцентрической (Солнце в центре мира) системы практически с самого начала XVI века, читая в университетских библиотеках полузабытые труды великих греков. Над главным трудом своей жизни, получившим название «О вращении небесных сфер. Шесть книг» Коперник работал на протяжении сорока лет.

Судя по всему, на мысль о том, что в центре Вселенной находится не Земля, а Солнце, Коперника навели труды его давних предшественников — пифагорейцев Филолая и Хикетаса (Никиты), а также Аристарха. Сочинение Коперника повторяло структуру Птолемея «Альмагеста», только в сокращенном виде: вместо тринадцати книг, из которых состоял труд Птолемея, у Коперника получился «шеститомник». И вместо обоснования системы Птолемея (Земля в центре мира) в соответствующем томе приводились доводы в пользу гелиоцентрической системы.

Основные положения системы Коперника сводились к следующему. Земля не является центром мира — вокруг нее вращается только Луна. Сама же Земля движется вокруг Солнца, как и другие планеты, от Меркурия до Сатурна, при этом она вращается вокруг своей оси. Суточное вращение звездного неба Коперник считал кажущимся явлением — на самом деле это следствие вращения Земли. Годичное перемещение Солнца по небу, а также петлеобразное движение планет легко и естественно объяснялись в этой системе собственным движением Земли вокруг центрального светила.

Коперник считал, что планеты закреплены на твердых концентрических прозрачных сферах (эта идея восходила еще к Пифагору). Самой внешней из сфер являлась сфера неподвижных звезд, на внутренней поверхности которой находятся звезды. Подобно Аристарху (а впрочем, с этим не спорил и Птолемей), Коперник полагал, что звезды находятся чрезвычайно далеко, из-за чего невозможно увидеть смещение звезд из-за годичного дви-

Над главным трудом своей жизни, получившим название «О вращении небесных сфер. Шесть книг», Коперник работал на протяжении сорока лет.



Солнце в центре системы мира Коперника. Земля вращается вокруг Солнца, как и планеты. Луна вращается вокруг Земли.

жения Земли. Если у Птолемея гигантская внешняя сфера со звездами должна была непрерывно (и очень быстро) вращаться, совершая один полный оборот за звездные сутки, то у Коперника эта сфера была неподвижной.

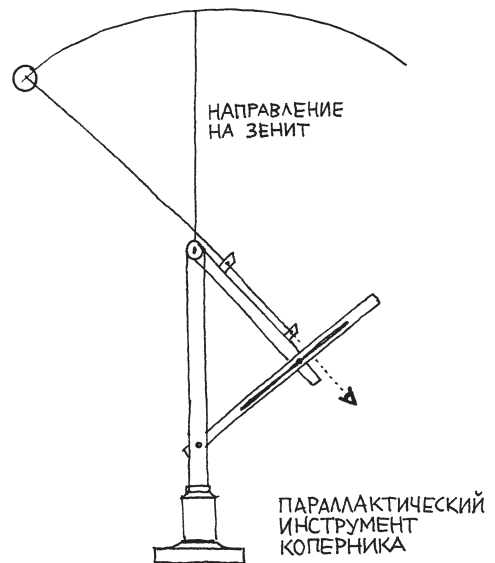
Для объяснения неравномерности движения небесных тел Коперник был вынужден частично сохранить придуманные Птолемеем деференты и эпициклы, которые обычно при упрощенном описании системы Коперника не упоминаются. Тем не менее они там были. В предварительном варианте системы, опубликованном в его «Малом комментарии о гипотезах, относящихся к небесным движениям» (1514), 80 Птолемеевых эпициклов были заменены на 34. Это, конечно, упростило систему, но не радикально. Окончательный же

вариант системы образца 1543 года был заметно сложнее первоначального — изменились (усложнились) механизмы, объясняющие явление прецессии, а также смещение планет по широте и долготе.

Легенда гласит, что уже больной и частично парализованный после инсульта Коперник успел увидеть свою книгу напечатанной. Но есть сведения о том, что это только миф — к моменту появления тиража он был уже в коме. Наверно, мы уже никогда не узнаем, как было на самом деле.

Есть еще один вопрос, который обсуждается до сих пор. Как сам Коперник относился к своей теории? Считал ли он, что Вселенная действительно устроена так, как он ее описал, или допускал, что такое описание позволяет упростить расчеты положений небесных тел (по сравнению с методом Птолемея), но не имеет отношения к реальности?

Спор вызван анонимным предисловием к книге, в котором говорится, что предлагаемая система — не более чем математический прием для упрощения вычислений, не претендующий на объяснение устройства мира. Предисловие приписывалось самому Копернику, однако есть данные, что вступительный текст написал некто **Андреас Озиандер**, которому ученик Коперника **Георг Ретик** поручил заниматься изданием. Похо-



же, что предисловие Озиандер вставил в текст книги, чтобы смягчить революционный вывод о том, что Земля не находится в центре мира.

Из самого текста книги Коперника следует, как указано в вузовском учебнике «История астрономии», который написали московские астрономы **Алина Иосифовна Еремеева** и **Феликс Александрович Цицин**, что автор великого труда вполне серьезно относился к своим изысканиям и считал, *что мир устроен именно так*, как написано в его книге.

Книгу увидели и прочитали многие. Гелиоцентрическая теория была изложена в уже упомянутом со-рокастраничном «Малом комментарии» (1514), а затем в книге Георга Ретика «Первое повествование», изданной в 1540 году. Здесь концепция была изложена еще до выхода в свет монументального труда Коперника. Далекое не все могли прочитать и понять то, что здесь было написано. Но сама идея быстро распространилась по Европе.

4. Вселенная без границ

Уста премудрых нам гласят:
«Там разных множество светов,
Несчетны солнца там горят,
Народы там и круг веков...»

*Михаил Ломоносов,
«Вечернее размышление
о Божием величестве
при случае великого северного
сияния»*

Переход к новой картине мира в истории называется **коперниканской революцией**. Это была действительно революция в мировоззрении: ведь Земля перемещалась из центра мира куда-то на периферию. Пристанище человека становилось не особым центральным местом во Вселенной, а всего лишь одной из планет, не первой и не последней.

Эта революция проходила долго и непросто.

Казалось бы, никаких новых оснований к изменению картины мира не было. За полтора тысячелетия не появились ни новые наблюдения, ни факты, ни доказательства, которые говорили бы о движении Земли вокруг Солнца. Все, что можно было предположить по этому поводу, уже говорил ранее, например, Аристарх, да и не он один. Собственные наблюдения Коперника не были точнее наблюдений древних греков. Более того, расчеты, выполненные по системе Коперника, оказывались в ряде случаев менее точными, чем по системе Птолемея, — особенно если не использовались обновленные Альфонсинские таблицы положений небесных светил. На первый взгляд, более простая (по сравнению с системой Птолемея) система Коперника оказывалась в некоторых отношениях, наоборот, более сложной. Хотя в ней были отменены экванты и некоторые эксцентры, а также стало меньше эпициклов, но для достижения согласия с наблюдениями

Собственные
наблюдения
Коперника не были
точнее наблюдений
древних греков.

БРУНО ВО ВСЕ НЕ БЫЛ АТЕИСТОМ. ОН НЕ ВЕРИЛ В ХРИСТА, НО ВЕРИЛ В ТАКОГО БОГА, КОТОРЫЙ СОТВОРИЛ БЕСКОНЕЧНУЮ ВСЕЛЕННУЮ, НАПОЛНЕННУЮ БЕСКОНЕЧНЫМ КОЛИЧЕСТВОМ МИРОВ.

Копернику пришлось ввести новые (другие) эпициклы, а также четыре независимых движения Земли. С точки зрения простоты система Коперника не радикально отличалась от старой.

Кроме того, высшие иерархи католической церкви сочли, что отказ от центрального положения Земли противоречит Священному Писанию. Сначала, впрочем, они достаточно благосклонно отнеслись к изданию труда Коперника, полагая, что нет ничего дурного в том, чтобы применить новые упрощенные приемы расчета положений планет. Но когда все больше людей стали говорить о том, что Земля, возможно, *действительно* не является центром мира (а значит, не очень то похожа на вершину творения) — католики почувствовали запах ереси.

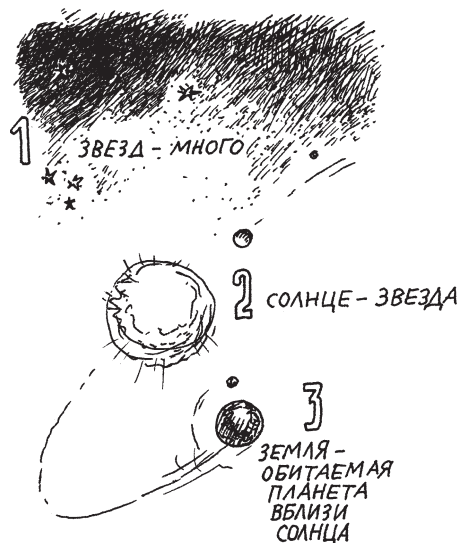
По-видимому, ситуация с восприятием новой картины мира заметно обострилась в связи с деятельностью выдающегося итальянского мыслителя **Джордано Бруно** (1548–1600). С точки зрения церкви, Бруно был, безусловно, еретик. Многие положения христианского учения он отвергал напрочь. Например, он считал, что Иисус Христос — это не Бог, а просто маг, который, как и его апостолы, показывал какие-то фокусы на берегах Галилейского озера. Он не верил в догмат непорочного зачатия Девы Марии и смеялся над ним, отрицал таинство Пресуществления (принятое в рамках христианского учения представление о том, что вино и хлеб в ходе специального религиозного обряда в некотором смысле превращаются в кровь и тело Христа). В общем, все, что могло быть нарушено с точки зрения католиков, Джордано нарушил.

При этом Бруно вовсе не был атеистом. Он не верил в Христа, но верил в такого Бога, который сотворил бесконечную Вселенную, наполненную бесконечным количеством миров. К системе Коперника Бруно

сначала отнесся с сомнением, но затем, осознав ее смысл, стал ее поддерживать. Бруно пошел дальше Коперника: он считал, что Солнце вместе с обращающимися вокруг него планетами, включая Землю, — это всего лишь крошечный фрагмент бесконечного мира, в котором каждая звезда подобна Солнцу, а значит, около каждой звезды могут быть свои планеты, населенные, как Земля.

В 1592 году по трем доносам итальянского аристократа Джованни Мочениго, с которым Джордано Бруно вел занятия по развитию памяти, философ был арестован инквизицией. Церковники на протяжении восьми лет допрашивали его, призывали раскаяться и отказаться от еретических взглядов. Джордано Бруно настаивал на своем. Он был отлучен от церкви и передан в руки светских властей с рекомендацией о наказании «без пролития крови». В 1600 году на площади Цветов в Риме он был сожжен на костре живо. Ему в вину вменялись еретические воззрения. Однако в глазах отцов церкви и учение Коперника все больше ассоциировалось с ересью.

Прошло несколько лет. В 1609 году молодой итальянский профессор **Галилео Галилей** (1564–1642), узнав об изобретении в Голландии подзорной трубы, самостоятельно соорудил новый прибор и навел его на небо. Человечество обрело замечательный инструмент



МОГУТ БЫТЬ
И У ДРУГИХ
ЗВЕЗД СВОИ
ОБИТАЕМЫЕ
ПЛАНЕТЫ

ДА, МОГУТ ○

00:00:00

Большой взрыв

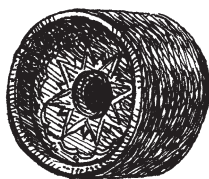
1440-е годы. Изобретен первый типографский станок



ПЕРВЫЙ ТЕЛЕСКОП
ГАЛИЛЕО ГАЛИЛЕЯ

1609

ДЛИНА 50 СМ
УВЕЛИЧЕНИЕ 3X



ОКУЛЯР ТЕЛЕСКОПА

Телескоп —
зрительная труба
для астрономических
наблюдений.

для изучения Вселенной — **телескоп**. Разумеется, Галилей стал рассматривать в телескоп все, что он мог увидеть на небе. У Венеры Галилей обнаружил фазы, подобные фазам Луны. Следя за изменением фаз Венеры на протяжении нескольких месяцев, Галилей убедился в том, что Венера облетает Солнце (а не Землю) по замкнутой траектории. Это было прямое и очень убедительное подтверждение правильности теории Коперника.

С помощью своего телескопа Галилей открыл четыре спутника Юпитера, которые явно обращались вокруг этой планеты. То, что небесные тела могут двигаться друг вокруг друга, а не только вокруг Земли, становилось очевидным. Это тоже подрывало позиции Земли как единственного центра мира. О таком устройстве мира еще недавно говорил и писал Джордано Бруно, но теперь его взгляды подтверждались фактами.

В 1616 году руководство католической церкви издало эдикт, запрещающий систему Коперника. Ее нельзя было упоминать, на нее нельзя было ссылаться, книга Коперника была внесена в папский Индекс запрещенных книг. Согласно этому решению, и автор этой

книги, которую вы сейчас читаете, и сами ее читатели должны были подвергнуться наказанию (конечно, если бы это произошло в XVII веке). Сжигать на костре нас с читателем, наверно, никто бы не стал (строго говоря, и Бруно сожгли не за приверженность системе Коперника, а за еретичество), но очень серьезный разговор с представителями инквизиции точно состоялся бы.

Итак, происходили не очень понятные события. До открытий Галилея в мире не было новых доводов в пользу гелиоцентрической системы. При этом католическая церковь, жестко контролировавшая идеологические настроения, была настроена против гелиоцентризма. Как же в этих условиях могла произойти коперниканская революция?

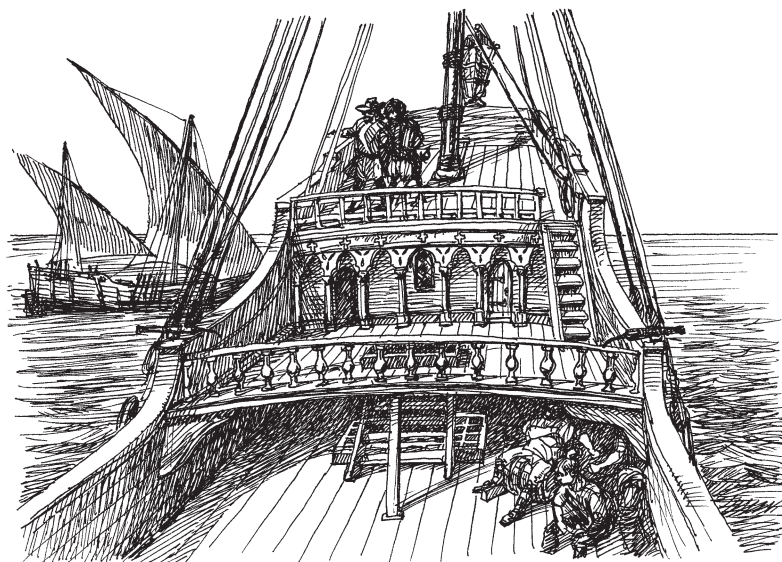
Судя по всему, причина снова была в очередной смене духа времени. Исследователь этого времени советский философ **Людмила Михайловна Косарева** выдвинула гипотезу, объясняющую этот феномен¹⁰.

Среднему европейцу в XVII веке жилось, пожалуй, не слишком комфортно. Средневековый уклад жизни разрушался на глазах. Привычный образ жизни, который выстраивался веками, быстро уходил в прошлое. Европу охватили феодальные междоусобицы, в которых проявлялись новые товарно-денежные отношения. Предприимчивые люди отправлялись в далекие путешествия в поисках заокеанских богатств, ценных товаров, новых рынков сбыта и дешевой рабочей силы. Для обеспечения путешествий, для повышения прибыли, а значит и производительности труда, требовались новые технологии, новые подходы, новые инстру-

СРЕДНЕМУ ЕВРОПЕЙЦУ
В XVII ВЕКЕ ЖИЛОСЬ,
ПОЖАЛУЙ, НЕ СЛИШКОМ
КОМФОРТНО.

СРЕДНЕВЕКОВЫЙ УКЛАД
ЖИЗНИ РАЗРУШАЛСЯ
НА ГЛАЗАХ. ПРИВЫЧНЫЙ
ОБРАЗ ЖИЗНИ, КОТОРЫЙ
ВЫСТРАИВАЛСЯ ВЕКАМИ,
БЫСТРО УХОДИЛ
В ПРОШЛОЕ.

¹⁰ Концепция Косаревой, разумеется, не всеобъемлюща, но близка автору.



Стремление человека к расширению границ мира и освоению новых пространств приводит к появлению новой информации и новых технологий. И наоборот.

менты, способы и методы. Всё это быстро меняло привычный образ жизни.

Мир менялся. Критическое мышление брало верх, несмотря на сопротивление церкви.

Описываемое время — это еще и кровопролитные гражданские войны, сопровождавшиеся небывалыми эпидемиями чумы, голодом и тревожными пророчествами. Люди видели разрушение городов, пожары, смерть, несправедливость. Они ощущали тотальную духовную власть католической церкви, пытавшейся контролировать души и разум людей. Не случайно еще веком раньше возникло движение Реформации, когда, согласно легенде, богослов Мартин Лютер прибил к дверям церкви свои знаменитые 95 тезисов, направленные против злоупотреблений католической церкви. Тот же Бруно, не стесняясь в выражениях, именвал католических монахов ослами.

Реформаторы считали, что человек изначально ничтожен и греховен. Он находится на периферии мира —

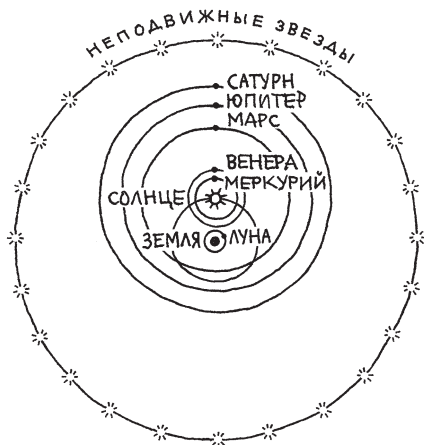


говорили они, — и чтобы продвинуться к духовному центру бытия, приблизиться к Богу, нужно упорно трудиться и непрерывно самосовершенствоваться. Реформаторы требовали от людей самоограничений и подвижничества — всего того, что Джордано Бруно называл «героическим энтузиазмом». Заметим, что так жить хотелось далеко не всем.

Католики, естественно, не желали сдавать позиции. Против Реформации и ее сторонников были развернуты репрессии. На фоне борьбы с Реформацией рушились многие догмы.

Никакая религия, никакой тоталитарный подход не может уничтожить творческую мысль. В разгар этих событий в Европе спонтанно возникали новые идеи (большей частью умозрительные) об устройстве мира. Люди пытались понять, что же представляет собой этот противоречивый мир, в котором они живут. Тут были и мистические откровения, приписывавшиеся таинственному Гермесу Трисмегисту (Трижды Ве-

Мир, в котором
людям нет спасения,
несовершенен.

КАРТИНА
МИРА
ТИХО БРАГЕ

личайшему), и конструкции, предлагавшиеся астрономами. Например, датский астроном **Тихо Браге** (1546–1601) предложил гибридную систему, где вокруг неподвижной Земли обращаются Луна, Солнце и далекие звезды, а все планеты и кометы обращаются вокруг Солнца.

Косарева считала, что в этих условиях человеку крайне сложно было ощущать себя вершиной творения. Темная несправедливая Земля, наполненная горем и лишениями, с трудом укладывалась в представление об идеальном и светлом центре мира.

Мы созерцаем бедствий страшный час,
Второй потоп обрушился на нас.
И всё добро исчезло из Вселенной, —

писал в начале XVII века английский поэт Джон Донн. Такими были ощущения о том времени.

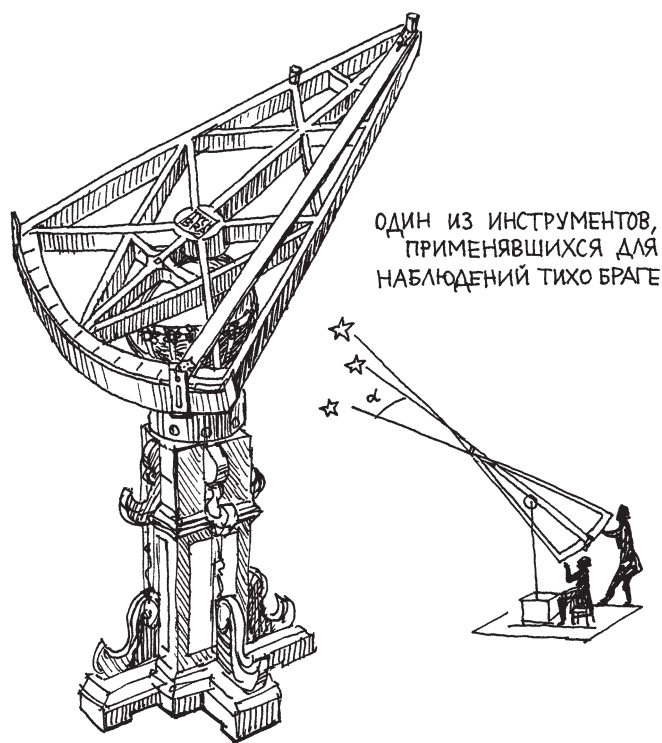
Понятно, что люди, далекие от науки, подчас не знавшие даже тех слов, которые употребляли астрономы и математики в своих малопонятных книгах, не могли оценить математические построения и логику разных вариантов картины мира. Но на уровне обычного сознания было совсем несложно поверить в то, что Земля, погрязшая в несправедливости, войнах и эпидемиях, не может быть центром Вселенной. Конечно же, Земля должна находиться где-то на ее задворках, вдали от божественного идеала, населенная темными и изначально несчастными людьми. Ну а на место центра Вселенной лучше всего подходило Солнце — идеальное, светлое, неуязвимое, несущее свет и тепло (а значит, и жизнь) нашему темному миру.

Полагаю, что Косарева была права — это ощущение, по-видимому, сыграло немалую роль в ходе коперниканской революции, медленно, но неуклонно разворачивавшейся в головах европейцев. Помимо чисто научных доводов (новые факты и доказательства подтянулись позже), прежде всего факторы повседневной жизни изменили общественное сознание. В результате на место центра мира встало Солнце, а Земля превратилась всего лишь в одну из планет.

Но происходило это не быстро. Даже в XIX веке было немало людей, полагавших, что Солнце обращается вокруг Земли. Да что говорить — статистические опросы показывают, что такие люди встречаются и сегодня.

Напомню, что основным препятствием на пути создания простой и понятной картины мира было странное неравномерное движение небесных тел. Издавна было замечено, что планеты движутся то в одну сторону, то в противоположную, выписывая петли, причем с переменной скоростью и меняя яркость. Именно для объяснения этих непонятных движений Аристотель, а вслед за ним и Птолемей сдвинули Землю из геометрического центра мира в эквант и разработали сложнейшую систему окружностей — деферентов и эпициклов, по которым движутся планеты. При этом они считали, что движение небесного тела может происходить только равномерно и только по окружности. Окружность со времен Пифагора воспринималась как единственно возможная, естественная форма траектории. Описать движения планет через окружности пытался и Коперник, который тоже (естественно) столкнулся с наблюдаемой неравномерностью движений небесных тел. Если петли в движении планет он успешно объяснил движением самой Земли,

ОСНОВНЫМ ПРЕПЯТСТВИЕМ
НА ПУТИ СОЗДАНИЯ ПРОСТОЙ
И ПОНЯТНОЙ КАРТИНЫ
МИРА БЫЛО СТРАННОЕ
НЕРАВНОМЕРНОЕ ДВИЖЕНИЕ
НЕБЕСНЫХ ТЕЛ.



Точность наблюдений зависит не только от тщательности изготовления инструмента для астрономических наблюдений, но и от его размера.

то для описания всяческих неравномерностей ему снова пришлось обратиться к сложным инструментам Птолемея — экванту, деферентам и эпициклам.

История показала, что великие создатели двух великих картин мира стали заложниками умозрительных представлений, которые никем не были доказаны.

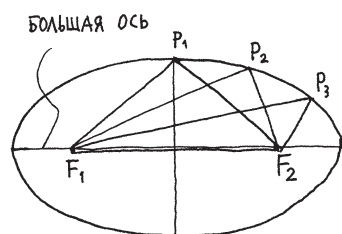
И в самом деле. Кто сказал, что траектории небесных тел обязательно должны быть *окружностями*? Кто сказал, что движение небесных тел обязательно должно быть *равномерным*?

Догму об обязательном равномерном движении небесных тел по окружности разрушил великий немецкий ученый **Иоганн Кеплер** (1571–1630).

Датский астроном Тихо Браге (1546–1601) выполнил самые точные за всю дотелескопическую эпоху наблюдения положений Марса на фоне звездного неба. Эти материалы он передал Кеплеру, который на протяжении пяти лет вел сложную математическую обработку этих полученных уникальных данных. Выстраивая траекторию Марса в пространстве, Кеплер, разумеется, ожидал, что у него получится окружность, на что рассчитывал и ушедший к тому времени из жизни великий астроном-наблюдатель Тихо Браге. Но окружность не получалась! Кеплер проверял и перепроверял свои расчеты, исписывая мелким почерком сотни страниц своего труда. Вырисовывалась иная форма траектории. В 1605 году Кеплер понял, что у него получается **эллипс**.

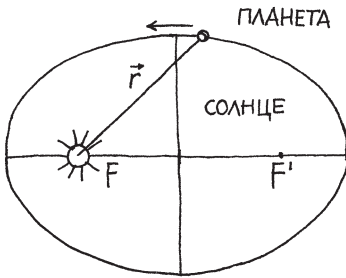
Вот уже 400 лет астрономам известны три знаменитых закона планетных движений, открытые Кеплером и подтвержденные с тех пор наблюдениями бесчисленное количество раз. Оказалось, что планеты движутся не по окружностям, а по эллипсам — особым геометрическим фигурам, напоминающим вытянутые окружности. Внутри каждого эллипса есть две особые точки, которые называются **фокусами эллипса**. Кеплер убедился в том, что в одном из фокусов эллиптической орбиты Марса (а на самом деле — любой планеты Солнечной системы) находится Солнце.

Сегодня мы понимаем, что все сложилось на редкость удачно: Тихо Браге взялся наблюдать именно Марс, который движется по заметно вытянутому эллипсу. Если бы Кеплер стал анализировать, например, данные о движении Венеры, ему, возможно, не удалось бы открыть

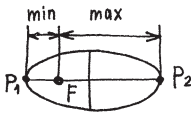


ПОСТРОЕНИЕ ЭЛЛИПСА
С ПОМОЩЬЮ ЗАМКНУТОЙ
НИТИ И ДВУХ ИГЛ, ВОТКНУТЫХ
В ДВА ФОКУСА F_1 И F_2 .
НАТЯНУТАЯ НИТЬ ОПРЕДЕЛЯЕТ
ПОЛОЖЕНИЕ КАРАНДАША:
 $P_1, 2, 3 \dots$

Эллипс — плоская фигура. Эллипсы бывают разные — сильно вытянутые и походящие на окружности, — но у каждого из них есть два фокуса, они равноудалены от центра.



ПЕРВЫЙ
ЗАКОН
КЕПЛЕРА



P_1 и P_2 —
ПЛАНЕТА В
ПОЛОЖЕНИЯХ
min и max
УДАЛЕНИЯ
ОТ СОЛНЦА

$$\frac{\text{min} + \text{max}}{2} = a$$

СРЕДНЕЕ
РАССТОЯНИЕ
ОТ ПЛАНЕТЫ
ДО СОЛНЦА



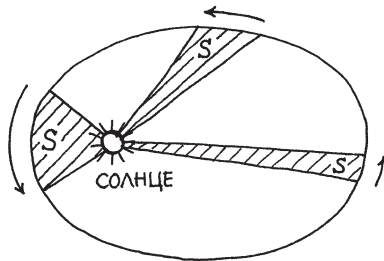
БОЛЬШАЯ
ПОЛУОСЬ
ЭЛЛИПСА

это $\frac{1}{2}$ БОЛЬШОЙ
ОСИ ЭЛЛИПСА
ОРБИТЫ ПЛАНЕТЫ

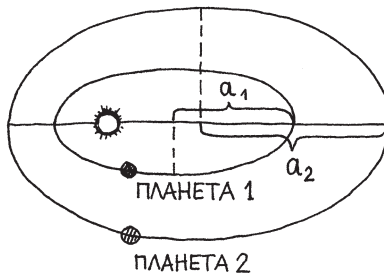
свои законы: вытянутость орбиты этой планеты гораздо меньше (траектория Венеры почти не отличается от окружности).

Но это было не всё. Второй закон Кеплера показывал, что планета движется по эллипсу *неравномерно*: скорость движения все время меняется, и чем ближе к Солнцу оказывается планета, тем быстрее она движется, чем дальше уходит от Солнца — тем медленнее осуществляется ее движение.

Третий закон Кеплера устанавливал соотношение между периодом обращения планеты вокруг Солнца и расстоянием от Солнца до планеты. Чем ближе планета к Солнцу, тем быстрее она движется вокруг него. Эта закономерность в качественной (тогда еще не количественной) форме была зарегистрирована уже давно. Именно поэтому астрономы издавна располагали планеты в своих картинах мира в правильном порядке — от Меркурия до Са-

ВТОРОЙ
ЗАКОН
КЕПЛЕРА

Радиус-вектор, протянутый от Солнца к планете, в равные промежутки времени занимает равные площади. В итоге вблизи Солнца планета движется быстрее, вдали от Солнца — медленнее.



$$\frac{T_1^2}{T_2^2} = \frac{a_1^3}{a_2^3}$$

ТРЕТИЙ
ЗАКОН
КЕПЛЕРА

турна, заметив, что Меркурий движется по небу быстрее всех других планет, а Сатурн — медленнее всех.

Теперь, когда стало ясно, что планеты движутся вокруг Солнца по эллипсам, да еще с переменной скоростью, и когда эти закономерности были выражены простыми математическими формулами, отпала необходимость в описании планетных движений с помощью десятков воображаемых окружностей, движущихся одна по другой с разными скоростями. Законы Кеплера давали точное описание наблюдаемых движений. Они подтверждали и уточняли идею Коперника — да, все планеты движутся вокруг Солнца, только не по окружностям, а по эллипсам¹¹, и само Солнце находится не в центре эллипса, а в одном из его фоку-

¹¹ Окружность является частным случаем эллипса, у которого два фокуса «слились» в центре. Но на практике круговые орбиты встречаются крайне редко.

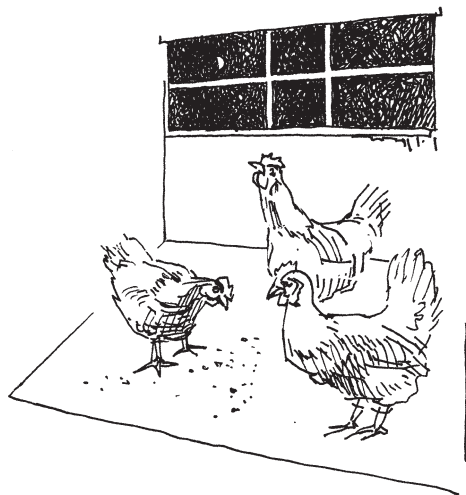
сов. Впрочем, эллипсы были не очень вытянутыми, а фокусы эллипсов были недалеко от их центров. В результате важных уточнений, сделанных Кеплером, ошибки системы Коперника навсегда ушли в прошлое.

История не имеет сослагательного наклонения, поэтому не будем спрашивать: а что было бы, если бы еще греки две тысячи лет назад догадались, что траектории небесных тел могут быть не только окружностями? Тогда этот стереотип был непреодолим. Сам Кеплер был вынужден прийти к выводу об эллипсах, когда проверенные факты высокоточных наблюдений заставили его это сделать.

Казненный в 1600 году Джордано Бруно был гениальным мыслителем. Некоторые его догадки подтвердились только спустя четыреста лет. Но, пожалуй, главное его предположение — это бесконечность Вселенной.

Бруно выдвинул идею бесконечной Вселенной, наполненную бесконечным множеством гелиоцентрических систем. Он поддержал идею Коперника, что планеты действительно движутся вокруг Солнца. Но таких солнц — бесчисленное множество, это звезды! Они крайне далеки, и только потому выглядят как светящиеся точки на небе, а планеты около них не видны издали. Джордано Бруно считал, что все небесные тела: и планеты, и Солнце, и Луна, и далекие невидимые планеты около других звезд — населены подобно Земле. Непривычное словосочетание «множественность обитаемых миров»

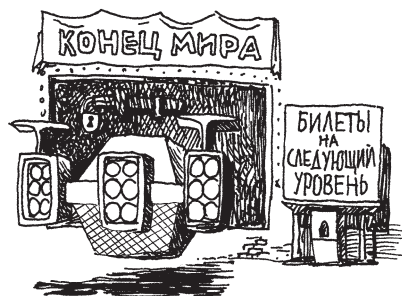
ЭТИ ЗВЕЗДЫ ПОХОЖИ
НА РОССЫПЬ ЗЕРЕН В
ПЛОСКОМ ПРОСТРАНСТВЕ



было впервые применено именно этим замечательным человеком. Реальное же открытие планет у других звезд произошло спустя четыреста лет после появления трудов Джордано Бруно¹².

Бесконечность мира на первый взгляд сложно себе представить. Автор неоднократно слышал, что «это невозможно вообразить», «можно сойти с ума, если в это вдумываться», «об этом даже страшно размышлять». На самом деле каждый из нас с детства сталкивается с бесконечностью. Любой ребенок понимает, что, например, не существует самого большого натурального числа: к любому числу можно прибавить еще единицу, потом еще одну, и так до бесконечности. Летящий в звездолете космонавт никогда не столкнется со стенкой, на которой написано: «Конец мира». Если же такая стенка перед ним и появится, то, преодолев ее (например, пробив насквозь), можно, по-видимому, лететь дальше и дальше — опять-таки, как говорится, до бесконечности.

Можно, конечно, сказать, что это тоже умозрительные рассуждения, не основанные на опыте, но это так. Оказывается, что представить себе конечную Вселенную гораздо сложнее, чем бесконечную — если, конечно, всерьез задуматься. Дело в том, что мы не можем себе представить конец пространства, точнее, отсутствие пространства, — куда бы, в какую бы сторону мы ни двигались в космосе, мы мо-



¹² В 2019 г. Дидье Кело и Мишель Майор получили Нобелевскую премию по физике за открытие первой планеты за пределами Солнечной системы, сделанное ими в 1995 г.

РАЗРУШЕНИЕ
НЕБЕСНЫХ
СФЕР

жем продолжать это движение бесконечно, никогда не сталкиваясь ни с каким «концом мира»¹³.

Понятие бесконечности естественно возникает в сознании разумного существа вместе с появлением логики. Вспомним первые картины мира с многочисленными «подставками» под тяжелой землей: для того чтобы прервать «дурную» бесконечность подставок, приходилось вводить божественную волю. Все прекрасно понимали, что иначе от бесконечности не избавиться. Люди старались не рассуждать о том, что находится за сферой неподвижных звезд в системах Птолемея и Коперника или за небесной твердью, накрывающей плоскую Землю. Но, если задуматься, неизбежно возникал вопрос о бесконечности пространства за твердью, и его невозможно было отменить рассуждениями о втором, третьем и седьмом небе. Люди думали об этом, не могли не думать. Даже в мрачные времена Средневековья, когда критическое мышление

¹³ Можно вообразить себе искривленное пространство, в котором, двигаясь по прямой вперед и вперед, мы с удивлением обнаружили бы, что попали в ту же точку, откуда вылетели, только с противоположной стороны. Это тоже умозрительное построение, к которому мы еще вернемся в следующих главах, но в неискривленном (математики называют его плоским) пространстве (а пространство нашей Вселенной оказалось либо точно плоским, либо очень близким к плоскому) такой фокус невозможен.

пытались заменить зазубриванием и комментированием Священного Писания.

Одним из предшественников Джордано Бруно был кардинал Римской католической церкви **Николай Кузанский** (1401–1464). Этот человек считал Вселенную бесконечной, полагая, что у бесконечного пространства не может быть никакого центра — ни в виде Солнца, ни в виде Земли, что миров в такой Вселенной может быть тоже бесконечное количество, и они вполне могут быть обитаемы. Эти естественные мысли, по-видимому, не могли не появляться у мыслящих людей. Они, конечно, и появлялись. Тот же Бруно писал, что величию Бога может соответствовать только созданная Богом вечная и бесконечная Вселенная с бесконечным же количеством разных миров.

Заметим, что представление о бесконечной Вселенной разрушало представления о твердых прозрачных небесных сферах, а также твердой и непрозрачной сфере неподвижных звезд в системах мира Пифагора, Птолемея и Коперника. Прозрачные сферы были специально придуманы для того, чтобы закрепить на них планеты и, по всей видимости, уберечь от «падения». Но критический анализ мог бы уже две тысячи лет назад обнаружить парадокс: а на чем держится Земля, которая со времен Анаксимандра парит в пространстве без подставок и постаментов? И если Земле не нужно опираться на какое-то основание, может быть, планеты и звезды тоже могут находиться в свободном полете?

Размышления выдающихся мыслителей — таких как Николай Кузанский и Джордано Бруно — разрушало «кристалл не-

Представление о бесконечной Вселенной разрушало представления о твердых прозрачных небесных сферах, а также твердой и непрозрачной сфере неподвижных звезд в системах мира Пифагора, Птолемея и Коперника.

бес». У человека не было новых фактов об устройстве мира (до появления телескопа в 1609 году), в этом смысле за две тысячи лет ничего не изменилось. Изменился сам человек — он учился думать *по-новому*. Две тысячи лет назад твердые хрустальные сферы казались вполне приемлемыми элементами описания мира. К XVII веку эти конструкции, которых никто никогда не видел, теперь казались думающим людям архаичной и нелепой экзотикой, вызывающей множество вопросов.

Мысль о бесконечной Вселенной поражала воображение. Бесконечная Вселенная без центра и начала становилась новой картиной мира, рождавшейся в ходе коперниканской революции.



5. Вселенная под властью тяготения

... Да! Так он и доложит, не заботясь
О предрассудках каменных голов.
Он не допустит сказок и гипотез,
Все кривды жерновами размолот.

*Павел Антокольский,
«Ньютон»*

Когда мы говорим о том, что в головах людей Вселенная стала бесконечной, надо понимать, что речь идет не обо всех людях. Галилей и его просвещенные современники прекрасно понимали, что никаких твердых оболочек во Вселенной нет. Николай Кузанский и Джордано Бруно прямо говорили о бесконечной Вселенной. Но в то же время множество (на самом деле большинство населения земного шара) людей продолжали видеть мир глазами древних.

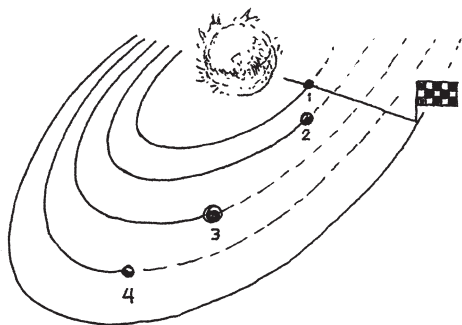
Но с давних времен существовал еще один важный для любознательных людей вопрос. Благодаря *каким силам* движутся небесные тела?

Были времена, когда считалось, что небесные тела — живые, и движутся они сами, потому что этого хотят. Были времена, когда люди полагали, что небесными телами управляют духи. Был вариант: специально обученные ангелы перемещают в небе светила...

Шли века, и представления об ангелах-двигателях постепенно становились все менее очевидными («дух времени» менялся). Конечно, никто ничего не знал точно, но, с другой стороны, человечество постепенно привыкало к тому, что в окружающем нас мире действуют неодушевленные силы — то,

С ДАВНИХ ВРЕМЕН
СУЩЕСТВОВАЛ ЕЩЕ
ОДИН ВАЖНЫЙ ДЛЯ
ЛЮБОЗНАТЕЛЬНЫХ ЛЮДЕЙ
ВОПРОС. БЛАГОДАРЕ
КАКИМ СИЛАМ
ДВИЖУТСЯ НЕБЕСНЫЕ
ТЕЛА?

МЕРКУРИЙ	1
ВЕНЕРА	2
ЗЕМЛЯ	3
МАРС	4



ЧЕМ БЛИЖЕ К СОЛНЦУ,
ТЕМ ВЫШЕ СКОРОСТЬ ПЛАНЕТЫ

что назвали законами природы. Взять, например, дождь. Течение воды, судя по всему, не требует постоянного вмешательства ангелов, Бога или каких-то иных сверхъестественных сил. Оно подчиняется природным закономерностям.

Надо еще раз подчеркнуть: и две, и три тысячи лет назад вода текла точно так же, как в XVII веке. Но если раньше мысль о духах и ангелах казалась вполне уместной, теперь просвещенным людям, обладающим критическим мышлением, говорить об этом было бы как-то несерьезно. Люди (мы говорим о самых образованных из них) знали гораздо больше своих далеких предков. Дух времени изменился: он сделал востребованными критическое мышление и научный метод восприятия действительности.

Итак, что за силы управляют миром? В XVII веке уже можно было даже сказать: что это за *физические* силы?

Уже упоминавшийся Иоганн Кеплер потратил немало времени для поиска ответа на этот вопрос. Третий закон движения планет, открытый Кеплером, показывал, что по мере удаления от Солнца периоды обращения планет увеличиваются быстрее, чем радиусы их орбит. Это означало, что по мере приближения к Солнцу скорости движения планет становились все больше: Меркурий движется быстрее Венеры, Венера — быстрее Земли, Земля — быстрее Марса и так далее. Кеплер предположил, что источник какой-то силы (движущей души, как

он писал) содержится в центральном Солнце — чем дальше от источника, тем слабее «движущая душа».

Кеплер, сформулировав свои законы движения планет, решил, что они свидетельствуют в пользу идеи о силовом воздействии Солнца на планеты. «Навострите уши, физики: ведь предпринимается замысел вторжения в вашу область!» — писал астроном.

Современник Кеплера **Уильям Гильберт** (1544–1603) занимался помимо прочего изучением магнетизма. Он выдвинул предположение, что Земля является огромным магнитом (об этом говорило поведение стрелки изобретенного Гильбертом компаса). Магнетизм был наглядным примером физической силы, и ученый допускал, что это универсальная сила, которая действует во всей Вселенной. На рубеже XVI–XVII веков всерьез обсуждалась идея — не вращается ли Земля под действием магнитных сил? Даже приливы и отливы пытались объяснить магнитным влиянием Луны.

В 1609 году (в том же году Галилей построил первый телескоп) Иоганн Кеплер сформулировал гипотезу о том, что Солнце — тоже магнит и оно вращается (вращение Солнца было вскоре подтверждено наблюдениями солнечных пятен в телескоп). Вращение Солнца создает вихрь в прозрачном веществе — эфире, который наполняет всю Вселенную, полагал Кеплер. Этот эфирный вихрь и заставляет планеты двигаться вокруг Солнца — чем дальше от Солнца, тем медленнее.

Это была очень неплохая идея, которая тем не менее оказалась неверной. Но элементы этой идеи впоследствии подтвердились. Солнце действительно магнит, оно действительно вращается, и магнитное поле, простираясь во все стороны от светила,

НА РУБЕЖЕ XVI–
XVII ВЕКОВ ПРИЛИВЫ
И ОТЛИВЫ ПЫТАЛИСЬ
ОБЪЯСНИТЬ МАГНИТНЫМ
ВЛИЯНИЕМ ЛУНЫ.

РЕНЕ ДЕКАРТ
ПРЕДЛОЖИЛ
КАРТИНУ МИРА,
В КОТОРОЙ
СУЩЕСТВОВАЛО
МНОЖЕСТВО ВИХРЕЙ
ЭФИРА.

вращается вместе с Солнцем¹⁴. Но оказалось, что планеты движутся совсем по другой причине.

Французский ученый и философ **Рене Декарт** (1596–1650) предложил картину мира, в которой существовало множество вихрей эфира, подобных описанному Кеплером. Каждый вихрь — это система, подобная Солнцу, вокруг которого вращаются планеты, увлекаемые вихрем. Центральные светила (в том числе Солнце) состоят из маленьких «тонких» частиц, излучающих свет, а планеты построены из более тяжелых «темных» частиц, отброшенных центробежной силой вращения вихря.

Декарт кое в чем был прав: Солнце и звезды состоят из сравнительно легких частиц раскаленного газа (точнее, **плазмы**), планеты — из более тяжелых частиц, а также частиц, объединенных друг с другом в еще более тяжелые частицы твердого вещества. Но идея об изначальных вихрях, заполняющих Вселенную, оказалась неверной.

Поразительно, что указанный научный поиск происходил в то же самое время, когда церковь запрещала систему Коперника, настаивала на правильности системы Птолемея с твердыми хрустальными сферами и Землей в центре. Труды Декарта, как и многие труды других исследователей, попали в Индекс запрещенных книг.

...Как известно, решение задачи было найдено великим английским физиком, которого звали сэра **Исаак Ньютон** (1642–1727). Его заслуженно считают основоположником классической физики. Ему принадлежит великое научное достижение — он открыл закон всемирного тяготения.

Конечно, идея о том, что в мире существует некая сила притяжения, не раз появлялась задолго до сэра

¹⁴ Оставалось непонятным, почему вращается само Солнце, но этот вопрос пока не обсуждался.



Исаака, и здесь можно было бы назвать множество известных имен (например, **Роберт Гук**, 1635–1703). Но объединить в одну стройную концепцию идею о силе притяжения и три экспериментально подтверждаемые закона Кеплера удалось только Ньютону.

Широко известна история о том, как яблоко (в одном из вариантов — упавшее прямо на голову Ньютона) привело его к мысли о существовании силы тяготения. Это, конечно, не так: то, что все предметы на Земле притягиваются к ней, люди осознали *задолго до Ньютона*.

Во времена Ньютона уже было понятно (это убедительно показал еще Галилей), что если на тело не действуют никакие силы, то тело будет двигаться прямолинейно и равномерно. Аристотель двумя тысячами лет раньше ошибочно полагал, что в таких условиях тело вообще не будет двигаться. Понятия инерции (способность тела сохранять скорость неизменной) в те времена еще не существовало. Кроме того, находится тело в покое или движется — зависит от наблюдателя. Так, например, с точки зрения водителя автомашины, сумка на сиденье покоится, а с точки зрения прохожего — она быстро перемещается вместе с автомобилем.

Относительность движения тела в разных системах измерения.

НА ЯБЛОКО И
ЛУНУ ВЛИЯЕТ
ОДНА И ТА ЖЕ
СИЛА



Исаак Ньютон, английский математик, физик, астроном и теолог, открыл силу тяготения.

Биограф Ньютона Уильям Стьюкли («Воспоминания о жизни Ньютона», 1752 год) сообщает: «Ньютон сказал мне, что мысль о гравитации пришла ему в голову, когда неожиданно с ветки упало яблоко. "Почему яблоки всегда падают перпендикулярно земле?" — подумал он».

Тем не менее по рабочим тетрадям Ньютона видно, что его теория всеобщего тяготения вовсе не была озарением, а развивалась постепенно. Сам Ньютон в одном из писем 1686 свою запись окончательной формулировки закона тяготения датирует лишь приблизительно: «более 15 лет назад».

Ньютон размышлял о движении Луны. Луна летит по своей орбите вокруг Земли. Со времен Кеплера было известно, что орбита представляет собой замкнутую кривую линию — эллипс. Если бы никакой силы не было, Луна двигалась бы равномерно и прямолинейно. Но эллипс — не прямая линия! И если Луна движется не по прямой, значит, на нее *действует* какая-то сила. Что это может быть за сила?

Раз Луна летает вокруг Земли, естественно было предположить, что источник этой силы связан с Землей.

Вблизи поверхности Земли предмет в свободном состоянии (например, то же яблоко), как и Луна, не движется равномерно: оно падает отвесно с ускорением, двигаясь к центру Земли. Раз есть ускорение, значит, опять работает какая-то сила. Это следует из закона, открытого тем же Ньютоном:

$$F = \vec{m} \vec{a},$$

где F — некая сила, \vec{m} — масса тела, \vec{a} — ускорение тела. Из формулы видно, что если сила не равна нулю, то не

равно нулю и ускорение. Наоборот: если нет ускорения, это значит, что результирующая сила, приложенная к телу, равна нулю.

Ньютон догадался, что сила, заставляющая Луну отклоняться от движения по прямой, и сила, заставляющая падать яблоко (а также прижимающая к полу самого Ньютона), — это *одна и та же* сила!

Это была гениальная догадка и абсолютно правильное решение.

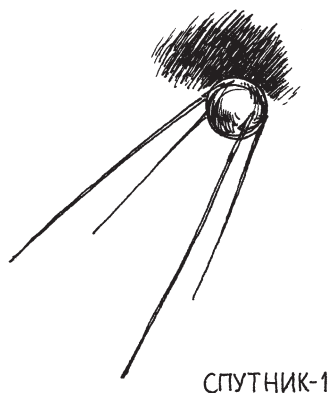
На первый взгляд, движения падающего яблока и Луны совсем не похожи. Яблоко падает к центру Земли, а Луна все время летит вокруг Земли в направлении, перпендикулярном направлению к центру нашей планеты. Но эти движения не похожи только на первый взгляд. Если бы Луна остановилась в своем движении вокруг Земли, она стала бы падать к центру Земли — точно так же, как яблоко. Разница только в том, что у Луны есть большая «горизонтальная» (точнее, перпендикулярная направлению на центр Земли) скорость, благодаря которой Луна, непрерывно падая на Землю, все время «промахивается» и летит мимо, «закругляя» свою траекторию, огибающую Землю. А у яблока такой круговой скорости нет.

А можем ли мы яблоко превратить в Луну? Точнее, заставить его тоже летать, не падая, вокруг Земли, подобно Луне? Ньютон понял, что можем.

Для этого надо бросить яблоко горизонтально (перпендикулярно направлению на центр Земли). Конечно, яблоко упадет, но уже не в том месте, где его бросили, — оно успеет пролететь по кривой некоторое расстояние, пока из-за притяжения Земли не упадет на ее поверхность.

Если же бросить яблоко с большей скоростью, оно пролетит дальше. Но не надо забывать, что Земли круглая. Если придать яблоку очень большую скорость, окажется, что кривизна земной поверхности будет равна

Если бы Луна
остановилась
в своем движении
вокруг Земли, она
стала бы падать
к центру Земли —
точно так же, как
яблоко.



Первый в мире искусственный
спутник Земли был запущен
в СССР 4 октября 1957 года.

кривизне траектории падающего яблока. Это значит, что яблоко, все время падая на Землю под действием ее притяжения, будет стремиться к центру Земли, постоянно огибая Землю и постоянно падая «мимо». Яблоко превратится в спутник Земли — такой же, как и Луна!

Поразительно, что ни Луне, ни яблоку на орбите вокруг Земли не нужен источник движущей силы в виде духа, ангела или ракетного двигателя. На спутник Земли действует *только* сила притяжения Земли. А дальше все зависит от скорости. Если скорость маленькая — спутник упадет. Если скорость *достаточная* — он будет вечно летать вокруг Земли. Но очевидно, что изначально какая-то сила должна была разогнать Луну либо яблоко до этой скорости. Если бы не было Земли, яблоко летело бы прямолинейно с этой скоростью благодаря инерции. Но притяжение Земли все время отклоняет яблоко от движения по прямой, и оно летит по замкнутой траектории вокруг Земли.

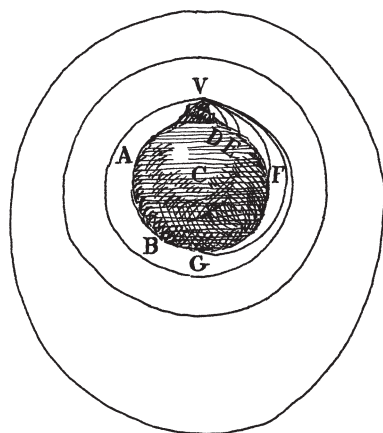
Конечно, Ньютон рассуждал не о яблоке. Его перу — напоминаю, что в те времена писали заостренными птичьими перьями, окуная их в чернила, — так вот, его перу принадлежал рисунок, который американский астроном **Чарлз Уитни** назвал «самым замечательным рисунком во всей истории науки».

Вместо человека, бросающего яблоко, Ньютон изобразил пушку, стреляющую горизонтально (пушечное ядро летит быстрее яблока под воздействием давления пороховых газов в стволе пушки). Он показал разные траектории ядра в зависимости от начальной скорости полета — по мере увеличения начальной скорости ядро падает дальше, еще дальше и, наконец, при некой

скорости становится спутником Земли, двигаясь по круговой орбите. Скорость, при которой тело (хоть яблоко, хоть ядро) движется по круговой орбите на сравнительно небольшой высоте над Землей, не падая, называется *круговой*, или *первой космической скоростью*.

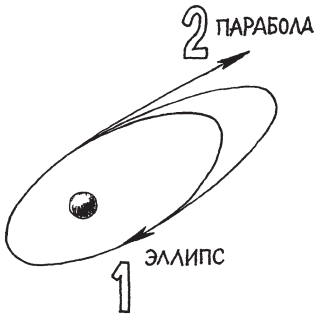
Важно, что на рисунке Ньютона пушка установлена на очень высокой горе (на самом деле на Земле таких гор нет и быть не может). Это правильно: ведь ядро может потерять скорость из-за трения о воздух. Как только скорость спутника станет меньше первой космической, кривизна его траектории окажется больше кривизны земной поверхности, и спутник упадет (столкнется с Землей). Поэтому Ньютон начертил гору настолько высокую, что на ее вершине уже нет воздуха. Тогда трение равно нулю и спутник сможет свободно двигаться по окружности. Наверно, рисунок говорит еще и о том, что Ньютон понимал — воздуха в межпланетном пространстве нет.

А что, если скорость ядра окажется больше первой космической скорости? Согласно расчетам Ньютона, ядро будет двигаться по эллипсу, один из фокусов которого окажется в центре масс Земли. Законы Кеплера, описывающие движение тела по эллипсу, будут выполняться. Если продолжать наращивать скорость, эллипсы будут все более и более вытянутыми. Наконец настанет момент, когда длинный эллипс «разорвется» и превратится в разомкнутую траекторию — **параболу**. Спутник, двигаясь по такой траектории, навсегда покинет Землю и улетит прочь. Соответствующую скорость называют **вторая космическая**.



воспроизводится
по рисунку
И. НЬЮТОНА

Подобный рисунок Ньютон, бывший к тому же неплохим рисовальщиком, выполнил собственноручно.



Разрыв эллиптической
орбиты и вторая
космическая скорость.

Что это за сила, которая притягивает яблоко, ядро или самого Ньютона к Земле?

Ньютон предположил, что эта сила зависит от массы тела. Чем больше масса, тем больше сила, с которой тело притягивает к себе другие тела. Анализ движения Луны вокруг Земли позволил вывести формулу для вычисления силы, с которой два любых тела притягиваются друг к другу. Эту формулу теперь знают все, ее изучают в школах на уроках физики. Она выражает закон всемирного тяготения, открытый Ньютоном.

Внимательно рассмотрим эту формулу:

$$F = \gamma \frac{mM}{r^2},$$

где m и M — массы двух тел, r — расстояние между ними, γ — коэффициент, который называется **гравитационная постоянная**, равная:

$$\gamma = 6,67 \times 10^{-11} \frac{\text{М}^3}{\text{кг} \times \text{с}^2}.$$

Гравитационная постоянная определяет величину силы притяжения между телами. 10^{-11} — это единица, деленная на огромное число — 10 с одиннадцатью нулями. Таким образом, гравитационная постоянная — это очень маленькое число. Значит, и сила тяготения, которую называют **гравитацией**, на самом деле очень мала. Более того, она уменьшается с расстоянием, причем очень быстро: в знаменателе расстояние r — в квадрате. Это значит, что при увеличении расстояния между телами, например, в два раза, сила притяжения между ними уменьшится в четыре раза.

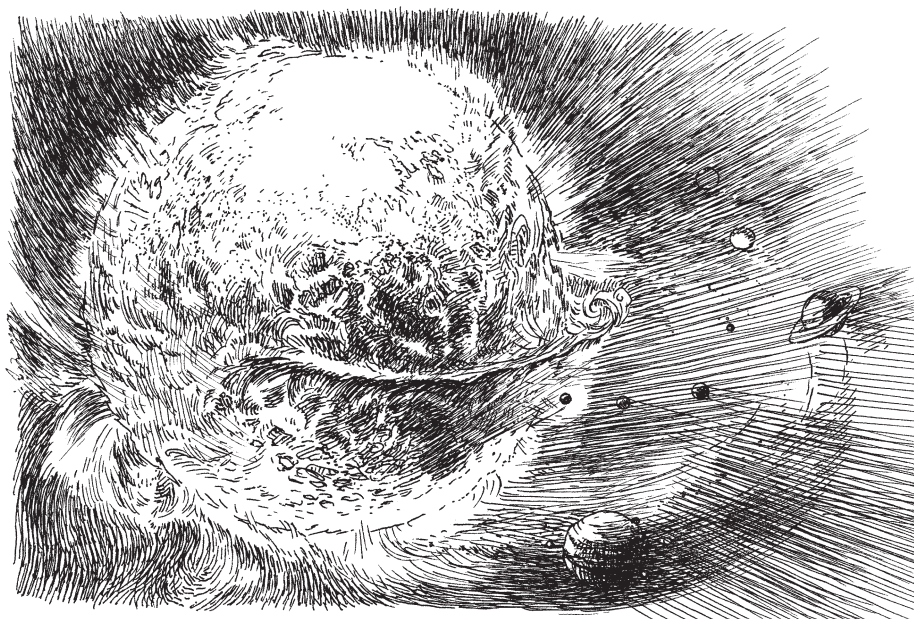
Любопытно, что две массы M и m входят в формулу симметрично. Их можно поменять местами, и от этого ничего не изменится. Это значит, что,

например, Земля с массой M притягивается к Луне с массой m точно с такой же силой, с какой Луна притягивается к Земле.

Почему, например, мы явственно ощущаем, как нас притягивает к себе Земля, но не чувствуем, как притягиваются друг к другу два школьника, сидящих рядом за одним столом? Все дело в массе. Гравитационная постоянная настолько мала, что даже если мы перемножим массы двух школьников, после умножения на крошечную гравитационную постоянную результат будет ничтожно мал! Никаким динамометром мы не сможем измерить силу притяжения между школьниками — настолько она мизерна. Но когда в формуле учитывается огромная масса Земли (ее масса в килограммах выражается числом с 24 нулями) — сила будет заметна. Каждый из нас (и Ньютон в том числе) мог ощутить, как сильно Земля притягивает нас к себе. Подпрыгнув, мы не улетаем в космос, а с ускорением падаем обратно.

Согласно теории Ньютона гравитацию испытывают все *тела*, обладающие массой (а иных тел не бывает). Все тела притягиваются друг к другу, и силу притяжения можно рассчитать, применив разработанный Ньютоном математический аппарат, в основе которого лежит закон тяготения.





Солнечная система. Рисунок показывает сравнительную величину Солнца и планет. Расстояния от планет до Солнца, а также между планетами переданы условно.

Три закона Кеплера являются следствиями закона всемирного тяготения. Студенты — будущие астрономы — выводят эти формулы аналитически. Если мы знаем массы и скорости тел в некий момент времени, формулы позволяют вычислять и положения, и скорости тел для каждого момента времени.

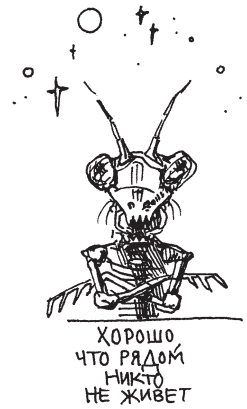
Теория Ньютона прекрасно работает. С ее помощью с высокой точностью рассчитываются положения небесных тел и космических аппаратов, траектории межпланетных зондов, скорость которых меняется с помощью кратковременного включения ракетного двигателя, направленного в нужную сторону. В итоге мы (человечество) научились выполнять виртуозные маневры, перелетать от одной планеты к другой и даже использовать притяжение планет для маневрирования в космосе. Все

это может говорить о том, что теория тяготения *правильно описывает мир*¹⁵.

Забегая вперед, скажем следующее. Наблюдения в крупнейшие телескопы позволяют сделать вывод, что устройство систем из небесных тел на гигантских расстояниях от нас — такое же, как вблизи Солнца. Это значит, что закон тяготения справедливо называется законом всемирного тяготения. Он действует одинаково во всей наблюдаемой нами части Вселенной. Этот удивительный закон природы носит поистине универсальный характер.

Итак, давайте разберемся еще раз. Согласно теории, разработанной Ньютоном, Вселенная представляет собой гигантский (возможно, бесконечный) объем. Он заполнен звездами. То, что раньше воспринималось как весь мир, теперь превратилось в крошечный фрагмент мира — Солнечную систему, которая включает в себя Солнце и несколько планет, обращающихся вокруг него по эллиптическим орбитам. Расстояния между соседними звездными системами в рамках такой картины мира должны быть огромными. Когда-то Джордано Бруно говорил, что это хорошо: если бы планетные системы были близки друг к другу, их жители могли бы взаимодействовать, но кончилось бы это плохо: сильные победили бы слабых.

Управляет всеми движениями небесных тел одна сила — всемирное тяготение. Все тела притягиваются друг к другу. Все тела, которые обладали низкими



¹⁵ Внимательный читатель может сказать: «Ха! Система Птолемея тоже давала правильные предсказания и успешно описывала наблюдаемые явления, но затем оказалось, что она совершенно неправильна. Не может ли такое произойти с теорией тяготения Ньютона?» Ответ может быть таким: закон тяготения Ньютона в принципе верен (по сегодняшним представлениям). Однако оказалось, что он, как и законы Кеплера, является следствием более глубоких природных закономерностей. Об этом будет сказано в следующих главах.

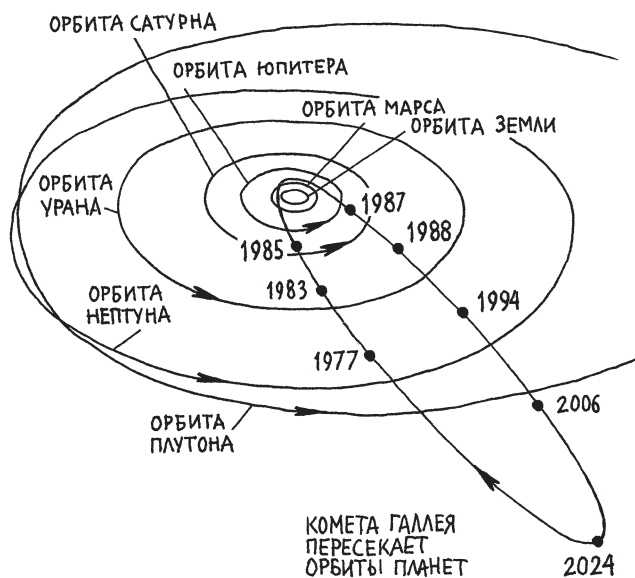


Заметный даже невооруженным глазом газопылевой хвост выделяет комету на небосводе.

скоростями, притянулись к своим массивным соседям и упали на них, в результате массивное тело стало еще больше. Все тела, которые обладают очень высокими скоростями, могут свободно двигаться в пустом пространстве между звездными системами. Те же тела, которые обладали скоростью в пределах от первой до второй космической по отношению к близкому массивному телу, являются спутниками этого тела. Так, планеты Солнечной системы являются спутниками Солнца, Луна является спутником Земли, открытые Галилеем с помощью телескопа объекты возле Юпитера являются его спутниками...

А как же твердые небесные сферы?

Окончательному их разрушению способствовали **кометы**. Иногда на звездном небе неожиданно появляются странные объекты, напоминающие звезды с хвостами, которые передвигаются на фоне звезд. Их называют кометами (косматыми), и долгое время люди боялись комет, считая, что это предвестники будущих несчастий. Сегодня мы знаем, что кометы — это сравнительно небольшие (по сравнению с планетами) небесные



тела, состоящие из водяного льда, замерзших газов и вмороженной пыли. Когда ледяное ядро кометы проходит вблизи Солнца, оно нагревается, начинает «газить и пылить», в результате возникает длинный «хвост», состоящий из частиц газа и пылинок. Особенностью комет является то, что они движутся иногда по очень вытянутым эллипсам.

Закон тяготения и его следствия — законы Кеплера — позволяли, анализируя наблюдения движения комет, рассчитать их траектории, описать орбиты, вычислить скорости. Этим занимался, в частности, друг Ньютона астроном **Эдмунд Галлей** (1656–1742). Его расчеты показали, что вытянутый эллипс одной из комет (она получила имя Галлея) пересекает орбиты всех планет и уходит далеко за орбиту Сатурна! Если бы существовали хрустальные небесные сферы, кометы не могли бы так двигаться — они сталкивались бы со сферами. Ниче-

Комета Галлея. Отмечены положения кометы, очередное максимальное удаление приходится на 2024 год.

НЬЮТОН СЧИТАЛ, ЧТО
ВСЕЛЕННАЯ СОЗДАНА
БОГОМ. ИНАЧЕ
НЕВОЗМОЖНО ОБЪЯСНИТЬ
УДИВИТЕЛЬНЫЕ
ЗАКОНОМЕРНОСТИ
СОЛНЕЧНОЙ
СИСТЕМЫ — ТО, ЧТО
ПЛАНЕТЫ ДВИЖУТСЯ
В ТОМ ЖЕ НАПРАВЛЕНИИ
ВОКРУГ СОЛНЦА,
В КОТОРОМ ВРАЩАЕТСЯ
САМО СОЛНЦЕ.

го подобного мы не наблюдаем. Даже разреженные хвосты комет (мы видим сквозь них звезды) не показывают никаких признаков столкновения с небесными сферами. Это означает, что никаких твердых сфер в небе просто нет.

Итак, согласно выдающимся достижениям ученых XVII и XVIII веков, просвещенные люди получили новую картину мира — бесконечную Вселенную, наполненную звездами. Вокруг звезд предполагались (пока еще не были видны) планетные системы. Одна из таких систем — наша Солнечная, в которой были известны шесть планет, на третьей из которых живут мыслящие существа, способные создать в своем сознании эту грандиозную картину мира. Во всей Вселенной действует закон всемирного тяготения, во всей Вселенной время течет одинаково.

Конечно, Ньютон считал, что Вселенная создана Богом. Ученый полагал, что иначе невозможно объяснить удивительные закономерности Солнечной системы — то, что планеты движутся в том же направлении вокруг Солнца, в котором вращается само Солнце. При этом плоскости орбит планет близки друг к другу, в отличие от комет, которые, как показали наблюдения, движутся в любых направлениях и в любых плоскостях. Ньютон не мог объяснить эти закономерности и, будучи очень религиозным человеком, считал, что так могло получиться только благодаря воле Бога.

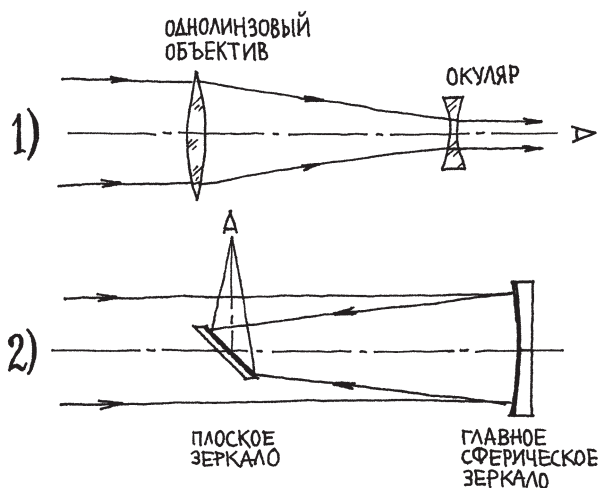
Такая точка зрения вполне типична. Когда мы сталкиваемся с чем-то непонятным, то приписываем это сверхъестественным силам. Но чем больше мы узнаем, применяя критическое мышление, тем больше явлений и событий удается объяснить естественными природными явлениями. Так вышло и в данном случае, но гораздо позже.

6. Вселенная, которая не меняется

Есть много мелких, безымянных
Созвездий в горней вышине,
Для наших слабых глаз, туманных,
Недостигаемы оне...
И как они бы ни светили,
Не нам о блеске их судить,
Лишь телескопа дивной силе
Они доступны, может быть.

Федор Тютчев

Телескопы становились все совершеннее, и с их помощью можно было увидеть все больше далеких объектов Вселенной. Эти наблюдения создавали впечатление неизбежности, неизменности, постоянства Вселенной. Звезды ровно и мерно светили (так называемые «переменные звезды», явно меняющие свою яркость, были уже известны, но воспринимались как редкие нетипичные исключения). Планеты двигались и (поэтому) тоже меняли яркость, но теперь, после утверждения гелиоцентрической системы в сознании астрономов, ученые понимали, почему это происходит.



Оптические схемы первых
телескопов

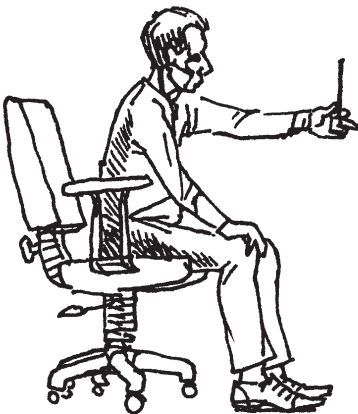
1. Первый рефрактор Галилео
Галилея, 1609 год.

2. Первый рефлектор Исаака
Ньютона, 1668 год.

Но, по большому счету, в наблюдаемой Вселенной ничего не происходит. На Земле меняются времена года, вокруг Солнца летают планеты, вокруг планет — их спутники, издали светят звезды. Вселенная выглядит **стационарной**. Этот термин применяют физики, когда хотят подчеркнуть, что *ничто не меняется со временем*. Понятно, что, наверно, когда-нибудь погаснут какие-то звезды (люди еще не знали, что такое звезды и почему они светят). Но на смену погасшим могут появиться новые звезды, и *в среднем* Вселенная останется такой же, какой была. И так, наверно, будет всегда — считали сторонники концепции стационарной Вселенной. Ситуация в таком мире подобна деревьям в огромном лесу: старые деревья погибают и засыхают, но все время подрастают новые, и лес в среднем остается таким же, каким и был.

Параллакс — наблюдаемое смещение объекта относительно фона при изменении точки наблюдения.

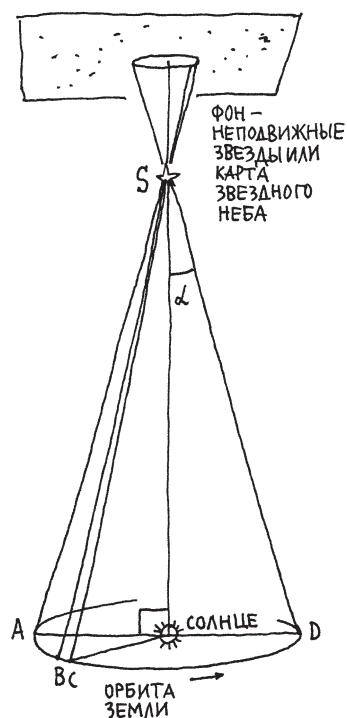
...Уже в Средние века появлялись люди, которые догадывались, что Вселенная может со временем изменяться, но эта идея была не в почете. Астрономы прежде всего пытались выяснить свойства наполняющих Вселенную небесных тел исходя из ее неизменности.



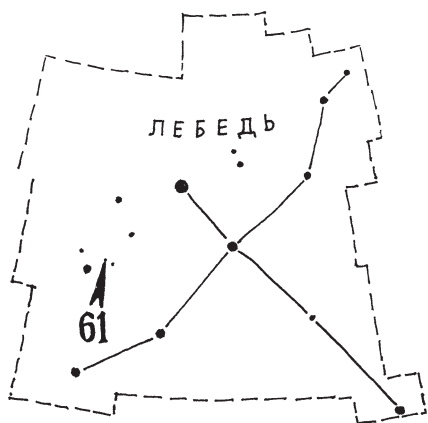
НЕПОДВИЖНЫЙ
КАРАНДАШ
ВИЗУАЛЬНО
СМЕЩАЕТСЯ В
СТОРОНУ ПРИ
ВЗГЛЯДЕ ОДНИМ,
А ЗАТЕМ
ДРУГИМ
ГЛАЗОМ

Возможности исследователей росли. Телескопы становились все мощнее, увеличивалась их **проницающая сила** (можно было видеть все более слабые источники света, которые невозможно разглядеть невооруженным глазом). Вместе с размерами и качеством астрономической оптики росла **разрешающая способность** (можно было рассматривать все более мелкие детали изображений Луны, планет, хвостов комет и загадочных туманных пятен в звездном небе). Впрочем, звезды при наблюдениях в любой телескоп оставались просто точками. Телескопы делали их все более яркими, но увидеть звезду в виде диска с деталями оказалось невозможно. Это означало, что предположения древних были верны: звезды чрезвычайно далеки, а значит, Вселенная невероятно велика. Люди все-таки сумели определить расстояния до ближайших звезд. Как это сделать, было ясно еще полторы тысячи лет назад. Если положения звезды на небе определять много раз в течение года и наносить точки на карту звездного неба, эти точки должны выстроиться в маленький кружок (точнее, эллипс) из-за того, что сама Земля совершает круг в течение года и мы смотрим на звезду из разных точек.

Астрономы пытались заметить этот эффект, но это не удавалось: казалось, что в течение года все звезды остаются на своих местах. Не смогли зафиксировать эффект даже великие астрономы-наблюдатели — Иоганн Кеплер и Вильям Гершель. Для сторонников идеи о центральном положении Земли это было доводом в пользу того, что наша планета неподвижна. Что же касается гелиоцентристов, то



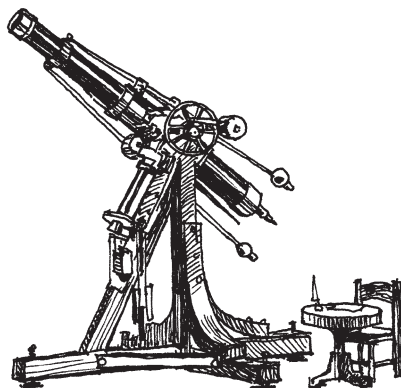
Измерение расстояний в космосе с использованием годичного параллакса Земли. Неподвижные звезды соответствуют карте звездного неба. Положения близкой звезды, многократно нанесенные на карту, образуют эллипс. Показана годичная орбита Земли, лежащая в плоскости эклиптики, и большая ось орбиты. Точки A, B, C, D — некоторые положения Земли на эллиптической орбите Земли и направления на близкую звезду S.



ЗВЕЗДА 61
В СОЗВЕЗДИИ
ЛЕБЕДЬ

90 000 000 000 000 КМ

ТЕЛЕСКОП БЕССЕЛЯ
(КОНСТРУКЦИИ
ФРАУНГОФЕРА)



Созвездие Лебедь
с указанием звезды 61
и расстояния до нее

они утверждали, что эффект не удастся заметить просто из-за огромной удаленности звезд и недостаточной точности определения положения звезды.

Гелиоцентристы оказались правы.

Точнейшие (астрономы применяют слово **прецизионные**) наблюдения с помощью высокоточного телескопа, изготовленного замечательным немецким оптиком **Йозефом Фраунгофером** (1787–1826), выполнил немецкий астроном и математик **Фридрих Бессель** (1784–1856). Он-то и получил золотую медаль Лондонского астрономического общества за первое в истории

подтвержденное определение расстояния до звезды 61 в созвездии Лебедь. Оказалась, что она находится на чудовищном расстоянии в 90 триллионов (девятка и тринадцать нулей после нее означают девяносто миллионов миллионов) километров. Чтобы не связываться со множеством нулей, астрономы сегодня используют единицу длины под названием **световой год** (это примерно десять триллионов километров — расстояние, которое свет со скоростью 300 000 км/с проходит за один год.) Согласно современным данным, звезда 61 Лебеда расположена в 11,36 светового года от нас.

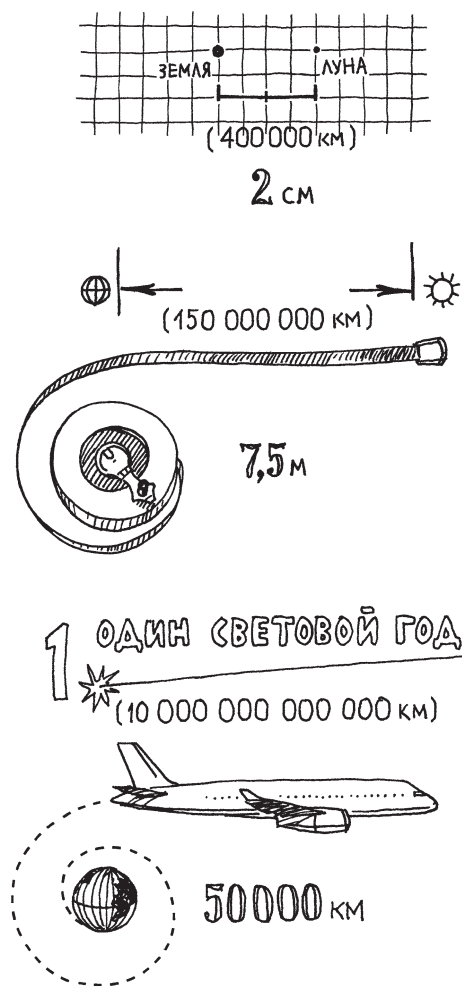
Это не самая близкая к нам звезда. В комплексе Альфа Кентавра в Южном полушарии есть слабая звездочка, которую называли Проксима, то есть «ближайшая» по-гречески. Расстояние до нее равно 4,2 светового года (свет от нее идет к нам 4,2 года). Ближе звезд нет (кроме Солнца).

Так мы узнали, что среднее расстояние между соседними звездами в нашей области Вселенной составляет несколько световых лет. Для сравнения — свет от Солнца идет к нам чуть больше восьми минут. Звезды действительно оказались чрезвычайно далекими объектами — поэтому они и выглядят всего лишь как яркие точки, поэтому мы и не могли на протяжении двух тысяч лет определить расстояние даже до ближайшей из них.

Российский популяризатор астрономии **Михаил Шевченко** сравнил представления о расстояниях до звезд, существовавшие в разные времена.

Если выражать эту величину в километрах, то Анаксимандр считал, что до звезд 200 тысяч км (на самом деле это примерно половина расстояния до Луны). Согласно Архимеду, до сферы неподвижных звезд — 40 миллионов километров (на самом деле это примерно кратчайшее расстояние до планеты

Звезды действительно оказались чрезвычайно далекими объектами, поэтому мы и не могли на протяжении двух тысяч лет определить расстояние даже до ближайшей из них.



Если расстояния в космосе представить в масштабе 1 см : 200 тыс. км, то расстояние от Земли до Луны составит 2 сантиметра, расстояние от Земли до Солнца будет равно 750 см, а один световой год составит 50 000 км. Часть рисунка с Землей и Луной выполнена в указанном масштабе 1 см : 200 тыс. км. Диаметр Земли в этом масштабе — примерно 1,5 мм. Прочие расстояния не помещаются на странице.

Венеры). Пожалуй, одному Аристарху из череды великих греков удалось сделать близкую к реальности оценку — по его представлениям, расстояние до сферы неподвижных звезд составляет 10 триллионов километров, то есть один световой год (напоминаю, что до ближайшей звезды Проксимы 4,2 светового года). Птолемей давал оценку в 100 миллионов км (на самом деле это в полтора раза меньше, чем до Солнца). Замечательный арабский ученый **Абу Райхане аль-Бируни** (973–1048) писал про 140 миллионов км (это чуть меньше расстояния от Земли до Солнца). Великий наблюдатель Тихо Браге полагал, что до звезд 90 миллионов километров (еще меньше, чем по Птолемею).

Мы видим, что почти все предшественники Бесселя существенно занижали расстояние до ближайших звезд, и только измерения великих наблюдателей середины XIX века (почти одновременно с Бesselем измерить расстояние до звезд удалось **Вильгельму Струве** (1793–1864) в Российской империи и англичанину **Томасу Гендерсону** (1798–1844), наблюдавшему звезды с мыса Доброй Надежды на юге Африки) дали окончательный ответ на этот вопрос.

Вручая премию Бесселю, президент Лондонского астрономического общества, сын Уильяма Гершеля (тоже выдающийся астроном, как и его отец) **Джон Гершель** заявил на церемонии:

«Я поздравляю вас и себя с тем, что нам посчастливилось увидеть, как огромная и несокрушимая стена, стоявшая на нашем пути в звездную Вселенную, стену, которую мы подрывали так долго и так тщетно, была пробита почти одновременно в трех местах».

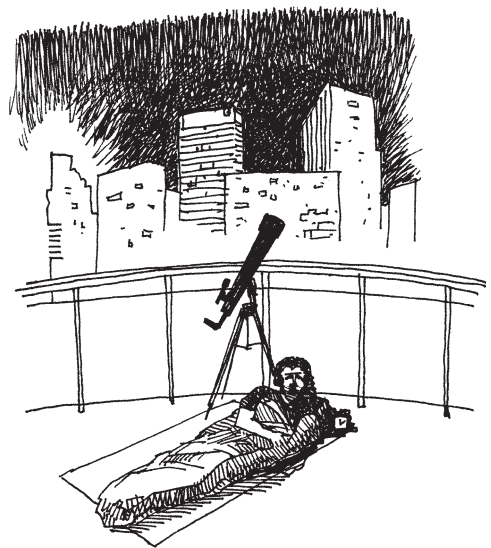
Он имел в виду работы Бесселя, Струве и Гендерсона.

Но как далеко простирается пространство, наполненное звездами?

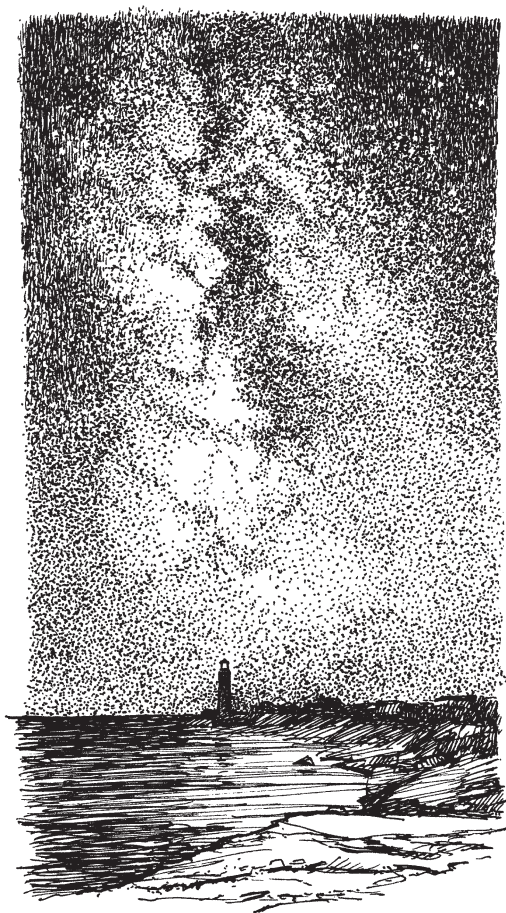
После Николая Кузанского и Джордано Бруно мысль о бесконечности Вселенной не казалась невозможной. Новая картина мира постепенно выстраивалась: бесконечная Вселенная наполнена звездами, находящимися на огромных расстояниях (несколько световых лет) друг от друга. Но телескопы, которые быстро совершенствовались, показывали, что в мире существуют не только сравнительно близкие к нам планеты с кометами, обращающиеся вокруг Солнца, а также звезды, подобные Солнцу.

В те далекие времена, когда в городах еще не было светового загрязнения и яркие ночные фонари не мешали смотреть на ночное небо, в любой точке земного шара можно было увидеть неровную серебристую полосу — Млечный Путь. Ее происхождение пытались объяснить по-разному (испарения, особый тип облака). То, что это скопление

Световое и инфракрасное излучение городов мешает астрономическим наблюдениям.



**ВЫКЛЮЧИТЕ
СВЕТ!**



Млечный Путь над морем.

звезд, предположил еще **Демокрит** (ок. 460 – ок. 370 годы до нашей эры), но доказать это в те времена было невозможно. Лишь в 1609 году Галилей посмотрел на Млечный Путь в телескоп и убедился, что это действительно множество звезд.

«Я наблюдал природу и вещество Млечного Пути. С помощью телескопа его удалось обозреть так подробно и с такой зрительной ясностью, что все споры... разрешились!.. Млечный же Путь есть на деле нечто иное, как масса бесчисленных звезд, собранных в скопления...» — писал Галилей в своей книге «Звездный Вестник», изданной в 1610 году.

Но телескопические наблюдения великих астрономов XVII–XVIII веков показали, что в небе помимо звезд можно увидеть слабо светящиеся туманные пятна самой разнообразной формы. Такие пятна получили название **небулы**, или **туманности**. Гершель в ходе своих многолетних наблюдений открыл более двух тысяч таких туманностей. Многие из них при разглядывании в сильный телескоп распадались на отдельные звезды, и становилось ясно, что это далекие скопления звезд, подобные фрагментам Млечного Пути. Но многие туманности на звезды не разрешались даже при большом увеличении телескопа. Некоторые из них совсем не походили

на плотные скопления звезд, отличаясь и по внешнему виду, и по цвету.

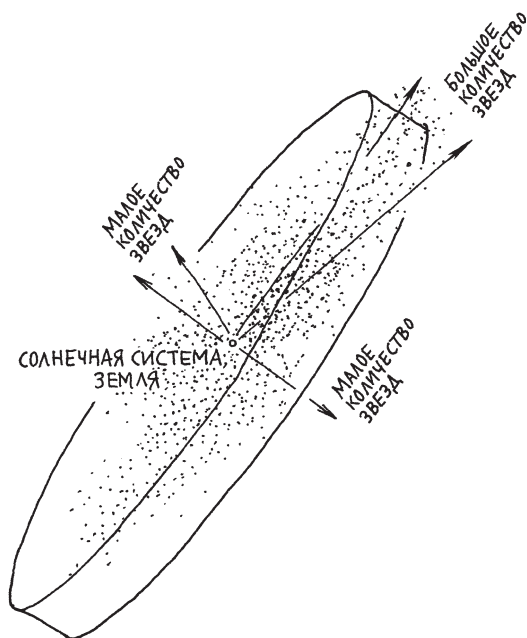
Забегая вперед, укажем, что история изучения туманностей тоже, как и история исследований звезд Галактики, содержит множество имен, названий телескопов и отдельных достижений. Не будем задерживаться и сразу перейдем к результатам.

Сейчас мы знаем, что многие туманности — это огромные облака из газа и пыли. Некоторые из них порождены взрывами звезд (оказывается, отдельные типы звезд способны взрываться), и тогда их сорванные оболочки постепенно рассеиваются в пространстве. Есть и другие типы туманностей — например, гигантские облака разреженного газа (в основном водорода).

Итак, оказалось, что вещество во Вселенной не обязательно должно быть собрано в компактные шары, как звезды и планеты, — оно может быть рассеянным, занимая гигантские объемы пространства, иногда многократно превышающие по размерам расстояния между соседними звездами. Так телескопы позволяли обнаруживать новые типы небесных объектов, которыми, как оказалось, населена Вселенная. До появления сильных телескопов мы об их существовании даже не догадывались.

Важным был и вопрос о структуре Вселенной. Получалось, что почему-то большая часть звезд и туманностей располагалась в пределах узкой полосы Млечного Пути, а вне этой полосы видны лишь отдельные звезды на фоне черного неба. Пространственное распределение звезд было явно неравномерным. Млечный Путь опоясывает все небо, его видно и в Северном, и в Южном полушарии, а это значит, что Солнце вместе со своими планетами (Солнечной системой) находится внутри гигантской плоской системы из множества звезд. Эту систему назвали **Галактикой** (от греческого слова

Вещество во Вселенной не обязательно должно быть собрано в компактные шары, как звезды и планеты, — оно может быть рассеянным, занимая гигантские объемы пространства, иногда многократно превышающие по размерам расстояния между соседними звездами.

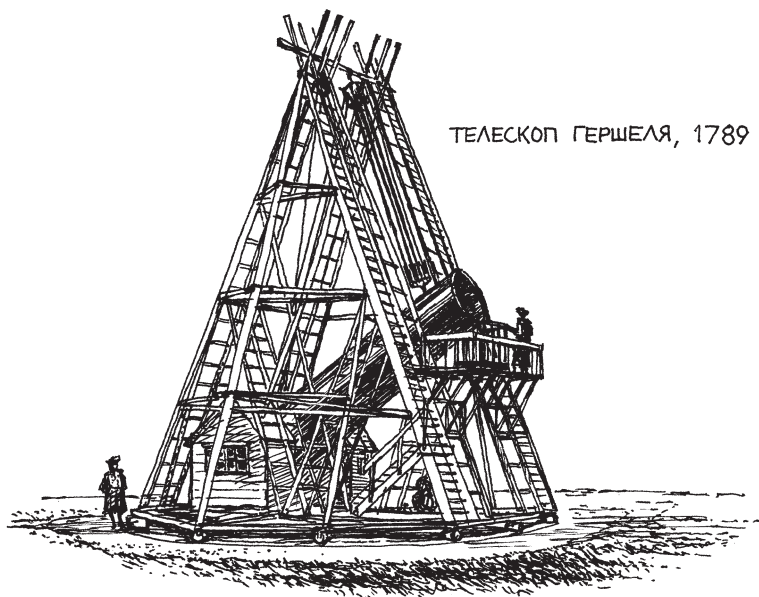


Разное количество звезд в разных направлениях объясняется формой Галактики. Скопление звезд подобно плоскому диску.

«галактос» — молоко: многие народы связывали светлую полосу на небе с образом разлитого молока).

Если смотреть на Млечный Путь, мы увидим огромное множество звезд в виде светящейся полосы на небе. Если же смотреть перпендикулярно плоскости Галактики, на пути нашего взгляда (астрономы говорят «**на луче зрения**») окажется гораздо меньше звезд, поскольку Галактика оказалась по космическим меркам сравнительно тонкой. Между отдельными далекими друг от друга звездами видно черное небо — пустое пространство космоса.

Идею о расположении звезд в пределах плоского диска впервые выдвинул английский ученый **Томас Райт** (1711–1786). Одна из его геометрических моделей предполагала, что форма Галактики напоминает гигантский плоский диск. Любопытно, что Райт допускал существование множества таких дисков, похожих на наш Млечный Путь.

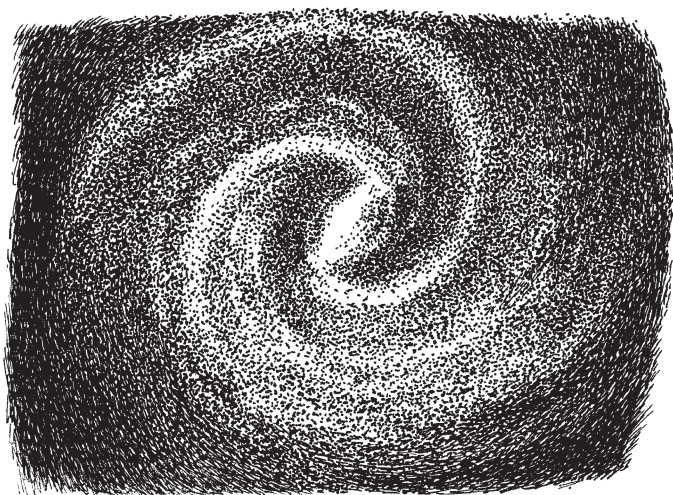


ТЕЛЕСКОП ГЕРШЕЛЯ, 1789

Версию Райта подтвердили наблюдения величайшего английского астронома, в прошлом немецкого музыканта **Уильяма Гершеля** (1738–1822). Гершель своими руками и при помощи подручных построил несколько телескопов, в том числе крупнейший по тем временам в мире. Он не пропускал ни одной ясной ночи, наблюдая небесные светила на протяжении практически пятидесяти лет подряд. В 1781 году Гершель открыл седьмую планету Солнечной системы, которую назвали Уран. Радиус Солнечной системы сразу увеличился в глазах астрономов почти вдвое.

Одна из научных задач, которую пытался решить Гершель, — выяснить, как устроен Млечный Путь. Понять, как расположено огромное скопление звезд в пространстве, крайне сложно — подобно тому как трудно бактерии представить себе внешний облик астронома, сидя у него в желудке. Тем не менее такая задача оказалась решаемой.

Телескоп Гершеля — самый большой телескоп своего времени, крупнейший в мире рефлектор с металлическим зеркалом.



Галактика Млечный Путь — спиральная система.

Любое изображение нашей Галактики сегодня может быть выполнено лишь на основе обработки результатов наблюдений. Даже если представить, что самый первый космический аппарат в истории космических полетов землян уже более 50 лет удаляется от Земли со второй космической скоростью, имея задачу сделать такую фотографию и прислать ее на Землю, до выполнения снимка должны пройти еще долгие миллионы лет.

Гершель исходил из того, что все звезды излучают свет примерно одинаково (обладают примерно одинаковой светимостью), и если блеск звезд различен, то это связано только с различиями в расстояниях до них¹⁶. Гершель вместе со своей сестрой Каролиной стали подсчитывать количество звезд на разных площадках, на которые они разбили небо. Брат и сестра Гершель полагали, что чем больше слабых звезд в том или ином направлении они обнаружат, тем больше протяженность в этом направлении нашей звездной системы. По результатам своих длительных наблюдений Вильям Гершель построил диаграмму, которая подтверждала: множество звезд Млечного Пути расположено в пространстве в виде гигантской плоской системы.

¹⁶ Тут Гершель был неправ — сегодня мы знаем, что на самом деле светимость звезд может различаться очень сильно, в миллионы раз. Однако большинство так называемых «нормальных» среднестатистических звезд действительно не очень сильно различаются светимостью, и основные результаты Гершеля получились правильными.

Двухсотлетние наблюдения многих астрономов позволили представить структуру нашей Галактики, которую мы называем Млечный Путь, только в XX веке.

В этой книге мы не будем описывать эти наблюдения: они не меняют картину мира, о которой идет речь, а только уточняют ее. Так вот, оказалось, что Млечный Путь устроен существенно сложнее, чем просто плоский диск, как предполагал Райт и доказал Гершель. На самом деле диск нашей Галактики похож на плоскую раскручивающуюся спираль. Два **спиральных рукава** берут начало от концов центральной перемычки, которую называют **бар**, и раскручиваются в пространстве. Перемычка проходит через центральное сгущение, которое астрономы называют **балдж**. Два основных рукава дробятся: астрономы выделяют пять рукавов.

Размеры Галактики колоссальны. Диаметр ее, измеряемый по внешним контурам спиральных рукавов, составляет более ста тысяч световых лет¹⁷. Расстояние от центра Галактики до нашей Солнечной системы составляет примерно 26 тысяч световых лет. Это сложно представить себе: свет от звезд в центральных областях Галактики идет к нам 26 тысяч лет.

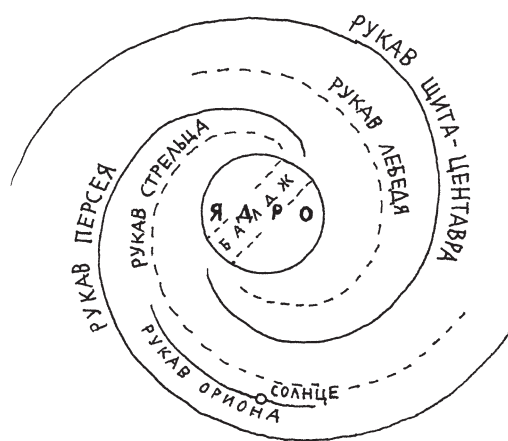


Схема Галактики.

Разное количество звезд, наблюдаемое с Земли в различных направлениях, объясняется формой Галактики. Скопление звезд подобно плоскому диску.

¹⁷ Дальше станет ясно, что размеры Галактики на самом деле еще больше — с учетом так называемой темной материи.

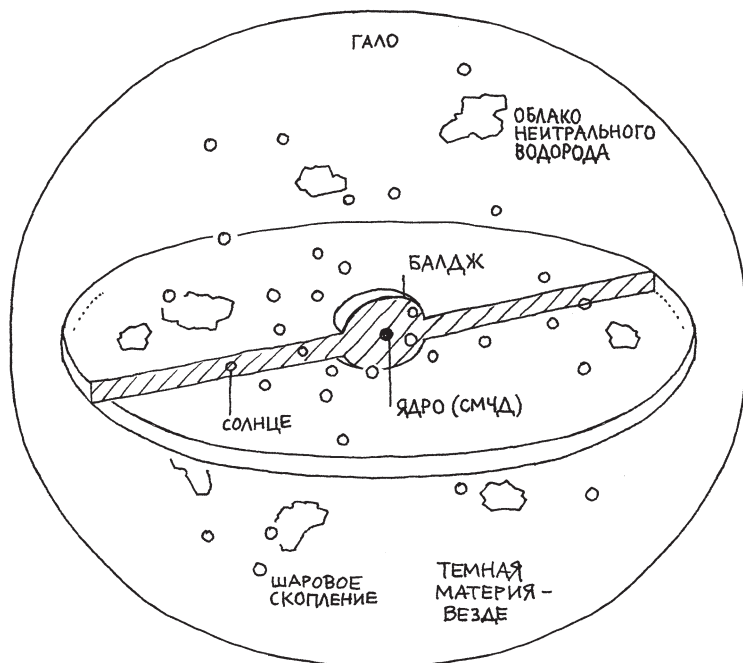


Схема нашей Галактики.

Толщина диска Галактики — примерно тысяча световых лет. Как предполагал Демокрит и доказал Галилей, Галактика состоит из громадного количества звезд. Их точное количество мы не знаем. Однако астрономы часто используют не точные числа, а **оценки**, и этого бывает достаточно. Нам не так уж важно знать с точностью до одной звезды, сколько светил в Галактике. Важнее иное: сколько их с точностью до **порядка** (количества целых знаков в числе) — сто тысяч? миллион? десять миллионов?

Современная оценка числа звезд в Галактике — 400 миллиардов. Точнее сказать сложно (многие звезды загорожены облаками пыли и газа), но мы твердо знаем, что их, по крайней мере, вдвое меньше триллиона и точно больше трехсот миллиардов. Для на-

ших общих представлений о Галактике такой точности вполне хватает.

Кроме того, известно, что в центре масс Галактики, загороженная облаками газа и пыли, находится **сверхмассивная черная дыра (СМЧД)**. Как и положено черной дыре, она не видна. Ее тяготение настолько велико, что вторая космическая скорость для такого объекта равна скорости света! Даже свет не может покинуть черную дыру (поскольку свет движется со скоростью света и не быстрее). Поэтому СМЧД проявляет себя только своим тяготением — радиотелескопы «видят» (радиоволны проходят сквозь пыль и газ), как в самом центре Галактики вокруг «пустого места» по кеплеровским эллипсам с огромными скоростями движутся несколько звезд. Применяя законы Кеплера и определив скорости движения звезд, можно рассчитать, какова масса объекта, вокруг которого они движутся. Получается около 4 миллионов масс Солнца! Такой невероятной массой может обладать только один тип компактных объектов — сверхмассивные черные дыры.

Завершая описание нашей Галактики, нужно сказать, что она окружена так называемым **гало**. Гало — это воображаемый шар, окружающий Галактику, в пределах которого не только в плоскости диска Галактики, но и в других (всевозможных) плоскостях вокруг центра Галактики движутся и отдельные звезды, и целые шаровые звездные скопления, насчитывающие примерно по 100 тысяч звезд. Шаровых скоплений в Галактике известно около ста пятидесяти.

Таков наш Млечный Путь.

Астрономы доказали, что Млечный Путь является гигантской спиральной системой, состоящей из сотен миллиардов звезд, вокруг которых вращаются планеты и другие малые тела, а также из облаков газа и пыли. Движением всех объектов Галактики управляет закон тяготения, открытый Ньютоном.

ДВИЖЕНИЕМ ВСЕХ
ОБЪЕКТОВ ГАЛАКТИКИ
УПРАВЛЯЕТ ЗАКОН
ТЯГОТЕНИЯ, ОТКРЫТЫЙ
НЬЮТОНОМ.



Сопоставление размеров
16,5-метровой деревянной
трубы телескопа Уильяма
Парсонса с ростом человека.

Но являются ли тождественными понятия «Галактика» и «Вселенная»? Существует ли что-то в мире, кроме нашей Галактики? Вмещает ли в себя наша Галактика все звезды и все туманности нашего мира?

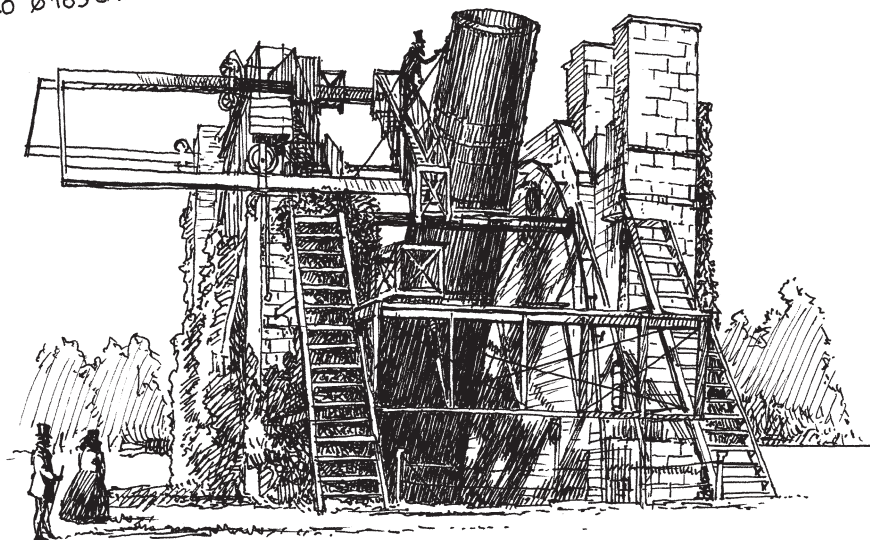
Этот вопрос возник сразу же, как только астрономы начали открывать туманности. Некоторые из них разрешались на отдельные звезды (Гершель радовался возможностям своих телескопов), но некоторые на звезды не попадались, и оставалось непонятным — либо возможностей телескопа не хватает (туманность состоит из звезд, но слишком далека, чтобы это можно было рассмотреть), либо туманность устроена как-то иначе. Но может ли далекая туманность оказаться за пределами Галактики?

Последователь Гершеля **Уильям Парсонс** (1800–1867) — аристократ, третий граф Росс, который в 21 год уже был членом британского парламента, — был страстным любителем астрономии. На собственные деньги лорд Росс в 1845 году завершил сооружение гигантского телескопа-рефлектора с зеркалом диаметром 72 дюйма (182 сантиметра!) и фокусным расстоянием 58 футов¹⁸. Телескоп описан современниками как:

«...колоссальная деревянная труба шестидесяти футов длиной и более шести футов (более 183 см) в диаметре. Собственно она так толста, что в нее может не сгибаясь войти высокий мужчина... Поистине, это

¹⁸ Дюйм — 2,54 см, фут — 30,48 см. 50 футов — более 15 метров. Согласно старой европейской традиции, диаметр объектива телескопа обычно измеряется в дюймах, а фокусное расстояние — в футах.

ТЕЛЕСКОП УИЛЬЯМА ПАРСОНСА,
ЛОРДА РОССА. 1845.
ЗЕРКАЛО Ø 183 см.



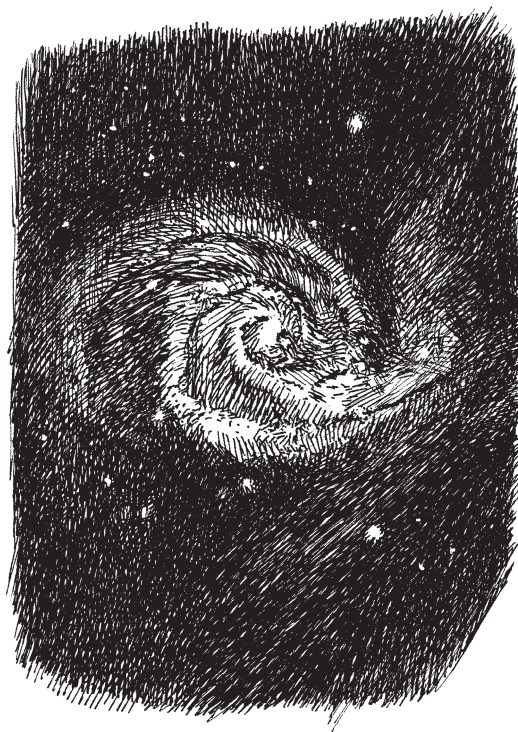
самый большой инструмент, когда-либо создававшийся для обозрения небес!»¹⁹

Друг Парсонса священник Томас Робинсон заявил на заседании Ирландской королевской академии наук: «Описывая, какой выглядит Луна с помощью этого инструмента, трудно сохранить надлежащую трезвость речи!»

Этот телескоп упоминается в данной книге потому, что именно через него лорд Росс и Робинсон разглядывали странную туманность, имевшую форму спирали. Эта туманность значилась под номером 51 в каталоге Мессье. Французский астроном **Шарль Мессье** (1730–1817) охотился за кометами, но нередко он принимал за кометы туманности. Чтобы

Телескоп, называемый «Левиафан», оставался крупнейшим в мире более 70 лет. Построен на территории родового замка Бирр, Ирландия.

¹⁹ Это яркое описание принадлежит астроному Роберту Боллу, хорошо знавшему лорда Росса.



Спиральная галактика M51.

не ошибаться, он составил свой знаменитый каталог туманных объектов, и до сих пор некоторые туманности из этого каталога упоминаются астрономами под номерами из этого труда.

Лорд Росс тщательно зарисовал туманность M51. То, что наша Галактика имеет форму спирали, уже постепенно становилось понятным. Вопрос был чрезвычайно актуален: что такое M51? Это такая же галактика, как и наш Млечный Путь, или же это нечто спиральное внутри нашей Галактики?

Дать ответ на этот вопрос было крайне сложно: было ясно, что спирали, подобные M51 (а их открывали все больше), находятся очень далеко. Но *насколько* далеко? Внутри Галактики или за ее пределами?

Метод, который использовался для определения расстояний до ближайших звезд, для далеких объектов уже не работал. Смещение Земли в течение года для удаленных объектов не меняло направление на этот объект: если смотреть с удаленного объекта, вся орбита Земли превращается в точку. Других методов определения расстояний тогда не существовало.

Но оказалось, что сама природа подбрасывает подсказки ее сообразительным исследователям.

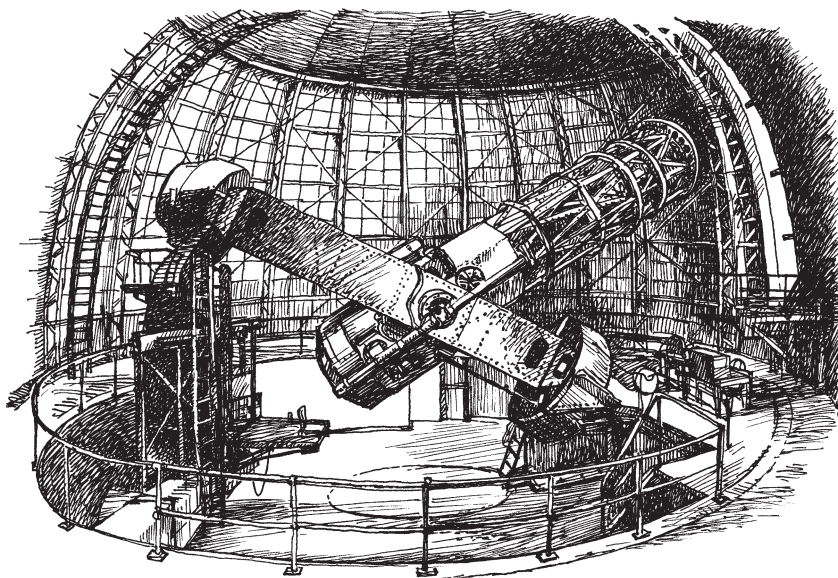
...Есть тип **переменных** (меняющих свою светимость) звезд, который получил название **цефеиды**. Нетрудно догадаться, что в названии фигурирует созвездие Цефей — именно здесь находится одна из наиболее характерных цефеид. Цефеиды периодически меняют светимость, их блеск плавно увеличивается, затем уменьшается, и все повторяется снова. Цефеиды продемонстрировали интересную закономерность: оказалось, что светимость цефеиды в максимуме (в момент, когда она излучает больше всего) зависит от периода — промежутка времени между двумя соседними минимумами. Если определить максимальные светимости нескольких цефеид и определить их периоды, на графике зависимости светимости от периода получится прямая линия. Это значит, что, зная период, можно довольно точно определить светимость в максимуме. Эту закономерность в 1908 году обнаружила американский астроном мисс **Генриетта Ливитт** (1868–1921).

Выдающийся американский астроном **Эдвин Хаббл** (1889–1953) применил эту закономерность для определения расстояния до одной из туманностей, которая называется туманность Андромеды (нетрудно догадаться, в каком созвездии она находится). С помощью нового, крупнейшего в мире телескопа обсерватории Маунт Вилсон (диаметр



Невозможность применения годовичного параллакса Земли при определении расстояний для далеких объектов.

Смещение Земли из положения 1 в положение 2 составляет 152 млн км.



Телескоп Хукера — главный телескоп обсерватории Маунт Вилсон, на котором работал Хаббл, — построен в 1917 году. Он опередил телескоп Парсонса и долго являлся крупнейшим телескопом мира. Работает он и сейчас.

зеркала телескопа составлял 2,5 метра), Хаббл рассматривал и фотографировал туманность Андромеды, которая оказалась скоплением звезд. В этом скоплении удалось выделить несколько цефеид (цефеиды — очень яркие звезды) и определить их периоды. Далее по графику мисс Ливитт было несложно получить значения истинных светимостей цефеид. А затем оставалось сравнить истинный блеск цефеиды с наблюдаемым блеском.

Если вы точно знаете, что номинал наблюдаемой лампочки 100 ватт, можно определить расстояние до нее, измерив, сколько света от нее к вам приходит. Тут достаточно знать, что освещенность, создаваемая источником света, уменьшается обратно пропорционально квадрату расстояния до него.

«Номинал» цефеиды в туманности Андромеды был известен по графику мисс Ливитт — период колебаний яркости Хаббл определил из наблюдений,

и оставалось только «войти в график». Несложные расчеты позволили рассчитать, на каком расстоянии должна находиться цефеида в туманности Андромеды, чтобы ее яркость оказалась такой, какую мы наблюдаем.

Ответ был ошеломляющим. Расстояние до цефеиды в туманности Андромеды (а значит, и до самой туманности) существенно превышало размеры Галактики! Значит, скопление звезд под названием туманность Андромеды находится далеко за пределами Галактики. Значит, это другая галактика — возможно, похожая на нашу... Расстояние до галактики М31 (так в каталоге Мессье обозначена туманность Андромеды) равно примерно 2,5 миллиона световых лет (напомним, что диаметр Галактики составляет примерно 100 тысяч световых лет — в 25 раз меньше).

Так были открыты другие галактики.

Образ хотя и бесконечной, но стационарной (не меняющейся со временем) Вселенной, наполненной многочисленными галактиками, стал наиболее распространенным в среде образованных людей к началу XX века. Но этот образ оказался только отчасти правильным.

Но об этом — позже.

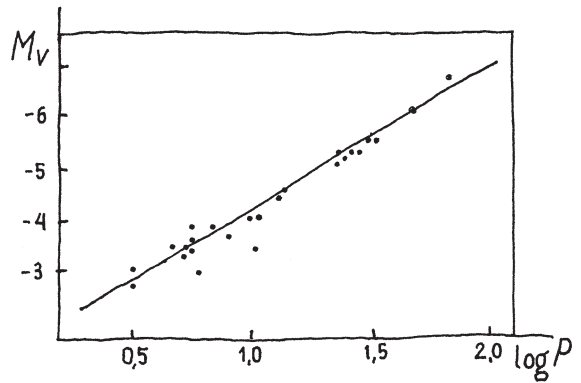


График зависимости яркости цефеид от периода.

РАССТОЯНИЕ
ДО ГАЛАКТИКИ М31

СОЛНЕЧНАЯ СИСТЕМА, ЗЕМЛЯ



Расстояние до ближайшей к нам галактики М31 в сравнении с размерами нашей Галактики.

7. Вселенная, управляемая физикой

*Сергей Валлаго,
«Законы природы»*

Бог Ньютону сказал откровенно:
«Мне рулить надоело Вселенной!
Сконструируй, Ньютон,
Тяготенья закон —
Пусть он сам управляет Вселенной!»

Критическое мышление и основанный на нем научный метод позволяют добиться поразительных успехов. Еще раз повторим важный тезис: на протяжении десятков тысяч лет, пока не было науки, человек не мог ничего достоверно узнать об устройстве мира.

Замечательный пример применения научного метода — зарождение **астрофизики**.

Как узнать об устройстве Солнца, звезд и планет? Как получить информацию о том, из чего состоят небесные тела? Как определить их температуру, скорость движения (на больших расстояниях даже быстро движущиеся тела кажутся неподвижными)?

Казалось, узнать это невозможно. В просвещенном XIX веке, в 1835 году французский философ **Огюст Конт** писал:

«Мы представляем себе возможность определения их (небесных тел. — *Авт.*) форм, расстояний, размеров и движений, но никогда, никакими средствами мы не сможем изучить их химический состав, их минералогическое строение, природу органических существ, живущих на их поверхности... Я остаюсь при своем мнении, что любое знание истин-

ных средних температур звезд неизбежно должно быть навсегда скрыто от нас».

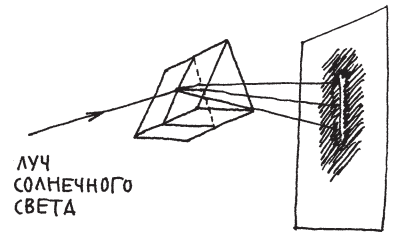
Слова вроде «навсегда» и «никогда» надо использовать аккуратно. Потенциал науки, вооруженной критическим мышлением, оказался громадным — она смогла решить эту задачу! При этом — не летая к далеким звездам.

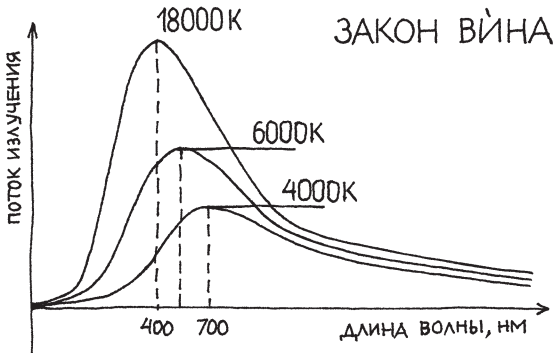
Что попадает к нам на Землю от далеких звезд? Только свет. Начиная с середины XIX века физики выяснили, что свет несет в себе информацию о многих физических свойствах источника света, то есть звездах.

Еще опыты Ньютона показали, что в свете ближайшей к нам звезды — Солнца — присутствует свет с разной длиной волны. Там есть и световые волны, которые наш глаз воспринимает как красный цвет, и волны, которые мы получаем в виде желтого цвета, и так далее. Природа сама научилась разлагать свет в **спектр** — разноцветную полоску, в которой лучи света с разной длиной волны расходятся в разные стороны. В природе капельки воды в атмосфере могут работать как **спектральный прибор** — лучи солнечного света, проходя сквозь них, расходятся в разные стороны в зависимости от длины волны, и тогда мы видим радуго.

Ньютон соорудил первый искусственный спектральный прибор — спектроскоп. В дальнейшем физики научились строить более совершенные аппараты. Анализ спектров солнечного света позволил определять многое.

Например, удалось определить температуру излучающей свет поверхности Солнца, причем даже несколькими способами. Если с помощью





Закон Вина. Точка максимума на графике смещается влево с повышением температуры.

спектрального прибора разложить солнечный свет в спектр, а затем измерить, сколько энергии приносят от Солнца отдельно красные лучи, отдельно зеленые, отдельно фиолетовые — получится график, напоминающий холм с более крутым левым склоном и более пологим правым.

Оказалось (физики смогли построить соответствующую теорию), что температуру поверхности Солнца можно определить, зная, где находится «вершина холма» на графике (какой длине волны приходящего света соответствует максимум излучения). Простая формула позволяет рассчитать температуру: она тем больше, чем меньше длина волны максимума этой кривой на графике. Эта закономерность носит название закона смещения Вина (по имени открывателя — лауреата Нобелевской премии по физике, немецкого физика **Вильгельма Вина** (1864–1928)). Закон можно сформулировать так:

Длина волны максимума излучения $\lambda_{\text{макс}}$ обратно пропорциональна температуре источника излучения T (в нашем случае поверхности Солнца).

$$\lambda_{\text{макс}} = \text{const} / T$$

Почему закон называется законом смещения? Потому что максимум смещается на графике влево или вправо — в зависимости от температуры.

Представим себе, что максимум излучения звезды приходится на синие или фиолетовые лучи (длина волны равна 400 нанометрам). Это значит, что звезда очень сильно нагрета — температура ее поверхности равна 15–20 тысячам градусов!

Если максимум соответствует длине волны 500 нанометров (это зеленый цвет), температура равна примерно 6 тысячам градусов. К таким звездам, например, относится наше Солнце. В потоке света от Солнца больше всего зеленого и красного цветов, их смешение нашим глазом воспринимается как желтый. Поэтому Солнце и кажется желтоватым, хотя в потоке света от Солнца, конечно, есть и красные, и фиолетовые лучи. Нетрудно догадаться, что, согласно закону Вина, по цвету можно сразу определить температуру звезды: температура голубых звезд гораздо выше, чем у Солнца (15–20 тысяч градусов), зато температура красных звезд — меньше (3 тысячи градусов).

Самое замечательное, что расстояние до звезды не влияет на возможности определения ее температуры. Опытные астрономы могут грубо оценить температуру яркой звезды просто на глаз — исходя из ее цвета. Если света звезды хватает, чтобы разложить его в спектр и построить распределение энергии излучения по длинам волн, то максимум получившейся кривой на графике точно укажет на температуру этой звезды.

Теперь нужно остановиться и обсудить вопрос, который часто возникает у людей, далеких от физики. Автор хорошо себе представляет, как этот вопрос задала бы девочка, про которую рассказано в предисловии. «Вы, астрофизики, построили теорию, — говорят такие люди. — Но почему вы решили, что эта теория верна? Вы проводите какие-то непонятные измерения, потом применяете какие-то вычисления по каким-то вашим формулам и затем утверждаете, что нашли температуру далекой звезды. Но кто вам сказал, что вы на-

ОПЫТНЫЕ АСТРОНОМЫ
МОГУТ ГРУБО ОЦЕНИТЬ
ТЕМПЕРАТУРУ ЯРКОЙ
ЗВЕЗДЫ ПРОСТО НА
ГЛАЗ — ИСХОДЯ
ИЗ ЕЕ ЦВЕТА.

ЕСЛИ ЗАКОН
ПРИРОДЫ
НАРУШАЕТСЯ,
ЗНАЧИТ,
ЧТО-ТО
НЕ УЧТЕНО



шли ее правильно? Как вы можете доказать, что ваш ответ верен?»

Дело в том, что законы природы действуют однозначно. У закона всемирного тяготения нет исключений. Рассчитывая эффекты, порождаемые им, включая траектории небесных тел, форму небесных тел (закон тяготения отвечает и за явление приливов), мы убеждаемся тысячи и миллионы раз, что все получается в полном согласии с расчетами. Спутники, космические корабли, ядра комет, астероиды движутся в полном соответствии с законом тяготения. Если мы видим, что закон (как нам кажется) нарушается — это значит, что воздействие каких-то тел в рамках этого же закона мы учитываем не полностью.

Так было, когда открытый Вильямом Гершелем Уран, судя по наблюдениям, двигался не совсем так, как можно было ожидать, исходя из закона тяготения. Появилась версия: закон верный, но мы не все учитываем! А что, если за Ураном вокруг Солнца движется еще одна планета, которая, в полном соответствии с законом тяготения, тоже притягивает к себе Уран и его орбита от этого «возмущается»? И тогда возникла задача: анализируя возмущения орбиты Урана, рассчитать, где должна находиться восьмая планета Солнечной системы. Французский астроном **Урбен Леверье** (1811–1877) выполнил необходимые расчеты и указал, куда надлежит навести телескоп. Немецкий астроном **Иоганн Галле**²⁰

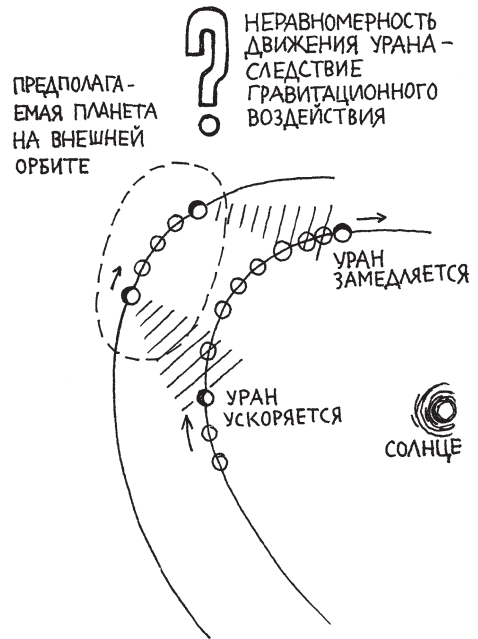
²⁰ Не путать с Эдмундом Галлеем и тем более с Галилео Галилеем! Это совсем разные люди.

(1812–1910) навел туда телескоп и обнаружил ранее не известную планету, названную Нептуном.

Открытие Нептуна считается триумфом закона всемирного тяготения. Об этом открытии говорят, что оно было сделано «на кончике пера»: сначала координаты неизвестной планеты на небе были вычислены и записаны, а затем расчеты были подтверждены на практике наблюдениями.

Поразительно, но до сих пор появляются люди, которым почему-то не нравится закон тяготения, и они хотят предложить взамен что-то свое. Эти попытки обречены на провал: мы пользуемся законом ежесекундно, он проверен бесчисленное число раз и прекрасно действует. Нет сомнений, что теми же формулами можно будет пользоваться и через тысячу лет.

Вернемся к закону Вина. Он основан на других, также проверенных тысячами раз закономерностях, которые были использованы при его выводе. Но главное, что он проверен в экспериментах. Да, мы не можем непосредственно измерить температуру поверхности Солнца. Но мы можем сделать это во время эксперимента в лаборатории, определяя, как меняется форма графика распределения энергии излучения по длинам волн с изменением температуры источника излучения! Так вот, эксперименты в лаборатории показали: закон работает, форма кривой на графике соответствует



Гипотеза Урбена Леверье и выполненные им расчеты позволили открыть неизвестную планету за орбитой Урана.

СПЕКТРАЛЬНЫЙ
АНАЛИЗ ПОЗВОЛЯЕТ
ОПРЕДЕЛЯТЬ НЕ
ТОЛЬКО ТЕМПЕРАТУРУ
УДАЛЕННЫХ
ИСТОЧНИКОВ СВЕТА.
СПЕКТРЫ НЕСУТ В СЕБЕ
И ИНФОРМАЦИЮ
О ХИМИЧЕСКОМ
СОСТАВЕ ИСТОЧНИКА
ИЗЛУЧЕНИЯ.

результатам вычислений по формулам, расчеты температуры соответствуют измерениям. Это позволяет считать, что формула правильна.

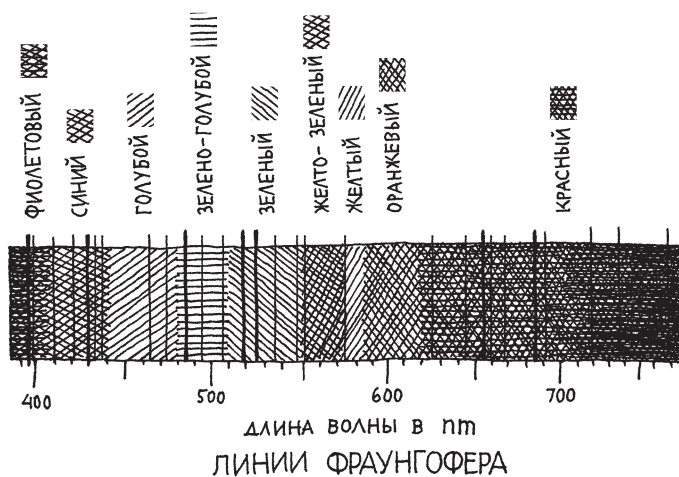
Логика и математика в физике работают однозначно. Это означает, что если формулы правильны, то *иначе быть не может*. А формулы (как сказано выше) проверены, в том числе и в других экспериментах, и поэтому могут считаться доказанными. Кроме того, выше уже указывалось, что существуют и другие способы определять дистанционно температуру Солнца (или других звезд). Эти другие способы дают такой же результат: температура поверхности Солнца близка к 6 тысячам градусов. Результаты разных методов сходятся.

Решая школьную задачу, например, на сколько градусов нагреется вода, если поместить туда горячий кусок известного нам металла известной массы, не требуется каждый раз проверять решение задачи экспериментально. Используемые формулы столько раз проверялись на практике, что нет сомнений в их правильности. Сегодня так получается и в астрофизике. Отработанные за полтора столетия методы дают верные совпадающие результаты.

Кроме того, неправильная теория рано или поздно даст неверные предсказания, не в этом, так в другом случае. Одни и те же формулы используются в разных случаях, и если бы там была ошибка, обязательно проявился бы неверный ответ. Если же прогнозы, основанные на расчетах, всегда совпадают с теорией, — нет оснований не доверять теории.

Спектральный анализ позволяет определять не только температуру удаленных источников света. Спектры несут в себе и информацию о химическом составе источника излучения.

Сегодня мы знаем, что атомы вещества имеют свойства *поглощать свет* — каждый тип атомов на своей, вполне определенной, длине волны. Если взять спектр



Солнца (или любой другой звезды), можно увидеть, что он пересечен множеством темных линий. Они называются линиями Фраунгофера — имя замечательного немецкого оптика уже упоминалось в этой книге.

Поскольку спектр — это разложение света по длинам волн, каждой длине волны соответствует свой участок спектра (своего цвета). И если, например, во внешних слоях звезды присутствует много атомов водорода, а атомы водорода имеют свойство поглощать свет на вполне определенной длине волны, понятно, что в спектре на этой длине волны будет меньше света. Часть света на этой длине волны оказалась поглощенной атомами водорода. Значит, опытный спектроскопист, анализируя спектр, увидит на этом месте недостаток света в спектре — темную линию Фраунгофера на длине волны, соответствующей поглощению света водородом, и скажет: «Ага! На этой звезде есть водород». Темные линии (их еще называют линиями поглощения) Фраунгофера похожи на отпечатки пальцев разных хи-

Благодаря анализу линий Фраунгофера мы можем определить химический состав Солнца и любой другой звезды!

мических элементов. Если на спектре звезды видны линии, порожденные атомами железа, кислорода, кальция и так далее — это означает, что есть такие атомы в раскаленной оболочке звезды.

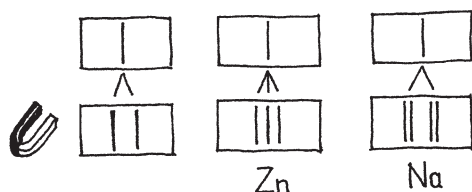
Более того. Нетрудно догадаться, что если атомов того или иного элемента там много, то и линия поглощения, принадлежащая этому элементу, будет более «мощной» (атомы «съедают» больше света на этой длине волны).

Теория линий поглощения физиками сейчас разработана детально. Анализируя спектральные линии, можно получить немало «защитой» в спектре информации об источнике излучения. Дело это непростое (теория звездных спектров, технология их обработки и анализа достаточно сложны), но оно стоит усилий: благодаря анализу линий Фраунгофера мы можем определить химический состав Солнца и любой другой звезды! При этом расстояние до звезды не играет роли.

Итак, благодаря спектральному анализу человечество узнало то, о чем писал в 1835 году Огюст Конт, утверждая, что мы этого не узнаем никогда. Замечательно, что к тому времени Фраунгофер уже двадцать лет как открыл линии поглощения в спектрах. Но люди еще не знали, что это «метки», которые оставили атомы разных элементов в спектре Солнца.

В 1859–1862 годах теория спектрального анализа и методика определения химического состава далеких источников света была подробно разработана. Огромный вклад в эти исследования внесли немецкий физик **Густав Кирхгоф** (1824–877) и немецкий химик **Роберт Бунзен** (1811–1899). Наверно, не стоит пояснять, что спектральный анализ прошел испытание на лабораторных источниках и уже затем был перенесен «на небо».

Оказалось, что на вид спектральных линий влияют условия, которые царят там, где был испущен свет.



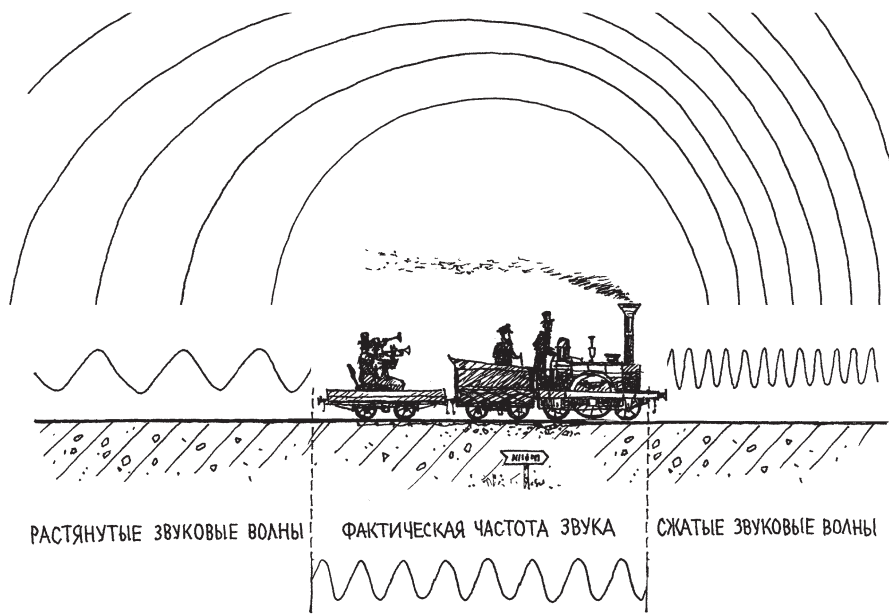
ЭФФЕКТ ЗЕЕМАНА

Эксперименты показали, что некоторые линии поглощения могут расщепляться (раздваиваться и даже растраваться) под воздействием магнитного поля — если оно есть там, откуда пришел свет. Это явление получило название **эффект Зеемана** (его открыл голландский физик **Питер Зееман** (1865–1943), один из первых в истории удостоенный Нобелевской премии по физике). Обнаружение эффекта Зеемана в спектрах пятен на Солнце позволило открыть солнечные магнитные поля.

Для дальнейшего повествования чрезвычайно важен еще один эффект, применяемый в арсенале спектрального анализа. Речь идет об эффекте Доплера, открытом в 1842 году и, на первый взгляд, не имевшем никакого отношения к астрономии. Работавший в Праге австрийский физик и профессор математики **Христиан Доплер** (1803–1853) провел интересное исследование. Если поезд проходит мимо станции, тон его свистка (гудка) будет казаться выше наблюдателю на перроне, пока поезд приближается, и ниже, когда локомотив, пройдя мимо наблюдателя, начнет от него удаляться. Те, кто пользуется железной дорогой, безусловно, замечали, как резко меняется тон свистка встречного поезда, когда приближающийся локомотив превращается в удаляющийся.

Утверждается, что для проверки эффекта Доплера в 1845 году впечатляющий эксперимент.

Расщепление линий Фраунгофера в магнитном поле. На нижних рисунках показаны различные проявления эффекта для линий поглощения в магнитном поле.



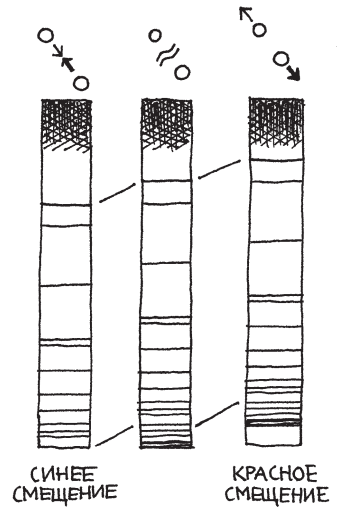
В 1845 году Кристиан Бейс-Баллот экспериментально проверил теорию Доплера. Наняв паровоз с грузовым прицепом и разместив на прицепе двух трубачей, он устроил «концерт на рельсах» — поставил им задачу попеременно играть ноту соль, чтобы звук не прерывался. На платформе между Амстердамом и Утрехтом Бейс-Баллот поместил группу наблюдателей с отличным музыкальным слухом.

На перроне стояли люди с музыкальным слухом, а паровоз провозил мимо них платформу, на которой играл духовой оркестр. Тон звука изменялся — он зависел от того, приближается или удаляется источник звука. Эксперты подтвердили, что так оно и есть.

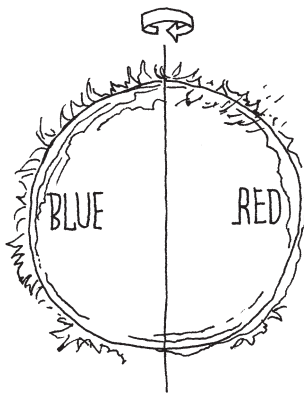
Но какое отношение все это имеет к астрономии? Французский физик **Арман Физо** (1819–1896) доказал, что эффект Доплера должен проявляться не только в звуковых, но в любых волнах! Если свет — это электромагнитные волны (а в XIX веке это уже стало ясно), то длина волны должна *меняться* в зависимости от того, к нам или от нас движется источник света. Если сравнить спектр неподвижного лабораторного источника света и спектр источника, движущегося от нас, мы обнаружим, что все линии Фраунгофера сместятся в сторону более длинных волн (к красно-

му концу спектра). Это смещение будет называться **красным**. Более того, по простой формуле можно определить, с какой скоростью от нас удаляется источник света.

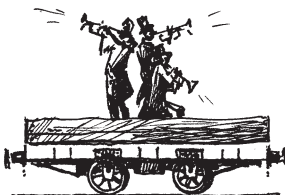
Точные измерения показали, что, например, линии в спектре, полученном от восточного края солнечного диска, смещены в «синюю» сторону, а линии от западного края — в «красную» сторону. Это означает, что Солнце вращается вокруг своей оси: вещество на восточном крае к нам приближается, спектр демонстрирует **синее смещение**, а вещество на западном крае от нас удаляется (здесь наблюдается **красное смещение**). Так была независимым способом определена скорость вращения Солнца, и результат прекрасно совпал с данными, полученными по измерениям смещения трассеров на Солнце — например, солнечных пятен.



Красное смещение — сдвиг спектральных линий химических элементов в длинноволновую сторону (красный цвет спектра)
Синее смещение — сдвиг спектральных линий в коротковолновую сторону (синий цвет спектра).



НА СОЛНЦЕ —
ТА ЖЕ
МУЗЫКА



СОВРЕМЕННЫЕ
НАБЛЮДЕНИЯ НА
МОЩНЫХ ТЕЛЕСКОПАХ
ПОЗВОЛЯЮТ ОПРЕДЕЛЯТЬ
РАЗМЕРЫ, МАССУ,
ПЛОТНОСТЬ, НАЛИЧИЕ
ИЛИ ОТСУТСТВИЕ
АТМОСФЕРЫ, ОЦЕНИВАТЬ
ТЕМПЕРАТУРУ ПЛАНЕТ,
ВРАЩАЮЩИХСЯ ВОКРУГ
ДАЛЕКИХ ЗВЕЗД,
ДАЖЕ В ТОМ СЛУЧАЕ,
ЕСЛИ ЭТИ ПЛАНЕТЫ
НЕ ВИДНЫ В ТЕЛЕСКОП
КАК ОТДЕЛЬНЫЕ
ОБЪЕКТЫ!

Итак, эффект Доплера позволяет определять скорость источника света вдоль луча зрения — к нам или от нас. Чем совершеннее спектрограф, которым оснащен телескоп, тем точнее можно измерить относительный сдвиг линий поглощения в спектре и вычислить скорость удаления или приближения источника света.

Таким образом в середине XIX века были заложены основы нового мощного метода изучения далеких небесных светил — спектрального анализа. Повторим еще раз: разлагая в спектр свет далекой звезды, можно получить информацию о химическом составе звезды, скорости, с которой к нам или от нас движется звезда, температуре поверхности звезды и магнитном поле, которое на ней существует.

Измеряя изменение скорости во времени, можно определить период обращения одной звезды вокруг другой²¹ (если это двойная система), а по периоду и характеру изменения скорости судить об орбите звезды, ее вытянутости и отношении масс двух звезд, входящих в систему (для этого применяются законы Кеплера). Это еще далеко не полный список тех свойств далекого объекта, который можно получить, анализируя приходящий с огромных расстояний свет. Современные наблюдения на мощных телескопах, оснащенных точной совершенной аппаратурой, позволяют определять размеры, массу, плотность, наличие или отсутствие атмосферы, оценивать температуру планет, вращающихся вокруг далеких звезд, даже в том случае, если эти планеты вообще не видны в телескоп как отдельные объекты! Воистину, критическое мышление, вооруженное современными технологиями, а также большой объем накопленных знаний позволяют добиваться удивительных результатов.

²¹ Точнее, вокруг общего центра масс.

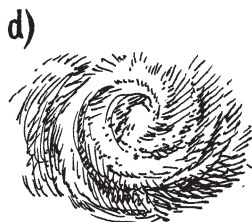
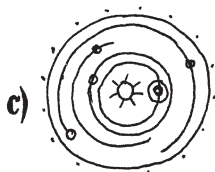
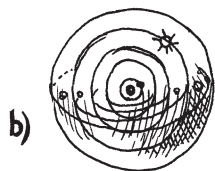
Все эти методы, основа которых была заложена в XIX веке, быстро совершенствовались. Улучшались и инструменты (телескопы, оснащенные спектральными приборами). Астрономия стремительно развивалась, и поток достоверной информации о небесных телах увеличивался. В начале XX века люди уже очень много знали о мире, в котором мы живем.

Итак, Вселенная в понимании образованных людей начала XX века представляла собой бесконечный объем, заполненный гигантскими звездными скоплениями — галактиками. Сегодняшние возможности астрономии позволяют оценить число наблюдаемых галактик умопомрачительным числом в два триллиона. В каждой галактике — сотни миллиардов звезд, а около звезд, вероятно, существуют целые системы из планет, комет и астероидов. В межзвездном пространстве существуют гигантские разреженные облака из газа, пыли, а также из смеси газа с пылью. Так всегда было и так всегда будет — такие положения лежали в основе новой картины мира. Вся Вселенная управляется физическими законами, главным среди которых является закон тяготения. Он определяет траектории всех небесных тел, форму массивных небесных тел, порождает приливные явления. Во всей Вселенной равномерно течет одинаковое время.

Такая картина, установившаяся в головах образованных людей в начале XX века, была понятна, ее несложно было осознать и принять. Конечно, место планеты Земля и человека изменилось. Мы начали рассмотрение развития картины мира в умах людей с тех давних времен, когда Земля считалась плоской и накрытой твердым куполом. Земля полагалась сооруженной Создателем специально для человека. Затем она стала считаться неподвиж-

СЕГОДНЯШНИЕ
ВОЗМОЖНОСТИ
АСТРОНОМИИ ПОЗВОЛЯЮТ
ОЦЕНИТЬ ЧИСЛО
НАБЛЮДАЕМЫХ ГАЛАКТИК
УМОПОМРАЧИТЕЛЬНЫМ
ЧИСЛОМ В ДВА ТРИЛЛИОНА.

ЭВОЛЮЦИЯ
КАРТИНЫ
МИРА



ным шаром в центре Вселенной, окруженным твердыми прозрачными сферами, где были закреплены планеты, Солнце и Луна. В ходе коперниканской революции Солнце и Земля поменялись местами, и земной шар навсегда ушел из центра мира.

Закон всемирного тяготения и следствия из него (законы Кеплера) сделали невозможными твердые сферы и объяснили, почему и как движутся небесные тела. Джордано Бруно объявил о бесконечности Вселенной. Телескопы позволили обнаружить туманности и помогли разобраться с устройством Млечного Пути, а в начале XX века было доказано, что бесконечная (скорее всего) Вселенная заполнена не звездами, а гигантскими скоплениями звезд — галактиками. Наша Галактика, в которой Солнце с его планетной системой находится далеко не в центре, является одной из многочисленных галактик, ничем особо не отличающейся... За две тысячи лет Земля от статуса Вселенной либо, в худшем случае, центра Вселенной стала микроскопической планетой в обычной планетной системе возле ничем не примечательной звезды в одной из множества галактик. Путь человека от вершины и цели творения до представителя биосферы на одной из множества планет также был пройден в сознании. Религиозные люди полагали, что мир оказался таким в соответствии с планом Создателя, люди нерелигиозные считали, что Вселенная стала такой в соответствии с законами природы.

Картина мира в головах людей изменилась самым существенным образом (спасибо критическому мышлению). Теперь она строилась на проверенных результатах наблюдений и достижениях науки. Казалось, что, наконец, человечество приблизилось к истине, мир стал понятен, и оставалось только уточнять подробности и дорисовывать несущественные детали в картине мира — написанной (великими учеными) хотя бы и крупными пока мазками.

Но все оказалось гораздо сложнее, и комфортная, понятная стационарная картина мира оказалась неверной!

КОМФОРТНАЯ,
ПОНЯТНАЯ
СТАЦИОНАРНАЯ
КАРТИНА МИРА
ОКАЗАЛАСЬ НЕВЕРНОЙ!

ЧАСТЬ ВТОРАЯ

8. Вселенная относительная

*Самуил Маршак,
«По теории
относительности»*

Сегодня в полдень пущена ракета.
Она летит куда скорее света
И долетит до цели в семь утра
Вчера...

Иногда возникают вопросы: почему научное открытие было сделано именно тогда, когда оно сделано? Можно ли было сделать его на сто лет раньше?

Однозначных ответов на эти вопросы нет. Но похоже, что сделать открытие раньше определенного времени нельзя.

Дело в том, что каждое открытие требует определенного уровня знаний и определенного духа времени. Спектральный анализ было невозможно разработать раньше XIX века. Таблицу Менделеева невозможно было выстроить в Средние века. Если Джордано Бруно и говорил о бесконечной Вселенной, его идея не стала общепризнанной — дух времени был еще не готов к восприятию такого устройства Вселенной. По той же причине гениальные догадки Аристарха о гелиоцентричности мира не были восприняты его современниками.

Определение расстояний до звезд, открытие других галактик не могли случиться без определенного уровня технологий. Человечество должно было сна-

чала научиться изготавливать очень точные астрономические измерительные приборы, способные определять координаты небесных тел и измерять очень маленькие углы. Для таких открытий нужны телескопы с большим диаметром оптики, высокой точностью обработки поверхности вогнутых зеркал, а значит, сначала надо было создать технологии варки качественных оптических стекол, научиться сооружать сложные спектральные приборы. Требовалось использование множества специальных материалов, сплавов и так далее. Все это требует множество других знаний, умений, навыков, которые порой очень далеки от астрономии.

Другими словами, требовалось, чтобы наука, развиваясь широким фронтом, поддерживала и математику, и физику, и металлургию, и многое другое. Только тогда наука может ставить научные задачи, соответствующие уровню научно-технического развития человечества. Поэтому ответ на первый вопрос в начале главы таков: все происходит не случайно. Каждое открытие соответствует *своему* уровню развития цивилизации.

КАК? ЗАКОН
ВСЕМИРНОГО ТЯГОТЕНИЯ?
ХОРОШО. СЕЙЧАС ОТКРОЮ



ВСЕЛЕННАЯ ВСЕГДА
СУЩЕСТВОВАЛА
И ВСЕГДА БУДЕТ
СУЩЕСТВОВАТЬ,
И ОНА В СРЕДНЕМ
НЕ МЕНЯЕТСЯ;
И В ДАЛЕКОМ ПРОШЛОМ,
И В ДАЛЕКОМ БУДУЩЕМ
МЫ УВИДЕЛИ БЫ
ВСЕЛЕННУЮ ТАКОЙ ЖЕ,
КАК СЕЙЧАС.

Ньютон не смог бы открыть закон тяготения в первом веке. Гершель не смог бы строить телескопы, окажись он в Древнем Египте. Конечно, во все времена существовали гениальные люди уровня Ньютона и Гершеля. Но четыре тысячи лет назад они, скорее всего, оставались неграмотными, возможно, даже были рабами и реализовать свой потенциал не смогли — во всяком случае, мы об этом ничего не знаем.

Итак, какое представление о Вселенной сформировалось у образованной части человечества в начале XX века?

Еще раз повторим то, о чем сказано в предыдущей главе. Вселенная, скорее всего, бесконечна в пространстве и во времени. В бескрайнем пустом объеме Вселенной на огромных расстояниях друг от друга разбросаны гигантские скопления вещества — галактики. Они содержат сотни миллиардов звезд, некоторые из них (вероятно) обладают планетными системами. Помимо звезд, в галактиках присутствуют облака из газа и пыли (туманности). Вселенная всегда существовала и всегда будет существовать, и она в среднем не меняется: и в далеком прошлом, и в далеком будущем мы увидели бы Вселенную такой же, как сейчас. Она управляется законом тяготения. Люди религиозные полагали, что такую Вселенную целенаправленно создал Творец, атеисты считали, что во Вселенной действуют бессознательные силы природы.

Интересно, что еще буквально веком раньше образованные люди уже получали от природы сигналы о том, что в такой картине мира что-то *не так*. Более того, логический анализ этих сигналов должен был привести к выводу, что описанная Вселенная просто *не может существовать*.

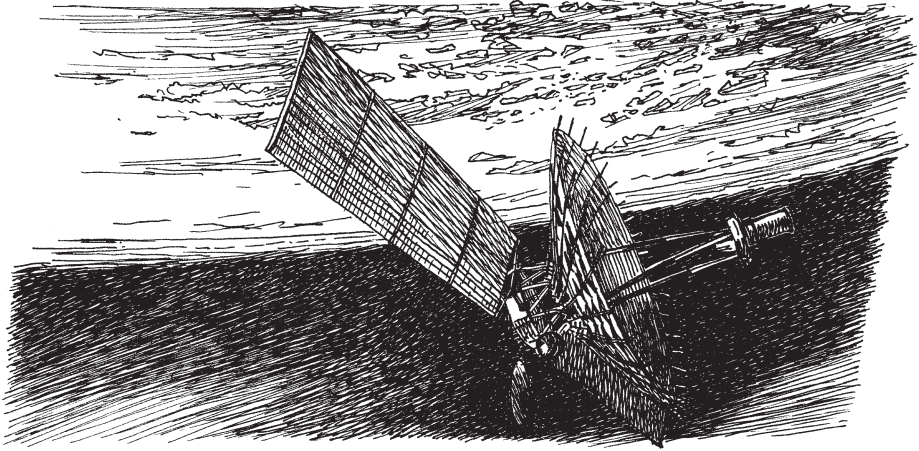
Первый грозный сигнал получил название **гравитационный парадокс**. На качественном уровне (без формул) идея сводится к следующему.

Почему, несмотря на влияние тяготения, среднее расстояние между звездами остается неизменным? Потому что (как считалось) одинаковое притяжение бесконечного числа звезд с одной стороны должно компенсироваться притяжением бесконечного числа звезд с противоположной стороны. Но тщательное рассмотрение картины показало, что это рассуждение неверно. Тяготение работает только в одну сторону — массы всех физических тел притягиваются друг к другу. Отталкивающие же силы были в те времена неизвестны²². Это значит, что со временем расстояние между массивными телами (например, звездами, поскольку галактики еще не были открыты) *должно уменьшаться*. А чем ближе друг к другу оказываются гравитирующие тела, тем сильнее взаимное притяжение и тем сильнее должен «разгоняться» процесс сближения. Если позади у нас бесконечное количество лет, все звезды (или все галактики) давно должны были притянуться друг к другу и слиться в один сверхплотный ком вещества (вероятно, очень горячего). Ничего подобного мы не наблюдаем — галактики разбросаны на огромных расстояниях друг от друга и не демонстрируют никакого стремления сближаться.

Изучение скоростей звезд показало, что звезды движутся под воздействием поля тяготения всей Галактики, причем достаточно быстро. Они не падают на центр масс Галактики (на сверхмассивную черную дыру, которая там обитает), потому что обладают достаточными скоростями. Собственно, поэтому же Земля не падает на Солнце, Луна не падает на Землю и так да-

ЗВЕЗДЫ ДВИЖУТСЯ
ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ
ПОЛЯ ТЯГОТЕНИЯ ВСЕЙ
ГАЛАКТИКИ, ПРИЧЕМ
ДОСТАТОЧНО БЫСТРО.

²² Строго говоря, известна сила электростатического отталкивания: одноименно заряженные тела отталкиваются. Но в космосе нет электрически заряженных тел и их систем: звезды, планеты, галактики электрически нейтральны, и значит, на их движение никак не действуют крупномасштабные кулоновские силы (они равны нулю).

КОСМИЧЕСКИЙ РАДИОТЕЛЕСКОП
«РАДИОАСТРОН», РОССИЯ. 2011

Крупнейший в мире орбитальный радиотелескоп на космическом аппарате «Спектр-Р» обеспечил уникальное разрешение, став частью проекта, основанного на методе радиоинтерферометрии со сверхдлинной базой.

лее — все тела движутся достаточно быстро (их скорости превышают первую космическую по отношению к тому телу, вокруг которого они обращаются). Все, что двигалось с меньшей скоростью, упало на центр Галактики²³, на Солнце, на Землю и так далее. Все, что двигалось со скоростью больше второй космической, давно улетело прочь. А все, что обладало скоростью в пределах между первой и второй космическими скоростями, и сейчас движется по эллипсам вокруг доминирующей массы.

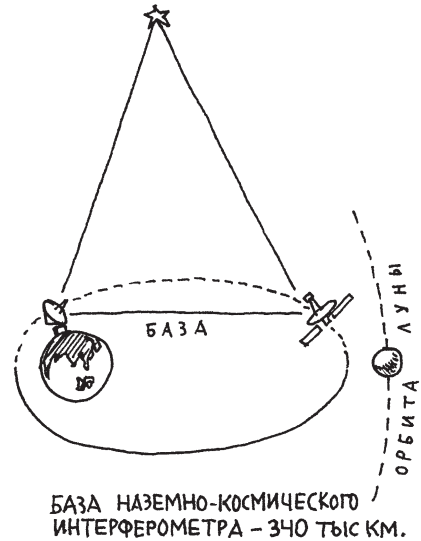
Так обстоит дело со звездами в Галактике. Но соседние галактики, в отличие от звезд, в подавляющем большинстве случаев *не обладают* достаточными скоростями, чтобы удержаться от слияния (падения друг на друга под влиянием взаимного притяжения). Так, например, наша Галактика

²³ Возможно, именно поэтому там и сформировалась сверхмассивная черная дыра.

Млечный Путь и ближайшая к нам соседка — галактика М31, движутся навстречу друг другу и через миллиарды лет сольются, сформировав единую огромную супергалактику. Возникает вопрос: почему это *уже* не произошло, если позади у нас бесконечное количество лет? За бесконечное число лет успеет произойти *любой*, даже самый медленный процесс. В конце XIX века строгое математическое обоснование парадокса опубликовали **Карл Нейман** (1832–1925) и **Гуго фон Зелигер** (1849–1924). Для того чтобы все массивные тела в бесконечной Вселенной не слились в единый ком вещества, потребовалось бы очень специфическое распределение масс в пространстве, какого мы не наблюдаем.

Парадокс Зелигера, или Зеелигера (старое написание), как его часто называют, указывал на то, что мы чего-то не понимаем и картина мира вечной и бесконечной стационарной Вселенной содержит какой-то изъян. Либо Вселенная не вечна (у нее когда-то было начало, и поэтому гравитирующие массы еще не успели сблизиться и слиться), либо Вселенная не бесконечна, либо мы еще что-то не учитываем...

Существовало также и еще одно рассуждение, получившее название **фотометрический парадокс**, или парадокс Ольберса (в честь немецкого астронома **Генриха Ольберса** (1758–1840)). Речь шла о следующем.



ПАРАДОКС! ИЛИ ЗАПАС КОФЕ НЕ БЕСКОНЕЧЕН, ИЛИ МЫ ЧЕГО-ТО НЕ УЧИТЫВАЕМ.



ГОРИЗОНТ В ЛЕСУ
ЗАКРЫТ ДЕРЕВЬЯМИ
И НЕ ВИДЕН



Аналогия с лесным пейзажем усматривается в фотометрическом парадоксе Ольберса. Почему все небо не сплошь закрыто звездами и между звездами есть темные места?

Если мы войдем в лес, то вскоре не увидим горизонта — нам его загорodит сплошная стена из деревьев. Если же мы попытаемся смотреть между деревьями, наш взгляд все равно рано или поздно упрется в какое-нибудь дерево, и горизонт виден не будет.

Возвратимся из леса во Вселенную. Если Вселенная бесконечна, то, куда бы мы ни посмотрели, наш взгляд рано или поздно должен упереться в какую-нибудь звезду! Это произойдет обязательно, если Вселенная бесконечна, — ведь это означает, что в ней должно быть бесконечное количество звезд, заполняющих бесконечное пространство. Но тогда не должно быть никакого черного неба: весь небосвод должен сиять если не как поверхность Солнца, то, по крайней мере, как Млечный Путь.

Попытки спасти ситуацию, объясняя черное ночное небо тем, что в определенных направлениях свет звезд нам загораживают облака из пыли и газа, оказались несостоятельны. За бесконечное время

облака прогреются излучением, должно установиться **термодинамическое равновесие**, нагретый газ тоже стал бы излучать свет, как звезды.

Кроме того, астрономы научились опознавать темные пылевые облака. Объяснить черное небо сплошными пылевыми облаками оказалось невозможно! Черное небо — это просто место, где нет звезд. С картиной мира, в которой присутствует бесконечное количество звезд, наблюдения явно не согласовывались.

Замечательно то, что оба противоречия — и гравитационный парадокс Зелигера, и фотометрический парадокс Ольберса — были хорошо известны ученым. Но идея бесконечной и вечной стационарной Вселенной тем не менее главенствовала в их головах. Наверное, подразумевалось, что когда-нибудь как-то и кому-то удастся объяснить оба парадокса. Отказаться от устоявшейся картины мира никто не предлагал.

Тем временем на рубеже XIX и XX веков в науке произошли грандиозные изменения. Новые приборы, новые технологии, новые возможности позволяли обнаруживать новые свойства мира.

Было открыто **рентгеновское излучение**. Был открыт феномен **радиоактивности**. Исследования глубинной структуры вещества позволили разобраться в **структуре атомов**, о которых когда-то говорил Демокрит. Сложные опыты показали, что атомы состоят из тяжелых **ядер** (для каждого типа атома — своих), несущих положительный электрический заряд, и витающих вокруг ядер легких частиц, несущих минимально возможный отрицательный электрический заряд, — **электронов**. Позднее удалось выяснить, что в ядрах атомов присутствуют положительно заряженные **протоны** (их масса примерно в 1800 раз больше, чем у электрона) и близ-



ФОТОГРАФИЧЕСКИЙ
СНИМОК КИСТИ РУКИ,
ВЫПОЛНЕННЫЙ В
X-ЛУЧАХ

Способность рентгеновского излучения проникать сквозь непрозрачные материалы и засвечивать фотопластинки привели к открытию неизвестных ранее лучей. Открытие Рентгена сильно повлияло на развитие науки и в сочетании с другими открытиями заставило пересмотреть целый ряд положений классической физики.

ОТ СВОЙСТВ ЭЛЕКТРОННЫХ
ОБОЛОЧЕК ЗАВИСЯТ
ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА
ТОГО ИЛИ ИНОГО АТОМА.

кие к протонам по массе **нейтроны** — частицы без электрического заряда.

Достижения физиков были удивительны. Размер электрона оказался меньше 10^{-20} см (сантиметр, разделенный на сто миллиардов миллиардов частей!) Тем не менее новые научные приборы позволяли чувствовать отдельные электроны и даже давать информацию об их свойствах. Оказалось, что атомы всегда электрически нейтральны (число протонов в ядре всегда равно числу электронов, движущихся вокруг ядра). Электроны же располагаются в пространстве вполне определенным образом, формируя так называемые **электронные оболочки**. Выяснилось, что именно от свойств электронных оболочек зависят химические свойства того или иного атома. Удалось установить, что частицы света (**фотоны**) могут поглощаться электронными оболочками атомов, а энергия поглощенного света приводит к перестройке электронных оболочек. Так удалось объяснить происхождение линий поглощения Фраунгофера в спектрах и многое другое.

Сама природа света также подверглась интенсивным исследованиям. Выдающийся английский физик **Джеймс Максвелл** (1831–1879) построил теорию **электромагнетизма**. Ему удалось показать, что электричество и магнетизм неразделимы, что это две стороны одного и того же физического феномена. Все известные свойства этого феномена он описал математически, получив четыре знаменитых **уравнения Максвелла**. Если рассмотреть свойства решения этих уравнений, получалось нечто удивительное: свет представляет собой волну, которая распространяется сквозь пустое пространство (**вакуум**) с постоянной скоростью c .

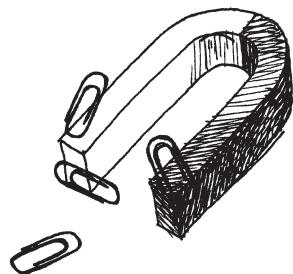
Но *какая именно* волна распространяется? Мы знакомы с волнами на поверхности моря и пони-

маем, что такие волны связаны с движениями частиц воды. Но что движется в пустоте, в пространстве, где ничего нет?

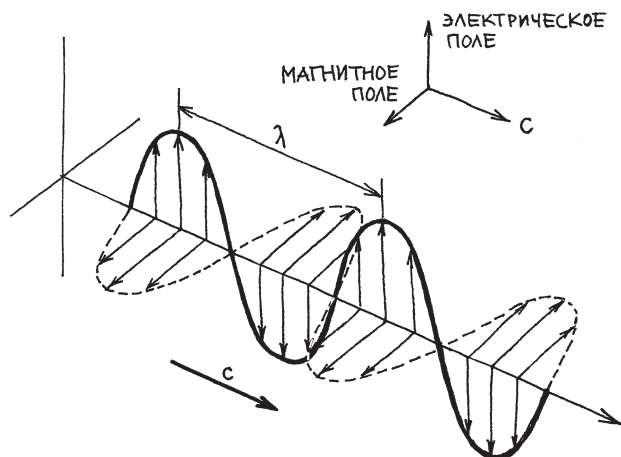
Физики были вынуждены ввести понятие **поля**. Опыты показывали, что, например, магнит оказывает влияние (создает некую силу), воздействующее на намагниченные предметы. То же самое наблюдается и в опытах со статическим электричеством: электрический заряд действует на другие заряды (на противоположные по знаку — притягиваясь, на одноименные — отталкиваясь) на расстоянии. При этом оказалось, что сила воздействия электрического заряда убывает обратно пропорционально квадрату расстояния — как и в случае с силой тяготения.

Как действует на расстоянии, причем подчас гигантском, сила тяготения (либо электрическая, либо магнитная)? Сила как-то действует через *пустое* пространство. Это значит, что масса (в случае тяготения), а также электрический заряд либо магнит передают свое воздействие через само пространство. А у пространства, благодаря помещенным в него массе либо электрическому заряду, появляются *дополнительные свойства*. Их удалось описать с помощью понятия поля. Это означает, что каждая точка пространства обладает каким-то свойством — например, свойством притягивать или отталкивать частицу с электрическим зарядом.

Итак, решение уравнений Максвелла описывало свойства *электромагнитного поля*. Согласно результатам ученого, магнитное и электрическое поля должны всегда располагаться перпендикулярно как друг другу, так и направлению распространения электромагнитной волны. Если зафиксировать какую-то точку в пространстве, через которую проходит эта волна, можно обнаружить, что в этой



ПОЛЕ



точке электрическое и магнитное поля колеблются по закону синуса в перпендикулярных друг другу плоскостях. Эксперименты показали, что именно так все и происходит.

В уравнениях Максвелла фигурировала величина c — это некая константа, постоянная величина, имеющая размерность скорости. Собственно, это была скорость, с которой распространяется электромагнитная волна.

Замечательно, что скорость распространения электромагнитной волны c оказалась равной скорости света — 300 тысяч километров в секунду! Таким образом, подтвердилась гипотеза о том, что свет — это и есть электромагнитная волна, которая распространяется с такой скоростью²⁴.

Волновые свойства света были известны уже давно. В течение всего прошедшего с тех пор времени факты свидетельствовали в пользу этой теории: свет — это электромагнитная волна. Получалось, что вся Вселен-

²⁴ Скорость света была определена ранее в результате астрономических наблюдений.

ная заполнена электромагнитным полем. Оно проявляется в виде электромагнитных волн, которые со скоростью света c распространяются (бегут) во все стороны от своих источников — в основном от звезд.

Почему мы говорим об этом в книге?

Во-первых, было обнаружено новое свойство мира, которые мы теперь должны учитывать: во Вселенной существует не только *вещество*, состоящее из атомов (а атомы — из протонов, нейтронов и электронов²⁵), но и *поля*. Мы пока что отметили два типа известных нам полей — **гравитационное**, порождаемое телами, обладающими массой (а массой обладают все частицы вещества, которые нам известны), и **электромагнитное**, порождаемое электрическими зарядами (точнее, движущимися электрическими зарядами).

Электромагнитные волны могут быть всевозможной длины. Самые короткие волны мы называем **гамма-излучением**. Немного больше длина волны у **рентгеновского излучения**, еще больше — у **ультрафиолетового**. Длиннее волны у так называемого **видимого** излучения: его может регистрировать человеческий глаз как свечение разного цвета, от фиолетового до красного. Длина волны у **инфракрасного** излучения больше, чем у красного. Наш глаз уже не воспринимает такие волны, но зато мы их чувствуем кожей как тепло. Еще большей длиной волны обладает так называемое **миллиметровое** излучение, а дальше начинается диапазон длинных **радиоволн**. Все это — **типы электромагнитного излучения**. Чем меньше длина волны, тем большую энергию несет излучение. Наиболее энер-

Во Вселенной
существует не только
вещество, состоящее
из атомов (а атомы —
из протонов, нейтронов
и электронов), но и поля.

²⁵ А протоны и нейтроны — из кварков, но это сейчас для нас не важно.

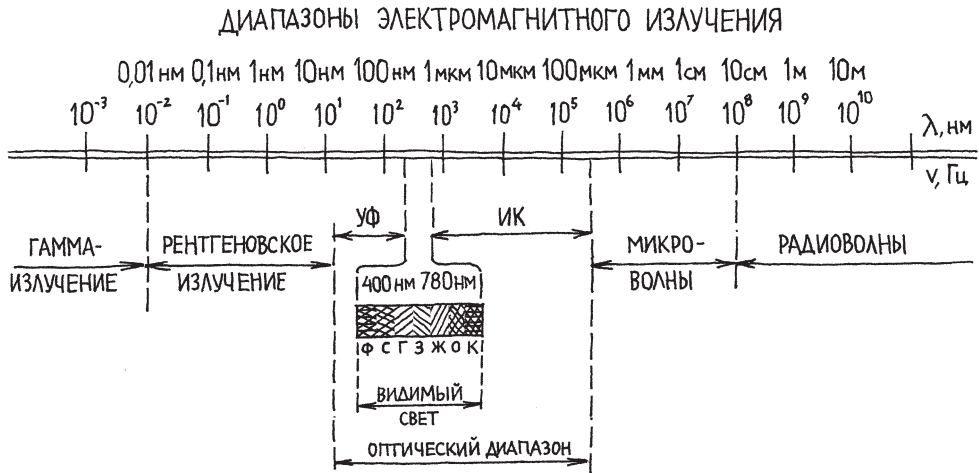


Схема диапазонов электромагнитных волн от гамма- до радиоволн.

гичны гамма- и рентгеновское излучения, поэтому они могут проникать даже сквозь твердые тела.

Итак, оказалось, что вся Вселенная наполнена *электромагнитным излучением*. И хотя некоторые волны не проходят из космоса сквозь атмосферу Земли²⁶, специальные детекторы на космических аппаратах подтверждают, что это действительно так.

Пространство наполнено не только электромагнитными волнами, но и **гравитационными полями**, которые создают все тела во Вселенной. Гравитационное поле довольно слабое, и поэтому нужны гигантские массы, чтобы почувствовать создаваемую этим полем силу притяжения. Мы чувствуем силу притяжения Земли, поскольку у нас под ногами (совсем близко!) громадная масса (число килограммов выражается

²⁶ Это очень хорошо, иначе гамма-излучение из различных объектов Галактики, рентгеновские и ультрафиолетовые лучи от Солнца могли бы уничтожить все живое на поверхности нашей планеты. Астрономы отправляют свою регистрирующую аппаратуру за пределы атмосферы, чтобы зафиксировать это излучение.

единицей с 24 нулями). Эта масса обладает огромным тяготением — благодаря этому мы давим своим весом на пол и не можем летать по комнате. А огромная масса Солнца (единица и еще тридцать нулей, если выражать ее в килограммах) заставляет летящую со скоростью 30 км/с Землю бесконечно кружить вокруг нашего светила, не отпуская ее в межзвездный полет.

По-видимому, теория Максвелла, в которой скорость света оказалась фундаментальной величиной, произвела сильное впечатление на немецкого физика **Альберта Эйнштейна** (1879–1955)²⁷.

В 1905 году Эйнштейн, еще, в сущности, совсем молодой человек, опубликовал свою статью, где изложил основы так называемой специальной теории относительности.

Его теория строилась на двух важнейших постулатах:

1. Движение является относительным. Для всех наблюдателей, которые движутся равномерно (то есть не меняя скорость и никуда не поворачивая), все проявления физических законов выглядят одинаково. Наблюдатели могут двигаться очень быстро или очень медленно (лишь бы равномерно!) — для них эффекты физических законов будут проявляться одинаково.
2. Скорость света в пустоте постоянна. Если наблюдатель движется равномерно (неважно, быстро или медленно), скорость света для него не меняется и всегда равна c .

Что такое постулаты? Это то же самое, что аксиомы — положения, которые мы принимаем без доказательств.

ДВИЖЕНИЕ ЯВЛЯЕТСЯ
ОТНОСИТЕЛЬНЫМ.
СКОРОСТЬ СВЕТА
В ПУСТОТЕ ПОСТОЯННА.

²⁷ Эйнштейн родился в год смерти Максвелла. В определенном смысле результаты Максвелла (впрочем, не его одного) легли в основу теории Эйнштейна.

ВСЕ ПРЕДСКАЗАНИЯ ТЕОРИИ ПОДТВЕРДИЛИСЬ И ПРОДОЛЖАЮТ ПОДТВЕРЖДАТЬСЯ, НЕСМОТРЯ НА ТО ЧТО И САМИ ПОСТУЛАТЫ, И СЛЕДСТВИЯ ТЕОРИИ ВЫГЛЯДЯТ ИНОГДА ПРОТИВОРЕЧАЩИМИ ЗДРАВОВОМУ СМЫСЛУ.

На каком основании они приняты? Строго говоря, это предположения Эйнштейна, которые он выдвинул, конечно же, не просто так. Любые претензии к постулатам в науке снимаются одинаково: надо проверить их следствия. Если предсказания, основанные на теории, не сбываются — не подтверждаются результатами опытов либо наблюдениями, значит, тем хуже для теории, она не верна. Если же предсказания сбываются на практике, особенно те предсказания, которые следуют именно из этой теории, но не следуют из других, значит, теория правильна!

Забегая вперед, укажем, что все предсказания теории подтвердились и продолжают подтверждаться, несмотря на то что и сами постулаты, и следствия теории выглядят иногда противоречащими здравому смыслу.

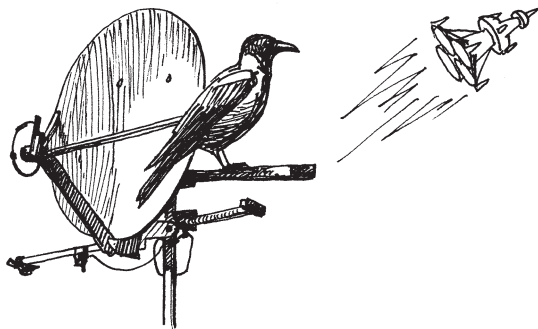
Например, второй постулат — о постоянстве скорости света в любой равномерно движущейся системе координат — кажется абсурдным. Если некий наблюдатель едет на машине и стреляет вперед из пистолета — с какой скоростью пуля вонзится в мишень? Любой школьник скажет, что к скорости пули нужно прибавить скорость машины²⁸.

В рамках этой же логики, если мы будем лететь на звездолете и направлять вперед лазерный луч, может показаться, что скорость распространения луча будет больше скорости света — к этой величине нужно было бы добавить скорость звездолета. Но согласно второму постулату теории относительности это неправильно. Скорость света в пустоте *всегда* одинакова — и для наблюдателя в звездолете, и для неподвижного наблюдателя, который следит за экспериментом со стороны, когда звездолет пролетает мимо его планеты.

Как это может быть? Если вспомнить, что скорость — это величина пути, пройденного за единицу времени, получается, что для разных наблюдателей по-разному долж-

²⁸ Следует, конечно, учесть небольшую потерю скорости за счет трения пули о воздух.

А В ПОЛЕТЕ ЭТА ШТУКА
ВЫГЛЯДИТ ГОРАЗДО КОРОЧЕ,
ЧЕМ ПЕРЕД СТАРТОМ



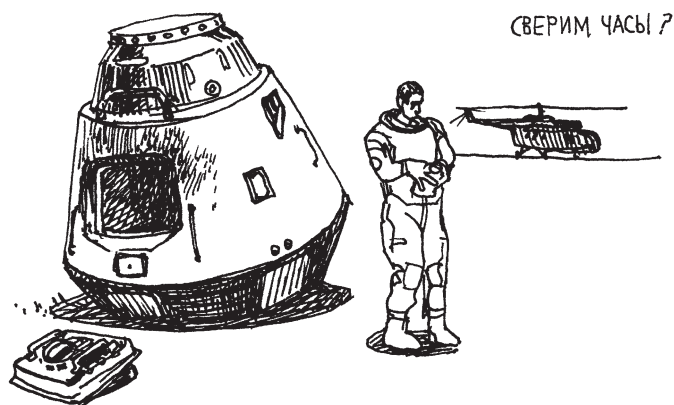
ны восприниматься либо путь, либо время, либо и то и другое.

Специальная теория относительности предсказывает удивительные вещи. Для того чтобы выполнялся постулат о постоянстве скорости света в любой равномерно движущейся системе отсчета, должно изменяться многое: например, должно *замедляться время* на часах в звездолете по сравнению с часами неподвижного наблюдателя на Земле²⁹.

Теория, кроме того, предсказывает *сокращение длины* звездолета в направлении его полета³⁰ — с точки зрения (относительно) наблюдателя, оставшегося на планете. Но при этом наблюдатель на звездолете не заметит, что и звездолет, и сам наблюдатель на его борту сплющатся в том же направлении. Зато луч света будет распространяться для обоих наблюдателей с одной и той же скоростью — скоростью света c .

²⁹ Понятно, что наблюдатель на Земле тоже не неподвижен — он летит вместе с планетой вокруг Солнца, Солнце летит вокруг центра Галактики и так далее. Можно говорить только об относительной неподвижности любого объекта.

³⁰ Поперечные размеры звездолета при этом не изменятся — звездолет «сплющится» для внешнего наблюдателя, тогда как наблюдатель внутри звездолета ничего не заметит.



Скорость света измерялась неоднократно за последнее столетие. Неважно, приходит ли к нам на Землю свет от приближающейся или удаляющейся звезды, его скорость всегда одинакова — это скорость света c .

Эффекты специальной теории относительности, предсказанные Эйнштейном, подтвердились фактами. Оказалось, что часы на борту космического корабля и часы на Земле действительно идут с разной скоростью. И дело не в том, что на борту корабля часы выходят из строя. Само время течет медленнее, если осуществляется движение!

Эта картина мира отличается от привычного мира Ньютона. Сэр Исаак Ньютон считал, что во всей Вселенной время течет одинаково, в одном и том же темпе. Хорошо сделанные часы, разнесенные по разным звездным системам, должны идти абсолютно синхронно — так считал ученый, и все человечество вслед за ним не сомневалось, что иначе быть не может.

В картине мира Эйнштейна это не так: и время, и размеры объектов, то есть свойства пространства и времени, изменяются в зависимости от скорости. Для света, который (естественно) движется со скоростью света и никак иначе — ни быстрее, ни мед-

леннее, — *время останавливается*. Эйнштейн не писал о времени и о пространстве по отдельности. Он считал, что Вселенная существует в *едином пространственно-временном многообразии*, что время — это тоже координата (четвертая), которую нужно добавить к трем пространственным координатам нашей Вселенной. Все вместе они образуют четырехмерное **пространство-время**.

Для того чтобы определить положение любого объекта во Вселенной, нам нужно знать все четыре координаты. Представьте себе, что мы хотим назначить встречу товарищу. Мы должны указать полные координаты места и времени встречи: например, угол проспекта X и улицы Y, в офисе на восьмом этаже в 15 часов. Эти четыре координаты (три пространственные и одна временная) полностью определяют, где и когда произойдет встреча.

Специальная теория относительности показывает, что эти координаты связаны друг с другом *через скорость*.

Мы все время движемся вдоль временной координаты (вдоль оси времени). До Эйнштейна мы считали, что это вечное движение во времени абсолютно равномерно, всегда одинаково и от нас не зависит: река времени несет нас сама из прошлого в будущее. Наши часы (если они хорошо сделаны) идут всегда с одинаковой скоростью. Секунда вчера равна секунде завтра.

Специальная теория относительности утверждает, что это не так. Все зависит от нашей скорости перемещения в пространстве. Даже если мы в пространстве не движемся или движемся медленно, мы тем не менее продолжаем двигаться во времени. В этом случае все (или почти все) наше движение происходит только вдоль оси времени. Но если мы начнем двигаться в пространстве (сядем



В НЕКОТОРОМ
СМЫСЛЕ ВСЕ ОБЪЕКТЫ
ВО ВСЕЛЕННОЙ
ДВИЖУТСЯ ТОЛЬКО
СО СКОРОСТЬЮ СВЕТА.

на ускоряющийся звездолет), наше движение во времени будет замедляться: часть нашего общего движения в пространстве-времени будет все больше «уходить» в пространственные координаты. Если мы разгонимся до огромной скорости (например, 0,999 от скорости света c) — это приведет к тому, что время на звездолете сильно замедлится. Значит ли это, что при достижении скорости света для объекта, обладающего такой скоростью, время, с точки зрения внешнего наблюдателя, *остановится*?

Это действительно так. Но со скоростью света могут двигаться только объекты, не обладающие массой (другими словами, нашему звездолету это не грозит). Такие объекты — это сам свет (электромагнитные волны), а также так называемые гравитационные волны, предсказанные Эйнштейном в 1916 году и обнаруженные экспериментально ровно через сто лет — в 2016 году. Согласно специальной теории относительности, для световой волны *времени не существует*.

Замечательный физик и популяризатор астрономии **Брайан Грин** в своей книге «Элегантная Вселенная», которую автор рекомендует любознательным читателям, выдвинул неожиданный тезис: в некотором смысле все объекты во Вселенной движутся только со скоростью света. Мы тоже движемся именно с этой скоростью, не меньше и не больше — если, конечно, рассматривать наше движение не в привычном нам трехмерном пространстве, а в четырехмерном пространстве-времени. Таким образом, это единственно возможная скорость в нашем мире.

Попробуем разобраться. Ситуация подобна тому, как мы находим проекции вектора скорости на оси координат, — только обычно мы это

делаем с пространственными осями, а тут добавляется временная. Если мы движемся со скоростью света, компонента скорости вдоль временной оси будет равна нулю (для нас время остановится), зато вдоль пространственных координат она равна скорости света c . Если не двигаться в пространстве (проекции на пространственные оси координат равны нулю), вектор скорости будет «направлен» вдоль временной оси — мы будем двигаться только «во времени». В промежуточных случаях, когда проекции на все оси не нулевые, часть нашей скорости будет осуществляться и в пространстве, и во времени, но движение во времени будет замедлено.

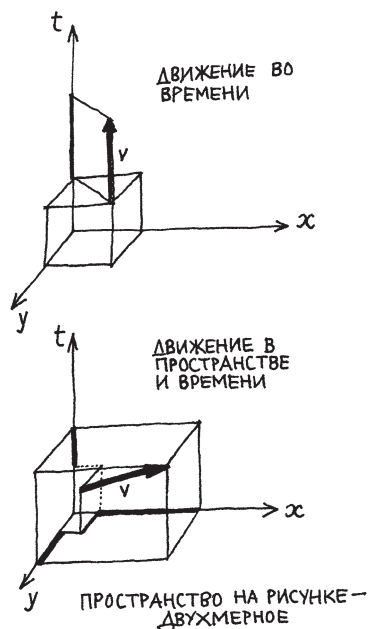
Еще раз повторим это рассуждение. Если тело не движется в пространстве, все его движение происходит только во времени (так, человек, лежащий на диване, равномерно движется в будущее из прошлого и поэтому является путешественником во времени, но не в пространстве). Если же тело благодаря каким-то силам (двигателю звездолета) приобрело скорость, сопоставимую со скоростью света, это означает, что значительная часть его общего движения в пространстве-времени осуществляется в пространстве, зато оставшаяся часть движения во времени будет происходить медленнее (время для него затормозится). Сам путешественник ничего не почувствует — он будет считать, что его часы идут, как и до начала полета.

Поскольку во Вселенной нет неподвижных объектов, получается, что для каждого небесного тела разная часть движения в пространстве-времени приходится на времен-

А) Движение во времени при отсутствии движения в пространстве.

Б) Движение в пространстве и во времени.

Пространство на графике показано двухмерным, по вертикальной оси измеряется движение во времени.



НИКАКОЙ ОБЪЕКТ,
ОБЛАДАЮЩИЙ МАССОЙ,
НИКОГДА НЕ СМОЖЕТ
РАЗОГНАТЬСЯ ДО
СКОРОСТИ СВЕТА.

ную координату, а значит, для каждого объекта время течет со своей скоростью — в зависимости от его скорости в пространстве. Но поскольку скорость света громадна, а планеты, кометы, космические корабли и т. д. движутся с мизерными (по сравнению с c !) скоростями, часть движения в пространстве-времени Вселенной, приходящаяся на пространственные координаты, крайне незначительна. Это значит, что время на таких объектах замедлено несущественно и течет *почти* одинаково. Тем не менее этот эффект хоть и мал, но существует и, как сказано ниже, экспериментально обнаружен.

Космолог **Джон Ричард Готт** в книге «Большое космическое путешествие»³¹ указал, что чемпионом мира по продолжительности пребывания на борту космической станции является российский космонавт Геннадий Падалка: он провел на борту МКС в совокупности 879 суток (почти 2,5 года). Международная космическая станция, конечно, движется со скоростью, существенно меньшей скорости света (примерно 8 км/с). Но и этой скорости хватило, чтобы время на борту шло немного медленнее, чем на Земле. В результате эффект «путешествия по времени» знаменитого космонавта (расхождение его часов с часами на Земле) составил примерно две сотых секунды!

Теория относительности утверждает, помимо прочего, что с ростом скорости увеличивается и *масса объекта*. Именно поэтому никакой объект, обладающий массой, никогда не сможет разогнаться до скорости света: при очень больших скоростях его масса станет настолько большой, что потребуются непомерно большие (в пределе — бесконечные) силы, чтобы продол-

³¹ Тайсон Н., Стросс М., Готт Дж. Большое космическое путешествие / Пер. с англ. О. Сивченко. — СПб.: Питер, 2018. — 480 с.: ил. — (Серия «New Science»).

жить разгон. Поэтому только электромагнитные (свет) и гравитационные волны, вообще не обладающие массой, могут двигаться со скоростью света в пространстве (но при этом они застыли во времени).

Теория относительности предсказала еще одну важную сторону устройства нашей Вселенной.

В физике существует важное понятие — энергия.

Первоначально речь шла только о **механической энергии**, и тогда, как сказано в школьных учебниках, энергия понималась как величина, определяющая, какую механическую работу способно совершить тело. Постепенно стало ясно, что возможности тела не исчерпываются механической работой: можно говорить еще и о так называемой **внутренней энергии** тела, связанной с его теплотой. Оказалось далее, что и мельчайшие частицы, из которых состоит любое тело, тоже способны на некие процессы и явления, и значит, следует говорить о других типах энергии, спрятанных в так называемых элементарных частицах, из которых построено все вещество Вселенной.

К сожалению, в обыденной жизни слово «энергия» применяется в самых разных смыслах — порой даже с мистическим оттенком. Иногда за словом «энергия» вообще трудно уловить смысл, когда его используют не физики.

Наверно, лучше всего об энергии сказал нобелевский лауреат по физике Ричард Фейнман, внесший немалый вклад в создание современной физической картины мира:

«Существует факт, или, если угодно, закон, управляющий всеми явлениями природы, всем, что было известно до сих пор. Исключений из этого закона не существует; насколько мы знаем, он абсолютно точен. Название его — сохранение энергии. Он утверждает, что существует определенная величина, называемая энергией, которая не ме-

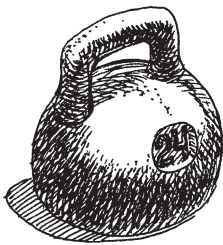


няется ни при каких превращениях, происходящих в природе. Само это утверждение является весьма и весьма отвлеченным. Это, по существу, математический принцип, утверждающий, что существует некоторая численная величина, которая не изменяется ни при каких обстоятельствах. Это отнюдь не описание механизма явления или чего-то конкретного, просто-напросто отмечается то странное обстоятельство, что можно подсчитать какое-то число и затем спокойно следить, как природа будет выкидывать любые свои трюки, а потом опять подсчитать это число — и оно останется прежним...»³²

Эйнштейн в рамках своей теории показал, чему равна **полная энергия** тела, обладающего массой m . Это знаменитая формула, известная даже далеким от физики людям. Если обозначить буквой E полную энергию тела с массой m , то: $E = mc^2$.

В соответствии с теорией Эйнштейна, энергия тела (являющаяся мерой любых форм движения и взаимодействий этого тела с другими телами и полями) определяется его массой. В формулу входит огромный коэффициент — скорость света c , умноженная сама на себя. Это означает, что даже если тело (песчинка) обладает массой в 1 грамм, ее полная энергия ужасает — это 9×10^{13} джоулей, или примерно 20 тысяч тонн в тротиловом эквиваленте. В одной песчинке энергия, равная 20 килотоннам тротила, это энергия атомной бомбы, сброшенной американскими военными на Хиросиму! Другое дело, что «извлечь» эту энергию из песчинки непросто.

Физика говорит о том, что в природе существует процесс, который называется **аннигиляция**, при котором вся энергия тела «освобождается» — все тело пре-



ФОРМА СУЩЕСТВОВАНИЯ
ЭНЕРГИИ

³² Фейнман Ричард. Фейнмановские лекции по физике 1. Современная наука о природе, законы механики. — Примеч. ред.

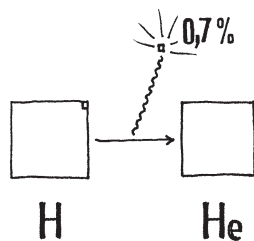
вращается в субстанцию без массы, в электромагнитные волны, то есть в световое излучение. Во Вселенной существует так называемое **антивещество**³³ (**антипротон** обладает такой же массой, как и протон, но имеет противоположный электрический заряд — отрицательный; у антиэлектрона (**позитрона**) такая же масса, как у электрона, но он несет положительный электрический заряд). При взаимодействии частиц и античастиц происходит **аннигиляция** — вспышка света, излучение электромагнитных волн. Частицы при этом исчезают, их масса трансформируется в энергию электромагнитного излучения. Получается, что масса — это форма существования энергии. Масса вещества может преобразовываться в энергию (в форме электромагнитных или гравитационных волн). Замечательно и обратное: излучение (свет) может превращаться в частицы, имеющие массу! Мир оказался гораздо сложнее, чем мы предполагали.

Спустя три десятилетия теория Эйнштейна помогла объяснить, почему светят звезды. Оказалось, что при очень больших температурах и очень больших давлениях ядра атомов водорода могут, объединяясь, превращаться в ядра атомов второго по массе химического элемента — гелия. Это **реакции ядерного синтеза**, или, как нередко говорят, **термоядерные реакции**. Но суммарная масса получающегося гелия оказывается на 0,7 % меньше массы водорода, вступившего в реакцию. Куда девается недостающая масса? Она превращается в электромагнитное излучение, в точном соответствии с формулой Эйнштейна. Потому-то звезды (а значит, и наше Солнце) светят! В недрах Солнца происходят термоядерные реакции, основная часть водорода превращается в гелий, а небольшая часть массы водорода

МИР ОКАЗАЛСЯ
ГОРАЗДО СЛОЖНЕЕ, ЧЕМ
МЫ ПРЕДПОЛАГАЛИ.

³³ К счастью, во Вселенной его очень мало, и теоретики до сих пор не очень понимают почему.

СВЕТОВОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ
СОПУТСТВУЕТ РЕАКЦИИ
ЯДЕРНОГО СИНТЕЗА



трансформируется в излучение. Оно-то и нагревает Солнце изнутри, из-за чего Солнце светит.

Такова же причина свечения всех звезд. Каждую секунду примерно 4 миллиона тонн водорода в недрах Солнца превращаются в излучение как побочный продукт реакции превращения водорода в гелий.

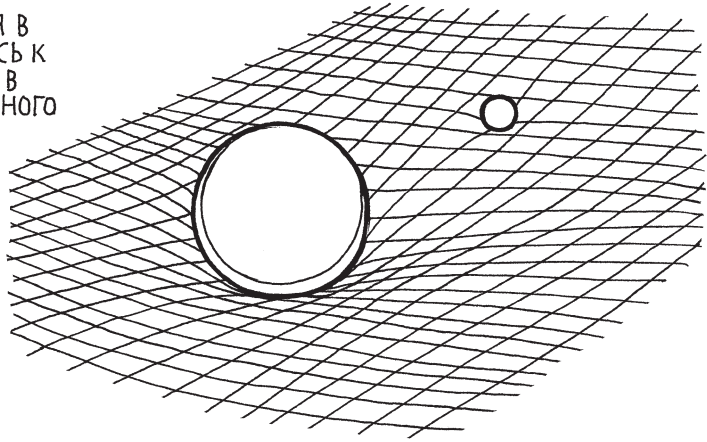
Эйнштейн продолжал работать. В 1917 году он создал **общую теорию относительности** — еще более удивительную концепцию, которая тоже (как и его специальная теория относительности) оказалась верной.

Ключевая идея общей теории относительности — влияние массы на пространство и время, и наоборот. До Эйнштейна пространство Вселенной рассматривалось как пассивное вместилище, некий пустой объем, который наполнен (частично) веществом, излучением и физическими полями. В этом объеме, как на сцене, разыгрывается грандиозный спектакль — светят и движутся звезды, объединенные в галактики, распространяется свет. Но считалось, что сцена не влияет на спектакль, а актеры не влияют на сцену.

Эйнштейн предположил, что это не так. Любая масса искривляет пространство и изменяет ход времени. Крошечные массы элементарных частиц (протонов, электронов и других) не в состоянии заметно изменить ткань пространства-времени. Но огромные массы крупных звезд, не говоря уже о массах сверхмассивных черных дыр (впрочем, о них Эйнштейн ничего не знал), заметно *искривляют пространство-время!*

Представим себе пространство Вселенной, лишенной каких-либо массивных объектов, как ровную, хорошо натянутую эластичную пленку. Поместим в такую Вселенную Солнце — положим на

ШАРИК СКАТЫВАЕТСЯ В
ВОРОНКУ, ПРИБЛИЖАЯСЬ К
БОЛЬШОМУ ШАРУ, КАК В
СЛУЧАЕ ГРАВИТАЦИОННОГО
ПРИТЯЖЕНИЯ



пленку тяжелый шар. Шар *продавит пленку*. Она прогнется, образуется впадина, и прямые линии, нарисованные на пленке, изогнутся вместе с ней. Чем тяжелее шар (чем больше его масса), тем сильнее окажется прогиб и тем сильнее искривится пленка (пространство).

Оказывается, эффект гравитации при таком рассмотрении легко объяснить. Поместим на пленку маленький шарик (планету). Он скатится в воронку к Солнцу. Для нас это будет выглядеть, как будто Солнце *притянуло* планету! А все дело в том, что под действием массы Солнца искривилось пространство вокруг него, и траектория шарика перестала быть прямой.

Чтобы шарик не скатился в воронку, нужно придать ему значительную скорость. Тогда он будет кататься вокруг большого шара, не скатываясь вниз. Так воспроизводится эффект кругового вращения планеты вокруг Солнца: если ее скорость больше некой критической скорости (мы называем ее **первой космической**), падения (скатывания в воронку) не будет.

Масса Солнца искривляет геометрию пространства-времени. Аналогия пространства с натянутой пленкой.

Искривление пространства действует на шарик, как гравитация.

ОТКУДА НАМ
ИЗВЕСТНО, ЧТО
ЭЙНШТЕЙН БЫЛ
ПРАВ?

Гравитация, согласно Эйнштейну, объясняется *геометрией* пространства-времени. Оказалось, что пространство может искривляться под влиянием массы. А искривленное пространство изменяет траектории движения небесных тел. И не только тел! Свет всегда распространяется по прямой линии. Но если искривляется пространство, вместе с ним искривляется и проведенная в нем прямая линия. Значит, *должна искривляться и траектория движения света*. При прохождении вблизи огромных масс — массивных галактик или даже массивных звезд, путь света оказывается изогнутым. В плоском пространстве кратчайшая линия, соединяющая две точки, — это прямая. В искривленном пространстве такая кратчайшая линия называется **геодезической**, и это уже не прямая линия, она изогнута вместе с пространством.

Пространство-время оказалось не просто холодным и пассивным объемом. Оно оказалось активным, реагирующим на концентрации масс и даже влияющим на события во Вселенной. Пространство-время в новой картине мира стало гибким, искривляемым, динамичным, колеблющимся, с изгибами, складками, бегущими волнами и даже проколами.

Но откуда нам известно, что Эйнштейн был прав? Что позволяет нам считать, что это не бессмысленные и беспочвенные фантазии чудаковатого профессора, не очередная умозрительная концепция, подобная пирамиде из слонов и китов, поддерживающих плоскую Землю? Почему мы решили, что специальная и общая теории относительности верны, несмотря на их утверждения, противоречащие обыденному опыту и здравому смыслу?

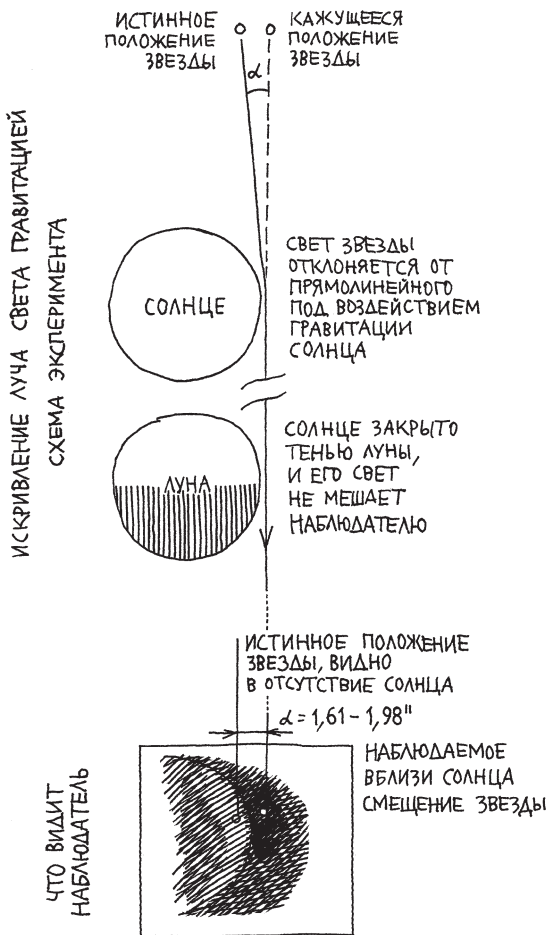
Специальная теория относительности — замечательный пример настоящей научной теории. Она логична и не имеет внутренних противоречий: если мы согласились с двумя исходными постулатами, все осталь-

ное неизбежно получается в качестве естественных следствий. Но самое главное, что теория относительности дает *проверяемые предсказания*. Она говорит, что при определенных измерениях должна получаться такая-то величина, а, например, при теории Ньютона должно получаться иное. Об обнаруженном замедлении часов на борту спутника выше уже говорилось. Было подтверждено и искривление луча света вблизи большой массы, которое предсказано общей теорией относительности.

Как зафиксировать искривление луча света, проходящего вблизи Солнца? Для этого был предложен красивый эксперимент. Во время полного солнечного затмения Луна загораживает нам Солнце, становится темно, и рядом с Солнцем можно увидеть яркие звезды. Значит, свет звезды проходит совсем рядом с Солнцем, и, согласно теории Эйнштейна, он должен искривиться. Земному наблюдателю должно показаться, что звезда как будто отодвинулась от Солнца. Если сравнить положение звезды на небе во время затмения (когда луч света проходит мимо Солнца) с положением этой же звезды, когда Солнце находится в другой части неба, эффект можно обнаружить. Расчеты Эйнштейна предсказывали, что отклонение звезды должно составить 1,75 угловой секунды. Это очень маленький угол, но, как мы помним, уже в середине XIX века люди научились измерять такие углы.

Проверку предсказания Эйнштейна решили провести, наблюдая полное солнечное затмение 29 мая 1919 года. Времена были непростые. Только что закончилась Первая мировая война, но на территории молодой Советской России находились интервенты из стран Европы и Америки. Тем не менее воюющая Британия выделила средства на экспедицию. Затмение наблюдали по крайней мере в двух точках: из бразильского города Собрал и с острова Принсипи у побережья Африки.

ТЕОРИЯ
ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ
ДАЕТ ПРОВЕРЯЕМЫЕ
ПРЕДСКАЗАНИЯ.



Искривление луча света вблизи Солнца. Наблюдать смещенные положения звезд возможно лишь во время солнечного затмения. Наблюдатель видит звезду сместившейся на угол альфа, то есть луч света, проходя вблизи Солнца, искривился.

Через полгода, 6 ноября 1919 года, на общем собрании Королевского общества (Британской академии наук) и Королевского астрономического общества инициатор проекта, знаменитый астроном сэръ **Артур Эддингтон** (1882–1944), сообщил о результатах наблюдений. Общая теория относительности была блестяще подтверждена! Отклонение света в Бразилии составило 1,98 угловой секунды, на Принсипи — 1,61 угловой секунды. Неизбежная ошибка измерений составляла 0,30 угловой се-

кунды, и это означало, что в пределах ошибки прогноз Эйнштейна *был подтвержден*. Свет шел не по прямой, а по геодезической, которая изогнулась вместе с пространством под воздействием гравитации Солнца.

Нобелевский лауреат по физике (открыватель электрона) **Джозеф Джон Томсон** (1856–1940) торжественно провозгласил: «Это самый важный результат, полученный в связи с теорией гравитации со времен Ньютона! Он представляет собой одно из величайших достижений человеческой мысли!»

Итак, согласно новой теории, массивные тела искривляют пространство-время. Если масса велика, велико будет и искривление. Оно может привести к удивительным эффектам — проколам в пространстве-времени, обмену свойствами между пространством и временем, замыканию на себя фрагмента пространства, замыканию времени или изменению направления его стрелы. Эти поразительные эффекты проявляются лишь в экстремальных случаях — вблизи (и внутри) гигантских масс в черных дырах. Но теория предсказывала, что такие явления в принципе *существуют*.

Теория Эйнштейна выдержала все проверки. Она дает прогнозы, которые оправдываются в экспериментах и наблюдениях. Другие теории не могут объяснить те эффекты, которые объясняет теория относительноности. И все это позволяет нам считать теорию относительности правильной.

Газета «Лондон Таймс» опубликовала фотографию Эйнштейна на следующий день после памятного доклада Эддингтона. Статья называлась «Революция в науке». Спустя двое суток об ученом написали по ту сторону океана — в газете «Нью-Йорк Таймс». Альберт Эйнштейн стал знаменитым.

Это поразительный случай в истории науки. В начале XX века теория стремительно вошла в культурные

ДЖОЗЕФ ДЖОН
ТОМСОН ТОРЖЕСТВЕННО
ПРОВОЗГЛАСИЛ:
«ЭТО САМЫЙ ВАЖНЫЙ
РЕЗУЛЬТАТ, ПОЛУЧЕННЫЙ
В СВЯЗИ С ТЕОРИЕЙ
ГРАВИТАЦИИ СО ВРЕМЕН
НЬЮТОНА! ОН ПРЕДСТАВЛЯЕТ
СОБОЙ ОДНО ИЗ
ВЕЛИЧАЙШИХ ДОСТИЖЕНИЙ
ЧЕЛОВЕЧЕСКОЙ МЫСЛИ!»

ТЕОРИЯ
ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ
ИЗМЕНИЛА КАРТИНУ
МИРА. ПРОСТРАНСТВО—
ВРЕМЯ ПЕРЕСТАЛО БЫТЬ
АБСОЛЮТНЫМ, ЕДИНЫМ
ДЛЯ ВСЕЙ ВСЕЛЕННОЙ.

коды человечества. Словосочетание «теория относительности» стало широко известным, а сам Эйнштейн — чрезвычайно популярным. Теорию обсуждали в модных салонах, ее упоминали даже те, кто был далек от науки. При этом почти никто (кроме физиков, и то далеко не всех) не понимал сущности этой теории. Фраза «все в мире относительно», которая, с точки зрения автора, является довольно малосодержательной, но якобы выражает суть теории, на самом деле ни к Эйнштейну, ни к его теории никакого отношения не имеет. Но многие ученые свидетельствовали, что, несмотря на кажущуюся внешнюю абсурдность, теория относительности логична, последовательна, математически красива и подтверждается опытом — а значит, верна.

Теория относительности изменила картину мира. Пространство-время перестало быть абсолютным, единым для всей Вселенной. Оказалось, что оно динамично и изменчиво, может изгибаться и искривляться под воздействием погруженных в него масс. Выяснилось, что скорость движения любых тел в пространстве-времени всегда равна скорости света в указанном выше смысле, при этом неподвижное в пространстве тело движется только во времени, зато с ростом скорости в пространстве ход времени тела замедляется.

Не удержусь, чтобы не процитировать хорошо известные стихи в переводе Самуила Маршака:

Был этот мир глубокой тьмой окутан.
Да будет свет! И вот явился Ньютон.

Так написал в XVIII веке английский поэт Александр Поуп.

Но сатана недолго ждал реванша:
Пришел Эйнштейн — и стало все, как раньше.

Так ответил ему в XX веке Джон Сквайр.

Конечно же, имелись в виду простота и ясность теории Ньютона и отвергающая здравый смысл (на первый взгляд) теория Эйнштейна.

Замечательно, что две теории на самом деле не противоречат друг другу. Теория Ньютона может (точнее, должна) рассматриваться как часть теории относительности при малых (по сравнению со скоростью света) скоростях. Достаточно сложная математика, использованная Эйнштейном, в случае малых скоростей может быть заметно упрощена — и тогда получается физика Ньютона. Поправки, связанные с эффектами теории относительности, имеет смысл вводить только при очень больших скоростях.

ТЕОРИЯ НЬЮТОНА МОЖЕТ
(ТОЧНЕЕ, ДОЛЖНА)
РАССМАТРИВАТЬСЯ
КАК ЧАСТЬ ТЕОРИИ
ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ ПРИ
МАЛЫХ СКОРОСТЯХ.

9. Вселенная, меняющаяся в размерах

*Владимир Высоцкий,
«Песня космических негодяев»*

Вы мне не поверите и просто не поймете —
В космосе страшней, чем даже в дантовом аду!
По пространству-времени мы прем на звездолете,
Как с горы на собственном заду.

Эйнштейн был первым, кто попытался построить научную и математически обоснованную теорию, которая описывала бы всю Вселенную. Впервые речь шла не об устройстве отдельной звездной системы с планетами или отдельной галактики, а об устройстве мира в целом. Поэтому теория Эйнштейна оказалась первым наброском современной космологии — но уже не умоглядной, а соответствующей всем известным законам природы и результатам наблюдений.

Впрочем, определенная умоглядность в новой теории все-таки присутствовала. Эйнштейн был убежден в том, что Вселенная **стационарна** — неизменна и вечна. Но (видимо, к удивлению ученого) из его математических построений это не следовало. Наоборот, получалось, что Вселенная «не хочет» быть стационарной.

Если теория правильна и корректно изложена математически, значит, формулы адекватно описывают реальность. На основании проверенных формул мы рассчитываем траектории космических аппаратов (например) и убеждаемся, что «правильная» математика дает верные результаты.

Уровень компетентности лучших ученых, их знания физики и математики дают если не гарантию, то, по крайней мере, высокую вероятность того, что оши-

ЭЙНШТЕЙН БЫЛ
УБЕЖДЕН В ТОМ,
ЧТО ВСЕЛЕННАЯ
СТАЦИОНАРНА —
НЕИЗМЕННА И ВЕЧНА.

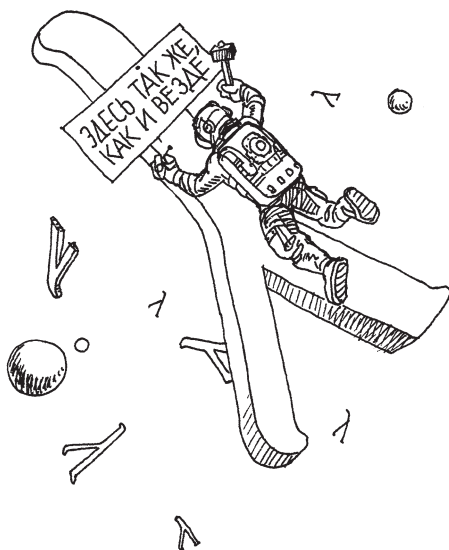
бок в рассуждениях и расчетах нет.³⁴ В науке, кроме того, принято всё и всегда проверять и перепроверять. Теория Эйнштейна показывала, что Вселенная не может быть стационарной. Но сам автор теории был уверен, что это невозможно. Допустить, что Вселенная **нестационарна** (расширяется или сжимается), он не мог. Значит, что-то нужно было менять в теории.

Эйнштейн предположил следующее. Вселенная **однородна**. Это значит, что средняя плотность материи (в виде вещества и полей) в среднем одинакова по всей Вселенной. Нет никаких сверхплотных сгущений материи, вещество разбросано по всей Вселенной приблизительно равномерно.

Кроме того, в основе теории лежало второе предположение — об **изотропности** Вселенной. Слово «изотропность» означает, что все направления во Вселенной равноправны. В ней нет таких направлений, которые чем-то отличаются от других — например, чтобы в одном из направлений нарастала плотность вещества, а в других — нет.

Космологическая модель Эйнштейна описывала однородную и изотропную Вселенную.

Для того чтобы его теория описывала стационарную Вселенную, Эйнштейн добавил



Вселенная однородна и изотропна.

³⁴ Помню, как выдающийся современный космолог Игорь Дмитриевич Новиков выступал в МГУ на огромной открытой конференции, посвященной Международному году астрономии в 2009 году. На вопрос скептика из зала он сказал следующее: «Мы арифметических ошибок не делаем».

Что-то же должно
препятствовать
сжатию всего
вещества Вселенной
под действием его
тяготения.

в свои уравнения дополнительное слагаемое. Он обозначил его заглавной греческой буквой «лямбда» (Λ) и назвал **космологической постоянной**. Эта величина должна была компенсировать воздействие гравитационного парадокса и противодействовать сжатию Вселенной, которое прямо следовало из его уравнений.

Что это такое, какой физический смысл имеет космологическая постоянная и что это за сила, которая должна действовать как **антигравитация**, Эйнштейн не знал. Вселенная казалась ему стационарной (не сжимающейся и не расширяющейся), поскольку не было фактов, говоривших, что это не так. Зато фактом являлось то, что звезды в Галактике и сами галактики находятся на огромных расстояниях друг от друга и кажутся³⁵ неподвижными.

Эйнштейн ввел в свои уравнения космологическую постоянную, надеясь на то что в будущем удастся выяснить ее сущность. В том, что какая-то сущность есть, Эйнштейн не сомневался: что-то же должно *препятствовать* сжатию всего вещества Вселенной под действием его (вещества) тяготения.

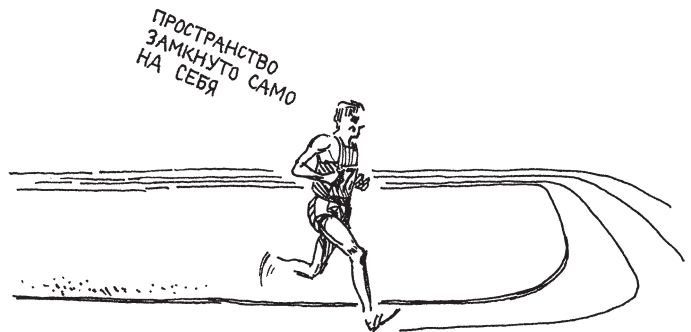
Надо упомянуть еще одну важную деталь картины мира Эйнштейна образца 1917 года. Вселенная Эйнштейна не бесконечна: она имеет *конечный объем*. Но означает ли это, что наблюдатель на звездолете, двигаясь по прямой, однажды должен упереться в стенку (например, кирпичную) с красивой надписью «конец Вселенной»? Этого не произошло бы. По представлениям Эйнштейна, пространство нашей Вселенной *искривлено и замкнуто* само на себя. Звездолет, летя вперед и вперед, однажды должен попасть в ту же точку, откуда он вылетел, только с обратной стороны. Из-за кривизны пространства геодезическая линия, которая ка-

³⁵ Важное слово — «кажутся». На самом деле, как выяснилось позже, дело обстоит совсем не так.

жется нам прямой, немного искривляется и в конечном итоге замыкается. Ситуация аналогична кругосветному путешествию по поверхности Земли: мы движемся вперед и вперед по поверхности, которая кажется нам плоской, и попадаем в ту же точку, откуда начали свой путь. Замечательно, что в обоих случаях нет никакого «края света».

Это тоже был новый элемент картины мира. По Эйнштейну, Вселенная только *кажется* бесконечной: она, безусловно, огромна, но ее объем конечен (а значит, велико, но не бесконечно количество галактик). Аналогично конечна поверхность Земли — никакой границы у нее нет, но есть вполне определенная площадь, которую можно выразить, например, в квадратных километрах. Точно так же в принципе можно выразить и общий объем Вселенной (например, в кубических километрах) в рамках такой модели. Правда, данных для этого нет: кривизну пространства Вселенной до сих пор не удалось установить. Если она (кривизна) и существует, то очень мала (иначе мы бы ее уже определили). А это значит, что Вселенная либо имеет громадный объем, либо (при нулевой кривизне) все-таки бесконечна.

Новая теория, описывающая мир, по-видимому, произвела сильное впечатление на российского мате-



ВСЕЛЕННАЯ МОЖЕТ
РАСШИРИТЬСЯ
И СЖИМАТЬСЯ КАК
ЕДИНОЕ ЦЕЛОЕ!

матика и геофизика, которого звали **Александр Александрович Фридман** (1888–1925).

Фридман — представитель петербургской математической школы, которую некогда основал знаменитый математик Леонард Эйлер. Учителем Фридмана был замечательный русский ученый Владимир Алексеевич Стеклов, имя которого носит нынешний Математический институт Российской академии наук (РАН).

Фридман проанализировал теорию относительности и показал (привел математические доказательства), что уравнения Эйнштейна на самом деле описывают не только частный случай статической (не изменяющейся) Вселенной, но и крайне интересные случаи динамичной Вселенной. Из уравнений следует, что Вселенная может *расширяться и сжиматься* как единое целое!

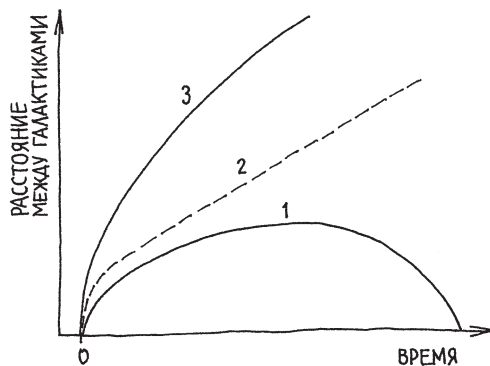
Научная статья Фридмана называлась «О кривизне пространства». Он написал ее в голодном послереволюционном Петрограде в мае 1922 года и отправил в авторитетное немецкое научное издание «Физический журнал» (*Zeitschrift für Physik*), где статья была опубликована в том же году.

Уравнения Эйнштейна (если убрать космологическую постоянную) описывают несколько удивительных вариантов устройства Вселенной, обнаруженных Фридманом.

По горизонтальной оси отложено время, по вертикальной оси — расстояние между галактиками. Представим себе, что какая-то сила в момент времени, обозначенный цифрой 0, придала начальные скорости сгусткам материи (например, галактикам), они разлетаются, и расстояние между ними со временем увеличивается.

Дальше происходящее зависит от средней плотности материи во Вселенной. Если плотность (количество массы в единице объема) велика (больше некоего кри-

МОДЕЛИ ФРИДМАНА



тического значения) — разлет галактик должен происходить все медленнее из-за притяжения между ними. Можно себе представить, что все галактики связаны между собой резиновыми жгутами, которые препятствуют разлету. Галактики движутся все медленнее и однажды остановятся. Этому моменту соответствует верхняя точка кривой 1 на графике выше. Ситуация напоминает полет брошенного вверх камня, который не может преодолеть притяжение Земли, летит вверх с замедлением и останавливается на мгновение, после чего начинает с ускорением падать обратно на Землю. Точно так же галактики начинают падать друг на друга — сближаться с ускорением под воздействием собственного притяжения и в конце концов должны столкнуться, образовав единый ком вещества.

Если средняя плотность материи во Вселенной равна некой критической величине, разлет галактик никогда не остановится — тяготение не сможет справиться с инерцией начального толчка. По мере того как галактики будут оказываться все дальше друга от друга, сила притяжения между ними будет ослабевать, и график все больше будет походить на прямую (кривая 2).

Ну и наконец, если средняя плотность материи во Вселенной окажется меньше критической, разлет, как и во втором случае, будет продолжаться бесконечно,

РАССТОЯНИЕ МЕЖДУ ГАЛАКТИКАМИ ЛИБО РАСТЕТ, ЛИБО УМЕНЬШАЕТСЯ СО ВРЕМЕНЕМ, НО НЕ ОСТАЕТСЯ ПОСТОЯННЫМ, КАК ПРЕДПОЛАГАЛОСЬ В СТАЦИОНАРНОМ ВАРИАНТЕ МОДЕЛИ ЭЙНШТЕЙНА С КОСМОЛОГИЧЕСКОЙ ПОСТОЯННОЙ.

и расстояние между галактиками будет неограниченно увеличиваться (кривая 3 на графике). В этом смысле результат развития по вариантам 2 и 3 одинаков — Вселенная оказывается «открытой», и разлет галактик в такой Вселенной может продолжаться бесконечно. Различается для кривых 2 и 3 только кривизна пространства Вселенной (для случая 2 кривизна равна нулю, и такое пространство можно называть **плоским**).

Замечательно то, что во всех случаях Вселенная *не оказывается стационарной*: расстояние между галактиками либо растёт, либо уменьшается со временем, но не остаётся постоянным, как предполагалось в стационарном варианте модели Эйнштейна с космологической постоянной.

Это был сильный и неожиданный результат.

Впервые в современной истории всерьёз обсуждался вариант нестационарной (либо расширяющейся, либо сжимающейся) Вселенной³⁶, который не был придуман — он следовал из математических уравнений, строившихся на основе известных законов природы!

Но наблюдения свидетельствовали, что галактики находятся на огромных расстояниях друг от друга, — как минимум это миллионы световых лет. По-видимому, можно было предложить два варианта, как это могло случиться. Либо галактики как-то (непонятно как) уже сформировались на огромных расстояниях друг от друга, а сила тяготения их друг к другу «стаскивает», и мы находимся на этапе, когда все галактики будут со временем «слетаться», чтобы в конечном итоге столкнуться. Либо галактики, наоборот,

³⁶ В древности идея пульсирующей Вселенной, в которой непрерывно следуют друг за другом новые циклы обновления, существовала в Индии. На этот вариант «пульсирующей» Вселенной указал сам Фридман.

разлетаются под влиянием какой-то силы или начального «толчка», и в прошлом галактики были ближе другу к другу (а еще раньше, в некий «момент 0», все они были в одном месте).

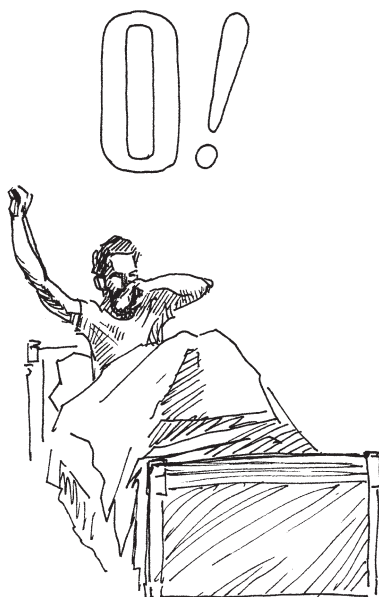
В обоих случаях модели Фридмана говорили о том, что «момент 0» существовал! Был начальный момент, когда произошло какое-то величайшее событие в истории нашей Вселенной: либо галактики (вдруг) возникли на больших расстояниях друг от друга, либо они возникли все в одном месте, но какая-то неведомая сила «разбросала» их по огромному объему. А что будет дальше — зависит от средней плотности Вселенной. Существование «момента 0» говорило о том, что у Вселенной было *начало!*

Фридман это хорошо понимал. И прямо об этом писал.

Автору этой книги представляется, что в развитии картины мира можно выделить по крайней мере три важнейших, можно сказать, революционных, интеллектуальных прорыва.

Первый — это **появление картины мира Анаксимандра**. Это был грандиозный интеллектуальный рывок, когда человек пришел к мысли, что тяжелая Земля не может стоять на бесконечных подставках и постаментах, а просто парит в пространстве. К этому привело критическое мышление философа, его логика. Он осознал, что такое решение логичнее тупиковой идеи о бесконечных подставках. Замечательно, что никаких экспериментов и наблюдений, которые подтверждали бы

«МОМЕНТ НОЛЬ» — ЭТО НАЧАЛО



эту идею, не было. Это была умозрительная концепция, и она была принята потому, что в ней было меньше противоречий, чем в альтернативных идеях.

Второй прорыв — это **картина мира Джордано Бруно**. Философ пришел к мысли, что Вселенная безгранична в пространстве, что никаких границ у Вселенной нет и не может быть. У такой Вселенной нет центра и нет окраин, она всюду и всегда примерно одинакова.

И, наконец, третий интеллектуальный прорыв связан с **концепцией Александра Фридмана**. Из уравнений Фридмана получалось, что у Вселенной должно быть начало. Что же касается бесконечности и кривизны Вселенной, то, как и у Эйнштейна (не надо забывать, что именно уравнения Эйнштейна лежали в основе разработок Фридмана), Вселенная Фридмана — это так называемая **гиперсфера конечного размера** — как и у Эйнштейна, но меняющаяся со временем.

Можно заметить, что идея меняющейся со временем (эволюционирующей) Вселенной автоматически разрешала и гравитационный парадокс Зелигера, и фотометрический парадокс Ольберса. Во Вселенной Фридмана гравитация ведет себя так, как ей и положено: она честно притягивает галактики друг к другу. Если общая масса галактик велика, гравитация победит, и галактики приблизятся друг к другу, объединяясь в единый ком материи. Если же загадочный начальный толчок был столь мощен, что галактики приобрели огромные скорости и тяготение не сможет их побороть, — расширение Вселенной будет продолжаться вечно.

Что касается фотометрического парадокса, то он решается самим фактом существования начала Вселенной. Если у Вселенной было начало, значит, позади у нас пусть большой, но не бесконечный интервал времени. Это значит, что свет от каких-то далеких галактик просто еще не дошел до нас с каких-то направлений, и в этом направлении мы видим черное небо.

Во Вселенной
Фридмана
гравитация ведет
себя так, как ей
и положено: она
честно притягивает
галактики друг
к другу.



Фридман в своей научно-популярной книге «Мир как пространство и время», изданной в 1923 году, написал:

«Переменный тип Вселенной представляет большое разнообразие случаев. Для этого типа возможны случаи, когда радиус кривизны мира... постоянно возрастает с течением времени. Возможны далее случаи, когда радиус кривизны меняется периодически: Вселенная сжимается в точку (в ничто), затем снова из точки доводит радиус свой до некоторого значения, далее опять, уменьшая радиус своей кривизны, обращается в точку и т. д.».

Возникает масса вопросов.

Что было до начала Вселенной? Почему Вселенная не возникла раньше (или позже)? Что, собственно, произошло? Как может гигантская Вселенная, содержащая множество галактик, сжаться в точку? Означает ли тот

В АСТРОНОМИИ
ОПЫТЫ ПОСТАВИТЬ
НЕВОЗМОЖНО,
И ЗНАЧИТ, ВСЕ
НАДЕЖДЫ МОЖНО
БЫЛО ВОЗЛОЖИТЬ НА
НАБЛЮДЕНИЯ.

факт, что Вселенная когда-то не существовала, а затем почему-то возникла, что Вселенную *кто-то создал*?

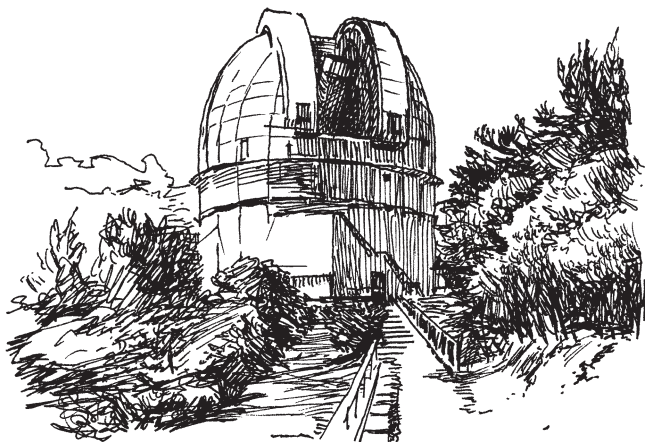
Ответов на эти (и другие) вопросы не было.

Альберт Эйнштейн ознакомился со статьей Фридмана. Сначала она ему не понравилась, и он счел теорию ошибочной. Но, изучив внимательно математические выкладки Фридмана, Эйнштейн согласился с тем, что в смысле математики у Фридмана все получилось верно. Однако Эйнштейн продолжал считать, что фридмановские расчеты, будучи правильными с математической точки зрения, не имеют отношения к реальной Вселенной и что Вселенная все-таки стационарна.

По поводу того, стационарна или не стационарна Вселенная, можно было спорить сколько угодно. Модели Фридмана поражали воображение, но казались нереальными. Они утверждали, что среднее расстояние между галактиками должно меняться со временем: либо увеличиваться (если мы находимся на стадии расширения, то есть разлета галактик), либо уменьшаться (если на практике реализуется первая из моделей и мы находимся на стадии сближения галактик). Как принято в науке, любая теория должна проверяться на практике — в ходе экспериментов либо наблюдений. Понятно, что в астрономии опыты поставить невозможно, и значит, все надежды можно было возложить на наблюдения.

Как ответить на вопрос: действительно ли Вселенная расширяется либо сжимается согласно теории Фридмана или мир стационарен, как полагал Эйнштейн?

Мы уже обсуждали вопрос о том, что открытие не может быть сделано раньше своего времени. К двадцатым годам XX века такие возможности появились. С помощью новых мощных телескопов, в которые можно было увидеть далекие галактики, и с помощью со-



вершенных спектрографов можно было получить спектры галактик и изучить, *не проявляется ли в них эффект Доплера?* Нет ли в спектрах галактик смещения линий Фраунгофера в синюю или в красную сторону? Напомним, что синее смещение говорит о присутствии компоненты скорости «к нам» (галактика приближается). Красное смещение свидетельствует о том, что есть компонента скорости, направленная «от нас», то есть галактика удаляется.

В минувшем веке было невозможно выполнить такие измерения, поскольку галактики — объекты из-за своей удаленности крайне слабые, а если тусклый свет далекой галактики к тому же еще и разложить в спектр, то шансов что-то увидеть практически не будет. Поэтому только новый мощный телескоп обсерватории Маунт Вилсон в США с зеркалом диаметром 2,5 метра смог впервые справиться с такой задачей и собрать достаточное количество света от далеких галактик, чтобы его (света) хватило для исследований спектра. Телескоп был оснащен современным (по тем временам) спектро-

Башня стодюймового рефлектора обсерватории Маунт Вилсон в Калифорнии. Этот телескоп был крупнейшим в мире с 1917 по 1948 гг.



ОБСЕРВАТОРИЯ
МАУНТ ВИНСОН

Обсерватория открылась в 1908 г. в горах севернее Лос-Анджелеса, на высоте более 1700 м. Строительство началось в 1905 г. и шло, невзирая на огромные сложности с доставкой деталей телескопов и строительных материалов на такую высоту. Выбранное место выгодно отличалось благоприятным климатом и чистым прозрачным воздухом, что обеспечивало идеальные условия для астрономических наблюдений.

графом. Именно на этом телескопе уже известный нам Эдвин Хаббл (установивший, что наша Галактика — не единственная во Вселенной) приступил к поискам проявлений эффекта Доплера в спектрах галактик.

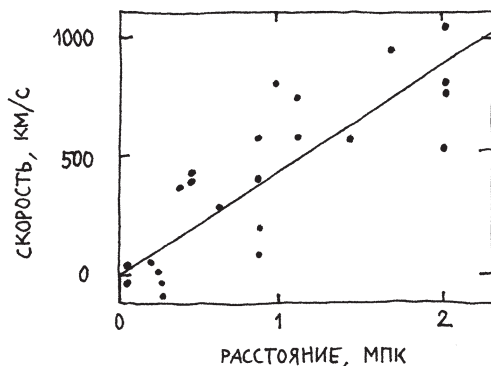
Такие наблюдения Хаббл выполнил в 1927–1929 годах. Он предполагал, что измерения доплеровских эффектов в спектрах покажет случайную хаотичную картину распределения скоростей: какие-то галактики должны приближаться, какие-то удаляться от нашей Галактики. И действительно, оказалось, что линии в спектре ближайшей к нам галактики М31, или туманности Андромеды, смещены в синюю часть спектра, а значит, наша соседка по Вселенной движется к нам встречным курсом со скоростью, близкой к 100 км/с. Пройдут миллиарды лет, и две галактики объединятся.

Но прочие галактики явно демонстрировали красное смещение. Более того, оказалось, что чем дальше от нас находится та или иная галактика, тем быстрее она от нас удаляется! И хотя потом выяснилось, что в наблюдениях Хаббла присутствовала большая инструментальная ошибка (галактики впоследствии оказались заметно дальше, чем считал Хаббл), на основной вывод это не влияло. В какую бы сторону мы ни смотрели, *галактики удалялись*.

Это означало, что Фридман был прав. Вселенная оказалась нестационарной, и расстояние между галактиками со временем увеличивается. Зависимость скорости удаления галактики от расстояния до нее получила название «**закон Хаббла**». Это простая линейная зависимость: чем дальше от нас галактика, тем быстрее она от нас движется.

ЗАКОН ХАББЛА

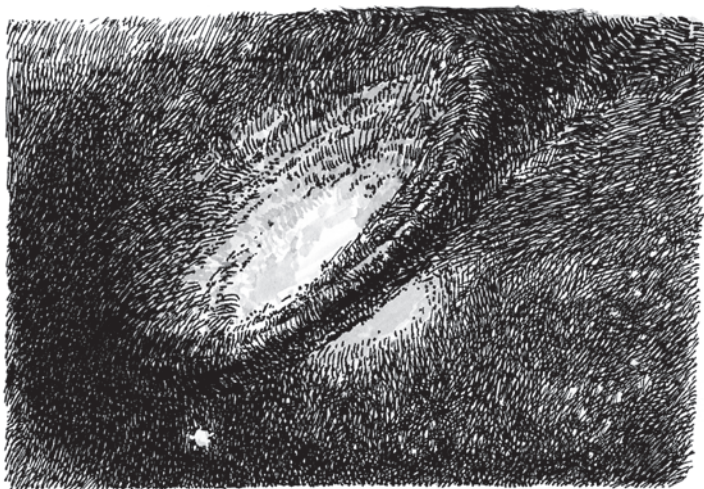
$$v = H \times r$$



В этой формуле, описывающей закон Хаббла, буквой r обозначено расстояние от нас до какой-нибудь галактики, буквой v — скорость, с которой далекая галактика удаляется от нас. Коэффициент пропорциональности H называется **постоянной Хаббла**. Она не зависит ни от направления на галактику на небе, ни от расстояния до галактики. В этом смысле это действительно постоянная величина.

Как следует из формулы, размерность постоянной Хаббла проста. Если измерять скорость в км/с, а расстояние в километрах, величина H должна выражаться в обратных секундах (единица, деленная на секунду). Но измерять гигантские расстояния в километрах крайне неудобно. Астрофизики обычно применяют в качестве единицы измерения расстояний так называемые **парсеки**. Один парсек (1 пк) — это расстояние, с которого радиус земной орбиты виден под углом в одну угловую секунду (1/3600 градуса). Учитывая, что радиус земной орбиты — это почти 150 млн км, нетрудно догадаться, что надо улететь очень далеко, чтобы такой большой отрезок наблюдался под столь маленьким углом — как пятирублевая монета с расстояния 10 км. Чтобы связать парсеки с уже знакомыми нам световыми годами, надо запомнить соотношение:

$$1 \text{ пк} = 3,26 \text{ светового года.}$$



Сверхновая.

Расстояния до очень далеких галактик — это даже не несколько парсек, а миллионы парсек! Именно такие расстояния характерны для тех галактик, по которым уточняется сегодня закон Хаббла. Поэтому в космологии принято измерять постоянную Хаббла в следующих величинах: $(\text{км/с})/\text{Мпк}$, где 1 Мпк — это один миллион парсек (один мегапарсек).

Скорость удаления галактики с высокой точностью определяется по величине красного смещения в спектре галактики. Гораздо сложнее определить расстояние r . Для близких галактик есть возможность выделить свечение отдельных цефеид и, определяя период изменения их блеска, оценить расстояние до цефеиды, а значит, и до галактики, в которой она находится. Этот способ применил сам Хаббл для определения расстояний до ближайших галактик.

Но для далеких галактик этот способ уже не годится. Галактики выглядят как еле различимые туманные пятнышки, и вычленив в них отдельные цефеиды невозможно. «Стандартные свечи», в качестве которых использовались цефеиды, нужно было заменить на что-то иное. И такие «свечи» нашлись.

Уже было известно, что некоторые массивные звезды в конце своего жизненного пути взрываются (такие катастрофические события получили название **взрывы сверхновых**, или просто **сверхновые**). Эти взрывы бывают нескольких типов. Выяснилось, что определенный тип сверхновых (астрономы называют их Ia) отличается примерно одинаковой (при этом очень большой) светимостью: в максимуме своего свечения сверхновая излучает, как целая галактика, сияет, как сотни миллиардов звезд сразу. А поскольку истинная светимость сверхновых известна (наблюдения сверхновых в близких галактиках показали, что она почти всегда почти одинакова), измеряя их *наблюдаемую* яркость, можно сделать вывод, на каком расстоянии от нас находится сверхновая, а значит, и галактика, в которой произошел взрыв звезды.

Эти наблюдения очень непросты. Звезды взрываются крайне редко, при этом взрывы бывают разных типов. Поэтому сверхновых нужного типа приходится ждать подолгу. Но учитывая, что в крупные современные телескопы мы видим одновременно громадное количество галактик, статистика сверхновых набирается ускоренными темпами, и точек на графике, отражающем закон Хаббла, становится все больше.

Наблюдения, которые вели несколько научных коллективов в середине XX века, давали значительный разброс значений постоянной Хаббла из-за больших ошибок в определении расстояния до галактик — от 50 до 100 (км/с)/Мпк. Но постепенно значение постоянной Хаббла уточнялось, разброс уменьшался. Сейчас, когда пишется эта книга, считается, что величина постоянной Хаббла равна $H = 67,7$ (км/с)/Мпк. Нет сомнений, что значение этой важной величины еще будет уточняться.

Почему так важно знать постоянную Хаббла? Она помогает определить возраст Вселенной, оценить,

ЗВЕЗДЫ ВЗРЫВАЮТСЯ
КРАЙНЕ РЕДКО,
ПОЭТОМУ СВЕРХНОВЫХ
НУЖНОГО ТИПА
ПРИХОДИТСЯ ЖДАТЬ
ПОДОЛГУ.

КОГДА
ВСЁ
НАЧАЛОСЬ
?

сколько лет прошло с того самого «момента 0», когда все началось.

И действительно: если галактики разлетаются, это означает, что в прошлом они были ближе друг к другу. Если забраться еще дальше в прошлое — они были еще ближе. Было бы крайне интересно определить, когда все галактики находились *рядом друг с другом*. Можно ли оценить, когда это было?

Если мы знаем постоянную Хаббла, это несложно.

Промежуток времени t , прошедшего с «момента 0», когда вся материя Вселенной была сконцентрирована в одном месте, до сегодняшнего дня, равна расстоянию r , которое пролетела галактика за это время, деленному на ее скорость. Скорость, по закону Хаббла, равна: $v = H \times r$.

Тогда

$$t = r/v = r / (H \times r) = 1 / H.$$

Возьмем современное (хотя явно не окончательно установленное) значение для H , равное 67 (км/с) / Мпк . Тогда значение t получится: $t = 1/H \text{ с Мпк/км}$. Переведем мегапарсеки в километры ($1 \text{ Мпк} = 3,086 \times 10^{19} \text{ км}$). Тогда значение t будет равно $4,7 \times 10^{17} \text{ с}$. Если перевести это огромное число секунд в годы, получится примерно 14,6 миллиарда лет.

Такой результат получен на основе предположения, что все это время галактики *двигались равномерно*. На самом деле это не совсем так. Более сложные вычисления, учитывающие неравномер-

ность движения галактик, дают несколько меньшую величину — 13,8 миллиарда лет. Это и есть время t , прошедшее с «момента 0» до сегодняшнего дня.

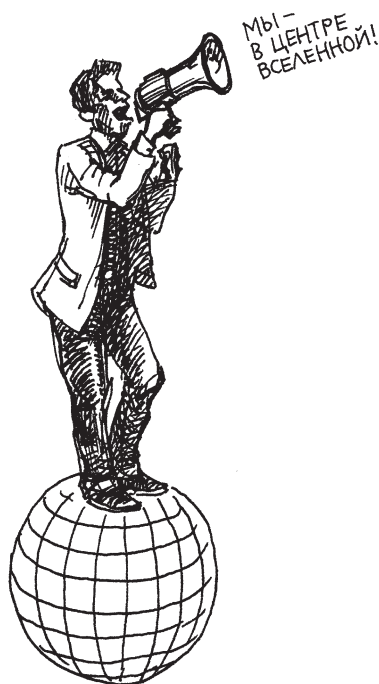
Это возраст нашей Вселенной.

Пока его невозможно указать точнее. Но используя весь набор имеющихся данных по результатам измерений расстояний до десятков тысяч галактик, уже можно уверенно утверждать, что возраст Вселенной точно больше 13,7 миллиарда лет и точно меньше 13,9 миллиарда лет.

Итак, получается, что наша Вселенная существует 13,8 миллиарда лет. Такое количество лет тому назад вся материя Вселенной была собрана в одном месте. И самые близкие к нам галактики, и самые далекие галактики, которые с помощью мощных телескопов мы можем сегодня увидеть (от таких галактик свет шел к нам 13,2 миллиарда лет), и даже те галактики, которые мы не видим, когда-то были совсем рядом с нами. Вся материя «разлетелась» из одного места.

Искать это место во Вселенной бессмысленно: это любая точка Вселенной. Поэтому воображаемые жители любой галактики вправе считать, что именно их звездная система находится в центре Вселенной. И Николай Кузанский, и Джордано Бруно были правы: у Вселенной нет никакого центра. Центром можно считать любую точку, потому что если повернуть в прошлое стрелу времени, мы увидим, как все точки во Вселенной стягиваются в одну.

Можно вспомнить высказывание Фридмана, что вся Вселенная в начальный момент представляла собой точку. Это утверждение вызывает естественный протест со стороны нашего здравого смысла. Как это может быть? Как может быть, что Вселенная (немыслимых размеров и невообразимой массы), содержащая только в области, которую мы можем рассматривать в свои телескопы, триллионы



галактик, когда-то была крошечной и невероятно плотной, а потом растянулась, раздулась, заняв невероятно большой объем?

Есть и вторая сторона этого вопроса. Что именно произошло 13,8 миллиарда лет назад? Выдающийся английский астроном и писатель-фантаст **Фред Хойл** (1915–2001), как и многие другие, не мог примириться с этой идеей. «Что это было? — иронично вопрошал он. — Не было, по-вашему, ничего — и вдруг произошел Большой Бабах (на английском языке его звукоподражание звучало как Big Bang) — и из ничего, из точки, — возникла вся Вселенная? Как это может быть?»

Ехидное выражение Хойла Big Bang тем не менее вошло в научную терминологию. На русский язык оно переведено как Большой взрыв — видимо, переводчик все-таки не рискнул предложить слово «бабах» в качестве научного термина. В 1994 году в США был объявлен международный конкурс на лучший термин, который мог бы заменить словосочетание Big Bang. После рассмотрения 13 тысяч (!) разных предложений жюри конкурса сочло, что все-таки нет вариантов лучше, чем уже привычное выражение — Big Bang.

После великого открытия Хаббла мир изменился. Разумеется, он изменился в наших головах.

Оказалось, что Вселенная меняется. Она расширяется!

Этот грандиозный процесс проявляется в том, что расстояния между галактиками неуклонно увеличивается. Это увеличение идет повсюду: и вблизи нашей Галактики, и невероятно далеко от нее. Темп этого расширения, насколько мы можем видеть, одинаков во всей наблюдаемой части Вселенной и определяется фундаментальной константой — постоянной Хаббла. В какой бы галактике



мы ни оказались, в какую сторону ни посмотрели, мы отовсюду увидели бы одну и ту же завораживающую картину: галактики удаляются, среднее расстояние между всеми галактиками становится все больше и больше.

Когда мы смотрим очень далеко — это означает, что мы смотрим далеко в прошлое: ведь свет от самых далеких галактик, которые мы сегодня можем увидеть в наши телескопы, шел к нам более 13 миллиардов лет. Это значит, что мы видим далекие галактики такими, какими они были 13 миллиардов лет назад, в те времена, когда Вселенная была гораздо моложе, чем сейчас. Согласно закону Хаббла, эти галактики удаляются от нас с чудовищными скоростями — десятки тысяч километров в секунду! Красное смещение в спектрах этих (наиболее далеких) галактик огромно.

Мы понимаем, что уже близки к пределу: ведь если нашей Вселенной 13,8 миллиарда лет, это означает, что мы никогда не увидим ничего на таком, а тем более большем расстоянии: ведь свет с больших расстояний просто не успел к нам дойти за все время существования Вселенной. Свет, согласно теории относительности, движется с одной скоростью и никогда быстрее. Значит ли это, что самые далекие галактики, которые мы можем увидеть, находятся на расстоянии 13 миллиардов световых лет?

Мы не должны забывать, что за 13 миллиардов лет, пока свет самых далеких наблюдаемых галактик шел к нам, эти галак-





тики успели «улететь» от нас в невообразимую даль. Расчеты показывают, что самые далекие видимые галактики *сейчас* находятся в 45 миллиардах световых лет от нас! Но это вовсе не значит, что это самые далекие от нас галактики.

Итак, Хаббл изменил картину мира.

Оказалось, что теория Фридмана верна. Она была подтверждена измерениями красного смещения галактик, которые выполнил Хаббл. И это означает, что у Вселенной было начало, и начала она свое существование с загадочного Большого взрыва. После открытия Хаббла можно было обсуждать, что такое Большой взрыв, почему он произошел, кто его устроил (или что его устроило), но сомнений в том, что нечто, именуемое Большим взрывом, действительно произошло примерно 14 миллиардов лет назад, уже не оставалось.

В науке принято доверять проверенным фактам. Красное смещение, а значит удаление галактик, подтверждалось и подтверждается наблюдениями, выполненными десятками обсерваторий во всем мире на протяжении уже почти сотни лет. Поэтому можно спорить по поводу того, *что такое* Большой взрыв, но в самом факте Большого взрыва (что бы это ни было) сомневаться уже давно не приходится.

10. Вселенная, горячая в начале

Неведомым законам судьбу свою вверяя,
Непостижимым далям звенящей пустоты,
Таинственным виденьем сквозь вечность проступают
Миров чужих, далеких туманные черты. . .

* * *

. . .Какой должна быть сила, чтоб их лишить покоя?
Чтоб разбросать, как зерна, зародыши Миров?
Чтоб Путь швырнуть наш Млечный неистовым прибоем,
В глубины Мироздания без помощи богов?..

*Борис Комберг
(«Якову Борисовичу Зельдовичу,
к 65-летию)*

Полноценная космология как наука, а не как набор умозрительных гипотез, зародилась в XX веке с теоретических работ Эйнштейна, Фридмана, Леметра³⁷ и открытия Хаббла. До этих исследований космология была скорее философской, чем естественнонаучной дисциплиной. Мыслители рассуждали, как должна (или может) быть устроена Вселенная. Эти предположения невозможно было ни доказать, ни опровергнуть, а значит, согласно принципам научного метода такие концепции не имели никакого отношения к науке.

Непреложный факт присутствия космологического красного смещения в спектрах галактик и следующий

³⁷ Бельгийский аббат и астроном Жорж Леметр независимо от Фридмана (хотя и позже него) разработал модель расширяющейся Вселенной в конце 1920-х годов. В 2018 году Международный астрономический союз начал обсуждение идеи переименования закона Хаббла в закон Хаббла–Леметра. При этом в основных трудах по космологии упоминаются, прежде всего, модели Фридмана, а не Леметра. Фридман, безусловно, был первым, и Эйнштейн читал именно его работу.

из этого факта закон Хаббла резко изменили ситуацию. Теперь любая картина мира должна была обязательно учитывать, описывать и объяснять открытый Хабблом факт. Те варианты картины мира, где не было разлета галактик, следовало отвергнуть (это пришлось сделать).

Итак, галактики удаляются друг от друга. Вселенная, как предполагали и Эйнштейн, и Хаббл, действительно оказалась однородной и изотропной. Вселенная расширяется, подобно поднимающемуся тесту с изюмом. Если мы представим себя в одной из изюминок (пусть это будет наша Галактика), мы обнаружим, что со временем все прочие изюминки удаляются от нас в разные стороны, и чем дальше находится от нас та или иная изюминка (другая галактика), тем быстрее нарастает расстояние до нее. Замечательно, что, если мы пересядем на другую изюминку, картина не изменится: по-прежнему все прочие изюминки будут от нас удаляться.

Расширение теста с изюмом, разумеется, во многом отличается от космологического расширения — в частности, в том, что в самом начале изюминки были все-таки не в одной точке теста, хотя и близко друг к другу. А что же было в начале Вселенной? Как это узнать, не придумывая, а опираясь на факты?

Астрономия (точнее, ее наиболее быстро развивающаяся часть — астрофизика) давала все больше данных для этого.

Если две тысячи лет назад люди придумывали «элементы», из которых состоит мир, то в XX веке химический состав небесных тел, наполняющих Вселенную, стал достоверно известным. Анализ спектров многочисленных звезд показал, что звезды в основном состоят из двух самых легких элементов таблицы Менделеева — **водорода** и **гелия**, при этом водорода почему-то всегда оказывалось втрое больше (по массе³⁸), чем ге-

ВСЕЛЕННАЯ
РАСШИРЯЕТСЯ,
ПОДОБНО
ПОДНИМАЮЩЕМУСЯ
ТЕСТУ С ИЗЮМОМ.

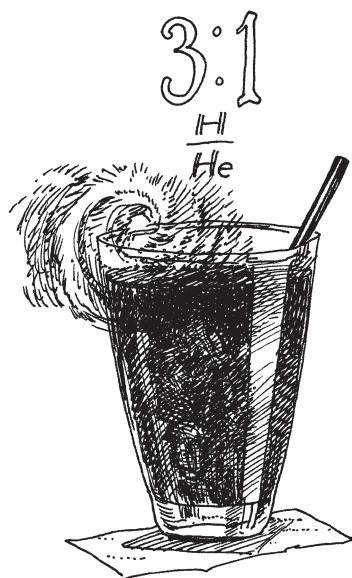
³⁸ Или в 12 раз больше по количеству атомов.

лия. Присутствовали в звездных спектрах линии и других элементов (порой всех известных типов атомов), но их общее количество было невелико — порядка одного-двух процентов от общей массы звезды. Водород и гелий примерно в том же массовом отношении (3:1) обнаружались и в межзвездной среде — в газовых облаках.

Таковыми оказались практически все звезды, включая наше Солнце. Спектры далеких галактик (суммарные спектры миллиардов звезд) демонстрировали аналогичную картину. Это был факт, который носил всеобщий (космологический) характер, типичный для всей наблюдаемой части Вселенной. Его нужно было как-то объяснять.

Развивая идеи Эйнштейна, в конце тридцатых годов XX века немецкий физик **Ганс Бете** (1906–2005) с сотрудниками открыл реакции ядерного синтеза, упомянутые в главе 9. При гигантских температурах и давлениях ядра атомов водорода превращаются в ядра атомов гелия. При этом из двенадцати ядер атомов водорода (протонов) получается одно ядро атома гелия. Если весь гелий во Вселенной получился в ходе термоядерных реакций из водорода, значит, его и должно быть повсюду в двенадцать раз меньше по числу атомов, или втрое меньше по массе, чем водорода.

Более тяжелые атомы: литий, бериллий, бор, азот, углерод, кислород и далее по списку (точнее, по таблице Менделеева) — всего 90 типов атомов, которые встречаются в природе, если не считать водород и гелий, формируются в результате сходных реакций при еще более высоких температурах и давлениях. Такие условия в современной Вселенной достигаются далеко не всегда (например, в недрах очень массивных звезд, во время взрывов либо столкновений звезд меж-



ФИРМЕННЫЙ
КОКТЕЙЛЬ
«ВСЕЛЕННАЯ»

СТАЛО БЫТЬ,
ОСНОВНАЯ МАССА
ГЕЛИЯ В ЗВЕЗДАХ
ПОЯВИЛАСЬ
НЕ ВНУТРИ ЗВЕЗД.

ду собой), поэтому атомов тяжелее гелия во Вселенной относительно немного — всего доли процента³⁹. Они почти не влияют на общее соотношение элементов во Вселенной. Вещество Вселенной состоит почти полностью из водорода и гелия в упомянутом массовом соотношении 3:1⁴⁰.

Где же протекали эти реакции, превратившие четверть всей массы водорода в гелий? Оценки скорости этого процесса, протекающего в недрах звезд, показали, что там действительно идут такие реакции, *но крайне медленно*. Наше Солнце светит, как сейчас мы знаем, уже около пяти миллиардов лет. Есть звезды, которые вдвое старше, и тем не менее соотношение водорода и гелия, судя по спектрам, практически во всех звездах примерно одинаково — это те же 3:1. Это значит, что процесс производства гелия из водорода в недрах звезд малоэффективен и может продолжаться очень долго, не меняя радикально начальное соотношение. Стало быть, основная масса гелия в звездах появилась *не внутри* звезд. Звезды сами сформировались из этой первичной смеси. Не может ли это означать, что отношение числа атомов водорода к числу атомов гелия во Вселенной *сохранилось с самого начала ее существования*, возможно, со времен самого Большого взрыва?

Над этой проблемой всерьез размышлял ученик Фридмана, некогда слушавший его лекции в Петроградском университете — как раз в те времена, когда Фридман работал над своими космологическими моде-

³⁹ Теорию этих процессов разрабатывали уже упоминавшийся Фред Хойл и его сотрудники.

⁴⁰ Можно спросить: а как же мы? А как же, например, наша Земля, которая состоит из куда более тяжелых элементов? Не надо забывать, что Земля вместе с нами «весит» в 330 тысяч раз меньше, чем Солнце, а 98 % массы Солнца приходится опять-таки на водород и гелий.

лями. Ученика звали **Георгий Антонович Гамов** (1904–1968). В 1933 году он эмигрировал из СССР, в 1940 году получил гражданство США. В сороковые годы Джордж Гамов пришел к мысли о том, что Вселенная в начальном состоянии была горячей и плотной, и значит, в ней были подходящие условия для того, чтобы четверть всей массы водорода превратилась в гелий. Позднее Гамов писал, что о горячей Вселенной ему говорил его первый научный руководитель — Александр Александрович Фридман.

Идея Гамова заключалась в следующем. Если Вселенная расширяется, значит, в прошлом, в самом начале ее эволюции, плотность материи была гораздо выше, чем сейчас, — как в недрах современных звезд. Температура тоже была чрезвычайно высокой. В этих условиях самый простой химический элемент — водород — вполне мог в ходе реакций ядерного синтеза частично превратиться в гелий. Но другие реакции с образованием тяжелых элементов почему-то не запускались, хотя такие процессы также можно было ожидать.

Теорию первичного синтеза элементов в горячей Вселенной разработали Джордж Гамов и его аспирант **Ральф Альфер**. В качестве соавтора научной статьи Гамов указал Ганса Бете — его фамилия была дописана, когда текст был уже готов. Это была типичная для эксцентричного Гамова шутка: ему хотелось, чтобы новая концепция получила название Альфа-Бета-Гамма-теория, обыгрывая названия первых букв греческого алфавита.

В теории Гамова был еще один важный элемент. Горячее начальное вещество, согласно разделу физики, называемому термодинамикой, должно было породить *электромагнитное излучение*. Законы термодинамики, многократно проверенные и доказанные, требовали, чтобы в горячем веществе возник своеобразный газ

В НАЧАЛЬНОЙ
ГОРЯЧЕЙ
ВСЕЛЕННОЙ
ИЗЛУЧЕНИЕ
ДОМИНИРОВАЛО
НАД ВЕЩЕСТВОМ.

из частиц света, сгустков электромагнитного поля — фотонов. Фотоны ведут себя как частицы, лишенные массы и движущиеся со скоростью света. Согласно расчетам, по законам термодинамики фотонов должно быть гораздо больше, чем частиц вещества (теория указывает, что их должно быть примерно в миллиард раз больше, чем ядер атомов водорода — протонов). Гамов считал, что в раскаленном начальном плотном «супе» из ядер водорода и гелия должны были присутствовать многочисленные фотоны.

В дальнейшем оказалось, что эти фотоны как раз и мешали образованию тяжелых ядер. В реакциях синтеза на начальном этапе возникали только ядра атомов гелия, ядра дейтерия (в небольшом количестве), а также лития и бора.

Средняя энергия фотонов должна быть примерно равна средней энергии движения частиц вещества (протонов и ядер атомов гелия). Это значит, что полная энергия фотонов (электромагнитного излучения) в тот же миллиард раз превышала полную энергию частиц вещества! В начальной горячей Вселенной излучение доминировало над веществом.

Но что происходило дальше? Плотность вещества и полей уменьшалась (Вселенная расширялась). Наконец плотность материи стала недостаточной для продолжения реакций ядерного синтеза. Согласно законам физики, должна была падать температура не только вещества, но и электромагнитного излучения. Но температура излучения связана с длиной его волны: это означает, что длина волны излучения должна была постоянно увеличиваться по мере падения температуры. Если при гигантских начальных температурах порядка миллиарда градусов длина волны должна соответствовать параметрам гамма-излучения, то со временем температура (а значит, и энергия) излучения должна уменьшаться, как и длина его волны.

Гамов, Альфер и их коллега Роберт Герман⁴¹ сделали оценку, какова должна быть типичная длина волны этого излучения сегодня, спустя более чем десять миллиардов лет после Большого взрыва. Они получили очень низкую температуру — в пределах от нуля до десяти градусов по шкале Кельвина.

Согласно рассуждениям Гамова и его команды, это излучение, сохранившееся со времен горячей Вселенной, никуда не должно было деться⁴². Оно и сегодня должно заполнять всю Вселенную, равномерно распространяясь во все стороны. Но поскольку длина волны этого излучения вместе с температурой существенно изменилась, зарегистрировать его можно уже не в гамма- и даже не в ультрафиолетовом и не видимом диапазоне. Излучение горячей (когда-то) Вселенной «ушло» в *длинноволновый радиодиапазон*.

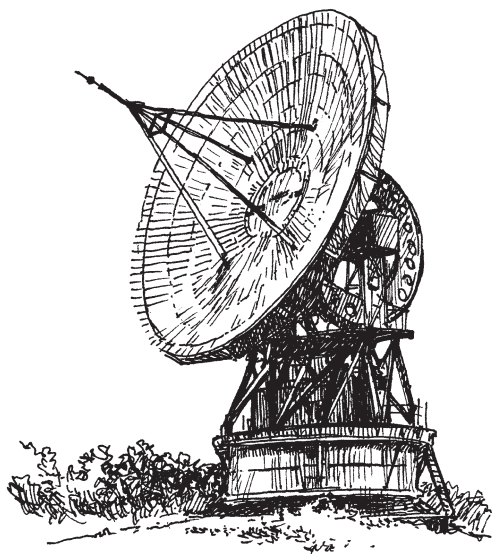
Статья команды Гамова прямо указывала, что следовало искать в космосе. Проверить, верны ли соображения ученых, или это всего лишь умозрительные теоретические построения, не имеющие ничего общего с реальностью, можно было только в ходе эксперимента.

После Второй мировой войны быстро развивалась радиоастрономия — военные радары продемонстрировали, что какие-то источники радиоволн явно находятся в космосе (например, Солнце и Юпитер), и специальные антенны для приема космического радиоизлучения активно сооружались во всем цивилизованном мире. Можно было ожидать, что в список научных задач молодая радиоастрономия должна была

ИЗЛУЧЕНИЕ,
СОХРАНИВШЕЕСЯ СО
ВРЕМЕН ГОРЯЧЕЙ
ВСЕЛЕННОЙ, НИКУДА
НЕ ДОЛЖНО БЫЛО
ДЕТЬСЯ

⁴¹ Любопытно, что все трое — и Гамов, и Альфер, и Герман — выходцы из семей с российскими корнями.

⁴² А куда бы оно делось из Вселенной!



РТ-22 — прецизионный радиотелескоп с 22-метровым параболическим зеркалом, один из старейших в России. Работает в Пушчинской радиоастрономической обсерватории с 1959 года. В этой конструкции был впервые реализован новый принцип азимут-угломестной сборки, позволяющий исключить асимметричные деформации крупногабаритного зеркала под воздействием силы тяжести. РТ-22 — серийный радиотелескоп, в СССР выпускались также серии РТ-32, РТ-70.

включить поиск древнего излучения горячей (когда-то) Вселенной...

Удивительно, но на статью Альфера и Германа, вышедшую в 1948 году, внимания никто не обратил⁴³. Так бывает в науке — дух времени запаздывал. Гениальная догадка Гамова немного опередила дух времени, зерно упало на почву, еще не готовую его принять⁴⁴. Стоит также сказать, что в 1941 году об обнаружении излучения с такими свойствами написал в своей научной статье **Эндрю Маккеллар**, но он не понял, что это такое.

В середине пятидесятых годов рупорная антенна Пулковской обсерватории под Ленинградом (когда-то именно там, в Петрограде, как он тогда назывался, Фридман читал лекции Гамову) зарегистрировала излучение, идущее из космоса, соответствовавшее температуре около трех Кельвин. Антенна, на которой работали советские радиоастрономы, **Семен Эммануилович Хай-**

⁴³ Как, впрочем, в свое время и на статью Фридмана. Иногда создается впечатление, что работу Фридмана прочитал только Эйнштейн. Леметр, повторивший основные выкладки Фридмана и разработавший более «продвинутой» теорию, работы Фридмана не читал. Интересно, сколько научных статей, содержащих будущие научные прорывы, мы не замечаем сегодня?

⁴⁴ Научный редактор книги О. В. Верходанов заметил, что сами авторы идеи, похоже, не были уверены в своем результате: если в 1948 году они писали о температуре 5 К, то спустя два года, в 1950 году — о 28 К.

кин и **Наум Львович Кайдановский**, а также их аспирант **Т. А. Шмаонов**, зафиксировала древнее излучение юной горячей Вселенной! Этот результат Тигран Арамович Шмаонов изложил в своей кандидатской диссертации в 1957 году, а затем упомянул в статье, опубликованной в советском журнале «Приборы и техника эксперимента». Но сами наблюдатели не обратили на обнаружение излучения особого внимания и не осознали, что же они зарегистрировали.

Прошло еще семь лет. Весной 1964 года советские астрономы **Андрей Георгиевич Дорошкевич** и **Игорь Дмитриевич Новиков** опубликовали работу, где было указано, каких наблюдательных проявлений следует ожидать от древнего излучения горячей Вселенной, и даже были указания, на каком инструменте лучше всего проводить наблюдения. И хотя статья советских исследователей была вскоре переведена на английский язык и опубликована, на нее обратили внимание уже после открытия...

В 1964 году в американской компании «Лаборатории Белл» велись эксперименты, которые должны были ответить на вопрос: можно ли организовать связь со спутниками в микроволновом диапазоне. Эксперименты предлагалось проводить со спутником «Эхо», который представлял собой надувной шар диаметром более 30 метров. Тонкая оболочка спутника была сделана из полиэтилена с металлизированным покрытием, и спутник должен был служить (и служил) пассивным отражателем радиосигналов.

Сотрудники «Белл» **Арно Пензиас** и **Роберт Вилсон** работали на шестиметровой рупорной антенне в штате Нью-Джерси (США), принимая слабый отраженный сигнал от «Эха». С некоторым удивлением они обнаружили, что из космоса на длине волны 7,35 сантиметра, соответствующей температуре 2,7 К, постоянно льется какое-то излучение. Таинственный радиощум не зави-

АНТЕННА, НА
КОТОРОЙ РАБОТАЛИ
СОВЕТСКИЕ РАДИО-
АСТРОНОМЫ,
ЗАФИКСИРОВАЛА
ДРЕВНЕЕ ИЗЛУЧЕНИЕ
ЮНОЙ ГОРЯЧЕЙ
ВСЕЛЕННОЙ!

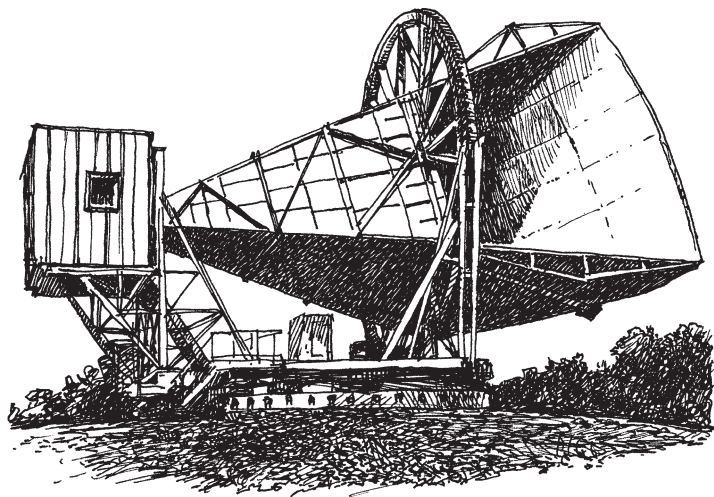


Спутник «Эхо-1» — надувной радиоотражающий шар в космосе, ракетой доставленный на орбиту в 1960 году для экспериментов в области спутниковой связи.

сел ни от времени суток, ни от времени года, ни от направленности антенны. Он шел отовсюду! Инженеры поворачивали антенну, убеждаясь, что микроволновый фон поступал со всех сторон...

Сначала исследователи думали, что они столкнулись с какими-то помехами. Они грешили на проходившую поблизости железную дорогу. Они охладили приемник жидким гелием. Им пришлось ликвидировать гнездо голубей, которое появилось прямо в антенне, а также отчистить антенну от «белого диэлектрического вещества», как его назвал Пензиас, которое оставили на антенне не уважавшие науку голуби. Но радишум от этого не исчез.

В это время примерно в пятидесяти километрах от этого места под руководством **Роберта Дикке**, **Джима Пиблса**, **Дэйва Уилкинсона** и **Питера Ролла** велось сооружение радиотелескопа физического факультета Принстонского университета для поиска излучения, предсказанного группой Гамова. К тому



времени, когда аппаратура была практически готова для начала наблюдений, до принстонской команды дошла информация о странных проблемах, с которыми столкнулись Пензиас и Вильсон. Стало ясно, что *открытие уже состоялось*. Дикке и Уилкинсон объяснили Пензиасу и Вильсону, что же, собственно, они обнаружили. В майском выпуске «Астрофизического журнала» за 1965 год были опубликованы две статьи: работа принстонской группы, содержащая теоретическое предсказание свойств излучения на основе теории Гамова, и работа Пензиаса и Вильсона — собственно об открытии микроволнового излучения.

Так было открыто микроволновое (или фоновое) излучение, как оно называется в англоязычной литературе. Выдающийся советский астрофизик **Иосиф Самуилович Шкловский** (1916–1985) предложил для него удачное название «**реликтовое излучение**».

Рупорная антенна, принимавшая отраженный сигнал от спутника «Эхо-1».

В 1978 году Пензиас и Вильсон получили Нобелевскую премию по физике «за открытие космического микроволнового излучения».

В 1978 году Пензиас и Вильсон получили Нобелевскую премию по физике «за открытие космического микроволнового излучения». Как написал по этому поводу выдающийся физик **Стивен Хокинг** (1942–2018), «это было не совсем справедливо, если вспомнить о Дикке и Пиблсе⁴⁵, не говоря уже о Гамове!» Впрочем, Джордж Гамов не мог получить премию в 1978 году, он ушел из жизни десятью годами раньше, а Нобелевские премии посмертно не присуждаются.

Но надо отдать должное открывателям. В своей нобелевской речи Арно Пензиас сказал следующее:

«Первое опубликованное признание реликтового излучения в качестве обнаружимого явления в радиодиапазоне появилось весной 1964 года в краткой статье **А. Г. Дорошкевича** и **И. Д. Новикова**, озаглавленной “Средняя плотность излучения в Метагалактике и некоторые вопросы релятивистской космологии”. Хотя английский перевод появился в том же году, но несколько позже, в широко известном журнале “Советская физика — Доклады”, статья, по-видимому, не привлекла к себе внимания других специалистов в этой области. В этой замечательной статье не только выведен спектр реликтового излучения как чернотельного волнового явления, но также отчетливо сконцентрировано внимание на двадцатифутовом рупорном рефлекторе лаборатории “Белл” в Кроуфорд-Хилл как на наиболее подходящем инструменте для его обнаружения!»

В зарубежных современных книгах роль советских исследователей почти не отмечается, разве что упоминается, что такие работы были сделаны. Так уж получилось, что эти статьи не повлияли на подготовку и осуществление открытия реликтового излучения.

⁴⁵ В 2019 г. Д. Пиблс был удостоен Нобелевской премии по физике за вклад в развитие космологии.

До открытия реликтового излучения можно было спорить о теории Гамова, рассуждать, верна она или нет, но после открытия эти споры стали бессмысленными. Факт существования реликтового излучения доказывает гипотезу о горячем состоянии Вселенной в начале ее существования и является вторым (после открытия красного смещения в спектрах галактик) доказательством того, что Большой взрыв действительно был. Объяснить реликтовое излучение иным способом оказалось невозможно.

Это не излучение отдельных небесных тел или их систем (звезд и звездных скоплений). Реликтовое излучение идет от всего неба, причем отовсюду одинаковое — с точностью до сотых долей процента. Этот факт подтверждает изначальные предположения Эйнштейна и Фридмана: Вселенная однородна и изотропна, причем она была такой с самого начала своего существования. Ведь реликтовое излучение, согласно расчетам, родилось буквально спустя одну сотысячную секунды после Большого взрыва и получило возможность свободно распространяться примерно через 380 тысяч лет после этого, когда Вселенная стала прозрачной для фотонов.

Анализ спектра реликтового излучения привел астрофизиков к следующему выводу. Оно было испущено раскаленной материей молодой и горячей Вселенной, в которой еще не было (и не могло быть) никаких звезд и планет. Это была раскаленная, хорошо перемешанная смесь электромагнитного излучения и элементарных частиц. За миллиарды лет излучение в расширяющейся Вселенной «остыло», но никуда не делось — Вселенная и сейчас им наполнена. В любой точке Вселенной можно регистрировать приходящее со всех сторон излучение. Источниками этого излучения были *все точки* Вселенной, включая ту, где сейчас находится наша Солнечная система. Это означает, что где-то в миллиардах световых лет от нас какие-нибудь наши братья по раз-

ЗА МИЛЛИАРДЫ
ЛЕТ ИЗЛУЧЕНИЕ
В РАСШИРЯЮЩЕЙСЯ
ВСЕЛЕННОЙ «ОСТЫЛО»,
НО НИКУДА НЕ ДЕЛОСЬ —
ВСЕЛЕННАЯ И СЕЙЧАС ИМ
НАПОЛНЕНА.

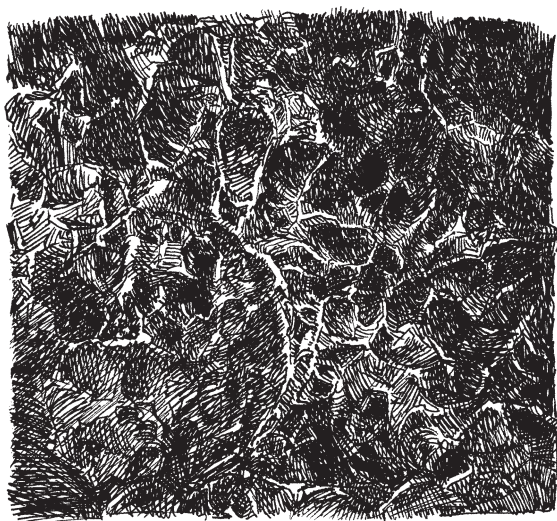
СИЯНИЕ НЕБА
НА ДЛИНЕ ВОЛНЫ
РЕЛИКТОВОГО
ИЗЛУЧЕНИЯ СЛЕГКА
НЕОДНОРОДНО —
ОНО КАК БЫ
ПОКРЫТО СЛАБОЙ
РЯБЬЮ.

уму сейчас могут регистрировать реликтовое излучение, которое испустила очень давно та точка, в которой сейчас находимся мы. Излучение от более близких точек уже давно прошло сквозь Солнечную систему. Излучение от более далеких точек нам предстоит принимать в будущем. Это излучение никогда не иссякнет именно потому, что когда-то его излучали все точки гигантской Вселенной.

Для точных измерений свойств реликтового излучения ученые стали размещать приборы на спутниках, выводя их за пределы земной атмосферы, вносящей помехи. Первый комплект аппаратуры «Реликт-1», специально предназначенной для регистрации древнего излучения, сформировавшегося вскоре после Большого взрыва, был установлен на советском научном спутнике «Прогноз-9» в 1983 году. Однако чувствительность приборов оказалась недостаточной, чтобы почувствовать некоторые важные особенности этого излучения. Зато их заметил знаменитый американский спутник COBE⁴⁶, запущенный в 1989 году, а позже уточнили спутники WMAP и «Планк». Продолжались и наземные эксперименты со всевозрастающей точностью измерений.

У реликтового излучения обнаружились следующие особенности. Оно оказалось *не абсолютно однородным*. В каких-то направлениях интенсивность излучения оказалась немного (на тысячные доли процента) выше среднего фона, в каких-то — ниже. Сияние неба на длине волны реликтового излучения слегка неоднородно — оно как бы покрыто слабой рябью. Это значит, что в каких-то направлениях температура излучения была чуть выше, в каких-то — чуть ниже

⁴⁶ Научные руководители эксперимента Джон Мазер и Джордж Смут в 2006 году получили Нобелевскую премию по физике за результаты исследований реликтового излучения, выполненные на спутнике COBE.



125 Мpc/h

среднего уровня. В раскаленной начальной Вселенной присутствовали небольшие отклонения от средней температуры и средней плотности — **флуктуации**.

Если обратиться к современным наблюдениям (спустя 13,8 миллиарда лет после того, как было испущено реликтовое излучение), мы увидим, что Вселенная не абсолютно однородна. Вещество сконцентрировано в звездах, звезды объединены в галактики. Галактики имеют тенденцию сгущаться в скопления и сверхскопления галактик, а между скоплениями галактик наблюдаются гигантские пустоты — **войды** размерами в сотни миллионов парсек. В войдах практически нет галактик. На более крупных масштабах Вселенная действительно однородна: во всех направлениях скопления галактик и войды между ними распределены примерно равномерно, образуя гигантскую ячеистую структуру, похожую на сетку или паутину. Ячейки этой

Ячеистая крупномасштабная структура Вселенной. Заметны гигантские пустоты между скоплениями галактик, ассоциированных в нитевидные структуры.

НЕ МОЖЕТ
ЛИ СЛАБАЯ
РЯБЬ НА КАРТЕ
РАСПРЕДЕЛЕНИЯ
РЕЛИКТОВОГО
ИЗЛУЧЕНИЯ ПО
НЕБУ ОКАЗАТЬСЯ
СВЯЗАННОЙ
С НЕОДНОРОДНОСТЬЮ
В ВИДЕ ГАЛАКТИК?

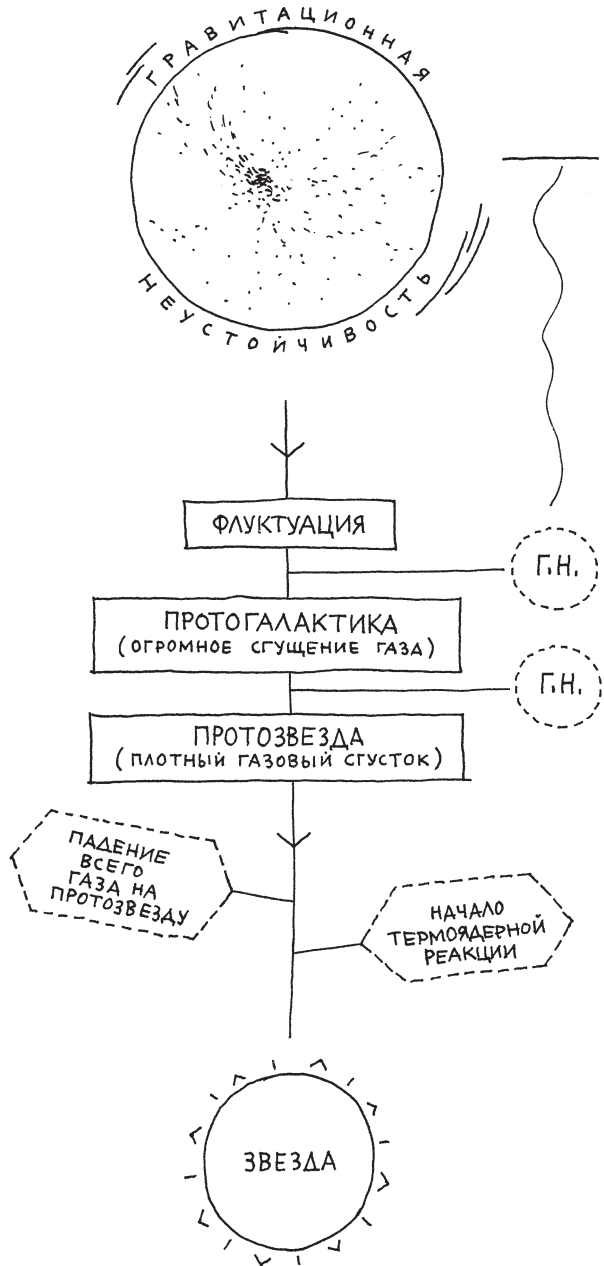
сетки, построенные из скоплений галактик, приблизительно одинаковы.

Но на меньших масштабах Вселенная оказалась не совсем однородной. Не может ли слабая рябь на карте распределения реликтового излучения по небу оказаться связанной с неоднородностью в виде галактик?

Это была вполне разумная гипотеза. Если бы материя Вселенной была распределена абсолютно равномерно, не было бы никаких галактик и звезд — Вселенная представляла бы собой газ из элементарных частиц, погруженных в электромагнитное излучение, и плотность этого газа была бы везде одинаковой. Такая Вселенная была бы неинтересной: в ней не было бы никаких сгущений типа звезд, планет, пылевых облаков, астероидов, комет, а также ни автора, ни читателей этой книги⁴⁷.

Тем не менее наша Вселенная явно не такая. Для физиков это вполне объяснимо. Дело в том, что абсолютно одинаковой плотности вещества *не бывает*. Представим себе, что в какой-то области молодой горячей Вселенной *случайно* сформировалась **флуктуация**: плотность материи оказалась немного (совсем чуть-чуть) выше, чем в соседней области. Это значит, что данный объем пространства концентрирует в себе немного больше вещества по сравнению с соседним объемом, а значит, эта область стала притягивать к себе частицы из окружающего пространства чуть-чуть сильнее, чем соседние области. Сюда переместятся из окружающих областей притянувшиеся частицы, масса (и плотность) этой области дополнительно увеличится, сила притяжения усилится. Процесс будет «разгоняться»: небольшая случайная флуктуация будет нарастать как ком снега, контраст плотности будет становиться все больше, и вещество из окружающих областей будет перемещаться в область нарастающей массы. Такой процесс физики называют **гравитационной неустойчивостью**.

⁴⁷ В сущности, все мы представляем собой сгущения атомов, связанных между собой электромагнитными силами.



Гравитационная неустойчивость и ее роль в образовании звезд.



ПРОТОЗВЕЗДА
В ГАЗОПЫЛЕВОМ КОКОНЕ

Газ падает на протозвезду по спирали.

Самое главное, что иначе быть не может: не бывает вещества без флуктуаций плотности. Достаточно флуктуации случайно появиться, включится закон тяготения в форме гравитационной неустойчивости. Он будет работать автоматически, усиливая флуктуацию и формируя тем самым сгущение материи — протогалактику. В этих огромных сгущениях газа должны возникать новые гравитационные неустойчивости, но уже в гораздо меньших масштабах. Из сравнительно плотного газа должны формироваться еще более плотные небольшие (по сравнению с протогалактикой) газовые сгустки — **протозвезды**. Сила тяготения должна привести к падению оставшегося газа на протозвезды. Падение газа приводит к нагреву, температура и плотность в недрах газовых шаров должна была рано или поздно достигнуть тех значений, когда вспыхивают термоядерные реакции — протозвезды превращались в **звезды**.

Когда мы произносим слово «должны», это означает, что описанные процессы естественно происходят под влиянием законов физики. Законы физики — это не человеческие законы. Они никогда не нарушаются. Именно это позволяет нам использовать законы фи-

зики для расчетов того, как должна развиваться ситуация. Если мы правильно оценили начальные условия и не сделали ошибок в расчетах, то ответ получится правильным.

Качественно такая картина ясна и понятна. Но при детальном рассмотрении и попытке рассчитать ход этих процессов в соответствии с законами физики возникли серьезные проблемы.

Во-первых, согласно данным о красном смещении, мы должны признать, что галактики разлетаются, — значит, средняя плотность вещества во Вселенной уменьшается. Это общий глобальный процесс, обратный сгущиванию вещества под влиянием гравитационной неустойчивости в местах случайных флуктуаций. Как удалось неустойчивости победить всеобщее расширение? Как удалось гравитации вырвать из потока расширения локальные сгущения, превратить их в протогалактики, а протогалактики разбить на звезды?

Во-вторых, в очень горячей начальной Вселенной (а сам факт существования реликтового излучения говорит, что начальная Вселенная была очень горячей) атомы существовать *не могут*: при высоких температурах в атомах электроны отрываются от ядер (этот процесс хорошо известен и называется **ионизацией**). Все вещество горячей Вселенной было, несомненно, **ионизовано**: оно представляло собой в основном отдельные **ядра атомов водорода** (протоны без электронов) и отдельные **ядра атомов гелия** (состоящие из двух протонов и двух нейтронов каждое), ну и множества отдельных электронов, свободно летающих между ними. Но все наши знания физики говорят о том, что частицы электромагнитного излучения — фотоны — очень хорошо взаимодействуют со свободными электронами. Это значит, что фотоны должны сталкиваться с электронами и отскакивать от них (рассеиваться на них). Расчеты показали, что давление фотонов должно было

В ОЧЕНЬ ГОРЯЧЕЙ
НАЧАЛЬНОЙ ВСЕЛЕННОЙ
АТОМЫ СУЩЕСТВОВАТЬ
НЕ МОГУТ.

препятствовать нарастанию плотности протонов и электронов, то есть начальная флуктуация на самом деле не могла усиливаться! Давление частиц света должно было препятствовать развитию гравитационной неустойчивости. А света в начальной Вселенной хватало: выше уже указывалось, что фотонов было в миллиард раз больше, чем протонов и электронов, и это мы точно знаем по характеристикам реликтового излучения.

Итак, до тех пор, пока вещество было ионизованным, небольшие случайные флуктуации плотности, погруженные в океан горячего реликтового света, развиваться не могли. И только к тому времени, когда плотность и температура раскаленной смеси из света и частиц уменьшилась за счет общего расширения Вселенной (в единице объема стало меньше и частиц, и фотонов), замедлившиеся ядра водорода и гелия смогли захватывать электроны и становиться электрически нейтральными частицами — атомами. Взаимодействие фотонов с такими частицами резко изменилось: среда стала *прозрачной* для света, и фотоны стали свободно двигаться сквозь пространство, проходя сквозь газ из водорода и гелия⁴⁸.

Поэтому только с того момента, когда остывающее вещество во Вселенной стало электрически нейтральным, электромагнитное излучение должно было перестать мешать гравитации усиливать флуктуации, формируя протогалактики. Но тогда масштаб ряби на карте реликтового излучения должен был получиться иным — совсем не тех угловых размеров, которые зафиксировали спутники.

ПОКА ВЕЩЕСТВО БЫЛО ИОНИЗОВАННЫМ, НЕБОЛЬШИЕ СЛУЧАЙНЫЕ ФЛУКТУАЦИИ ПЛОТНОСТИ, ПОГРУЖЕННЫЕ В ОКЕАН ГОРЯЧЕГО РЕЛИКТОВОГО СВЕТА, РАЗВИВАТЬСЯ НЕ МОГЛИ.

⁴⁸ Детальные расчеты показывают, что это должно было произойти примерно через 380 тысяч лет после Большого взрыва. Именно тогда реликтовое излучение смогло свободно распространяться сквозь Вселенную — и в ослабленном (остывшем) виде мы продолжаем видеть его и сегодня в виде слабого радиосвечения неба.

Что-то было не так. Концы с концами не сходились.
В чем же дело?

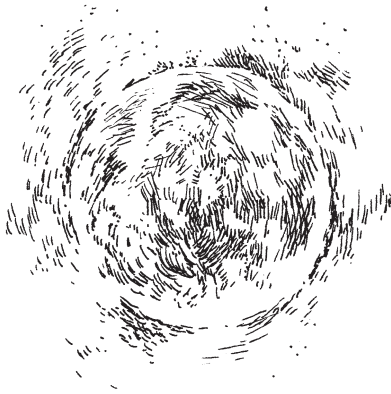
В этой книге уже не раз говорилось, что основная сила, которая действует во Вселенной, управляя движениями и многими процессами, — это гравитация. Это удивительное свойство пространства искривляется под воздействием массы (или энергии), размещенной в этом пространстве, как говорит общая теория относительности Эйнштейна, либо свойство тел, обладающих массой, притягивать к себе другие подобные тела, как гласит классическая теория тяготения Ньютона.

Тяготение уже не раз позволяло открывать объекты, которые было сложно (или невозможно) обнаружить по их электромагнитному излучению (свету). Так, можно напомнить, что именно по возмущениям орбиты Урана, вызванным притяжением Нептуна, удалось рассчитать положение Нептуна, навести туда телескоп и впервые увидеть ранее неизвестную планету. В наше время по движениям наблюдаемых в радиодиапазоне звезд в центре нашей Галактики, движущихся с бешеными скоростями вокруг чего-то невидимого, была зафиксирована (поймана с поличным!) сверхмассивная черная дыра, а по скоростям упомянутых звезд удалось определить ее массу. Именно изучение гравитации позволило сделать и еще одно выдающееся открытие, которое изменило картину мира и позволило понять, как первичные флуктуации превратились в галактики.

Человеку свойственно мыслить аналогиями и искать в неизвестном уже известное. Вильям Гершель в свое время считал, что Солнце — объект твердый и вполне холодный (как Земля), предполагая, что все небесные тела устроены примерно одинаково⁴⁹. В начале XX века была популярной планетарная теория атома:

По возмущениям
орбиты Урана,
вызванным
притяжением Нептуна,
удалось рассчитать
положение Нептуна,
навести туда телескоп
и впервые увидеть
ранее неизвестную
планету.

⁴⁹ Это означало, по мысли Гершеля, что Земля из космоса должна выглядеть примерно как Солнце.



РАСПРЕДЕЛЕНИЕ
МАСС
ВНУТРИ СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ

СОЛНЦЕ = 99%

считалось, что электроны летают вокруг ядра атома, состоящего из протонов и нейтронов, как планеты вокруг Солнца⁵⁰. Нередко можно слышать (даже от студентов), что и Галактика устроена так же, как Солнечная система: в середине (в центре масс) находится сверхмассивная черная дыра, а вокруг нее, как планеты вокруг Солнца, движутся многочисленные звезды.

Эта аналогия неверна. Дело в том, что масса Солнца составляет более 99 % всей массы Солнечной системы, а все планеты с их спутниками, астероиды, карликовые планеты, объекты пояса Койпера, пыль — *меньше одного процента*. Поэтому можно проводить расчеты движений планет, предполагая, что их (планет) масса пренебрежимо мала по сравнению с центральным телом, и в таком приближении можно использовать законы Кеплера. Согласно этим законам, чем дальше от Солнца находится планета, тем медленнее она вокруг него движется.

Если же говорить о Галактике, то сверхмассивная черная дыра (СМЧД) «весит» примерно четыре миллиона масс Солнца. Это много, но это пренебрежимо малая величина по сравнению с массой четырехсот миллиардов звезд Галактики, многие из которых существенно «тяжелее» нашего Солнца. Это значит, что масса

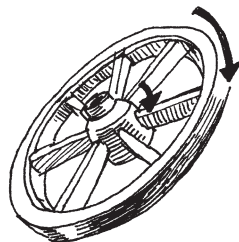
⁵⁰ Для тех, кто немного подумает, очевидна невозможность этой аналогии хотя бы потому, что положительно заряженные протоны в ядре атома должны притянуть отрицательно заряженные электроны, витающие вокруг ядра. Этого тем не менее не происходит. Наоборот, протоны, которые должны отталкиваться друг от друга, почему-то сидят рядом в ядрах тяжелых атомов. Это означает, что здесь действуют совсем другие природные закономерности (которые называются квантовой механикой).

СМЧД составляет в лучшем случае жалкие доли процента по сравнению с суммарной массой Галактики. Несколько близких звезд действительно летают вокруг СМЧД, как планеты вокруг Солнца. Но остальные сотни миллиардов звезд расположены в форме гигантской спирали и движутся под воздействием *суммарного гравитационного поля галактики*, которое сами же и создают. Такая же картина наблюдается и в других галактиках.

Еще в середине XX века астрономы начали замечать, что концы с концами не сходятся — галактики вращаются как-то не так, как следовало бы ожидать исходя из оценок распределения масс внутри галактики. Конечно, мы не знаем массы конкретных звезд, но если предположить, что они не очень сильно отличаются от массы Солнца, общая закономерность (пусть не точно) должна воспроизводить наблюдаемое (опять-таки с помощью доплеровских эффектов) вращение галактик. Но не тут-то было!

Галактики вращаются почти как твердые тела (например, как колесо со спицами). Звезды, расположенные на окраинах галактики, движутся почти с той же угловой скоростью (а значит, с огромной линейной скоростью), что и звезды вблизи центра галактики. Распределение скоростей никак не соответствовало расчетам! Получается, как будто в галактиках *присутствует некая загадочная, невидимая «скрытая» масса*. При этом, судя по характеру вращения галактики, эта масса распределена по всей галактике и даже выходит далеко за пределы внешних границ спиральных рукавов. Для того чтобы привести расчеты в соответствии с наблюдениями, нужно было предположить, что «скрытая масса» *огромна*. Ее должно оказаться в пять-шесть раз больше, чем всего видимого вещества (звезд, газа и пыли).

ВРАЩЕНИЕ
КОЛЕСА КАК
ОБРАЗ ГАЛАКТИКИ



Равенство угловых скоростей на периферии и в центре колеса.

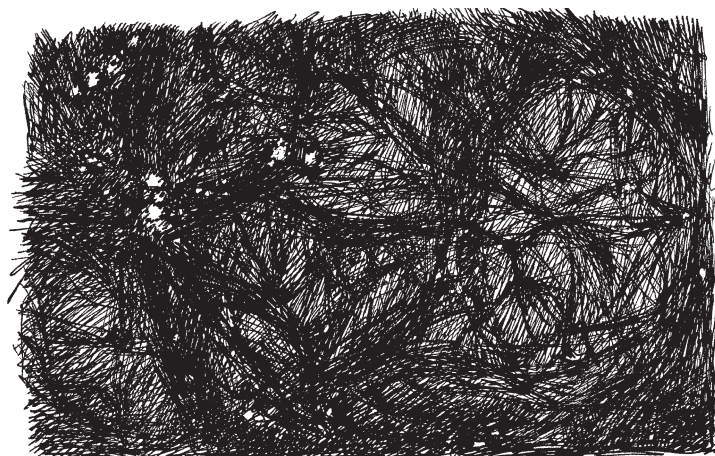
ТЕМНАЯ МАТЕРИЯ —
ЭТО НЕЧТО ПОКА
НЕ ИЗВЕСТНОЕ,
ОБЛАДАЮЩЕЕ
ЗНАЧИТЕЛЬНОЙ МАССОЙ
И КОНЦЕНТРИРУЮЩЕЕСЯ
В ГАЛАКТИКАХ

Проблемой скрытой массы в галактиках серьезно занимались эстонские астрономы, в числе которых нужно назвать прежде всего **Яана Эйнасто**. Тем не менее во многих современных англоязычных книгах в качестве открывателя феномена скрытой массы упоминаются астрономы из Принстонского университета, а также американский астроном **Вера Рубин**⁵¹.

Сам Эйнасто описал ситуацию следующим образом. Еще в 1973 году на научной конференции в Тбилиси Эйнасто беседовал с крупным советским астрофизиком **Рашидом Алиевичем Сюняевым** и рассказывал ему о скрытой массе в галактиках. «И тут Сюняев сказал: “Яан, обрати внимание: твои модели никто не примет всерьез до тех пор, пока какой-нибудь американец не подтвердит твои результаты”. Предсказание Сюняева действительно сбылось... Наличие темной материи вокруг галактик заметили только после того, как принстонские астрономы и Вера Рубин подтвердили наши результаты».

Как бы то ни было, в середине последней четверти XX века существование некой загадочной скрытой массы в галактиках стало фактом. Этот феномен в наше время именуется **темной материей**. Темная материя — это нечто пока неизвестное, обладающее значительной массой и концентрирующееся в галактиках (но, судя по характеристикам вращения галактик, ступенчатости темной материи заметно превышает эти галактики по размеру).

⁵¹ К сожалению, это не такое уж редкое явление. В 1918 году эстонский астроном Эрнст Эпик (1893–1985) доложил в Москве о своих измерениях расстояния до туманности Андромеды (у него получились 2 миллиона световых лет), а в 1922 году его результат был опубликован в Астрофизическом журнале. Это означает, что Эпик открыл существование других галактик раньше Хаббла и более точно определил расстояние до ближайшей из них. Попробуйте найти упоминание об Эпике! Зато весь мир знает, что это сделал Хаббл.



Что это может быть?

Были версии, что астрономы не замечают небольшие тусклые звезды (какие-нибудь «черные карлики»), недооценивают количество пыли и газа в галактиках, не учитывают невидимые черные дыры. Но скоро стало ясно, что таким образом можно лишь слегка повысить массу «видимого» вещества, — а ее нужно было увеличить *практически в шесть раз*. Только в таком случае движение «видимой массы», сосредоточенной в основном в звездах, можно было объяснить.

В настоящее время главная гипотеза о природе темной материи сводится к следующему. Скорее всего, это неизвестный науке тип элементарных частиц — мельчайших кусочков материи с размером протонов или нейтронов. Но это не ставшие уже привычными нам протоны или нейтроны. Они не должны взаимодействовать (или совсем слабо взаимодействуют) с привычным нам веществом (теми же протонами). Они, судя по всему, не подчиняются так называемому сильному ядерному взаимо-

Распределение темной материи. Скопления галактик показаны как светлые пятна в местах сгущения темной материи (темные линии).

действию — силам, которые склеивают протоны между собой в ядре атома и не дают им разлететься под действием электрического отталкивания. Если бы частицы темной материи слушались сильного взаимодействия, они могли бы образовать ядра непривычных нам атомов.

Кроме того, частицы темной материи не должны подчиняться электромагнитному взаимодействию, а значит, не влияют на электромагнитное излучение (свет) — поэтому мы их и не видим.

Один из гипотетических вариантов еще не открытых частиц физики и астрономы назвали аббревиатурой WIMP⁵², или просто вимпы. Если они существуют, то их можно почувствовать *только по их гравитационному воздействию*. Они присутствуют и в нашей Галактике, и в нашей Солнечной системе, находятся рядом с читателем этой книги и постоянно проходят его насквозь. Читатель, впрочем, этого не замечает, поскольку, как следует из их названия, они слабо взаимодействуют с веществом.

Особенности вращения галактик показали, что галактики могут быть наполнены газом, состоящим из этих частиц. Более того, облака темной материи, судя по имеющимся данным, значительно больше галактик. Скорее всего, галактики сформировались именно там, где есть сгущения темной материи.

В 1980-е годы уже упоминавшийся выше **Джим Пиблс** из Принстонского университета пришел к мысли, что факт существования темной материи может согласовать наблюдения флуктуаций реликтового излучения с теорией. Если в самом начале существования Вселенной помимо протонов, нейтронов и электронов появились еще и частицы темной материи, имен-

ЧАСТИЦЫ ТЕМНОЙ
МАТЕРИИ НЕ ДОЛЖНЫ
ПОДЧИНЯТЬСЯ
ЭЛЕКТРОМАГНИТНОМУ
ВЗАИМОДЕЙСТВИЮ,
А ЗНАЧИТ, НЕ ВЛИЯЮТ
НА ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЕ
ИЗЛУЧЕНИЕ (СВЕТ) —
ПОЭТОМУ МЫ ИХ И НЕ
ВИДИМ.

⁵² Weakly Interacting Massive Particles (слабо взаимодействующие массивные частицы).

но флуктуации их распределения могли привести к появлению у Вселенной структуры.

Флуктуации пространственного распределения вимпов⁵³, видимо, возникли еще в те ранние времена вскоре после Большого взрыва, когда еще не могли возникнуть флуктуации протонов, нейтронов и электронов из-за взаимодействия с фотонами. Фотоны, как было сказано выше, неизбежно должны были препятствовать росту флуктуации. Но вполне могли возникнуть *флуктуации частиц темной материи*, которые с фотонами не взаимодействуют. И когда по мере падения температуры протоны, нейтроны и электроны наконец смогли объединяться друг с другом, формируя атомы водорода (а также атомы гелия и небольшое количество дейтерия), уже существовали первичные флуктуации — сгущения темной материи. Собственно, в этих сгущениях под действием их гравитации и стали концентрироваться сгустки так называемой барионной материи⁵⁴, из которых сформировались сгущения газа — протогалактики. А они со временем превратились в скопления звезд — галактики. Именно флуктуации темной материи стали зародышами будущих протогалактик.

Когда в теорию формирования галактик с учетом расширения Вселенной добавили темную материю, были заново выполнены расчеты — как должны выглядеть флуктуации реликтового излучения под воздействием флуктуаций плотности (а значит, и температуры). Результат превзошел все ожидания. Точки, полученные в результате наблюдений реликтового излучения спутником «Планк» в 2013 году, с великолепной точностью легли на график, ранее построенный на

ФЛУКТУАЦИИ ТЕМНОЙ
МАТЕРИИ СТАЛИ
ЗАРОДЫШАМИ БУДУЩИХ
ПРОТОГАЛАКТИК.

⁵³ Или каких-нибудь других носителей темной материи.

⁵⁴ Барионами физики называют протоны, нейтроны, а также еще несколько типов нестабильных частиц.

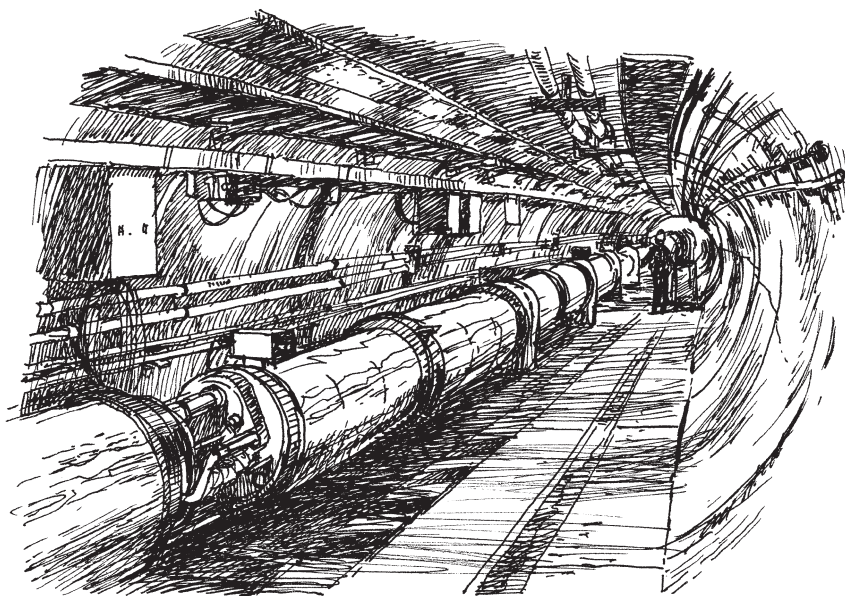
СОВРЕМЕННАЯ
ФИЗИКА И РАСЧЕТЫ
НА КОМПЬЮТЕРАХ
ПОЗВОЛИЛИ
ВОСПРОИЗВЕСТИ,
КАК РАЗВИВАЛАСЬ
ВСЕЛЕННАЯ ОТ НАЧАЛА
ДО СЕГОДНЯШНЕГО ДНЯ.

основе теоретических расчетов. Это означало, что теория верна! И темная материя включена в теорию как необходимый элемент.

Итак, теперь картина выглядела так. Вселенная в начальном состоянии была наполнена невероятно интенсивным электромагнитным излучением, а также элементарными частицами, включая частицы темной материи. Случайные флуктуации плотности темной материи под воздействием гравитационной неустойчивости породили сгущения массы. Позже в равномерной раскаленной смеси барионов и электронов температура упала, барионы и электроны сформировали нейтральные атомы, и частицы света (фотоны) перестали взаимодействовать с ними — среда стала прозрачной для распространения света. Сгущения темной материи притянули к себе барионы. В ее огромных сгустках под воздействием их гравитации стали накапливаться сгустки горячего вещества, свет которого мы и наблюдаем как флуктуации реликтового излучения.

Замечательно то, что численные расчеты на суперкомпьютерах показали, что же должно было происходить дальше. Расчеты воспроизвели формирование гигантской ячеистой структуры Вселенной, где длинные нити и стенки ячеек образованы скоплениями галактик, а внутренняя часть ячеек — это огромные пустоты размером до трехсот миллионов световых лет и больше (войды). Но именно такую картину мы и видим из наших наблюдений. Современная физика и расчеты на компьютерах позволили воспроизвести, как развивалась Вселенная от начала до сегодняшнего дня.

Что касается самих частиц темной материи, то мало кто сомневается в том, что их открытие будет осуществлено в ближайшие годы (работающая теория требует, чтобы они существовали). Однако тут не все так просто. Специальные эксперименты, проводимые на знаменитом **Большом адронном коллайдере**, должны



были привести к открытию главного гипотетического претендента в вимпы — тяжелой частицы, для которой было предложено название **нейтралино**. Однако этого не произошло. Наоборот, речь идет, скорее, не об открытии, а о «закрытии» нейтралино: если бы такие частицы существовали, мы бы их уже «почувствовали». Это был серьезный удар по гипотезе вимпов, хотя надежда на их открытие пока еще не потеряна окончательно.

Но чем тогда может оказаться темная материя? Что это, если не вимпы? Теоретики активно рассматривают другие варианты. Например, на роль темной материи могут подходить неизвестные пока легкие частицы с другими свойствами — например, так называемые **стерильные нейтрино**⁵⁵. На роль

Большой адронный коллайдер — сложнейшая, крупнейшая в мире экспериментальная установка, созданная усилиями тысяч ученых более чем из ста стран мира. Протяженность кольца ускорителя превышает 26,5 километра.

Расположен в подземном тоннеле в Швейцарии.

⁵⁵ Некоторые эксперименты указывают на то, что, возможно, существует четвертый тип легких частиц «нейтрино» дополнительно к трем известным типам этих элементарных частиц. Стерильные нейтрино не участвуют в извест-

ВОПРОС ОТКРЫТИЯ
ЧАСТИЦ ТЕМНОЙ
МАТЕРИИ — ВОПРОС
ВРЕМЕНИ.

частиц темной материи претендуют также **аксионы**⁵⁶. Не исключено, что придется придумать что-то еще и проверять гипотезу до тех пор, пока носители темной материи не будут открыты. В наше время сами теоретики подсказывают экспериментаторам, какие эксперименты нужно провести, чтобы проверить гипотезу и открыть (либо «закрыть») тот или иной предполагаемый тип частиц. Совершенствование приборов и методики экспериментов продолжается, и значит, вопрос открытия частиц темной материи — вопрос времени.

Однако может ли оказаться, что скрытая масса — это не вимпы, не аксионы и не нейтрино, а, например, **первичные черные дыры**, возникшие еще на ранних стадиях развития Вселенной, вскоре после Большого взрыва?

Строго говоря, и это возможно. Тем интереснее: скоро мы узнаем, что такое темная материя. В том, что она существует (чем бы она ни оказалась), уже никто не сомневается. Во-первых, на это указывают особенности вращения галактик. Во-вторых, современная теория, подтверждаемая наблюдениями, без нее уже не работает.

ных физических взаимодействиях – если, конечно, они существуют.

⁵⁶ Гипотетические нейтральные элементарные частицы, способные распадаться на два фотона. Некоторые варианты теории допускают их существование, но такие частицы не открыты.

11. Вселенная, подверженная инфляции

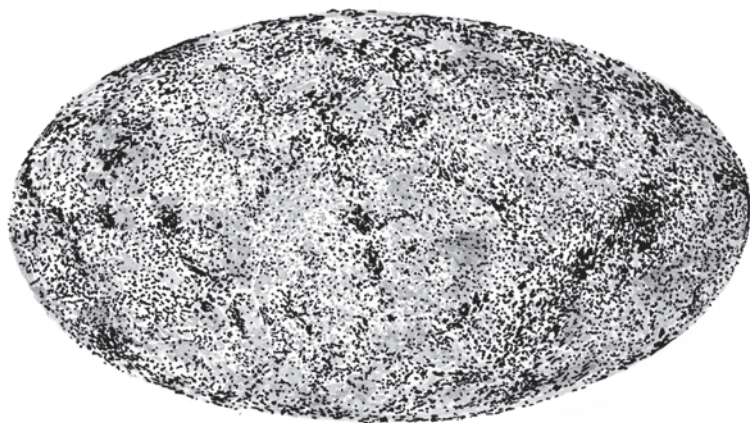
... Мы мир хотим познать, понять, обшарить,
Но жаль, нам не успеть его обмерить:
Ведь космос раздувается, как шарик...
Как бы не лопнул? — хочется поверить...

Сергей Даллиев

Выше уже не раз говорилось (но не будет лишним повторить), что теория Большого взрыва, составившая основу современной научной картины мира, строилась на фактах наблюдений. Одним из неоспоримых фактов является разлет галактик. Но если это факт, значит, в прошлом галактики были ближе друг к другу, и 13,8 миллиарда лет тому назад вся материя Вселенной была собрана в одном месте. Это была раскаленная и почти однородная материя — об этом говорит существование реликтового излучения, которое иначе объяснить не получается. Гравитационная неустойчивость в древности привела к появлению неоднородностей плотности, порожденных сгущениями темной материи, а затем и привычного нам барионного вещества. Эти неоднородности видны как флуктуации реликтового излучения, при этом они точно такие, какие предсказывает теория.

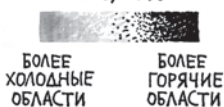
Казалось бы, все в порядке, и мы, наконец, построили адекватную картину мира, узнали, как же устроена Вселенная. Она (Вселенная) оказалась нестационарной, меняющейся со временем, и многим (включая Эйнштейна) пришлось признать, что так оно и есть. Для кого-то осознание новых реалий было чрезвычайно болезненным, у кого-то новая картина мира вызвала восторг. Я знаю людей, которые категорически не верят в теорию Большого взрыва, утверждая, что этого не

ВСЕЛЕННАЯ
ОКАЗАЛАСЬ
НЕСТАЦИОНАРНОЙ,
МЕНЯЮЩЕЙСЯ
СО ВРЕМЕНЕМ,
И МНОГИМ (ВКЛЮЧАЯ
ЭЙНШТЕЙНА)
ПРИШЛОСЬ ПРИЗНАТЬ,
ЧТО ТАК ОНО И ЕСТЬ.



ТЕМПЕРАТУРНЫЕ
НЕОДНОРОДНОСТИ

$\pm 0,01\%$

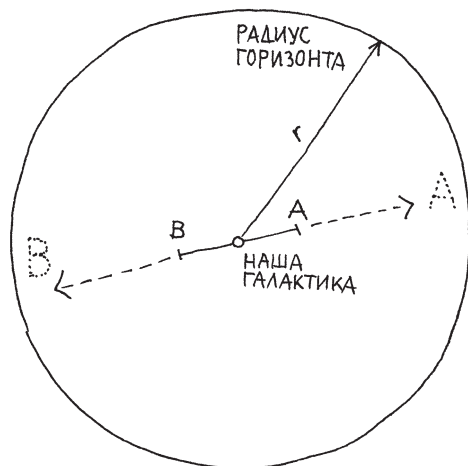


РАСПРЕДЕЛЕНИЕ
РЕЛИКТОВОГО
ИЗЛУЧЕНИЯ ПО НЕБУ

может быть, что это нелепые выдумки ученых и на самом деле все обстоит совсем не так.

Однако даже сторонники теории Большого взрыва не могли не согласиться с тем, что у нее есть достаточно серьезные проблемы. Первая получила название **проблемы горизонта**. Выше уже говорилось, что реликтовое излучение оказалось очень однородным: флуктуации уровня излучения, породившие впоследствии протогалактики, не превышают сотых долей процента от среднего уровня! Почти одинаковое излучение приходит отовсюду, со всех сторон. Это значит, что если мы наведем радиотелескоп на какую-то область А в небе, а затем направим его в противоположном направлении (на область В), мы получим практически одинаковый (с точностью до величины) сигнал.

Но излучение от точки А шло к нам более 13 миллиардов лет, и мы только сейчас его приняли. Как



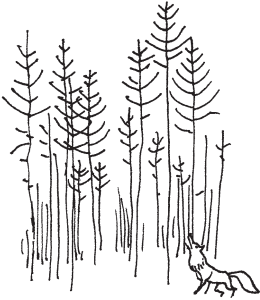
сегодня выглядит та область, которая испустила это излучение, мы уже не видим, поскольку к сегодняшнему дню она удалилась от нас на 45 миллиардов световых лет (поскольку Вселенная не прекращает расширяться). Это расстояние называется **радиусом горизонта**. Это предельное расстояние, на которое мы можем заглянуть, потому что на столько растянулось расстояние, которое смог преодолеть свет за все время существования Вселенной, начиная с Большого взрыва (точнее, с момента Большого взрыва плюс 380 тысяч лет, когда Вселенная стала прозрачной).

Но излучение из области В с противоположной стороны от А тоже шло к нам более 13 миллиардов лет, и область В сейчас тоже находится от нас в 45 миллиардах световых лет. Получается, что *в данный момент* между областями А и В расстояние умопомрачительно — 90 миллиардов световых лет! И при этом интенсивность излучения от обеих областей почему-то *одинакова*.

Почему это так? Ведь находящиеся на большом удалении области не могли обменяться сигналами, не могли сгладить свои плотность и температуру, что-



НУ ВОТ, ОПЯТЬ.
КУДА НЕ ПРИЛЕТИ,
ВЕЗДЕ ЕСТЬ И
СЫР, И ЛИСА...



бы выглядеть одинаково. Не могли потому, что даже свет — самый быстрый агент в мире — за все время существования Вселенной прошел только 13,8 миллиарда световых лет, а ему надо было бы пройти 90 миллиардов световых лет. Получается, что области А и В никак не могут быть связаны друг с другом. Строго говоря, интенсивность их излучения (да и природа) могла бы сильно отличаться, она совсем не обязана быть одинаковой повсюду. В чем же дело? Ведь не существуют физические процессы, которые могли распространяться со скоростью, превышающей скорость света, чтобы сгладить и уравнять условия в удаленных друг от друга местах Вселенной! Этот парадокс и называется **проблемой горизонта**.

Можно попытаться объяснить удивительную однородность реликтового излучения и одинаковость флуктуаций во всех направлениях следующим образом. Ведь в прошлом вся материя Вселенной была более плотной, значит, области А и В раньше были ближе друг к другу. Сейчас они очень далеки, но когда они были ближе, возможно, свет (или что-то другое) мог успеть пройти от точки А до точки В и передать сигнал (какое-то физическое воздействие), который уравнивал условия в этих точках?

Эта гипотеза не подтверждается. Расчеты показывают, что по мере удаления в прошлое радиус горизонта уменьшается *быстрее*, чем расстояние между удаленными областями. Значит, в прошлом проблема усугублялась: наоборот, даже те области, которые сейчас могут быть связаны друг с другом (свет к сегодняшнему дню успел пройти расстояние между ними), в прошлом не были связаны (свет еще не успел пройти расстояние от одной такой области до другой). Проблема горизонта выглядела неразрешимой. Что уравнило условия в областях Все-

ленной, которые в принципе не могут никак быть связаны между собой?

У теории Большого взрыва есть еще одна проблема. Согласно моделям Фридмана, судьба Вселенной зависит от средней плотности материи в ней. Если плотность материи больше критического значения (расчеты показывают, что эта величина равна 10^{-34} г/см³), то суммарная гравитация материи должна остановить расширение Вселенной (инерцию Большого взрыва) и обратить его вспять: галактики должны потерять скорость, остановиться, а затем начать сближение с ускорением.

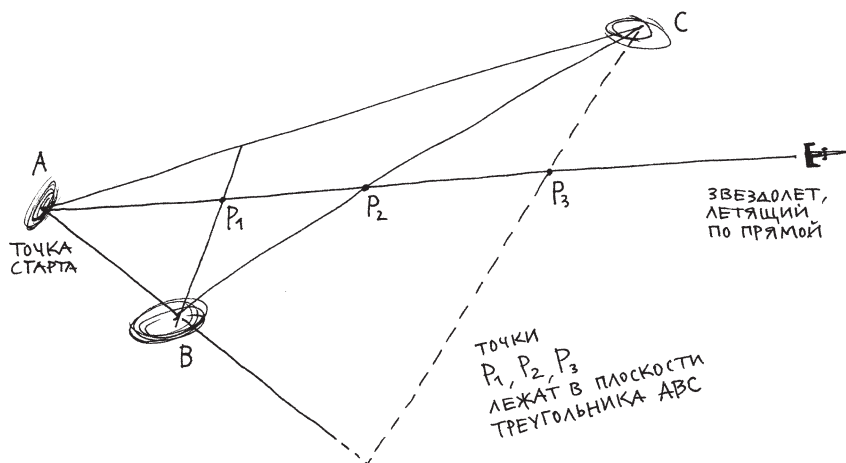
Если плотность материи⁵⁷ ниже критической, гравитации не удастся победить: разлет галактик должен продолжаться вечно, а с увеличением расстояния между галактиками роль их взаимного притяжения должна уменьшаться.

Строго говоря, в раскаленном кипящем огненном хаосе Большого взрыва могло родиться, наверно, разное количество материи, обладающей разной энергией (а значит, и массой). Понятно, что вероятность того, что средняя плотность материи во Вселенной могла почему-то получиться *точно равной критической* — тому самому значению, которое разделяет открытые и закрытые варианты моделей Фридмана, — выглядит исчезающе малой. Тем не менее похоже, что она именно такова! Понятно, что точно определить, сколько всего энергии/массы содержится во Вселенной и какова плотность ее содержания на единицу объема, можно только приблизительно, но современные оценки оказываются подозрительно близкими к значению критической плотности (с точностью до одного процента).

Можно подойти к вопросу иначе: ведь при критическом значении плотности геометрия Вселенной в больших мас-

Если плотность
материи ниже
критической,
гравитации не
удастся победить.

⁵⁷ Надо иметь в виду, что должна учитываться не только плотность обычного (привычного для нас) барионного вещества и темной материи, но и вклад других форм материи — полей, которые тоже содержат в себе некую энергию, а значит, и массу, которую согласно формуле Эйнштейна, можно переписать в виде $m = E/c^2$.



Вершины треугольника ABC находятся в различных галактиках. Звездолет, всегда летящий по прямой в плоском пространстве, не попадет в точку старта.

штабах должна быть **плоской**. Это значит, что направление, по которому распространяется свет в пустом пространстве, должно представлять собой привычную нам прямую линию. В треугольнике (например, с вершинами в трех далеких галактиках) сумма углов должна быть равна точно 180 градусам — в нашем мире должна царить геометрия Евклида⁵⁸. В такой Вселенной упомянутый выше звездолет, упорно летящий по прямой, никогда не попадет в точку, из которой он вылетел, с противоположной стороны: при плотности материи, равной критической, Вселенная становится неискривленной и бесконечной.

Остается непонятным: что же отрегулировало Вселенную с высочайшей точностью таким образом, чтобы средняя плотность материи в ней оказалась именно критической — не больше и не меньше? Плотность

⁵⁸ Понятно, что вблизи больших масс пространство-время должно локально искривляться, но мы говорим о крупномасштабных свойствах нашего мира.

уменьшается со временем (Вселенная расширяется, в каждой единице ее объема постепенно становится все меньше и вещества, и излучения). Расчеты показывают, что если бы в самом начале развития Вселенной плотность материи оказалась бы слегка (например, на 1 %) больше критической, со временем это привело бы к катастрофе. Американский космолог русского происхождения **Александр Виленкин** показал, что буквально через минуту плотность оказалась бы вдвое больше критической, а уже через три с половиной минуты плотность материи оказалась бы столь высокой, что гравитация победила бы окончательно, и *Вселенная сжалась бы в точку*. Наоборот, если бы плотность материи изначально оказалась на 1 % ниже критической, то примерно через год это отношение выросло бы уже в триста тысяч раз(!). Это означало бы, что разреженный газ никогда не смог бы сгуститься в протогалактики, чтобы породить звезды, а затем планеты и жизнь хотя бы на одной из них.

Для того чтобы спустя почти 14 миллиардов лет после Большого взрыва средняя плотность материи была бы с очень высокой степенью точности близкой к критической (что мы сегодня наблюдаем), она должна была оказаться близкой к критической *в самом начале*, причем с фантастически высокой точностью — начальное отклонение от критической точности должно быть не больше одной статриллионной доли процента⁵⁹. Явных причин, почему всё должно было случиться именно так, не видно — конечно, если не рассматривать гипотезу о том, что кто-то тщательным образом конструировал Вселенную, детально продумывая параметры Большого взрыва и подгоняя под свой грандиозный план значение плотности материи. Эту проблему называют **проблемой тонкой настройки** (fine

ЕСЛИ БЫ В САМОМ НАЧАЛЕ РАЗВИТИЯ ВСЕЛЕННОЙ ПЛОТНОСТЬ МАТЕРИИ ОКАЗАЛАСЬ СЛЕГКА БОЛЬШЕ КРИТИЧЕСКОЙ, СО ВРЕМЕНЕМ ЭТО ПРИВЕЛО БЫ К КАТАСТРОФЕ.

⁵⁹ В рамках других моделей еще меньше.

ЭЙНШТЕЙН
ДОБАВИЛ В СВОИ
УРАВНЕНИЯ
КОСМИЧЕСКУЮ
ПОСТОЯННУЮ
ДЛЯ ТОГО, ЧТОБЫ
ПРОТИВОСТОЯТЬ
СКУЧИВАНИЮ
ВСЕЙ МАТЕРИИ
В СВЕРХПЛОТНЫЙ
КОМ ПОД ВЛИЯНИЕМ
ГРАВИТАЦИИ.

tuning) или, по-другому, **проблемой плоской геометрии** Вселенной.

В моделях Фридмана (см. рис. на с. 179) самая высокая скорость разлета материи должна наблюдаться в «момент 0», — в самом начале, в момент Большого Взрыва. Дальше материя разлетается по инерции, теряя скорость, — гравитация вещества «притормаживает» разлет.

А что, если сначала было движение *с ускорением*? Тогда проблема горизонта решается: сначала вся материя Вселенной была сконцентрирована в одном месте, в пределах возможности обмена сигналами, и поэтому могла находиться примерно в одном состоянии, а уже потом стала ускоренно разлетаться, расходясь на такие расстояния, где обмен сигналами со скоростью света и меньше уже становится невозможным.

Но что могло бы обеспечить разлет с ускорением? Оказывается, уже сто лет назад такие соображения появились.

Во-первых, вспомним о космологической постоянной λ . Эйнштейн добавил в свои уравнения эту сущность для того, чтобы противостоять скучиванию всей материи в сверхплотный ком под влиянием гравитации. Это было сделано для того, чтобы космологическая постоянная уравновесила гравитацию и сделала бы Вселенную стационарной. Но это означало, что новая сущность должна работать как **антигравитация**. А что, если она окажется *больше гравитации*? Тогда Вселенная должна расширяться!

Более ста лет назад, в 1917 году, голландский астроном **Виллем де Ситтер** (1872–1934) сделал такие оценки. Он рассмотрел модель гипотетической ситуации, когда во Вселенной нет никакого вещества — ни звезд, ни планет, ни газа, но есть та самая космологическая постоянная, обеспечивающая отталкивающую силу. Если мы поместим в такую «пустую» Вселенную

два **пробных тела** с небольшой массой, антигравитация заставит их двигаться друг от друга. При этом двигаться они будут ускоренно, и ускорение должно быть *пропорционально расстоянию между ними*.

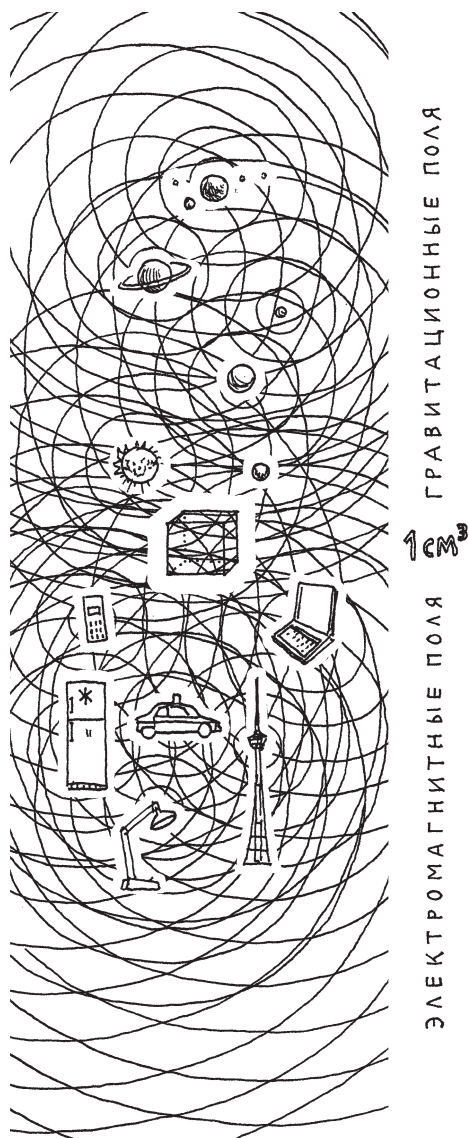
Мы впервые сталкиваемся с такой странной силой. Действие привычных сил, изучаемых в школе (например, силы гравитации и кулоновской силы), уменьшается с расстоянием, причем уменьшается быстро — пропорционально квадрату расстояния. Антигравитация, порожденная космологической постоянной, наоборот, *увеличивается* с расстоянием. Чем дальше друг от друга находятся тела, тем сильнее должна действовать сила отталкивания. Не может ли эта сила объяснить разлет материи после Большого взрыва, а заодно решить проблемы теории?

Нельзя забывать, что ни Эйнштейн, ни де Ситтер, вводя в свои варианты теории космологическую постоянную, не объясняли, что это такое. Никакие наблюдения не говорили о том, какая физическая сущность (если она есть) должна порождать антитяготение в нашей Вселенной. Введение в теорию слабого Λ предусматривает, что свойство антитяготения присуще самому пространству Вселенной.

Это было странно. Раньше мы считали, что пространство — это всего лишьместилище вещества, состоящего из мельчайших материальных частиц, которые мы называем элементарными частицами. Если убрать все частицы, не останется ничего — будет просто пустота.

Но уже достаточно давно мы поняли, что это не совсем так. В пространстве присутствует нечто, что может воздействовать на частицы, если они туда попадут. Физики назвали это «нечто» **полями** (в качестве общеизвестного примера снова можно указать гравитационное и электромагнитное поля).

**В ПРОСТРАНСТВЕ
ПРИСУТСТВУЕТ
НЕЧТО, ЧТО МОЖЕТ
ВОЗДЕЙСТВОВАТЬ НА
ЧАСТИЦЫ, ЕСЛИ ОНИ
ТУДА ПОПАДУТ.**



Все пространство Вселенной заполнено полями. Это означает, что каждая точка пространства нашего мира обладает некоторыми свойствами — например, свойством притягивать или отталкивать пробные электрически заряженные частицы. Но из этого следует, что даже в пустом (без частиц) пространстве содержится некая *энергия*. Пустое пространство (пустоту) физики издавна называли словом **вакуум**. Получается, что вакуум — это не просто пустота. Строго говоря, «просто пустоты», как мы сейчас понимаем, не бывает. Вакуум — среда, заполненная полями, а поля содержат энергию.

Представим себе кубический сантиметр пространства. В комнате, где находится читатель, кубический сантиметр наполнен воздухом: в этом маленьком (для нас) объеме присутствуют примерно 10^{21} молекул газа, которые, в свою очередь, состоят из атомов и молекул азота, кислорода и некоторых других. Этот кубический сантиметр — целый мир. Если убрать оттуда все атомы, а также постоянно пролетающие сквозь него крошечные частицы малой массы — **нейтрино**, а также частицы темной материи, которые (скорее всего) тоже здесь присутствуют, внутри этого объема останется гравитационное поле. Это, прежде всего, поле Земли, а также поля, порожденные Солнцем, Луной

и другими небесными телами, — вклад полей этих тел в суммарное поле будет меньше земного, поскольку они либо обладают меньшей массой, либо расположены дальше.

Не будем забывать, что гравитационное поле по Эйнштейну — это проявления искривленности пространства-времени. Если мы будем определять свойства пространства-времени в выделенном объеме, обнаружится, что оно хоть и незначительно, но все же искривлено, и величина этого искривления определяется запасом гравитационной энергии (гравитационного поля), содержащейся в этом элементе пространства.

Кроме того, оказывается, что выделенный объем заполнен электромагнитным полем. Помимо электромагнитных волн Большого взрыва, которые со скоростью света непрерывно проходят через этот кубический сантиметр пространства со всех сторон, мы зафиксируем здесь излучение от небесных тел, от люстры, от настольной лампы, от холодильника, от электронагревателя, от передающих телевизионных и радиостанций, от многочисленных мобильных телефонов и от самого читателя. Все это излучение, каждое на своей длине волны, со скоростью света со всех сторон проходит сквозь наш кубический сантиметр объема. Несет ли это излучение энергию? Безусловно, и физики давно научились ее рассчитывать. Таким образом, любой объем пространства, даже если мы уберем оттуда материю в виде вещества (элементарных частиц), будет содержать в себе материю в виде полей, а значит, тут будет присутствовать и некоторое количество энергии.

Но все ли поля мы знаем? Не может ли во Вселенной существовать еще один (а может быть, и не один) тип поля, который «отвечает» за антигравитацию?

Советский физик **Алексей Александрович Старобинский**, сотрудник Института теоретической физики, в 1979 году опубликовал первый вариант та-

МОЖЕТ ЛИ
ВО ВСЕЛЕННОЙ
СУЩЕСТВОВАТЬ ЕЩЕ
ОДИН (А МОЖЕТ БЫТЬ,
И НЕ ОДИН) ТИП ПОЛЯ,
КОТОРЫЙ «ОТВЕЧАЕТ»
ЗА АНТИГРАВИТАЦИЮ?



ИЗ КУСОЧКА
ПРОСТРАНСТВА
ПОДОБНОГО
РАЗМЕРА
СФОРМИРОВАЛАСЬ
НАША
ВСЕЛЕННАЯ.

ИНФЛАТОН –
ВАКУУМ С ВЫСОКОЙ
ПЛОТНОСТЬЮ
ЭНЕРГИИ.

кой идеи. Но считается, что новая теория появилась в 1981 году, когда американский физик **Алан Гут** предложил модель, в которой Вселенная начала развиваться с кратковременного этапа *ускоренного* расширения. Гут предположил, что сначала каким-то образом появилась маленькая порция специфического вида материи, обладающей свойствами антигравитации. Это мог быть вакуум с очень высокой плотностью энергии (другими словами, можно говорить об особом гипотетическом типе поля, которое получило название **инфлатон**).

Излагать эту (и многие иные) теорию непросто. Дело в том, что теория построена на математических выкладках, которые используют известные законы физики. Решения уравнений (в большинстве случаев достаточно сложных) интерпретируются физиками, откуда и появляется словесное описание сценария событий, а также численные значения различных параметров, описывающих физические модели. Надо особо подчеркнуть, что инфляционный сценарий — это не умозрительные рассуждения об устройстве мира, стоящего на слонах и черепахах. Каждый пункт теории — это жесткое следствие математических расчетов. Но, конечно, в основе этой теории лежит допущение: о существовании хотя бы крошечного пузырька, маленькой порции необычной материи — высокоэнергичного вакуума.

Когда речь идет о «маленькой порции», это означает действительно крошечный элемент пространства (точнее, пространства-времени) размером порядка 10^{-27} сантиметров⁶⁰, в котором была заключена гигантская энергия. По мысли Алана Гута, элемент физического вакуума с высокой плотностью энергии как раз и мог

⁶⁰ В наше время рассматривается и самый маленький возможный объект — так называемая планковская ячейка размером 10^{-33} см.

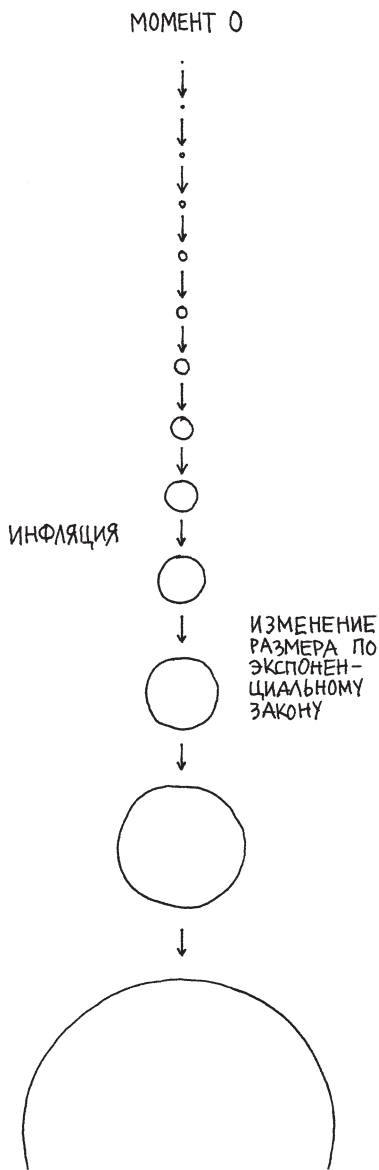
явиться источником «космологической постоянной». Из него и сформировалась наша Вселенная.

Во Вселенной действуют по крайней мере четыре типа физического взаимодействия. Два дальнего действия типа, которым соответствуют известные нам поля, — это гравитационное и электромагнитное взаимодействия. На чрезвычайно коротких расстояниях, сопоставимых с размером ядра атома (порядка 10^{-15} см), действуют еще два типа взаимодействия — **сильное** и **слабое**. Достаточно немного увеличить расстояние — и эти силы исчезают. Но внутри ядра атома они успешно работают: так, например, сильное взаимодействие «склеивает» между собой протоны и нейтроны в ядре атома (преодолевая электрическое отталкивание протонов), а слабое взаимодействие определяет некоторые свойства маломассивных частиц нейтрино и обеспечивает радиоактивный распад ядер.

Идея Гута заключалась (помимо прочего) в том, что в природе могут существовать типы вакуума, не похожие на привычный нам. **Электрослабый вакуум** — это среда, в которой электромагнитное и слабое взаимодействия оказываются проявлением некоей единой силы и становятся равны друг другу. В таком вакууме электроны и нейтрино радикально меняют свои свойства — они лишаются массы и движутся со скоростью света. Теория подсказывает, что каждый кубический сантиметр электрослабого вакуума должен содержать в себе чудовищную энергию, примерно эквивалентную энергии тела с массой Луны (10^{19} тонн). Если же смоделировать вакуум, в котором все типы взаимодействия оказываются неотличимы друг от друга (**вакуум Великого объединения**), то в нем плотность энергии должна быть еще на много порядков выше (в 10^{48} больше).

Анализ показал, что в таком высокоэнергичном вакууме, помимо гравитации, непременно возникает натяжение — отрицательное давление, причем втрое

Во Вселенной действуют по крайней мере четыре типа физического взаимодействия.



более сильное, чем гравитация. Поскольку натяжение сильнее гравитации, появляется превалирующая сила отталкивания, пропорциональная расстоянию между элементами вакуума. Это значит, что крошечный (но изначально очень плотный) фрагмент вакуумной материи сразу после своего рождения должен начать стремительно расширяться, и все точки этого элемента должны удаляться друг от друга по так называемому **экспоненциальному закону**. Согласно этому закону, за равные промежутки времени (в данном случае — каждые 10^{-38} секунды) размеры растущего шара Вселенной увеличиваются вдвое, и за фантастически малый интервал времени (всего лишь 10^{-35} секунды) размеры элемента должны увеличиться невероятно (в 10^{27} раз!). Однако не надо забывать, что изначальный размер Вселенной в рамках этой модели был почти точечным — всего 10^{-27} см, и значит, размер всей Вселенной не превысил к концу этапа начального расширения одного сантиметра!

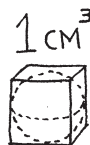
В те времена, когда Гут разрабатывал свою концепцию, инфляция в США достигала впечатляющих 14 %, и денежная масса в Америке нарастала по тому же самому экспоненциальному закону, по которому в рамках новой модели рос размер Вселенной. Поэтому Гут предложил название **инфляция** для начального этапа расширения Вселенной, а особое поле, обеспечивавшее энергией этот процесс, было названо инфлатоном.

На фазе инфляции, продолжавшейся микроскопические доли секунды, расширение (иногда для описания этого процесса приме-

няется термин **раздувание**) происходило со скоростью, существенно превышавшей скорость света. На первый взгляд, это противоречит всей современной физике, основанной на теории относительности. На самом деле нарушение кажущееся. Теория относительности действительно запрещает движение тел, волн, сигналов со скоростью, превышающей скорость света. Но на стадии инфляции Вселенной с гигантской, постоянно увеличивающейся скоростью расширялось само *пространство*, наполненное высокоэнергичным вакуумом. Можно сказать, что со сверхсветовой скоростью перемещались внешние границы раздувающейся Вселенной, но такие границы — это не материальный объект, не частица, не волна, распространяющаяся по какому-то полю, и не сигнал, передаваемый от одной точки пространства к другой. Это воображаемый объект — граница расширяющейся области единого пространства-времени растущей Вселенной при наблюдении изнутри⁶¹.

Мы помним, что теория относительности установила связь между пространством-временем и его содержимым: масса (энергия), содержащаяся в пространстве-времени, искривляет его. Стремительное раздувание высокоэнергичного вакуума растягивало, распрямляло скрученное, замкнутое в начальном фрагменте вакуума его собственное пространство-время, разворачивая сцену, на которой должно было происходить дальнейшее действие.

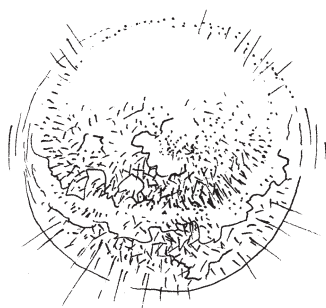
Но выше не случайно сказано, что стадия инфляции продолжалась совсем недолго. Исходя из наших знаний физики, высокоэнергичный вакуум должен быть *нестабильным*: он неизбежно распадается. Вакуум должен перейти в низкоэнергичное состояние (на этот раз это будет уже привычный для нас «истинный» вакуум, сегодня наполняющий всю Вселенную). Избыток энергии, в рамках этой гипотезы, должен был воплотиться в частицы темной материи и барион-



НАЧАЛЬНЫЙ
ЭТАП
РАСШИРЕНИЯ
ВСЕЛЕННОЙ
ЗАВЕРШЕН
ЗА

... 0,01 с

⁶¹ При наблюдении изнутри — это очень важная оговорка, к которой мы еще вернемся.



ОГНЕННЫЙ ШАР
ИЗ ЭЛЕМЕНТАРНЫХ
ЧАСТИЦ И ФОТОНОВ

Стадия инфляции
завершилась
возникновением
барионного вещества
и электромагнитного
излучения.

ное вещество, а также в электромагнитное излучение при огромной температуре.

Высокоэнергичный вакуум превратился в другие формы материи в соответствии с главной формулой физики $E = mc^2$. Весь стремительно расширяющийся объем юной Вселенной, в рамках модели Гута, обратился в огненный шар, состоящий из элементарных частиц, хаотично движущихся с околосветовыми скоростями, и фотонов — энергичных частиц света с очень короткой длиной волны (гамма-излучение). Фотонов, согласно расчетам, должно было получиться существенно больше, чем материальных частиц: на каждую частицу — миллиард фотонов.

Когда в научно-популярных фильмах иногда показывают Большой взрыв в виде взрыва (во все стороны разлетается огненная материя) — это неверный образ. Снаружи Большой взрыв, судя по всему, не виден. Согласно модели Гута, он произошел внутри отдельного замкнутого фрагмента пространства-времени, заполненного высокоэнергичным вакуумом. Снаружи этот фрагмент выглядит, скорее всего, как отдельная элементарная частица, крошечный шарик, который сложно отличить от других элементарных частиц. Для воображаемого же бессмертного наблюдателя, находящегося внутри этого фрагмента, все окружающее его пространство должно превратиться в бескрайний океан гамма-излучения и микроскопических элементарных частиц. Температура этой среды должна быть чудовищной — порядка многих миллиардов градусов, и это значит, что скорость движения частиц была близкой к скорости света.

Именно этот момент рождения вещества и излучения из энергии распадающегося высокоэнергичного вакуума, по-видимому, и следует называть Большим взрывом. Во вспышке Большого взрыва родилась наша Вселенная в экстремальном (раскаленном) состоянии,

но это уже были привычные для нас физические реалии: известные нам элементарные частицы и поля.

Расширение продолжалось, но уже без ускорения: поскольку энергия вакуума воплотилась в массу элементарных частиц, наполнивших Вселенную во всем ее объеме, антигравитация исчезнувшего высокоэнергетического вакуума тоже должна была исчезнуть. Зато гравитация родившихся элементарных частиц включилась в процесс торможения расширения. Тем не менее громадная кинетическая энергия расширения пространства, достигнутая Вселенной на стадии инфляции, никуда не делась — расширение, хотя и меньшими темпами, продолжалось по инерции. Пространство Вселенной продолжало растягиваться, при этом не только на «внешнем фронте» расширения — Вселенная «растягивалась» во всех точках своего растущего объема! Это растягивание продолжается и сейчас.

Наш неистребимый наблюдатель внутри раскаленной молодой Вселенной, оглядываясь по сторонам, обнаружил бы, что плотность огненного океана вокруг него постепенно падает: расстояние между бешено и беспорядочно носящимися частицами нарастает, их скорость понемногу уменьшается. Поток гамма-излучения, приходящего со всех сторон (поскольку все точки юной Вселенной первоначально являлись источниками такого излучения), постепенно ослабевает, а длина волны излучения медленно растёт.

Но это должно было происходить позже. К тому, что должен увидеть наш нестареющий наблюдатель в молодой Вселенной, мы еще вернемся, а пока зададим важный вопрос: зачем физикам и космологам понадобилась стадия инфляционного раздувания Вселенной? Зачем Алан Гут придумал инфляцию и почему его идея произвела сильное впечатление на его коллег?

Дело в том, что гипотеза инфляции красиво решала проблемы теории Большого взрыва.

ПРОСТРАНСТВО
ВСЕЛЕННОЙ ПРОДОЛЖАЛО
РАСТЯГИВАТЬСЯ, ПРИ
ЭТОМ НЕ ТОЛЬКО НА
«ВНЕШНЕМ ФРОНТЕ»
РАСШИРЕНИЯ —
ВСЕЛЕННАЯ
«РАСТЯГИВАЛАСЬ»
ВО ВСЕХ ТОЧКАХ СВОЕГО
РАСТУЩЕГО ОБЪЕМА!
ЭТО РАСТЯГИВАНИЕ
ПРОДОЛЖАЕТСЯ
И СЕЙЧАС.

МОМЕНТ НОЛЬ



ВСЯ МАТЕРИЯ
ВСЕЛЕННОЙ
ТЕСНО СЖАТА И
ИМЕЕТ ОБЩИЕ
СВОЙСТВА

НАСТОЯЩЕЕ ВРЕМЯ

РАЗРЫВ СВЯЗИ
МЕЖДУ ОТДАЛЕННЫМИ
ГАЛАКТИКАМИ



ОБЩИЕ СВОЙСТВА
МАТЕРИИ
СОХРАНЯЮТСЯ

Во-первых, изящно разрешалась проблема горизонта. Надо заметить, что сама эта проблема (почему в противоположных направлениях от нас Вселенная выглядит одинаково даже на тех расстояниях от нас, которые не могли взаимодействовать между собой и обмениваться условиями своего развития?) появляется во Вселенной с замедляющимся расширением, описанным в моделях Фридмана. Стадия инфляции была специально придумана для того, чтобы обеспечить в самом начале развития Вселенной этап ускоряющегося расширения.

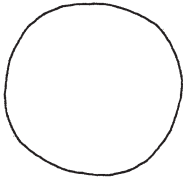
Это в корне меняло дело. Согласно модели Гута, в начале развития Вселенной вся материя находилась в одном месте, в микроскопическом пузырьке высокоэнергичного вакуума. Все микроскопические области внутри этого начального пузырька находились вблизи друг от друга и поэтому пребывали примерно в одном и том же состоянии. Нет ничего удивительного в том, что, когда инфляция разнесла эти области на чудовищные расстояния друг от друга, они, расширившись и превратившись в галактики, навсегда потеряв возможность обмениваться сигналами друг с другом, оказались очень похожими. Это сейчас они никак не связаны, а на стадии инфляции они находились совсем рядом *в одинаковых условиях.*

Аналогично решалась и вторая проблема. Вселенная кажется нам плоской (подчиняющейся геометрии Евклида), и мы (пока что) не можем понять, есть ли кривизна у пространства Вселенной, — при той точности, которая нам сегодня доступна. Почему же Вселенная оказалась объектом с очень малой (а возможно, и точно нулевой) кривизной пространства? Дело в том, что инфляция (если она была) оказалась невероятно мощным механизмом, буквально за мгновения раздувшим юную миниатюрную Вселенную до огромных размеров. Мы не замечаем кривизну пространства по той же причине, почему, ходя по Земле, не ощущаем ее шарообразности. Даже если пространство Вселенной слегка искривлено, мы этого просто не видим. Даже на самых больших расстояниях, которые доступны современным наблюдениям (они — эти расстояния — уже превышают 13 миллиардов световых лет), Вселенная кажется нам плоской. Траектории, по которым распространяется свет вдали от крупных масс (галактик и звезд), оказываются прямыми, и чувствительности наших методов не хватает, чтобы определить, отклоняются ли эти траектории от прямых.

Гипотеза инфляции говорит еще и о следующем. Мы видим в наши телескопы только крошечную часть Вселенной. Ведь свет распространяется не мгновенно. Если Большой взрыв произошел примерно 13,8 миллиарда лет тому назад, это значит, что самые далекие источники света, которые мы можем увидеть, должны находиться на расстоянии 13,8 миллиарда световых лет от нас.

Это было бы так, если бы Вселенная после Большого взрыва не расширялась. Но она продолжает расширяться. Свет, который испустила далекая галактика, на расстоянии 13 миллиардов лет от нас, только сейчас до нас дошел. Но за это время Вселенная *продолжала расширяться*. Мы уже упоминали, что эта

Мы не замечаем кривизну пространства по той же причине, почему, ходя по Земле, не ощущаем ее шарообразности.

НАГЛЯДНАЯ
МАТЕМАТИКАЗЕМЛЯ
Ø 12 742 кмМАЛЕНЬКИЙ ШАРИК
Ø 1 мм
ПОСЛЕ УМНОЖЕНИЯ НА
 $\times 10^{10}$
= Ø 10 000 км

галактика улетела от нас на невообразимое расстояние — 45 миллиардов световых лет! Шар радиусом 45 миллиардов световых лет — это та часть Вселенной, которая хоть как-то доступна нашим наблюдениям (мы уже обсуждали вопрос о том, что на расстоянии 45 миллиардов световых лет находятся галактики, свет от которых был испущен 13,8 миллиарда лет назад и только сейчас к нам пришел). Но этот шар — далеко не вся Вселенная. Согласно одному из вариантов теории, размер *всей* Вселенной может в 10^{274} раз превышать размер указанного шара⁶². Воистину, мозг человека уже давно оперирует сущностями, представить которые наглядно он не в состоянии.

Концепция инфляции, предшествовавшей Большому взрыву, вызвала огромный интерес у космологов. В первоначальном варианте теории, который предложил Алан Гут, были открытые вопросы, требовавшие решения⁶³. Целый ряд нестыковок в еще сырой теории успешно разрешил в 1982 году сотрудник Физического института АН СССР **Андрей Леонидович Линде**.

Целая когорта исследователей, ученых высочайшего уровня подключилась к разработке новой идеи. В их числе перечисленные по алфавиту (не по важности вклада) **Джим Бардин, Александр Виленкин, Дж. Ричард Гутт, Сидней Коулман, Андрей Линде, Вячеслав Муханов, Андреас Олбрехт, Алексей Старобинский, Пол Стейнхардт, Майкл**

⁶² Не в 10 и даже не 274 раза, а в невообразимое число раз, которое описывается числом с 274 нулями после единицы. Если мы говорим о кривизне такой Вселенной, то неудивительно, что она выглядит абсолютно плоской.

⁶³ Статья Гута заканчивалась словами: «Я надеюсь, что эта статья побудит других обойти нежелательные особенности сценария инфляции».

Тернер, Стивен Хокинг, Геннадий Чибисов и многие другие⁶⁴. За первые 40 лет, прошедшие с момента своего создания, концепция заметно укрепилась, вошла в справочники и учебники как базовая гипотеза, описывающая события, подготовившие Большой взрыв либо последовавшие сразу после Большого взрыва.

Что позволяет воспринимать всерьез гипотезу начального инфляционного раздувания Вселенной?

Во-первых, как указано выше, она снимает и легко объясняет трудности классической теории Большого взрыва. Во-вторых, ее предсказания с высокой точностью подтверждаются наблюдениями: свойства флуктуаций реликтового излучения оказались именно такими, какие прогнозирует инфляционный сценарий, — если считать, что первые флуктуации возникли еще на самой начальной стадии, когда элемент высокоэнергичного вакуума начал свое стремительное расширение. Высокая степень совпадения расчетных данных с наблюдениями позволяет предполагать, что гипотеза инфляции как минимум имеет право на существование.

Надо заметить, что, несмотря на это, по сути, идея инфляции *остается гипотезой*, которой придерживаются не все специалисты в области космологии. Имеются альтернативные концепции, которые так же, как и идея инфляции, не противоречат законам физики и, следовательно, в принципе мо-

ВЫСОКАЯ СТЕПЕНЬ
СОВПАДЕНИЯ
РАСЧЕТНЫХ ДАННЫХ
С НАБЛЮДЕНИЯМИ
ПОЗВОЛЯЕТ
ПРЕДПОЛАГАТЬ, ЧТО
ГИПОТЕЗА ИНФЛЯЦИИ
КАК МИНИМУМ
ИМЕЕТ ПРАВО НА
СУЩЕСТВОВАНИЕ.

⁶⁴ Не лишним будет отметить большой вклад отечественных физиков в создание концепции. Муханов и Чибисов опубликовали статью с ключевыми результатами по инфляции на год раньше Гута. Линде, автор популярного варианта «хаотичной инфляции», работал в то время в СССР и эмигрировал в США позже, Старобинский продолжает работать в России, американский космолог Виленкин — эмигрант из СССР.

гут претендовать на существование. Какая из этих идей верна, мы пока не знаем. Вполне возможно, что в списке существующих гипотез пока нет правильной, но не исключено, что одна из них (например, та же инфляционная гипотеза) окажется той самой, которую мы ищем.

Тем не менее примерно через двадцать лет после появления идеи инфляции астрофизики сделали еще одно фундаментальное открытие, которое существенно изменило наши представления о Вселенной.

Речь идет о темной энергии.



НУ ЧТО Я ГОВОРИЛ!
ГИПОТЕЗА ИНФЛЯЦИИ
ВСЕ ЖЕ ВЕРНА!

12. Вселенная разгоняющаяся

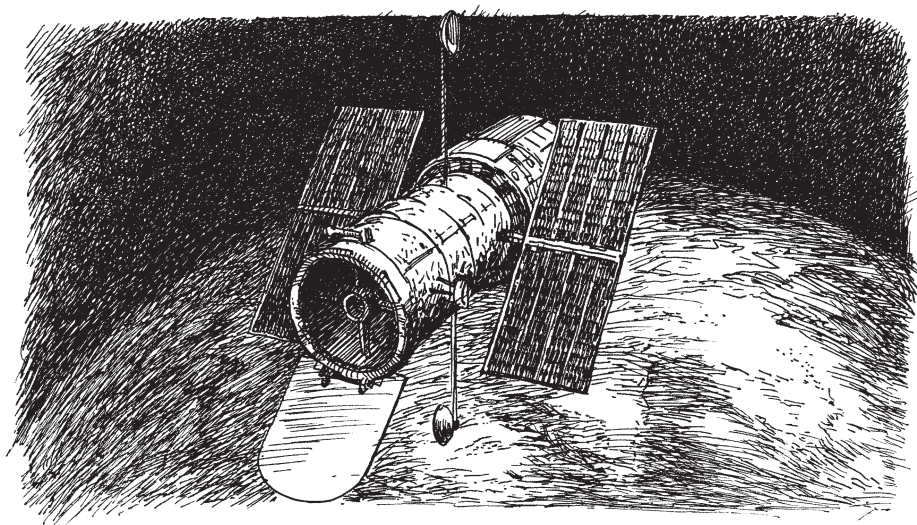
...Мир становится пустой.
Мир наполнен пустотой.
Испаряется картина,
Словно иней на стекле,
И галактик паутина
Расползается во мгле.
Тьма настала неспроста:
Победила пустота...

*Сергей Горбушин,
«Вакуум»*

Постоянная Хаббла, фигурирующая в одноименном законе, открытом в конце двадцатых годов двадцатого века, проверяется и уточняется до сих пор. Определить скорость убегания галактики от нас можно с достаточно высокой точностью по эффекту Доплера — смещению линий в спектре галактики. Каждая такая линия — это суммарный вклад гигантского количества самых разных звезд в галактике, свет которых попал в щель спектрографа телескопа, поэтому линии оказываются расширенными. Но их сдвиг в сторону более длинных (красных) волн регистрируется достаточно уверенно. Что же касается второй величины, входящей в выражение закона Хаббла, — расстояния до галактики, то здесь астрономы сталкиваются с большими трудностями.

Как определить расстояние до ближайших галактик? Мы уже рассматривали этот вопрос, но не лишним будет кое-что повторить. Сам Эдвин Хаббл и его ближайшие последователи применили метод «стандартных свеч». Если в галактике есть объект, истинная яркость которого известна (стандартная свеча), то по его наблюдаемой яркости нетрудно вычислить расстояние до свечи, а значит, и до галактики, в которой свеча находится. Для близких галактик стандартными свечами служили цефеиды — своеобразные «маяки Вселенной», как их романтично называли в XX веке научные журналисты.

**КАК ОПРЕДЕЛИТЬ
РАССТОЯНИЕ ДО
БЛИЖАЙШИХ
ГАЛАКТИК?**



Телескоп имени Хаббла в космосе. Диаметр зеркала — 2,4 м. Находится на орбите с 1990 года, за это время произведено пять пилотируемых полетов для обслуживания и ремонта телескопа.

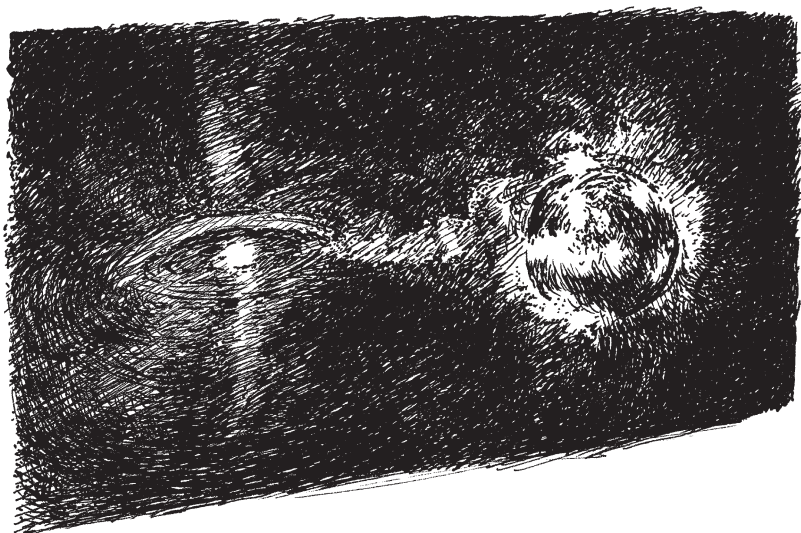
В 2016 году НАСА продлило программу «Хаббл» еще на пять лет, до 2021 года, отметив, что телескоп находится в отличном техническом состоянии.

Интересно, что представитель любой страны, человек или организация, может получить возможность работы с телескопом, достаточно пройти конкурс заявок.

Этот метод отлично работал для сравнительно близких галактик. Но в далеких галактиках, которые выглядят на небе всего лишь как еле заметные туманные пятнышки, выделить отдельные цефеиды невозможно: даже в современные телескопы увидеть их не получается. Нужно было найти другие «стандартные свечи».

В 1977 году московский астроном **Юрий Павлович Псковский** (1926–2004) предложил в качестве подобных свеч так называемые сверхновые типа Ia. В конце своей жизни звезды иногда взрываются. Существует несколько возможных механизмов таких взрывов. Считается, что феномен сверхновых Ia порождается термоядерным взрывом звезды типа белый карлик⁶⁵, на которую ее тяготением перетягивается газ с соседней менее плотной звезды. Такие

⁶⁵ Белый карлик — небольшая сверхплотная звезда, где кончилось термоядерное топливо и поэтому прекратились реакции ядерного синтеза. Спустя миллиарды лет наше Солнце станет белым карликом.



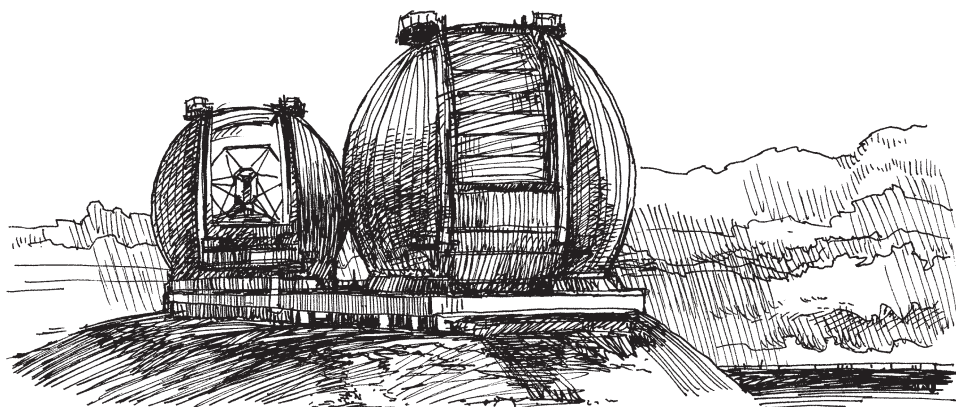
взрывы оказались полезны как стандартные свечи по двум причинам.

Во-первых, сверхновые этого типа чрезвычайно ярки — светимость сверхновой сопоставима с суммарным свечением миллиардов звезд галактики, поэтому ее легко заметить даже в крайне удаленных галактиках.

Во-вторых, светимость такой сверхновой в максимуме блеска всегда оказывается примерно одинаковой. Кроме того, максимальную светимость удастся уточнить по наклону кривой, отражающей падение блеска сверхновой со временем. Поэтому подобные объекты отлично подходят на роль новых «стандартных свеч».

И хотя звезды взрываются крайне редко, наблюдаемая часть Вселенной огромна. Мы можем одновременно наблюдать громадное количество галактик, и где-то — то в одной, то в другой из них — постоянно вспыхивают сверхновые, в том числе и нужного типа.

Процесс аккреции на звезду типа белый карлик — перетягивания вещества с соседней звезды. Взрыв сверхновой типа Ia обычно происходит в двойной звездной системе, вращающейся вокруг общего центра масс, один из компонентов которой — белый карлик. Длительность процесса аккреции исчисляется десятками тысяч лет. При этом перетекающее вещество образует диск. В момент, когда масса белого карлика превышает критическую, происходит взрыв сверхновой. Сверхновые имеют одинаковую светимость из-за близкой массы белых карликов.



Крупнейший сдвоенный наземный телескоп Кека с 10-метровыми зеркалами расположен на Большом острове Гавайского архипелага.

В конце XX века астрономы занимались такими наблюдениями, используя самые крупные телескопы. Поиск сверхновых в самых далеких галактиках позволял продолжать график закона Хаббла в область все больших скоростей убегания (больших красных смещений) и огромных расстояний.

В числе научных команд, которые вели такие проекты, необходимо назвать группу американских астрофизиков под руководством **Сола Перлматтера**. Позже к наблюдениям подключилась еще одна американская команда, которой руководили **Брайан Шмидт** и **Адам Рисс**. Астрономы использовали данные космического телескопа имени Хаббла, а также крупнейшего сдвоенного наземного телескопа Кека с 10-метровыми зеркалами, сооруженного на Большом острове Гавайского архипелага.

В 1998 году группа Шмидта и Рисса опубликовала поразительные данные. Судя по результатам обработки 16 сверхновых, наблюдавшихся чрезвычайно далеко, при гигантских красных смещениях яркость сверхновых оказалась ниже, чем можно было ожидать исходя из оценки расстояния. Отсюда следо-

вало, что сверхновые (а значит, и галактики, в которых они взорвались) были *дальше*, чем предсказывал закон Хаббла. Точки на графике ложились выше ожидаемого — график искривлялся кверху!

Это означало, что исследованные далекие галактики удаляются от нас быстрее ожидаемого, линейность закона Хаббла явно нарушалась. Значит, эти галактики не просто удаляются, но удаляются *с ускорением*. Но даже из школьной (ньютоновской) физики мы помним: если есть ускорение, значит, действует какая-то сила!

Через год команда Перлматтера опубликовала данные по результатам собственных наблюдений 42 далеких сверхновых. Получилось то же самое: удаление галактик происходит с ускорением. Что-то подгоняет галактики, заставляя их разбегаться со все большей скоростью. Что-то существует во Вселенной, что работает в режиме антитяготения. Эта сила невелика на близких расстояниях, но нарастает при больших масштабах.

В 2011 году Рисс, Перлматтер и Шмидт получили за свое открытие Нобелевскую премию по физике. Конечно же, другие группы астрономов бросились проверять своих коллег. Все было правильно: Вселенная расширяется с ускорением.

Это было действительно неожиданное открытие.

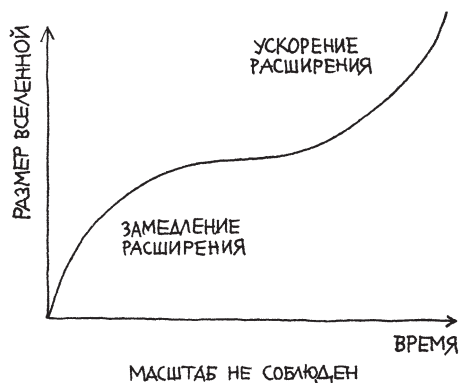


График расширения Вселенной с ускорением, нарушения линейности закона Хаббла, по данным 1998 года.

ГРАВИТАЦИЯ
НИКОГДА НЕ
ПОБЕДИТ,
И РАСШИРЕНИЕ
БУДЕТ ВЕЧНЫМ
И БЕСКОНЕЧНЫМ.

К моменту открытия Хабблом разбегания галактик существовали теоретические разработки Фридмана о возможности расширения или сжатия Вселенной. Считая Вселенную стационарной, Эйнштейн боролся с ее нестационарностью при помощи своей космологической постоянной — она должна была противодействовать гравитации. Но в принципе идея нестационарной Вселенной к моменту открытия Хаббла не была неожиданной для исследователей. К моменту открытия реликтового излучения его основные свойства уже были известны и спрогнозированы командой Гамова, а также Дорошкевичем и Новиковым. Феномен излучения был предсказан.

Что же касается ускоренного расширения Вселенной, то этого практически никто не ожидал. Этот факт резко изменял наши представления о мире. И действительно: если до этого продолжались дискуссии, может ли Вселенная притормозить свое расширение и начать сжатие, конечно Вселенная или нет, факт ускоренного расширения сразу дал окончательные ответы на эти вопросы. Стало ясно, что гравитация никогда не победит и расширение будет *вечным и бесконечным*. Расстояния между галактиками будет вечно увеличиваться, и даже те соседние галактики, которые видны друг другу, со временем станут недоступными для взаимных наблюдений. Впрочем, это произойдет не скоро, если это кого-то может утешить.

Со всей остротой встал вопрос: *что* заставляет Вселенную расширяться с ускорением? Что это за сила? Эта неизвестная доселе сущность получила название **темная энергия**, которое с удовольствием подхватили журналисты. Предположения о возможной природе темной энергии появились сразу. Были использованы многочисленные наработки концепции инфляции.

Какова основная идея инфляции? В основе лежит гипотетическое поле инфлатон, которое обеспечило экспоненциальное расширение, развертывание, раздувание крошечного фрагмента пространства-времени, содержащего это поле. Раздувание произошло благодаря энергии самого поля. Применяя другой набор терминов, мы говорили, что инфляцию обеспечил крошечный пузырек физического вакуума, содержащий в себе гигантскую энергию. Этот пузырек стремительно расширялся из-за собственного внутреннего натяжения. Поскольку высокоэнергичный вакуум нестабилен, он вскоре неизбежно перешел в другое состояние. Энергия, принадлежавшая высокоэнергичному вакууму, превратилась в другие типы материи: в частицы вещества и темной материи, обладающие гравитацией, а также в энергичное электромагнитное излучение при очень высокой температуре.

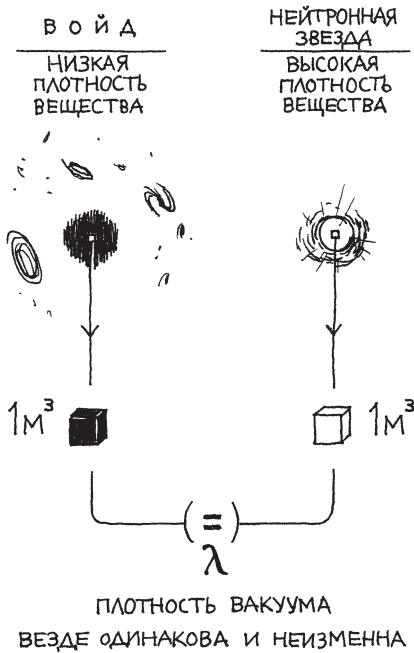
Этот переход мы называем Большим взрывом. Важно, что высокоэнергичный вакуум, растратив свою энергию на создание вещества и излучения, перешел в состояние так называемого истинного вакуума, который (вероятно) наполняет Вселенную сейчас. Согласно теории Большого взрыва, современный вакуум должен содержать либо нулевую либо пренебрежимо малую энергию.

Однако факт ускоренного расширения Вселенной говорит, что это не совсем так. Даже после Большого взрыва сегодняшний вакуум содержит в себе ненулевую энергию, и, возможно, *именно она* и проявляет себя в ускорении расширения нашего мира.

Такой вакуум мы называем сегодня **физическим вакуумом**, чтобы подчеркнуть, что это не просто пустота. Какими же свойствами обладает таинственная темная энергия или, как предполагается, физический вакуум?

СОГЛАСНО ТЕОРИИ
БОЛЬШОГО ВЗРЫВА,
СОВРЕМЕННЫЙ ВАКУУМ
ДОЛЖЕН СОДЕРЖАТЬ
ЛИБО НУЛЕВУЮ ЛИБО
ПРЕНЕБРЕЖИМО МАЛУЮ
ЭНЕРГИЮ.

ФИЗИЧЕСКИЙ ВАКУУМ



Физический вакуум заполняет все пространство-время нашей Вселенной. Его плотность неизменна и не зависит от плотности содержащегося в этом же объеме вещества.

В рамках идеи о физическом вакууме получается, что это и есть та самая космологическая постоянная, которую сначала предложил, а потом отменил Эйнштейн. Согласно этой концепции, темная энергия в виде физического вакуума находится везде. Она есть в любой точке нашего пространства-времени. Она в кабинете автора этой книги и в комнате, где находится читатель. Она не замечает нашего присутствия, она не вытесняется, подобно воде, если в комнату кто-то вошел. Возьмем ли мы кубический метр межгалактического пространства внутри войда, где, скорее всего, можно обнаружить всего лишь считанные элементарные частицы, либо кубический метр пространства в недрах нейтронной звезды, где вещество сжато до чудовищной плотности, — физический вакуум всюду один и тот же, его плотность всюду одинакова и не меняется никогда. Это среда, заполняющая все пространство-время нашей Вселенной. Он не реагирует на изменения скорости вещественных объектов в этой среде. Летя на звездолете либо сидя у себя дома на Земле, наблюдатель обнаружит одну и ту же неизменную плотность этой загадочной среды. Вакуум всегда и везде одинаков.

Как он себя проявляет? Можем ли мы как-то почувствовать его существование? В рамках этой концепции мы уже его чувствуем. Сто лет назад де Ситтер анализировал, что будет со Вселенной, если из нее исчезнет все вещество, но останется только среда, подобная физическому вакууму.

Возможно, именно эта среда описана Эйнштейном как космологическая постоянная. Согласно модели де Ситтера, в такой Вселенной должна возникать сила натяжения, которая проявляет себя как отрицательное давление, обладающее отталкивающей силой. Если ввести в такую Вселенную два пробных тела (например, две далеких галактики), они станут отталкиваться, причем сила отталкивания должна нарастать пропорционально расстоянию между ними. Чем больше расстояние, тем сильнее отталкивание.

Анализ наблюдений показал, при каком расстоянии сила отталкивания оказывается равной силе притяжения. Напомним, что, согласно теории инфляции, Вселенная стремительно раздулась до гигантских размеров, и когда произошел Большой взрыв, во всей Вселенной энергия высокоэнергичного вакуума превратилась в энергию вещества и излучения. Пространство продолжало расширяться, плотность вещества и излучения падала, крошечные флуктуации вещества привели к возникновению сначала протогалактик, а затем галактик, плотность которых на единицу объема продолжала падать. Но огромная гравитация галактик притормаживала расширение, и до определенного момента Вселенная расширялась *замедленно*. В постоянной борьбе притяжения и отталкивания сначала побеждало притяжение.

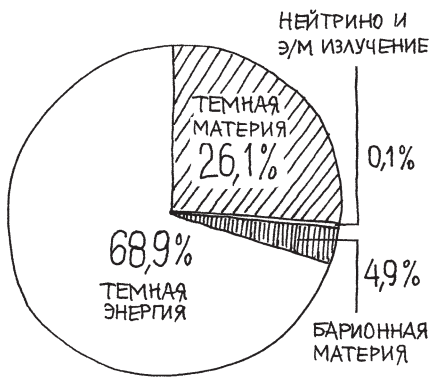
Когда плотность вещества и излучения во Вселенной оказалась меньше плотности темной энергии (это произошло примерно 7–8 миллиардов лет назад), сила отталкивания победила, и победила окончательно. С этого времени *Вселенная расширяется ускоренно*.

На сегодняшний день определены вклады всех известных видов материи в плотность Вселенной. Получается следующее.

Плотность темной материи и привычного нам вещества составляет сейчас примерно 3×10^{-30} г/см³. Это невероятно низкая плотность. Мы можем спро-

НА СЕГОДНЯШНИЙ ДЕНЬ
ОПРЕДЕЛЕНА ВКЛАДЫ
ВСЕХ ИЗВЕСТНЫХ ВИДОВ
МАТЕРИИ В ПЛОТНОСТЬ
ВСЕЛЕННОЙ.

ИЗ ЧЕГО СОСТОИТ ВСЕЛЕННАЯ



Барионная материя — это вещество в составе звезд, планет, астероидов, облаков газа и пыли, а также межгалактический газ.

силь: как же так? Есть огромные звезды с гигантской плотностью, эти звезды собраны в огромные галактики, где таких звезд — сотни миллиардов. Есть гигантские молекулярные облака, есть облака пыли между звездами. Ну а темной материи должно быть (как сказано выше) впятеро больше, чем обычного вещества. Откуда же такие низкие плотности?

Ответ кроется в гигантском объеме, в котором распределено вещество Вселенной. Расстояние между звездами внутри галактик огромно, расстояние между галактиками — тем более. Значительная часть пространства Вселенной — это пустота (точнее, почти пустота), где можно найти лишь отдельные частицы, мизерные по массе. Если же вспомнить огромные, совершенно пустые пространства войдов протяженностью в сотни миллионов световых лет, где нет ни звезд, ни планет, ни пыли, ни газа, то получается, что *средняя плотность* вещества во Вселенной чрезвычайно мала.

Если же оценить среднюю плотность темной энергии (она, в отличие от плотности вещества, везде равна среднему значению во всей Вселенной и всюду одинакова), получается несколько больше: 7×10^{-30} г/см³. Это соответствует плотности энергии, которую обеспечивают всего три атома водорода в кубическом метре. Кажется, что это очень мало. Но это существенно больше средней плотности обычного вещества во Вселенной!

Приведем современные (по состоянию на 2018 год, хотя, наверно, не окончательные) данные о том, что же содержится в нашей Вселенной:

Темная энергия —
примерно $6,9 \times 10^{-30}$ г/см³, или **68,89 %**.

Темная материя —
примерно $2,6 \times 10^{-30}$ г/см³, или **26,07 %**.

Барионная материя (вещество) —
примерно $0,49 \times 10^{-30}$ г/см³, или **4,9 %**.

Электромагнитное излучение плюс нейтрино — малые доли процента.

К этому поразительному выводу нужно добавить следующее. В последние десятилетия выяснилось, что мы серьезно недооценивали массу газа (преимущественно водорода) в межгалактическом пространстве. Это означает, что от общей плотности энергии во Вселенной, падающих на вещество, большая часть (4,5 % из 5 %) принадлежит межгалактическому газу, а привычная нам материя, из которой состоят звезды, планеты, астероиды, пыль, газопылевые облака внутри галактик, составляет **не более 0,5 %**.

Если взять воображаемый шар с радиусом, равным радиусу орбиты Луны (около 400 тысяч км), то внутри этого шара можно было бы обнаружить темную энергию, соответствующую массе 1,6 кг. На первый взгляд это немного. Но за счет гигантских областей Вселенной, где темная энергия есть, а обычного вещества нет, обеспечивается указанное процентное соотношение. Темная энергия сегодня превалирует во Вселенной, и это превалирование будет усиливаться: плотность обычного вещества будет



ИЗУЧАЯ ВСЕЛЕННУЮ,
АСТРОНОМЫ
УЖЕ 2500 ЛЕТ
ИССЛЕДУЮТ

0,5%

ВСЕЙ ЕЕ МАССЫ/ЭНЕРГИИ

Мы не знаем, что такое
темная материя.

Мы не знаем, что такое
темная энергия.

только падать, тогда как плотность темной энергии всегда остается постоянной.

Итак, мир, который астрономы исследуют, начиная с древних греков, на протяжении последних двух с половиной тысяч лет, — это всего лишь полпроцента от всей энергии/массы, которая присутствует в наблюдаемой (а скорее всего, и не только наблюдаемой) части Вселенной!

Замечательный итог длительных исследований.

При этом получается, что недавно обнаруженные темная энергия и темная материя, составляющие в совокупности 95 % всего, что есть во Вселенной, нами *совершенно не изучены*.

Мы не знаем, что такое темная материя.

Мы не знаем, что такое темная энергия.

У нас есть гипотезы (в том числе довольно убедительные и обоснованные) по поводу того, что бы это могло быть. Некоторые свойства и темной материи, и темной энергии мы уже знаем, но тем не менее, если говорить честно, а в науке принято вести себя именно так, громадная часть устройства Вселенной для нас пока почти неизвестна, и мы только начинаем нащупывать основные очертания этого неисследованного мира⁶⁶.

Надо заметить, что темная энергия — это не единственная гипотеза, пытающаяся объяснить феномен ускоренного расширения Вселенной. Но, несомненно, это наиболее популярная и обоснованная идея. Кроме того, надо заметить, что идея проявлений физического вакуума хорошо смыкается с идеей инфляции. В некоторых вариантах теории, рассматривающей в основе Вселенной физический вакуум, ускоренное расширение в начале, специально придуманное в рамках теории инфля-

⁶⁶ С другой стороны, можно восхищаться величию человеческого интеллекта, вооруженного критическим мышлением. Мы добрались до фантастических открытий.

ции, получается естественным путем и не требует специальных обоснований.

Итак, как же выглядит сегодня история Вселенной в рамках наиболее популярной сегодня теории? Еще раз рассмотрим предлагаемый наукой сценарий.

Все начинается с крошечного кусочка высокоэнергичного вакуума. В нем содержалась гигантская энергия. В нашем сегодняшнем мире не существует таких объектов. Это была материя в особом, крайне маловероятном состоянии. Внутри такого клочка материи действует чудовищная сила гравитации (не забываем, что $E = mc^2$, и огромная содержащаяся здесь энергия означает возможность образования огромной массы). Но здесь же действует и громадная сила отталкивания — она втрое мощнее. В итоге клочок материи начал раздуваться. Скрученное, сжатое до минимально возможных размеров внутреннее пространство-время, присущее этому клочку материи, стремительно развернулось, расширяясь с огромной, все нарастающей скоростью. Растяжение раздувающейся Вселенной можно было наблюдать (изнутри) в любой точке растущего объема.

В ходе растяжения неизбежно возникали крошечные флуктуации — слабые локальные отклонения от среднего значения (плотность становилась чуть больше или чуть меньше). Эти флуктуации быстро растягивались в ходе общего расширения.

Процесс раздувания происходил совсем недолго — фантастически короткие доли секунды. Теория подсказывает, что материя в таком состоянии нестабильна. Высокоэнергичный вакуум должен был распасться. Материя в форме высокоэнергичного вакуума превратилась в обычный (стабильный, нераспадающийся) сегодняшний физический вакуум, который содержит гораздо меньше энергии в единице объема. Значительная доля энергии первичного

ВСЕ НАЧИНАЕТСЯ
С КРОШЕЧНОГО КУСОЧКА
ВЫСОКОЭНЕРГИЧНОГО
ВАКУУМА.

ЧАСТИЦ АНТИВещества
В ПРИРОДЕ
ПРАКТИЧЕСКИ
НЕ ОСТАЛОСЬ



вакуума во всем стремительно растущем объеме Вселенной трансформировалась в энергию вещества — темного и барионного (часть энергии пошла на возникновение огромного количества разнообразных частиц), и на энергию электромагнитного излучения. Мы уже говорили, что неистребимый наблюдатель внутри развивающейся Вселенной должен был обнаружить вокруг себя безграничный огненный океан из коротковолнового излучения и раскаленного вещества (то есть быстро движущихся частиц).

Этот распад первичного вакуума, рождение частиц и излучения мы и называем Большим взрывом.

Большой взрыв породил частицы огромной суммарной массы во всем объеме растущей Вселенной. Возникли частицы вещества и частицы антивещества, которые тут же аннигилировали, превращаясь опять-таки в электромагнитное излучение. Но слабая асимметрия (пока что нет окончательного понимания, почему возникла эта асимметрия) привела к тому, что частиц вещества оказалось несколько больше, чем частиц антивещества. Поэтому не все частицы аннигилировали, зато частиц одного из типов (античастиц) в природе практически не осталось⁶⁷.

С появлением частиц включилась гравитация, а с распадом высокоэнергичного вакуума

⁶⁷ Существует гипотеза, что все-таки, возможно, антивещество существует в заметных количествах — из него построены целые скопления галактик, но они находятся далеко от нас и не взаимодействуют с обычным веществом (такое взаимодействие привело бы к мгновенной аннигиляции). Но надо признать, что такой вариант выглядит крайне маловероятным с точки зрения большинства космологов.

отключилось его натяжение (отрицательное давление, или антигравитация). Но теперь мы знаем, что если возникший в ходе Большого взрыва низкоэнергичный физический вакуум все-таки обладает не нулевой, а некоей конечной энергией, значит, антигравитация (расталкивающая сила) не упала до нуля! Расширение сначала продолжалось не благодаря антигравитации, а благодаря огромной кинетической энергии расширения, набранной на предыдущем этапе. Пространство вместе с его содержимым продолжало расширяться *по инерции*, но теперь гравитация вещественного содержимого Вселенной стала работать как тормоз, поэтому скорость расширения стала понемногу уменьшаться. Тем не менее она (скорость расширения) оставалась огромной, в результате чего плотность материи всех типов (кроме физического вакуума) неуклонно падала.

Начальные флуктуации плотности проявлялись все сильнее. Во-первых, распад высокоэнергичного вакуума мог происходить не абсолютно одновременно во всем объеме Вселенной — где-то чуть раньше, где-то чуть позже, и разные области начинали свое развитие в немного разных условиях. Начальные флуктуации плотности привели к развитию сгущений и разрежений, где гравитационная неустойчивость приводила к формированию уплотнений газа частиц темной материи, породивших протогалактики.

Что происходило с частицами? Высокая температура среды позволяла им сталкиваться. Казалось бы, так должна была сразу сформироваться вся таблица Менделеева, весь набор возможных ядер атомов (так сначала думал Гамов), но интенсивное электромагнитное излучение (энергичные фотоны) этому препятствовали: в то время плотность фотонов была куда выше плотности вещества. Реализовались только самые простые реакции, в ходе кото-

Если возникший в ходе Большого взрыва низкоэнергичный физический вакуум все-таки обладает не нулевой, а некоей конечной энергией, значит, антигравитация не упала до нуля!

РЕЛИКТОВОЕ
ИЗЛУЧЕНИЕ,
ВОЗНИКНУВ ПОЧТИ
ОДНОВРЕМЕННО
ВО ВСЕХ ТОЧКАХ
ВСЕЛЕННОЙ,
СТАЛО СВОБОДНО
РАСПРОСТРАНЯТЬСЯ
ОТОВСЮДУ ВО ВСЕ
СТОРОНЫ.

рых 12 ядер атомов водорода (протонов) превращались в ядро атома гелия⁶⁸. Двенадцатая часть протонов превратилась в ядра атомов гелия.

Вселенная продолжала расширяться, плотность и температура падали. Наконец ядра водорода и гелия смогли присоединить к себе электроны, сформировав нейтральные атомы (процесс **рекомбинации**, обратный ионизации). В нейтральном газе электромагнитное излучение смогло свободно распространяться сквозь среду — газ стал прозрачным. Мы уже упоминали, что это произошло через 380 тысяч лет после Большого взрыва, и этот момент породил реликтовое излучение⁶⁹. Возникнув почти одновременно во всех точках Вселенной, оно стало свободно распространяться отовсюду во все стороны.

Плотность излучения уменьшалась гораздо быстрее плотности вещества. Теперь излучение уже не мешало гравитационной неустойчивости, и газ, состоящий из водорода и гелия в массовом соотношении 3:1, стал сгущаться в местах уже намечившегося сгущения частиц темной материи.

Произошло нечто удивительное. Гравитация локально победила расширение: сгущения вещества выпали из этого процесса. Гигантские облака темной материи и притянутые к ним облака водорода и гелия *сами уже не расширялись*: здесь движение этих частиц подчинялось закону тяготения — искривившееся в этих местах пространство-время удерживало материю от расширения. Но пространство *между* галактиками продолжало расширяться, и это расширение постепенно уносило протогалактики друг от друга, закладывая закономерность закона Хаббла.

⁶⁸ В ходе этого процесса часть протонов превращалась в нейтроны, но это уже детали.

⁶⁹ Точнее, оно существовало и раньше, но только теперь смогло свободно распространяться по ставшей для него прозрачной Вселенной, а не рассеиваться на заряженных частицах, удалившись на доли миллиметра от места своего возникновения.



ГАЛАКТИКИ
УДАЛЯЮТСЯ
ДРУГ ОТ ДРУГА,
КАК БЛЕСТКИ,
НАКЛЕЕННЫЕ
НА ПОВЕРХНОСТЬ
ВОЗДУШНОГО
ШАРИКА

Надо еще раз подчеркнуть, что разлет галактик не похож на разлет осколков взорвавшегося снаряда. Осколки разлетаются внутри пространства, которое само не расширяется. Галактики же погружены в растягивающееся пространство и поэтому удаляются друг от друга, как будто пуговицы, пришитые в эластичной ткани, которая растягивается во все стороны (сами пуговицы не увеличиваются, но расстояние между ними растет).

Процессы внутри протогалактик чрезвычайно важны для дальнейшей эволюции Вселенной. В протогалактиках из сгущений газа (водорода с гелием) сформировались звезды, которые стали фабриками химических элементов. В процессе внутренних термоядерных реакций, а также взрывов при взаимодействии близких звезд и при окончании эволюции тяжелых звезд, генерировались тяжелые атомы всей таблицы Менделеева. Катастрофические процессы в звездах порождали уже не только молекулы газа и твердые микроскопические частицы пыли, содержавшие рожденные в звездах кремний, железо, углерод, окись титана, это уже был материал для формирования твердых

В этой простой модели еще интереснее представить, что шарик вместо воздуха или другого газа заполняется прозрачным гелем, в составе которого также присутствуют блески.

РАЗУМ, СТРЕМИТЕЛЬНО (ПО КОСМОЛОГИЧЕСКИМ МЕРКАМ) РАЗВИВАЯСЬ, СТАЛ ЗАДУМЫВАТЬСЯ НАД ТЕМ, КАК ВОЗНИК МИР, В КОТОРОМ ОН, РАЗУМ, ОКАЗАЛСЯ.

небесных тел — астероидов, карликовых планет, планет и их спутников под воздействием все той же гравитации⁷⁰.

Сложные молекулы, состоящие из тысяч атомов углерода, кислорода, водорода и других стали основой удивительного феномена, существующего по крайней мере на одной из планет возле одной из звезд в одной из многочисленных галактик. Этот феномен мы называем **жизнью**, и жизнь, эволюционируя, привела к появлению еще более удивительного явления: жизни разумной. **Разум**, стремительно (по космологическим меркам) развиваясь, стал задумываться над тем, как возник мир, в котором он, разум, оказался.

А примерно через 7 миллиардов лет после Большого взрыва (незадолго до того, когда на Земле появились первые живые организмы) пространство-время Вселенной настолько растянулось (расстояние между галактиками настолько увеличилось), что стало проявляться отталкивание, порожденное вакуумом⁷¹. Близкие галактики разлетаются по инерции, участвуя в общем потоке растягивающегося пространства. Но ставшие далекими галактики начали понемногу ощущать нарастающее отталкивание, и растягивание пространства стало ускоряться.

Так случилось, что наш разум возник на фазе ускоренного расширения Вселенной. Скорее всего,

⁷⁰ В этой книге, посвященной космологии, мы не будем детально рассматривать вопросы космогонии, то есть науки об образовании планетных систем около звезд. Интересующихся отсылаем к книге автора «Астрономия. Солнечная система», напечатанной в 2018 году.

⁷¹ Полезно не забывать, что объяснение феномена темной энергии с помощью модели физического вакуума — это пока что лишь один из возможных вариантов. Мы пока не знаем точно, почему Вселенная расширяется с ускорением.

раньше это случиться не могло: почти 4 миллиарда лет развивалась жизнь на Земле — от момента окончательного формирования планеты и возникновения первой примитивной жизни до появления разума. И многие миллиарды лет должны были пройти перед этим, чтобы успели сформироваться первые звезды, закончили свой цикл, взорвались как сверхновые и выбросили в пространство тяжелые элементы, из которых могло образоваться пылегазовое облако, породившее планеты.

Эволюция развивающейся Вселенной — это долгий путь.



13. Вселенная открытых вопросов. Вместо заключения

Леонид Мартынов

О, если бы писали мы
О том лишь, что доподлинно известно, —
Подумайте, о трезвые умы,
Как было бы читать неинтересно!

И все-таки откуда же взялся начальный элемент — пузырек высокоэнергичного вакуума, породивший Вселенную? И где он возник — возможно, в какой-то другой вселенной, предшествовавшей нашей? И где сейчас находится та самая родительская вселенная, в которой образовался этот пузырек — зародыш нашей Вселенной? И не может ли в нашей Вселенной снова образоваться такой же кусочек энергичного вакуума, чтобы породить очередную новую вселенную⁷²?

Если опять-таки говорить честно, ответ на все эти вопросы один: нам это *неизвестно*. Однако некоторые соображения по этому поводу можно кратко обсудить.

Как ни странно, для физиков механизм появления элемента высокоэнергичного вакуума — это не очень сложный вопрос. Мы уже знаем, что не существует абсолютной пустоты. То, что нам кажется пустотой, — это на самом деле физический вакуум, некая среда, непременно содержащая энергию. Законы квантовой механики утверждают, что эта энергия может спон-

Для ФИЗИКОВ
МЕХАНИЗМ
ПОЯВЛЕНИЯ ЭЛЕМЕНТА
ВЫСОКОЭНЕРГИЧНОГО
ВАКУУМА — ЭТО
НЕ ОЧЕНЬ СЛОЖНЫЙ
ВОПРОС.

⁷² Еще раз хочу напомнить, что Вселенной с большой буквы мы обозначаем наш мир, в котором живем. Современная космология подводит нас к мысли, что Вселенная может оказаться не единственной.

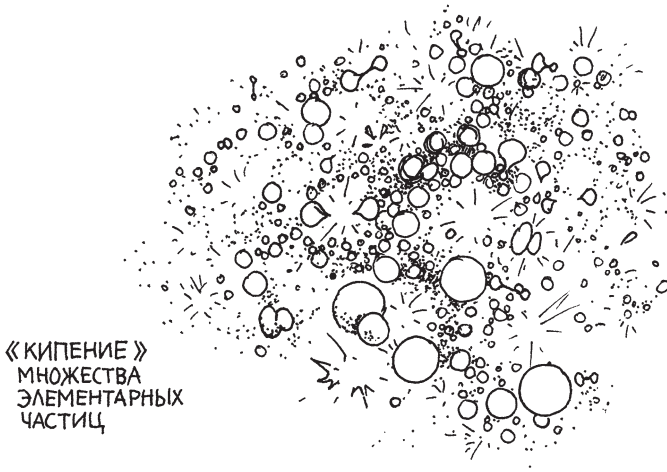
танно (случайно, неожиданно) трансформироваться в другие формы материи.

В любой точке пространства-времени (в комнате читателя в том числе, и даже внутри самого читателя) постоянно происходят удивительные процессы. Если бы мы могли построить микроскоп, позволяющий рассматривать мир с увеличением в миллиард раз, мы бы увидели, как в любой точке пространства *все время возникают и исчезают элементарные частицы*, крошечные кусочки вещества. В среднем энергия любого выбранного элемента объема пространства-времени не меняется: это значит, что энергия вакуума постоянно приводит к появлению пар элементарных частиц — например, электрона и позитрона, которые спустя мгновения аннигилируют, превращаясь в порцию (квант) электромагнитного излучения, то есть в фотон. Физики называют такие рождающиеся и тут же исчезающие частицы **виртуальными** — в отличие от стабильных частиц, из которых состоит привычное нам вещество. Но, например, если мы создадим очень сильное электромагнитное поле, оно сможет успеть разделить, развести на большое расстояние только что появившиеся виртуальные частицы, и тогда они не смогут аннигилировать, а значит, останутся существовать в нашем мире⁷³! Нам будет казаться, что частицы возникли из ничего, хотя можно интерпретировать этот процесс и так: на возникновение частиц ушла энергия приложенного сильного электромагнитного поля.

В этом постоянно бурлящем и кипящем квантовом микромире вакуума *непрерывно рождаются и гибнут виртуальные частицы* разного типа. Энергия специфического поля могла однажды породить частицу мате-

В ЛЮБОЙ ТОЧКЕ
ПРОСТРАНСТВА ВСЕ
ВРЕМЯ ВОЗНИКАЮТ
И ИСЧЕЗАЮТ
ЭЛЕМЕНТАРНЫЕ
ЧАСТИЦЫ, КРОШЕЧНЫЕ
КУСОЧКИ ВЕЩЕСТВА.

⁷³ Позитрон, конечно, очень быстро столкнется с каким-нибудь другим электроном, и они аннигилируют, а вот возникший электрон останется существовать в нашем мире.



«КИПЕНИЕ»
МНОЖЕСТВА
ЭЛЕМЕНТАРНЫХ
ЧАСТИЦ

рии, которую мы связываем с высокоэнергичным вакуумом. Этого достаточно: натяжение вакуума должно привести к разворачиванию спрятанного в нем собственного скрученного зародыша пространства-времени, а значит, стремительному расширению новой вселенной. Такое событие возможно, хотя и маловероятно: поэтому (наверное) оно и не повторяется каждую субботу.

Откуда же в крошечном фрагменте материи столько энергии, чтобы в процессе последующей трансформации в вещество (Большого взрыва) ее хватило бы на формирование громадного количества частиц и полей?

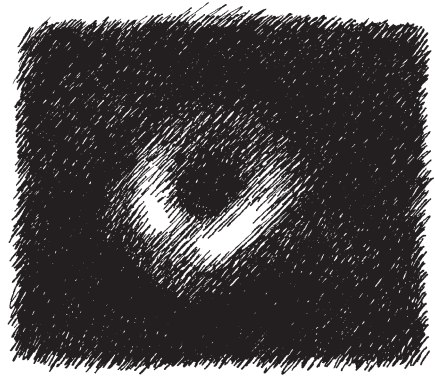
Для того, чтобы попытаться ответить на этот вопрос, можно вспомнить следующий пример. В нашей Вселенной уже открыты удивительные объекты, которые мы называем черными дырами. Их размеры очень невелики, но их масса (а значит, и запас энергии, согласно формуле Эйнштейна) громадна. Сила тяготения когда-то проделала гигантскую работу, чтобы собрать, притянуть, сблизить, объединить, упаковать огромное количество материи в виде вещества и излу-

чения в микроскопический объем черной дыры, а значит, «закачать» туда огромную энергию. Этой энергии оказывается достаточно, чтобы сначала искривить, а затем порвать в этом месте ткань пространства-времени нашей Вселенной.

Теория относительности утверждает, что бессмертный наблюдатель, падающий в черную дыру снаружи, с точки зрения другого (внешнего) наблюдателя за пределами черной дыры, будет падать туда *бесконечно долго*, хотя для внешнего наблюдателя размеры черной дыры мизерны. И правда: расстояние, равное ее внешнему размеру, совсем невелико, и такой же путь можно было бы преодолеть очень быстро, если бы пространство-время не было искривлено.

Падающий же в черную дыру бессмертный наблюдатель попадет в ее недра очень быстро (по своим собственным часам), но зато ему будет казаться, что он находится в огромном мире, занимающем очень большой, а возможно и бесконечный, объем!

Мы вспомнили о черных дырах для того, чтобы указать: если даже некий объект снаружи выглядит маленьким, свойства искривленного пространства-времени внутри него могут привести к созданию *целой локальной Вселенной*, содержащей огромную энергию, способную воплотиться в массу вещества внутри этой Вселенной. Внутри этой Вселенной — свое, отдельное, не имеющее никакого отношения к наружному, собственное простран-



Черная дыра M87. Первое изображение черной дыры, выполненное путем обработки результатов наблюдений множества телескопов в радиодиапазоне, было представлено общественности в апреле 2019 года. Черная дыра невидима, но оказалось возможным определить форму облака вещества, которое вращается вокруг черной дыры.

В центре яркого кольцеобразного пятна находится темный круг — так выглядит черная дыра.

МОЖЕТ БЫТЬ, ВСЯ
НАША ВСЕЛЕННАЯ
ЯВЛЯЕТСЯ
ВНУТРЕННОСТЬЮ
КАКОЙ-ТО
ЧЕРНОЙ ДЫРЫ,
СФОРМИРОВАВШЕЙСЯ
В ДРУГОМ МИРЕ,
ВНЕШНЕМ ПО
ОТНОШЕНИЮ К НАШЕЙ
ВСЕЛЕННОЙ?

ство-время. Оно может оказаться протяженным или даже бесконечным. Это может быть огромный мир!

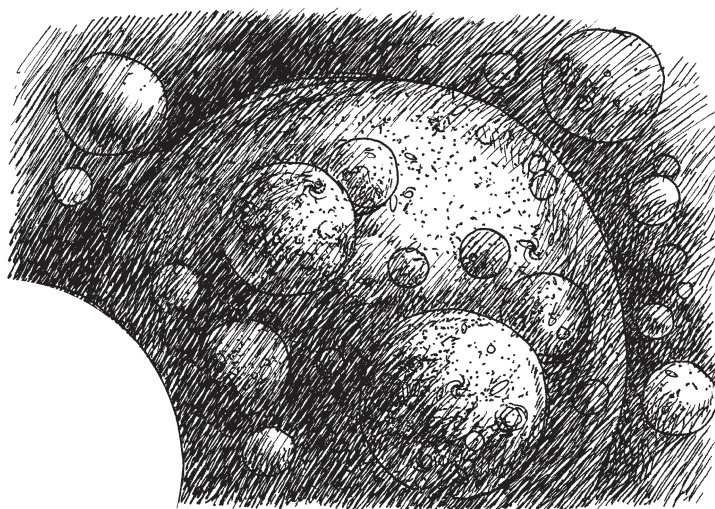
Внешний же наблюдатель за пределами черной дыры (например, земной астроном) не будет ничего знать о том, что происходит внутри: никакие сигналы наружу вырваться не могут. Так оно и есть: мы не знаем, что происходит внутри черных дыр.

Может быть, вся наша Вселенная является внутренностью какой-то черной дыры, сформировавшейся в другом мире, *внешнем по отношению к нашей Вселенной*? Любопытно, что в принципе это не исключено. Мы не знаем окончательного ответа на этот вопрос. Возможно, так оно и есть.

Итак, оказывается, что в нашем мире существуют объекты (например, черные дыры), внутри которых в определенном смысле находятся целые миры со своими свойствами собственного внутреннего пространства-времени. Эти свойства мы не знаем точно и только пытаемся их моделировать с помощью теории относительности. Но расчеты показывают, что и размеры внутреннего пространства, и ход времени там могут отличаться от того, что происходит снаружи, и это действительно *отдельные миры*.

Строго говоря, таким огромным миром (если смотреть изнутри) и одновременно объектом конечных размеров (возможно, даже очень малых, если смотреть снаружи) может оказаться не только черная дыра, но и гипотетическая элементарная частица, для которой придумано название «фридмон»⁷⁴. Земной наблюдатель, возможно, и зафиксирует появление такой частицы в вакууме нашей Вселенной, но не сможет заметить, что внутри этой частицы разворачивается собственное

⁷⁴ Нетрудно догадаться, что это отсылка к фамилии Фридмана. Существование таких частиц-миров предположил выдающийся физик М. А. Марков.



беспредельное пространство-время и происходит собственный Большой взрыв. Для наблюдателя во внешнем мире все это может оказаться незаметным. Более того, нам может показаться, что эта частица относится к разряду виртуальных: она возникнет и тут же исчезнет по нашему времени. Но по ее внутреннему времени могут пройти *триллионы лет!*

Значит ли это, что в нашей Вселенной и сейчас могут возникать аналогичным образом новые частицы, которые внутри являются целыми вселенными?

Как ни странно, это не исключено. Автор предполагает, что подобные события имеют шансы чаще происходить в нашей Вселенной вблизи черных дыр, где плотность энергии, по-видимому, повышена.

Теоретики предлагают массу возможных вариантов, не противоречащих физике. Еще в 1983 году **Андрей Леонидович Линде** предложил теорию

Теория Линде предполагает существование множества расширяющихся вселенных, в том числе внутри расширяющихся вселенных.

ВСЕЛЕННАЯ —
ЭТО НАШ МИР,
РОДИВШИЙСЯ В ОГНЕ
БОЛЬШОГО ВЗРЫВА
13,8 МИЛЛИАРДА ЛЕТ
НАЗАД.

хаотической вселенной: стремительно расширяющаяся по законам инфляции родительская вселенная постоянно порождает все новые и новые дочерние вселенные, расстояние между которыми из-за инфляции быстро увеличивается. Эти вселенные не могут взаимодействовать друг с другом, они напоминают отдельные острова, которые расширяются, но расстояния между ними растут еще быстрее. В каждой подобной вселенной может происходить и своя инфляция, и рождение своих вселенных со своими Большими взрывами.

Такая модель мира утверждает, что вселенных (которые пишутся со строчной буквы) может оказаться бесконечное множество. Если раньше мы называли Вселенной все, что существует, то теперь смысл этого понятия кардинально изменился. Вселенная — это наш мир, родившийся в огне Большого взрыва 13,8 миллиарда лет назад. Но, вероятно, таких миров *множество*. Некий Большой мир, некая метавселенная непрерывно рождает такие миры, и наша Вселенная — не более чем один из бесчисленных локальных миров⁷⁵. Для Большого мира, вмещающего в себя бесконечное число вселенных, предложено англоязычное слово Multiverse (по аналогии со словом Universe — Вселенная). На русском языке термин еще не устоялся: в разных книгах применяется и слово Мультивселенная, и слово Мультимир, и даже просто Мультиверс⁷⁶.

⁷⁵ Строго говоря, если таких вселенных бесконечное количество, то должно быть и бесконечное количество миров, идентичных нашей Вселенной (равно как и прочих всевозможных вариантов вселенной). С настоящей бесконечностью шутки плохи: здесь может быть все что угодно.

⁷⁶ Автору больше всего нравится загадочное слово *мультиверс*, хотя в русском языке используются и другие варианты.

Идея гипотетической бесконечной в пространстве и времени, вечно расширяющейся Большой вселенной (Мультиверса) полезна для решения проблемы так называемого **антропного принципа**. Проблема антропного принципа заключается в следующем. Почему наша Вселенная устроена так удачно, что позволяет существовать нам? Теоретические оценки дают удивительные результаты: оказывается, если бы масса электрона была чуть-чуть другой (не такой, какая она есть), или если бы немного другой была гравитационная постоянная, или если бы немного изменилась масса протона — и так далее, таких «если» можно привести множество, — оказывается, результат был бы для Вселенной катастрофическим. Свойства Вселенной изменились бы не слегка, чего можно было бы ожидать. Параметры нашего мира изменились бы *радикально* — не смогли бы существовать, например, разнообразные типы атомов, Вселенная была бы наполнена равномерно размешанным газом из простых частиц, в ней не могли бы существовать звезды, планеты и галактики, а значит, не было бы ни Земли, ни жизни на ней.

Создается впечатление, что все свойства Вселенной оказались тщательно подогнаны друг к другу, как будто осуществлена тонкая настройка всех параметров нашего мира. Как будто кто-то тщательно и очень вдумчиво *сконструировал* Вселенную такой, чтобы в ней обязательно смогли бы сформироваться сложные системы из разнообразных типов атомов, включая звезды, планеты и жизнь, — как минимум *на одной из планет*.

Строго говоря, как ни парадоксально, но это возможный вариант.

Не будем применять термины бог, создатель, demiург и прочие синонимы этого загадочного по-

СООТНОШЕНИЕ
НЕУДАЧНЫХ И
УДАВШИХСЯ
ЭКСПЕРИМЕНТОВ -
ПОПЫТОК
ПОДБОРА ТРЕХ (ВСЕГО!)
УСЛОВНЫХ
ПАРАМЕТРОВ
ПРИ КОНСТРУИРОВАНИИ
ВСЕЛЕННЫХ

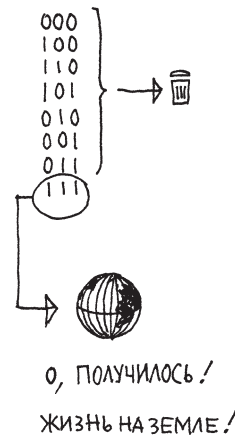


Рисунок демонстрирует ход фантастического эксперимента с целью обратить внимание читателя на огромный процент неудавшихся попыток даже в случае подбора всего трех параметров. Между тем в действительности наш мир балансирует на куда большем количестве параметров, отклонение в каждом из которых могло бы привести к фатальным последствиям.

Если Мультиверс порождает бесконечное количество вселенных с самыми разными свойствами, то среди бесчисленного множества разных вселенных обязательно возникнет и такая, как наша.

нения. Автор допускает, что наша Вселенная могла быть сконструирована высоко развитой цивилизацией, живущей в некоей вселенной, внешней по отношению к нашей. В конце концов, почему бы этой цивилизации не соорудить фрагмент высокоэнергетического вакуума с определенными свойствами, чтобы запустить процесс ускоренного расширения, распада вакуума (трансформации его энергии в вещество с определенными свойствами — нужной массой протонов, нужным набором элементарных частиц и так далее)? И не исключено, что спустя много лет и наша собственная цивилизация начнет эксперименты по сооружению новых вселенных с заданными наперед свойствами, генерируя какие-нибудь фридмоны в суперколлайдерах будущего.

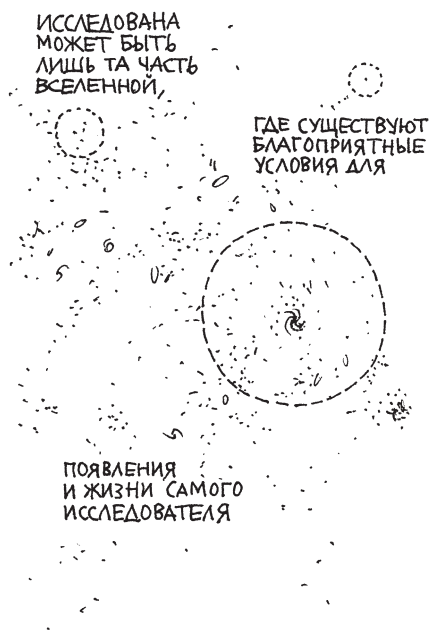
Но этот экзотический вариант совсем не обязателен — без него вполне можно обойтись. Еще раз надо подчеркнуть: автор считает, что такой описанный вариант возможен, но все-таки маловероятен. Ведь если Мультиверс порождает бесконечное количество вселенных с самыми разными свойствами (с разным набором частиц, разной энергией вакуума, разными значениями постоянной Хаббла, разным количеством измерений пространства-времени или даже какими-то параметрами, о которых мы не знаем), то среди бесчисленного множества разных вселенных обязательно возникнет и *такая, как наша*. В ней может (должен!) оказаться сколь угодно маловероятный подбор физических параметров (тонкая настройка). И в такой Вселенной в ходе эволюции родится целый набор разных типов атомов, которые смогут образовать сложные системы — от звезд, галактик и планет до живых существ, включая разумное человечество и, возможно, не одно.

Поэтому нам нет смысла удивляться, как могло получиться, что так удивительно подогнаны друг

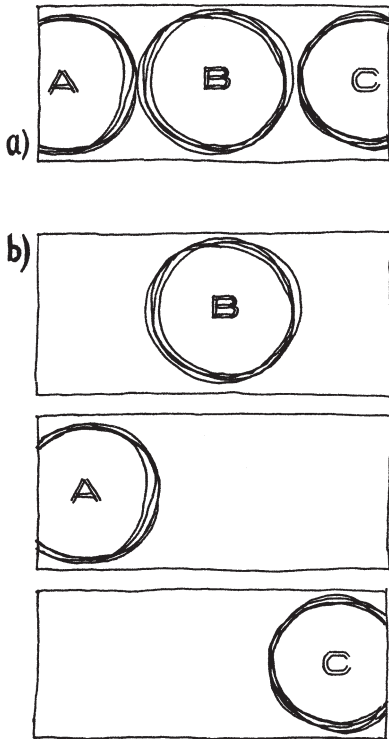
к другу фундаментальные свойства Вселенной. Все просто: если бы эти свойства не были так тонко настроены, нас бы не было, и *некому было бы удивляться факту тонкой настройки*. Так получилось случайно, потому что в бесконечном наборе вариантов обязательно появится в том числе и крайне маловероятный вариант — таковы *свойства бесконечности*.

Замечательно, что в этом случае должны, по-видимому, существовать и гораздо более сложные, чем наша, вселенные, а там может существовать и некий более сложный сверхразум, который эволюционировал до гораздо более высокого уровня, чем наш.

Идея Мультиверса (а заодно и идеология антропного принципа) принимается далеко не всеми. Дело в том, что в науке не принято обсуждать всерьез то, что невозможно проверить. Такой вполне прагматичный подход называется **принципом фальсификации**. Согласно этому принципу, рассуждение об иных вселенных не имеют отношения к науке, поскольку проверить их на практике нельзя. Если другие вселенные и существуют, они никак не пересекаются с нашей Вселенной и никогда не смогут себя проявить для земного наблюдателя⁷⁷.



⁷⁷ Но есть и еще один принцип: никогда не говорить «никогда». А что, если некие тоннели в пространстве-времени или невидимые нам скрытые измерения пространства-времени соединяют между собой отдельные вселенные Мультиверса, и эти вселенные могут обмениваться сигналами, полями, веществом и звездолетами?



Попытка взглянуть на Мультиверс «снаружи» и «изнутри».

а) Теоретическая модель мира, описывающая его как гипотетическое множество вселенных, включающее три непересекающиеся вселенные — А, В, С.

б) Картины мира по представлениям обитателей непересекающихся вселенных В, А, С. Нечто сходное имело место в европейской модели мира до путешествия Марко Поло в Китай и открытия Америки. Впрочем, рассуждения об иных вселенных не научны.

Но похоже, что принцип фальсификации, которым ученые успешно пользовались многие десятилетия, уже не следует считать абсолютным правилом. Появляется все больше гипотетических сущностей, которые в принципе *могут существовать* (их существование не противоречит известным законам природы), но проверить факт их существования невозможно⁷⁸. Так, например, мы практически уверены, что на расстояниях более 14 миллиардов световых лет от нас существуют примерно такие же галактики, что и вблизи нас, хотя нам не суждено их увидеть в телескопы.

А если упомянуть варианты теории, где пространство-время не четырехмерно, а имеет *больше измерений*, включая свернутые, — есть от чего закружиться голове. Может быть, частица обладает крошечными размерами в нашей Вселенной, а в других пространственных измерениях та же частица представляет собой огромный протяженный мир?..

Поразительно, что наши исследования микромира, мира масштабов элементарных частиц, позволяют допускать возможность такого хода событий. Автор уже говорил, что мир оказывается гораздо сложнее того образа, который человек когда-то выстраивал в своем сознании.

Исследования ведутся сегодня и сейчас. Лучшие умы Земли, используя супер-

⁷⁸ Конечно, лучше говорить — *пока* невозможно. Кто знает, что мы будем знать завтра. Или послезавтра.

компьютеры для сложнейших вычислений, применяя современнейшую технику — телескопы всех видов для изучения Вселенной и специальное оборудование для исследования микромира, постоянно сверяя свои иногда фантастические гипотезы с результатами экспериментов и наблюдений, неуклонно продвигаются вперед по пути создания адекватной картины мира.

Часто скептики вопрошают: «Как? Ученые на самом деле ничего не знают? Не знают, как устроен мир? Что такое темная материя и темная энергия? Что такое Большой взрыв? Почему он произошел и что было до него? А теперь они начинают говорить, что вселенных много, но и этого не знают? Грош цена всей вашей науке!»

Ответ на эти обвинения таков.

Да, мы не знаем многого, но мы узнаем все больше и больше. Если представить себе объем знаний, которым обладало человечество 400 лет назад, во времена Джордано Бруно, и сравнить его с современным — прогресс окажется поразительным. Мы сегодня знаем об устройстве мира неизмеримо, несопоставимо больше. Развитие науки происходит с ускорением, и даже невозможно себе представить, что будет знать человечество еще через 400 лет. Наши далекие потомки будут вспоминать о знаниях нашей эпохи так же, как мы сегодня вспоминаем о знаниях эпохи Средневековья.

Даже представить себе невозможно, что будет открыто через десять, двадцать, пятьдесят, сто и уж тем более четыреста лет. И все эти открытия делает только наука, вооруженная критическим мышлением. Ни одно другое порождение сознания человека не дает таких результатов. Прогресс в наших знаниях об устройстве мира дает только научный

РАЗВИТИЕ НАУКИ
ПРОИСХОДИТ
С УСКОРЕНИЕМ, И ДАЖЕ
НЕВОЗМОЖНО СЕБЕ
ПРЕДСТАВИТЬ, ЧТО БУДЕТ
ЗНАТЬ ЧЕЛОВЕЧЕСТВО ЕЩЕ
ЧЕРЕЗ 400 ЛЕТ.



метод. Других способов постигать устройство мира у человека нет.

Таким образом, используя науку, человек уже прошел по пути познания мира очень далеко. Мы еще многого не знаем, но, с другой стороны, мы уже узнали очень много.

Чтобы остановить безудержный полет мысли, выделим напоследок еще раз факты — то, что мы точно знаем о нашей Вселенной по состоянию на конец 2018 года.

Вселенная, в которой мы живем, *существовала не всегда*. У нее было начало, и было это примерно 13,8 миллиарда лет тому назад. Начальный момент мы называем словосочетанием Большой взрыв, хотя пока не очень понимаем, что это было.

Начальное состояние Вселенной было сверхплотным и очень горячим. Об этом свидетельствует неопровержимый факт — реликтовое излучение и его свойства.

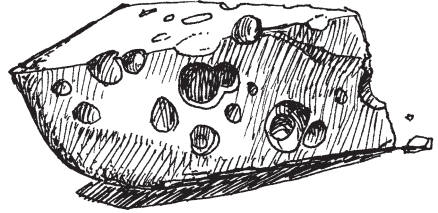
С самого начала Вселенная расширялась очень быстро, по экспоненциальному закону, ее пространство-время развернулось в гигантских масштабах. Поскольку пространство Вселенной, согласно нашим наблюдениям, оказалось практически плоским, неискривленным (если кривизна и есть, то мизерная, и мы пока не смогли ее обнаружить), версия о начальном этапе ускоренного расширения (инфляции) выглядит чрезвычайно правдоподобной: иначе не удастся объяснить проблемы горизонта (страница 228) и проблему тонкой настройки (страница 275).

Судя по всему, то, что мы видим, — это лишь крошечный фрагмент огромной Вселенной. В пределах этого фрагмента Вселенная сравнительно однородна — мы повсюду наблюдаем сходные объекты (галактики). Весьма вероятно, что ненаблюдаемая часть Вселенной устроена примерно так же, но не исключено, что это не совсем так (там, очень далеко от нас, могут находиться и объекты, которых нет в нашей части Вселенной).

Мы считаем, что галактики сформировались из крошечных флуктуаций плотности материи расширяющейся Вселенной, возникших на ранней стадии ускоренного расширения. Расчеты очень хорошо подтверждаются наблюдениями, размеры галактик таковы, какие они и должны быть,



ФРАГМЕНТ
АЛЬТЕРНАТИВНОЙ
МОДЕЛИ
«БОЛЬШОГО МИРА»



если считать, что галактики *порождены ранними флуктуациями материи*.

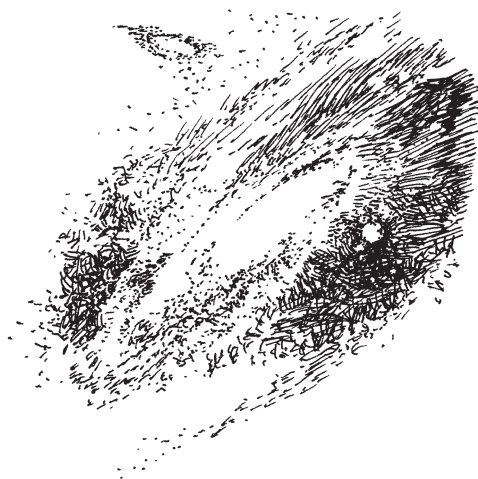
Расширение Вселенной продолжается и сегодня, и происходит оно *ускоренно*. Мы назвали причину ускоренного расширения темной энергией, но не знаем точно, что это такое. Наиболее распространена гипотеза, что темная энергия связана с антигравитацией физического вакуума, наполняющего всю Вселенную. Факты, полученные в экспериментах, говорят о том, что вакуум — это не просто пустота, но некая среда, содержащая энергию. Однако точно сказать, связано ли расширение Вселенной с действием вакуума, мы пока не можем.

Изучение особенностей вращения галактик позволяет сделать вывод, что помимо видимого вещества и темной энергии существует еще некий тип материи, который мы называем темной материей. Из наблюдений следует, что темная материя подчиняется гравитационному взаимодействию, но, видимо, не подчиняется другим типам взаимодействий. Наиболее вероятно, что темная материя — это некий неизвестный еще тип элементарных частиц, но точно мы этого пока не знаем.

Темная энергия и темная материя составляют в сумме около 95 % всей плотности материи во Вселенной. На привычное нам вещество, из которого состоят звезды, планеты, пыль и газ, остается около 5 %.

С этими удивительными данными об устройстве мира мы вступили в XXI век. Мы уже обсуждаем гипотезы, пытающиеся объяснить темную энергию и темную материю, выдвинули идею Мультиверса, рассуждаем о парадоксах антропного принципа — но это пока что только гипотезы. Автор не сомневается, что дальнейшие исследования, если не завтра, так через четыреста лет, дадут ответы на эти и дру-

ВАКУУМ —
ЭТО НЕ ПРОСТО
ПУСТОТА, НО
НЕКАЯ СРЕДА,
СОДЕРЖАЩАЯ
ЭНЕРГИЮ.



гие, возможно еще не поставленные, поразительные вопросы. Наука найдет на них ответы.

В общем бюджете цивилизации выделяется все больше средств на исследование устройства мира. Для того чтобы и дальше продвигаться по пути познания, требуется все более дорогостоящее оборудование. Немало стоят научные спутники, крупные наземные и космические, гравитационные и нейтринные телескопы, ускорители, коллайдеры; требуют больших затрат суперкомпьютеры, на которых проводятся объемные вычисления для решения грандиозных задач.

Тем не менее *Homo sapiens* ускоренно движется, исследуя мир. Растет число научных статей, где излагаются и проверяются на практике гипотезы, а также результаты наблюдений и экспериментов. У автора нет сомнений, что космология в ближайшие годы продолжит свое стремительное развитие, а значит, эта книга будет быстро устаревать. И это замечательно!

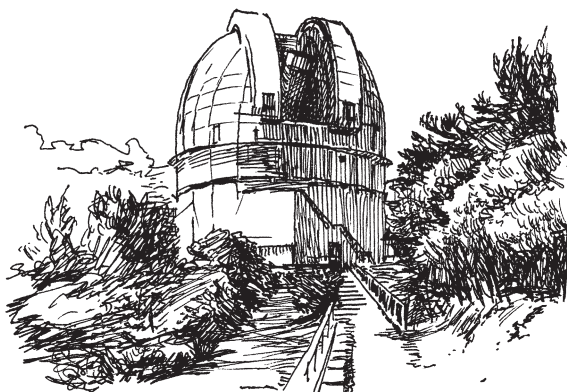
Любознательным людям, которым интересно исследовать удивительный мир, в котором нам довелось появиться, посвящена эта книга.

Для автора было бы лучшей наградой, если бы кто-то из читателей этой книги, заинтересовавшись Большой Наукой, помог человечеству ответить на те вопросы, которые на сегодня пока еще остаются без ответов.

Хотелось бы на это надеяться...

Июль — декабрь 2018,

Иркутск

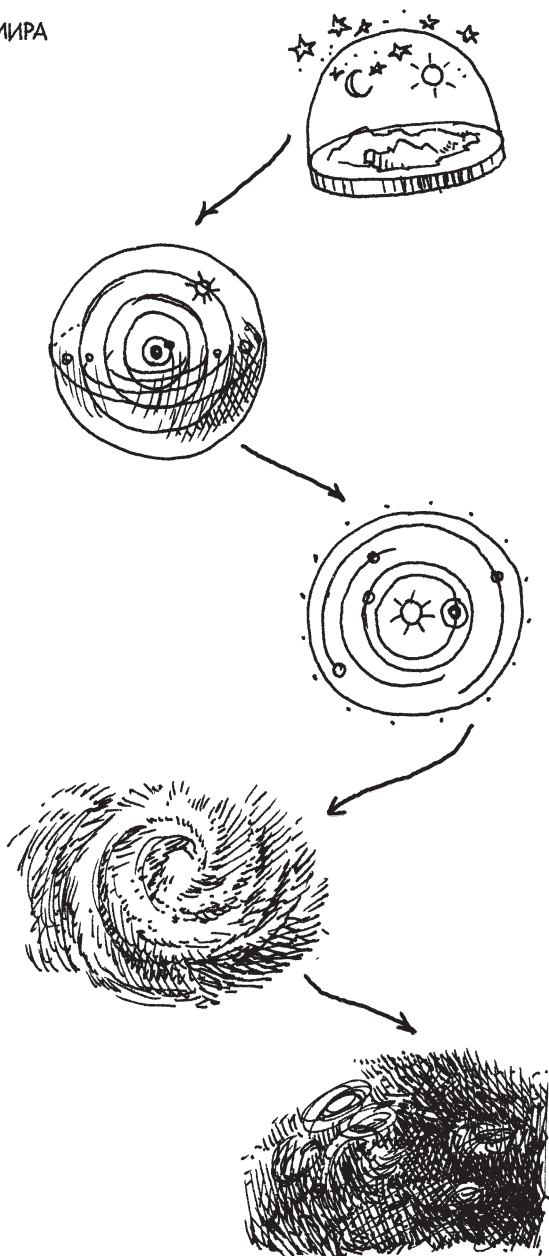


От издательства

Ваши замечания, предложения, вопросы отправляйте по адресу comp@piter.com (издательство «Питер», редакция научно-популярной литературы). Мы будем рады узнать ваше мнение!

На веб-сайте издательства www.piter.com вы найдете подробную информацию о наших книгах.

ЭВОЛЮЦИЯ
КАРТИНЫ
МИРА



Сергей Язев
Вселенная.
Путешествие во времени и пространстве

Заведующая редакцией
Ведущий редактор
Научный редактор
Литературный редактор
Художник
Корректоры
Верстка

Ю. Сергиенко
К. Тульцева
О. Верходанов
Е. Шубина
Е. Муретов
Н. Баталова, Г. Шкатова
Л. Соловьева

Изготовлено в России. Изготовитель: ООО «Прогресс книга».
Место нахождения и фактический адрес: 194044, Россия, г. Санкт-Петербург,
Б. Сампсониевский пр., д. 29А, пом. 52. Тел.: +78127037373.

Дата изготовления: 11.2019.

Наименование: книжная продукция.

Срок годности: не ограничен.

Налоговая льгота — общероссийский классификатор продукции ОК 034-2014,
58.11.12 — Книги печатные профессиональные, технические и научные.

Импортер в Беларусь: ООО «ПИТЕР М», 220020, РБ, г. Минск, ул. Тимирязева,
д. 121/3, к. 214, тел./факс: 208 80 01.

Подписано в печать 15.11.19. Формат 70×100/16. Бумага офсетная.
Усл. п. л. 23,220. Тираж 3500. Заказ 0000.



Нил Деграсс Тайсон

БОЛЬШОЕ КОСМИЧЕСКОЕ ПУТЕШЕСТВИЕ

Основой этой книги стал курс Принстонского университета, который читали гуманитариям три знаменитых астрофизика — Нил Деграсс Тайсон, Майкл Стросс и Джон Ричард Готт. Они рассказывают о том, что любят больше всего, и рассказывают так, что самые сложные теории становятся понятны неспециалистам. Астрономы не привыкли усложнять то, что может быть простым. Большие красные звезды — это красные гиганты. Маленькие белые звезды — это белые карлики. Если звезда пульсирует, она называется пульсар. Даже начало всего пространства, времени, материи и энергии, что существуют в космосе, можно назвать всего двумя простыми словами: Большой взрыв. Что мы знаем о Вселенной? Наша Вселенная велика. Наш Космос гораздо больше, чем кажется. Он жарче, чем вы думаете. Плотнее, чем вы думаете. Разреженнее, чем вы думаете. Что бы вы ни думали о Вселенной, реальность все равно окажется невероятнее. Добро пожаловать во Вселенную!

 ПИТЕР®





**Нил Деграсс Тайсон,
Дональд Голдсмит**

ИСТОРИЯ ВСЕГО **14 миллиардов** **лет космической** **эволюции**

14 миллиардов лет. Полет нормальный. А ведь когда-то, сразу после Большого взрыва, Вселенная увеличилась настолько, что достигла размеров грейпфрута. За эти 10^{-33} секунды в ее истории прошла целая эпоха. Когда-то во Вселенной было настолько жарко, что в ней еще не могли образоваться звезды, а потом все стало гораздо интереснее. Выйдите ясной ночью на улицу, полюбуйте просторами Млечного Пути, а потом прочтите эту книгу и осознайте, что история всего на свете только начинается. У вас в руках трепетная, увлекательная и завораживающая книга для всех, кто любит смотреть в небо и хочет понимать, что же он там видит. Добро пожаловать во Вселенную (кстати, и полотенце не забудьте)!

«Тайсон и Голдсмит» — лучших гидов по космическим путешествиям и пожелать нельзя. — Митио Каку.

Чтобы насладиться великолепием цветных фотографий Большого Космоса (в первую очередь снимками с космического телескопа «Хаббл»), перейдите по ссылке и скачайте файл с иллюстрациями (<https://goo.gl/geuoxu>).



ПИТЕР®



**Стивен Габсер,
Франс Преториус**

МАЛЕНЬКАЯ КНИГА О ЧЕРНЫХ ДЫРАХ

Несмотря на сложность рассматриваемой темы, профессор Принстонского университета Стивен Габсер предлагает емкое, доступное и занимательное введение в эту одну из наиболее обсуждаемых сегодня областей физики. Черные дыры — это реальные объекты, а не просто мысленный эксперимент! Черные дыры исключительно удобны с точки зрения теории, так как математически они гораздо проще большинства астрофизических объектов, например звезд. Странности начинаются, когда выясняется, что черные дыры в действительности не такие уж черные. Что же в действительности находится внутри них? Как можно представить себе падение в черную дыру? А может быть, мы уже падаем в нее и просто еще не знаем об этом?

 **ПИТЕР®**





Карло Ровелли

НЕРЕАЛЬНАЯ РЕАЛЬНОСТЬ Путешествие по КВАНТОВОЙ ПЕТЛЕ

«Карло Ровелли — это человек, который сделал физику сексуальной... ученый, которого мы называем следующим Стивеном Хокингом». — The Times Magazine.

Что есть время и пространство? Откуда берется материя? Что такое реальность?

«Главный парадокс науки состоит в том, что, открывая нам твердые и надежные знания о природе, она в то же время стремительно меняет ею же созданные представления о реальности. Эта парадоксальность как нельзя лучше отражена в книге Карло Ровелли, которая посвящена самой острой проблеме современной фундаментальной физики — поискам квантовой теории гравитации.

Упоминание этого названия многие слышали в сериале “Теория Большого взрыва”, но узнать, в чем смысл петлевой гравитации, было почти нигде. А между тем, эта теория — один из важных игроков на переднем крае фундаментальной физики». — Александр Сергеев, сооснователь, автор заданий и завлаб проекта «Открытая лабораторная».

 ПИТЕР®

